

BAB V

ANALISIS STRUKTUR

5.1. Estimasi Dimensi

5.1.1. Estimasi Dimensi Balok

Tinggi minimal balok dirancang berdasarkan tabel 3.15. Tinggi balok yang dipakai adalah $\frac{l}{14}$ dan $\frac{l}{13}$.

1. Balok B1

Panjang bentang 6600 pada bagian tangga dan bentang 11160,65 mm.

Dengan $l = 11160,65$ dengan kondisi tumpuan sederhana.

$$h_{min} = \frac{l}{16} = \frac{11160,65}{16} = 697,54 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = \frac{l}{14} = \frac{11160,65}{14} = 797,19 \text{ mm}$$

Digunakan $h = 800 \text{ mm}$

$$b = \frac{1}{2}h \text{ hingga } \frac{2}{3}h$$

$$b = \frac{1}{2}800 \text{ hingga } \frac{2}{3}800$$

$$b = 400 \text{ hingga } 533,33$$

Digunakan $b = 500 \text{ mm}$

2. Balok B2

Panjang bentang 5000 mm hingga 9000 mm. Dengan $l = 9000$ dengan kondisi tumpuan sederhana.

$$h_{min} = \frac{l}{16} = \frac{9000}{16} = 450 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = \frac{l}{13} = \frac{9000}{13} = 692,31 \text{ mm}$$

Digunakan $h = 700 \text{ mm}$

$$b = \frac{1}{2}h \text{ hingga } \frac{2}{3}h$$

$$b = \frac{1}{2}700 \text{ hingga } \frac{2}{3}700$$

$$b = 350 \text{ hingga } 466,67$$

Digunakan $b = 450 \text{ mm}$

3. Balok BA1

Panjang bentang 5000 meter hingga 6600 meter. Dengan $l = 6600$ dengan kondisi tumpuan sederhana.

$$h_{min} = \frac{l}{16} = \frac{6600}{16} = 412,50 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = \frac{l}{13} = \frac{6600}{13} = 507,69 \text{ mm}$$

Digunakan $h = 550 \text{ mm}$

$$b = \frac{1}{2}h \text{ hingga } \frac{2}{3}h$$

$$b = \frac{1}{2}550 \text{ hingga } \frac{2}{3}550$$

$$b = 275 \text{ hingga } 366,67$$

Digunakan $b = 300 \text{ mm}$

4. Balok BA2

Panjang bentang 2500 meter hingga 5000 meter. Dengan $l=5000$ dengan kondisi tumpuan sederhana.

$$h_{min} = \frac{l}{16} = \frac{5000}{16} = 287,50 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = \frac{l}{13} = \frac{5000}{13} = 384,62 \text{ mm}$$

Digunakan $h = 450 \text{ mm}$

$$b = \frac{1}{2}h \text{ hingga } \frac{2}{3}h$$

$$b = \frac{1}{2}450 \text{ hingga } \frac{2}{3}450$$

$$b = 225 \text{ hingga } 300$$

Digunakan $b = 300 \text{ mm}$

5. Balok BA3

Panjang bentang lebih kecil dari 2500 meter. Dengan $l = 2500$ dengan kondisi tumpuan sederhana.

$$h_{min} = \frac{l}{16} = \frac{2500}{16} = 156,25 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = \frac{l}{13} = \frac{2500}{13} = 208,33 \text{ mm}$$

Digunakan $h = 400 \text{ mm}$

$$b = \frac{1}{2}h \text{ hingga } \frac{2}{3}h$$

$$b = \frac{1}{2}400 \text{ hingga } \frac{2}{3}400$$

$$b = 200 \text{ hingga } 250$$

Digunakan $b = 250 \text{ mm}$

6. Balok BK

Panjang bentang adalah 2500 meter. Dengan $l = 2500$ dengan kondisi kantilever.

$$h_{min} = \frac{l}{8} = \frac{2500}{8} = 312,5 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = \frac{l}{5} = \frac{2500}{5} = 500 \text{ mm}$$

Digunakan $h = 600 \text{ mm}$

$$b = \frac{1}{2}h \text{ hingga } \frac{2}{3}h$$

$$b = \frac{1}{2}600 \text{ hingga } \frac{2}{3}600$$

$$b = 300 \text{ hingga } 400$$

Digunakan $b = 400 \text{ mm}$

Tabel 5.1. Estimasi Dimensi Balok

No.	Kode Balok	Dimensi	
		h (mm)	b (mm)
1.	B1	800	500
2.	B2	700	450
3.	BA1	550	300
4.	BA2	450	300
5.	BA3	400	250
6.	BK1	600	400

5.1.2. Estimasi Dimensi Pelat Satu Arah

Tebal minimum pelat lantai satu arah mengacu pada tabel 3.13. Panjang bentang yang ditinjau untuk perencanaan pelat satu arah adalah bentang pendek dari pelat terluas bangunan.

$L = 3000 \text{ mm}$, dengan keadaan tumpuan 1 ujung menerus

$$h_{min} = \frac{L}{24} = \frac{3000}{24} = 125 \text{ mm}$$

digunakan tebal pelat 1 arah = 130 mm

5.1.3. Estimasi Dimesnsi Pelat Dua Arah

Tebal minimum pelat lantai dua arah ditentukan dengan rumus *empiris*. Pelat yang ditinjau untuk perencanaan pelat dua arah adalah pelat terluas dari bangunan.

$$L_x = 6600 \text{ mm}$$

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

Tebal pelat (asumsi) (t_p)= 130 mm

1. Rasio kekakuan balok T₁ (B2)

Tinggi balok (h_b) = 700 mm

Lebar balok (b_w) = 450 mm

- a. Panjang sayap balok :

$$f = 2(h_b - t_p) \leq f = 8 \cdot t_p$$

$$f = 2(700 - 130) \leq f = 8 \cdot 130$$

$$f = 1040 \text{ mm} \leq f = 1040 \text{ mm}$$

panjang sayap balok (b_w) = 450 + 1040 = 1490 mm

b. Menentukan momen inersia balok :

Rumus menentukan titik berat :

$$\bar{y} = \frac{(A_1 \cdot y_1) + (A_2 \cdot y_2)}{\sum A}$$

Rumus menentukan momen inersia balok :

$$\sum I_b = \sum \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2)$$

Tabel 5.2. Perhitungan Momen Inersia Balok T₁

	<i>A</i> (mm ²)	<i>Y</i> (mm)	\bar{y} (mm)	<i>d</i> ² (mm ²)	<i>I_b</i> (mm ⁴)
1.	256.500	285	435,59	22.676,93	12.761.371.241,60
2.	193.700	635		39.764,90	7.975.254.438,84
$\sum I_y =$					20.736.625.680,44

c. Menentukan momen inersia pelat arah X:

$$\begin{aligned} I_s &= \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \cdot 6600 \cdot 130^3 \right) + (6600 \cdot 130 \cdot 0^2) \\ &= 1208350000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

d. Menentukan rasio kekakuan penampang balok :

Modulus elastisitas balok (*E_b*) = modulus elastisitas (*E_s*)

$$\alpha_{fl} = \frac{E_b \cdot I_b}{E_s \cdot I_s} = \frac{E_c \cdot 20736625680,44}{E_c \cdot 1208350000,00} = 17,16$$

2. Rasio Kekakuan balok T₂ (B2)

Tinggi balok (*h_b*) = 700 mm

Lebar balok (*b_w*) = 450 mm

a. Panjang sayap balok :

$$f = 2(h_b - t_p) \leq f = 8 \cdot t_p$$

$$f = 2(700 - 130) \leq f = 8 \cdot 130$$

$$f = 1040 \text{ mm} \leq f = 1040 \text{ mm}$$

panjang sayap balok (b_w) = 450 + 1040 = 1490 mm

b. Menentukan momen inersia balok :

Rumus menentukan titik berat :

$$\bar{y} = \frac{(A_1 \cdot y_1) + (A_2 \cdot y_2)}{\sum A}$$

Rumus menentukan momen inersia balok :

$$\sum I_b = \sum \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2)$$

Tabel 5.3. Perhitungan Momen Inersia Balok T₂

	A (mm ²)	Y (mm)	\bar{y} (mm)	d^2 (mm ²)	I_b (mm ⁴)
1.	256.500	285	435,59	22.676,93	12.761.371.241,60
2.	193.700	635		39.764,90	7.975.254.438,84
				$\sum I_y =$	20.736.625.680,44

c. Menentukan momen inersia pelat arah X:

$$\begin{aligned} I_s &= \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \cdot 6600 \cdot 130^3 \right) + (6600 \cdot 130 \cdot 0^2) \\ &= 1208350000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

d. Menentukan rasio kekakuan penampang balok :

Modulus elastisitas balok (E_b) = modulus elastisitas (E_s)

$$\alpha_{f2} = \frac{E_b \cdot I_b}{E_s \cdot I_s} = \frac{E_c \cdot 20736625680,44}{E_c \cdot 1208350000,00} = 17,16$$

3. Rasio Kekakuan balok T₃ (B2)

Tinggi balok (h_b) = 700 mm

Lebar balok (b_w) = 450 mm

a. Panjang sayap balok :

$$f = 2(h_b - t_p) \leq f = 8 \cdot t_p$$

$$f = 2(700 - 130) \leq f = 8 \cdot 130$$

$$f = 1040 \text{ mm} \leq f = 1040 \text{ mm}$$

panjang sayap balok (b_w) = 450 + 1040 = 1490 mm

b. Menentukan momen inersia balok :

Rumus menentukan titik berat :

$$\bar{y} = \frac{(A_1 \cdot y_1) + (A_2 \cdot y_2)}{\sum A}$$

Rumus menentukan momen inersia balok :

$$\sum I_b = \sum \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2)$$

Tabel 5.4. Perhitungan Momen Inersia Balok T₃

	A (mm ²)	Y (mm)	\bar{y} (mm)	d^2 (mm ²)	I_b (mm ⁴)
1.	256.500	285	435,59	22.676,93	12.761.371.241,60
2.	193.700	635		39.764,90	7.975.254.438,84
$\sum I_y =$					20.736.625.680,44

c. Menentukan momen inersia pelat arah X:

$$\begin{aligned} I_s &= \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \cdot 6600 \cdot 130^3 \right) + (3300 \cdot 130 \cdot 0^2) \\ &= 604175000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

d. Menentukan rasio kekakuan penampang balok :

Modulus elastisitas balok (E_b) = modulus elastisitas (E_s)

$$\alpha_{f3} = \frac{E_b \cdot I_b}{E_s \cdot I_s} = \frac{E_c \cdot 20736625680,44}{E_c \cdot 604175000} = 34,32$$

4. Rasio kekakuan balok T₄ (BA1)

Tinggi balok (h_b) = 550 mm

Lebar balok (b_w) = 350 mm

a. Panjang sayap balok :

$$f = 2(h_b - t_p) \leq f = 8 \cdot t_p$$

$$f = 2(550 - 130) \leq f = 8 \cdot 130$$

$$f = 840 \text{ mm} \leq f = 1040 \text{ mm}$$

panjang sayap balok (b_t) = 350 + 840 = 1190 mm

b. Menentukan momen inersia balok :

Rumus menentukan titik berat :

$$\bar{y} = \frac{(A_1 \cdot y_1) + (A_2 \cdot y_2)}{\sum A}$$

Rumus menentukan momen inersia balok :

$$\sum I_b = \sum \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2)$$

Tabel 5.5. Perhitungan Momen Inersia Balok T₄

	A (mm ²)	Y (mm)	\bar{y} (mm)	d^2 (mm ²)	I_b (mm ⁴)
1.	147000	210	351,01	19883,62	5.083.791.736,56
2.	154700	485		17953,51	2.995.277.604,12
				$\Sigma I_y =$	8.079.069.340,68

c. Menentukan momen inersia pelat :

$$\begin{aligned}
 I_s &= \left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + (A \cdot d^2) \\
 &= \left(\frac{1}{12} \cdot 3300 \cdot 130^3 \right) + (3300 \cdot 130 \cdot 0^2) \\
 &= 604175000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

d. Menentukan rasio kekakuan penampang balok :

Modulus elastisitas balok (E_b) = modulus elastisitas (E_s)

$$\alpha_{f4} = \frac{E_b \cdot I_b}{E_s \cdot I_s} = \frac{E_c \cdot 8079069340,68}{E_c \cdot 604175000,00} = 13,37$$

5. Rasio kekakuan rata-rata penampang balok

$$\alpha_{fm} = \frac{17,16 + 17,16 + 34,32 + 13,37}{4} = 20,50$$

6. Rasio kekakuan rata-rata penampang balok

$$\alpha_{fm} > 2,0$$

$$l_{nx} = 6600 - \frac{450 + 450}{2} = 6150 \text{ mm}$$

$$l_{ny} = 3300 - \frac{450 - 350}{2} = 2900 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{l_{nx}}{l_{ny}} = \frac{6150}{2900} = 2,12$$

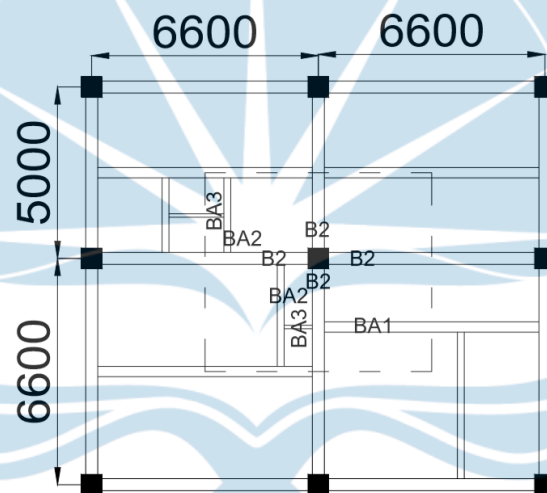
$$h_{min} = \frac{l_{nx} \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9 \cdot \beta}$$

$$h_{min} = \frac{6150 \left(0,8 + \frac{280}{1400} \right)}{36 + 9 \cdot 2,12}$$

$$h_{min} = 111,64 \text{ mm}$$

digunakan tebal pelat 2 arah = 130 mm

5.1.4. Estimasi Dimensi Kolom



Gambar 5.1. Tributary Area

Penentuan dimensi kolom berdasarkan beban yang bekerja pada kolom pada *tributary area* terbesar yang terletak pada lantai teratas. Kolom yang ditinjau terletak pada as E4 lantai roof.

$$L_x = 6900 \text{ mm}$$

$$L_y = 5800 \text{ mm}$$

Pembebanan pada kolom :

1. Beban yang diakibatkan pelat lantai roof :

$$\begin{aligned} \text{Luas area pembebanan pelat} &= 6900 \cdot 5800 \\ &= 40020000 \text{ mm}^2 \\ &= 40,02 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban hidup pada lantai roof} = 2,00 \text{ kN/m}^2 \text{ (Ruang mesin)}$$

Tabel 5.6. Tabel Beban Mati Pelat Lantai.

	Tebal	Berat Jenis	Beban (kN/m ²)
Berat sendiri pelat	0,14 m	24 kN/m ³	3,36
Berat pasir	0,03 m	18 kN/m ³	0,54
Berat spesi	0,02 m	24 kN/m ³	0,42
Berat ubin	0,01 m	21 kN/m ³	0,24
Berat plafond			0,18
Berat ME			0,20
Total			4,94

$$\text{Beban mati yang diakibatkan pelat } (Q_{DP}) = 4,94 \times 40,02 = 197,70 \text{ kN}$$

$$\text{Beban hidup yang diakibatkan pelat } (Q_{LP}) = 2,00 \times 40,02 = 80,04 \text{ kN}$$

2. Beban yang diakibatkan balok lantai roof :

Tabel 5.7. Tabel Beban Mati Balok.

Kode	h (mm)	b (mm)	L (mm)	V (m ³)
B1	800	500	3300	1,32
B2	650	400	9100	2,87
BA1	550	300	6600	0,545
BA2	450	300	2500	0,34
BA3	400	250	2050	0,205
Total				5,999

$$\text{Beban mati yang diakibatkan balok } (Q_{DB}) = 5,999 \times 24 = 143,99 \text{ kN}$$

3. Beban yang diakibatkan kolom lantai roof :

$$\text{Dimensi kolom (asumsi)} : 700 \times 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom lantai roof} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Volume kolom lantai roof} = (700 \times 700 \times 4000) / 10^9 = 1,96 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban mati yang diakibatkan kolom } (Q_{DK}) = 1,44 \times 24 = 47,04 \text{ kN}$$

4. Beban yang diakibatkan dinding bata lantai roof :

Diasumsikan setiap balok terdapat dinding bata.

$$\text{Berat jenis dinding bata} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tinggi dinding bata lantai roof} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang dinding bata} = 23550 \text{ m}$$

$$\text{Volume dinding lantai roof} = (4000 \times 23550) / 10^6 = 94,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban mati yang diakibatkan kolom } (Q_{DD}) = 94,2 \times 2,5 = 235,5 \text{ kN}$$

5. Beban mati yang bekerja pada kolom lantai roof :

$$P_{Dn} = Q_{DP} + Q_{DB} + Q_{DK} + Q_{DD} + Q_{D(n+1)}$$

$$\begin{aligned} P_{DR} &= 197,70 + 143,99 + 47,04 + 235,5 + 0 \\ &= 624,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

6. Beban hidup yang bekerja pada kolom :

$$P_{Ln} = Q_{LP} + Q_{L(n+1)}$$

$$\begin{aligned} P_{LR} &= 80,04 + 0 \\ &= 80,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

7. Kombinasi pembebanan :

$$\begin{aligned} P_{UI} &= 1,4 Q_{DR} \\ &= 1,4 \cdot 624,23 \\ &= 873,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{U2} &= 1,2 Q_{DR} + 1,6 Q_{LR} \\
 &= 1,2 \cdot 624,23 + 1,6 \cdot 80,04 \\
 &= 877,14 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$P_U = 877,14 \text{ kN} = 877136,16 \text{ N}$$

8. Dimensi kolom :

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= P_U \\
 0,65 \cdot 23,06 \cdot A_g &= 877136,16 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$A_g = \frac{877136,16}{0,65 \cdot 23,06}$$

$$A_g = 57284,04 \text{ mm}^2$$

$$b = h = \sqrt{A_g}$$

$$b = h = \sqrt{57284,04}$$

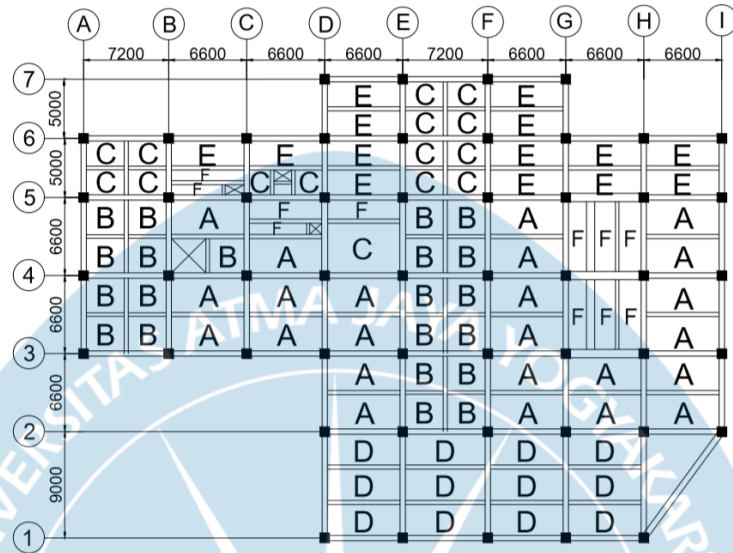
$$b = h = 239,34 ; \text{ digunakan } b = h = 700 \text{ mm}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama. Maka dimensi kolom untuk lantai 1A, 1B, 2, 3, dan 4 pada as E4 adalah sebagai berikut:

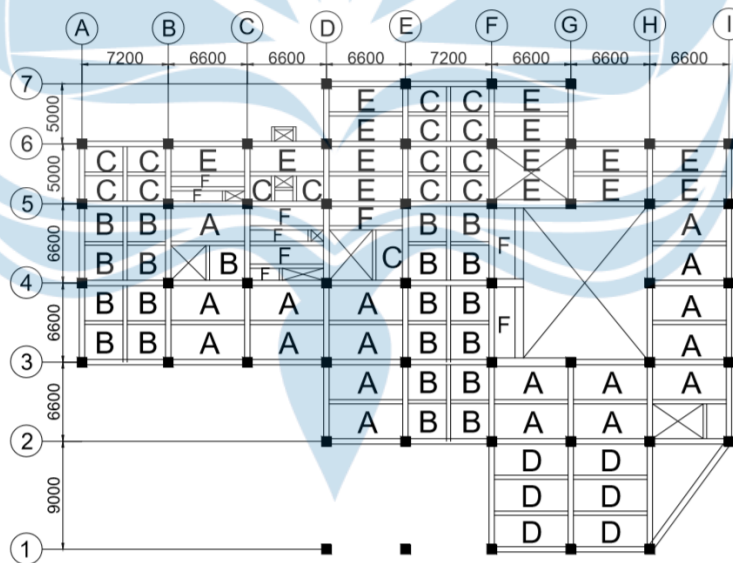
Tabel 5.8. Estimasi Dimensi Kolom as E4.

Lantai	Kode	h (mm)	b (mm)
Roof	K2	700	700
4	K2	700	700
3	K2	700	700
2	K2	800	800
1A	K1	800	800
1B	K1	800	800

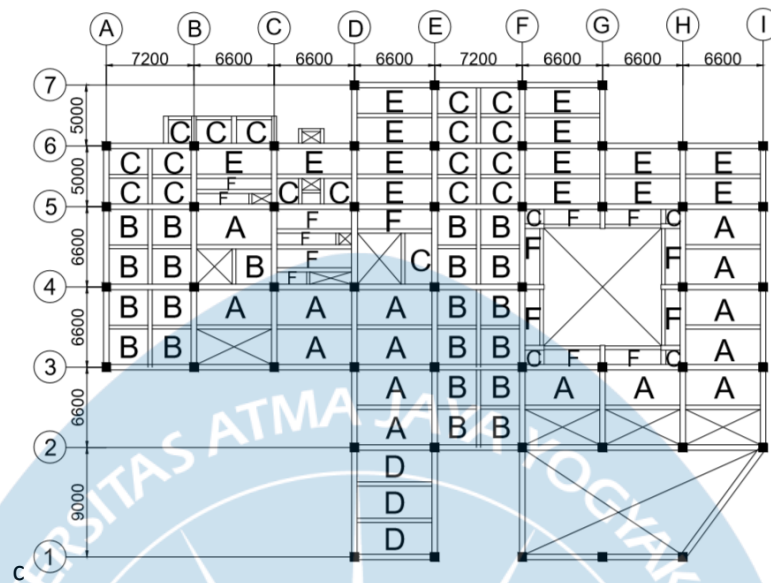
5.2. Perencanaan Pelat Lantai



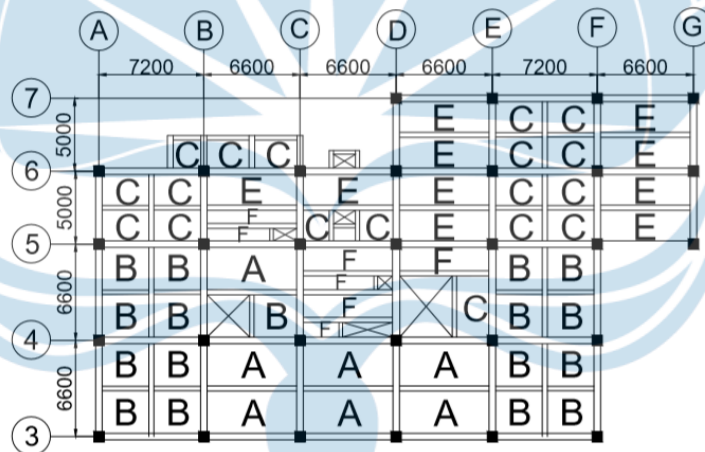
Gambar 5.2. Denah lantai 1B



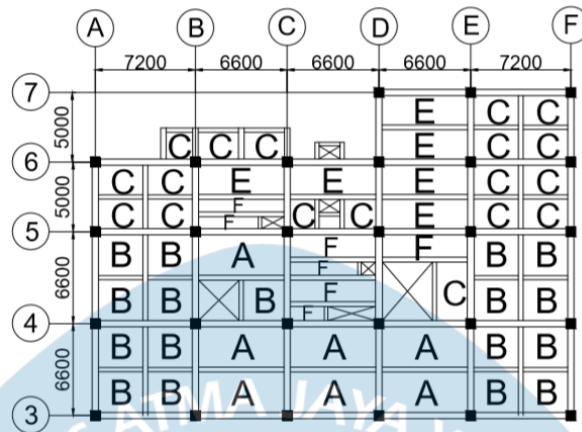
Gambar 5.3. Denah lantai 1A



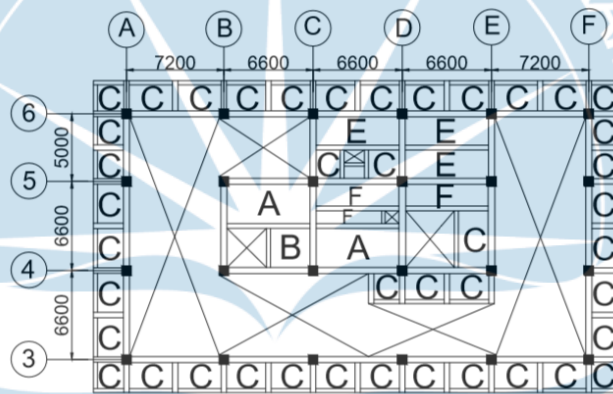
Gambar 5.4. Denah lantai 2



Gambar 5.5. Denah lantai 3



Gambar 5.6. Denah lantai 4



Gambar 5.7. Denah lantai 5

5.2.1.1. Pembebanan Pelat

Tabel 5.9. Pembebanan Pelat Lantai

	Macam Pembebanan	Tebal mm	Berat Jenis kN/m ³	Beban Mati kN/m ²		Beban Hidup kN/m ²
				D	SD	
Lantai 1B-1A	Berat sendiri	130	24	3,12	-	
	Berat pasir	30	16	-	0,48	
	Berat spesi	20	24	-	0,48	
	Berat ubin	10	21	-	0,21	
	Berat plafond, penggantung, dll	-	-	-	0,18	
	Berat ME	-	-	-	0,2	
Total				3.12	1,55	4,79
Lantai 2-4	Berat sendiri	130	24	3,12	-	
	Berat pasir	30	16	-	0,48	
	Berat spesi	20	24	-	0,48	
	Berat ubin	10	21	-	0,21	
	Berat plafond, penggantung, dll	-	-	-	0,18	
	Berat ME	-	-	-	0,2	
Total				3.12	1,55	3,83
Lantai 5	Berat sendiri	130	24	3,12	-	
	Berat pasir	30	16	-	0,48	
	Berat spesi	20	24	-	0,48	
	Berat ubin	10	21	-	0,21	
	Berat plafond, penggantung, dll	-	-	-	0,18	
	Berat ME	-	-	-	0,2	
Total				3.12	1,55	2,00

Tabel 5.10. Pembebanan Pelat Atap

	Macam Pembebanan	Tebal mm	Berat Jenis kN/m ³	Beban Mati kN/m ²		Beban Hidup kN/m ²
Lantai Atap	Berat sendiri	130	24	3,12	-	
	Berat pasir	30	16	-	0,48	
	Berat spesi	20	24	-	0,48	
	Berat plafond, penggantung, dll	-	-	-	0,18	
	Berat ME	-	-	-	0,2	
	Berat <i>water proof</i>	20	21		0,42	
Total				3.12	1,76	0,98

Tabel 5.11. Kombinasi Pembebanan Pelat

	Beban Mati $Q_D = D + SD$ (kN/m ²)	Beban Hidup Q_L (kN/m ²)	Q_U (kN/m ²)	
			$1,4 Q_D$	$1,2 Q_D + 1,6 Q_L$
Lantai 1B-1A	4,67	4,79	6,54	13,27
Lantai 2 - 4	4,67	3,83	6,54	11,74
Lantai 5	4,67	2	6,54	8,81
Lantai Atap	4,88	0,98	6,83	7,46

Kombinasi pembebanan diambil yang terbesar:

$$\text{Lantai 1B-1A} = 13,27 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lantai 2 - 4} = 11,74 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lantai 5} = 8,81 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lantai atap} = 7,46 \text{ kN/m}^2$$

5.2.2. Penulangan Pelat Satu Arah

Perhitungan pelat lantai satu arah yang dipaparkan adalah pelat lantai tipe D pada lantai 1B dengan ukuran 7200×3000 mm.

1. Data Perencanaan :

Tulangan pokok dipakai D10

Tulangan Susut dipakai D8

Selimut beton 20 mm

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

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

$$\beta_1 = 0,85 \text{ (} f_c' < 28 \text{ MPa)}$$

$$t_p = 130 \text{ mm}$$

$$d = t_p - t_{selimut} - \frac{1}{2} d_{tulangan}$$

$$= 130 - 20 - \frac{1}{2} 10$$

$$= 105 \text{ mm}$$

2. Perhitungan momen pada pelat lantai.

Perhitungan momen menggunakan metode pendekatan sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019 pasal 6.5.2.

Momen tumpuan pelat

$$\begin{aligned} M_{tx} &= \frac{1}{11} Q_U \cdot L_x^2 \\ &= \frac{1}{11} 13,27 \cdot 3000^2 \\ &= 11,94 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen lapangan pelat

$$\begin{aligned} M_{lx} &= \frac{1}{16} Q_U \cdot L_x^2 \\ &= \frac{1}{16} 13,27 \cdot 3000^2 \\ &= 7,47 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Perhitungan tulangan tumpuan.

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{11,94 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2} \\
 &= 1,203 \\
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,203}{0,85 \cdot 25}} \right) \\
 &= 0,0044 \\
 \rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\
 &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{280} \\
 &= 0,0277 \\
 \rho &< \rho_{max} \text{ (OK!)} \\
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0044 \cdot 1000 \cdot 105 \\
 &= 464,85 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh < 420, maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{S \min} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\
 &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 \\
 &= 260 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_S > A_{S_{min}}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_S .

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{421,41} = 168,96 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D10-150.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S_{aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{150} = 523,60 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S_{aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{523,60 \cdot 280}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 6,90 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,90}{0,85} = 8,12 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(105-8,12)}{8,12} = 0,04$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi A_{S_{aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,9 \cdot 523,60 \cdot 280 \cdot \left(105 - \frac{6,90}{2}\right)$$

$$= 13,40 \text{ kNm} > M_{tx} \text{ (OK!)}$$

4. Perhitungan tulangan lapangan.

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{7,464 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2} \\
 &= 0,7522 \\
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,7522}{0,85 \cdot 25}} \right) \\
 &= 0,0027 \\
 \rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \\
 &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{280} = 0,0277 \\
 \rho &< \rho_{max} \text{ (OK!)} \\
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0027 \cdot 1000 \cdot 105 \\
 &= 287,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh < 420, maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{S \min} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\
 &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 \\
 &= 260 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_S > A_{S \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_S .

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{287,23} = 273 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D10-250.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{250} = 314,16 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{314,16 \cdot 280}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 4,14 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,14}{0,85} = 4,87 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(105-4,87)}{4,87} = 0,06$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,9 \cdot 314,16 \cdot 280 \cdot \left(105 - \frac{4,14}{2}\right)$$

$$= 8,15 \text{ kNm} > M_{tx} \text{ (OK!)}$$

5. Cek terhadap geser.

$$V_U < \phi V_c$$

$$\frac{Q_U \cdot L_n}{2} < \phi \cdot 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$\frac{13,27 \cdot \left(3 - \frac{(0,30 + 0,35)}{2} \right)}{2} < 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 105 \cdot 10^{-3}$$

$$17,75 \text{ kN} < 66,94 \text{ kN (OK!)}$$

6. Perhitungan tulangan susut.

$$A_{S_{min}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 \right) \cdot 1000}{260} = 193,329 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 5t_p = 5 \cdot 130 = 650 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D8-150.

7. Pelat satu arah pada lantai 1B tipe E (6600 × 2500).

	Tumpuan	Lapangan
M_U	7,5386	5,1828
k	0,7598	0,5223
ρ	0,00276	0,0019
ρ_{max}	0,0278	0,0278
A_S	290,19	198,34
$A_{S\ min}$	260	260
S	270,65	302,08
Tul. Pokok	D10-250	D10-300
$A_{S\ aktual}$	314,16	261,80
a	4,14	3,45
c	4,87	4,06
ϵ_t	0,06	0,07
ϕ	0,9	0,9
ϕM_n	8,15	6,81
V_U	14,59	12,99
ϕV_c	66,94	66,94
Tul. Susut	D8-150	D8-150

8. Pelat satu arah pada lantai 1B tipe F (6600 × 2258).

	Tumpuan	Lapangan
M_U	6,1063	4,1981
k	0,6154	0,4321
ρ	0,0022	0,0015
ρ_{max}	0,0278	0,0278
A_S	234,22	160,27
$A_{S\ min}$	260	260
S	302,08	302,08
S_{max}	390	390
Tul. Pokok	D10-300	D10-300
$A_{S\ aktual}$	261,80	261,80
a	3,45	3,45
c	4,06	4,06
ϵ_t	0,07	0,07
ϕ	0,9	0,9
ϕM_n	6,81	6,81
V_U	12,99	12,99
ϕV_c	66,94	66,94
Tul. Susut	D8-150	D8-150

5.2.3. Penulangan Pelat Dua Arah

Perhitungan pelat lantai satu arah yang dipaparkan adalah pelat lantai tipe A pada lantai 1B dengan ukuran 6600×3300 mm.

1. Data Perencanaan :

Tulangan pokok dipakai D10

Tulangan Susut dipakai D8

Selimut beton 20 mm

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

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

$$\beta_1 = 0,85 \quad (f_c' < 28 \text{ MPa})$$

$$t_p = 130 \text{ mm}$$

2. Perhitungan momen pada pelat lantai.

Perhitungan momen pelat dua arah berdasarkan tabel momen pada PBI 1971.

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{6600}{3300} = 2,00$$

Momen Tumpuan Pelat :

$$M_{tx ; x} = 83$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot Q_U \cdot L_x^2 \cdot x = 0,001 \cdot 13,27 \cdot 3,3^2 \cdot 83 = 11,993 \text{ kNm}$$

$$M_{ty ; x} = 57$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot Q_U \cdot L_x^2 \cdot x = 0,001 \cdot 13,27 \cdot 3,3^2 \cdot 83 = 8,236 \text{ kNm}$$

Momen Lapangan Pelat

$$M_{lx ; x} = 41$$

$$M_{lx} = 0,001 \cdot Q_U \cdot L_x^2 \cdot x = 0,001 \cdot 13,27 \cdot 3,3^2 \cdot 41 = 5,924 \text{ kNm}$$

$$M_{ly}; x = 12$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot Q_U \cdot L_x^2 \cdot x = 0,001 \cdot 13,27 \cdot 3,3^2 \cdot 41 = 1,734 \text{ kNm}$$

3. Perhitungan tulangan tumpuan arah x.

$$d = t_p - t_{selimut} - \frac{1}{2} d_{tulangan}$$

$$= 130 - 20 - \frac{1}{2} 10$$

$$= 105 \text{ mm}$$

$$k = \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$= \frac{11,993 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2}$$

$$= 1,209$$

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

$$= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,209}{0,85 \cdot 25}} \right)$$

$$= 0,0044$$

$$\rho_{max} = 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y}$$

$$= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{280} = 0,0277$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (OK!)}$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0044 \cdot 1000 \cdot 105$$

$$= 466,91 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh < 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} A_{S \min} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_S > A_{S \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_S .

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{466,91} = 168,21 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm}$$

$S < S_{\max}$, maka tulangan yang dipakai D10-150.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{150} = 523,60 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{523,60 \cdot 280}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 6,90 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,90}{0,85} = 8,12 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(105-8,12)}{8,12} = 0,04$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 523,60 \cdot 280 \cdot \left(105 - \frac{6,90}{2} \right) \\
 &= 13,40 \text{ kNm} > M_{tx} \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan tulangan tumpuan arah y.

$$\begin{aligned}
 d &= t_p - t_{selimut} - d_{tulangan} - \frac{1}{2} d_{tulangan} \\
 &= 130 - 20 - 10 - \frac{1}{2} 10 \\
 &= 95 \text{ mm} \\
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{8,236 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 95^2} \\
 &= 1,014
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,014}{0,85 \cdot 25}} \right) \\
 &= 0,0037
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\
 &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{280} \\
 &= 0,0277
 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0037 \cdot 1000 \cdot 95 \\
 &= 352,64 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh < 420, maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{S \min} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\
 &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 \\
 &= 260 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_s > A_{S \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_s .

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{352,64} = 222,72 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm}$$

$S < S_{\max}$, maka tulangan yang dipakai D10-200.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{200} = 392,699 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{392,70 \cdot 280}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 5,174 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,17}{0,85} = 6,088 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(95-6,09)}{6,09} = 0,044$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 392,699 \cdot 280 \cdot \left(95 - \frac{5,174}{2} \right) \\ &= 9,145 \text{ kNm} > M_{lx} \text{ (OK!)}\end{aligned}$$

5. Perhitungan tulangan lapangan x.

$$\begin{aligned}d &= 130 - 20 - \frac{1}{2} 10 \\ &= 105 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{5,924 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2} \\ &= 0,597\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,597}{0,85 \cdot 25}} \right) \\ &= 0,0022\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{280} = 0,0277\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0022 \cdot 1000 \cdot 105 \\
 &= 227,12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh < 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{S \min} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\
 &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 \\
 &= 260 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_s < A_{S \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{S \min}$.

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{260} = 302,08 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{\max}$, maka tulangan yang dipakai D10-300.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{250} = 261,799 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{261,79 \cdot 280}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 3,45 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,45}{0,85} = 4,058 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(105-4,058)}{4,058} = 0,075$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 261,799 \cdot 280 \cdot \left(105 - \frac{3,45}{2} \right) \\ &= 6,813 \text{ kNm} > M_{tx} \text{ (OK!)}\end{aligned}$$

6. Perhitungan tulangan lapangan arah y.

$$\begin{aligned}d &= t_p - t_{selimut} - d_{tulangan} - \frac{1}{2} d_{tulangan} \\ &= 130 - 20 - 10 - \frac{1}{2} 10 \\ &= 95 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{1,734 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 95^2} \\ &= 0,214\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,214}{0,85 \cdot 25}} \right) \\ &= 0,0008\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{280} \\ &= 0,0277\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0008 \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 72,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh < 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$A_{S \min} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 = 260 \text{ mm}^2$$

$A_s < A_{S \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{S \min}$.

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{260} = 302,08 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D10-300.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{250} = 261,799 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{261,79 \cdot 280}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 3,45 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,45}{0,85} = 4,058 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(95-4,058)}{4,058} = 0,067$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 261,799 \cdot 280 \cdot \left(95 - \frac{3,45}{2} \right) \\
 &= 6,154 \text{ kNm} > M_{tx} \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

7. Cek terhadap geser.

$$\begin{aligned}
 V_U &< \phi V_c \\
 \frac{Q_U \cdot L_n}{2} &< \phi \cdot 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 \frac{13,27 \cdot \left(3,3 - \left(\frac{0,60 - 0,30}{2} \right) \right)}{2} &< 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 105 \cdot 10^{-3} \\
 19,74 &< 66,94 \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan tulangan susut.

$$\begin{aligned}
 A_{S \text{ min}} &= 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 = 260 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 \right) \cdot 1000}{260} = 193,329 \text{ mm} \\
 S_{\text{max}} &= 5t_p = 5 \cdot 130 = 650 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \\
 S &< S_{\text{max}}, \text{ maka tulangan yang dipakai D8-150.}
 \end{aligned}$$

9. Pelat satu arah pada lantai 1B tipe B (4650 × 2500).

	Tumpuan		Lapangan	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
d	105	95	105	95
x	83	57	40	12
M_U	6,8828	4,7267	3,3170	0,9951
k	0,6937	0,5819	0,3343	0,1225
ρ	0,0025	0,0021	0,0012	0,0004
ρ_{max}	0,0277	0,0277	0,0277	0,0277
A_S	264,51	200,22	126,36	41,69
$A_{S\ min}$	260,00	260,00	260,00	260,00
S	296,93	302,08	302,08	302,08
S_{max}	390,00	390,00	390,00	390,00
Tul. Pokok	D10-250	D10-300	D10-300	D10-300
$A_{S\ aktual}$	314,159	261,799	261,799	261,799
a	4,140	3,450	3,450	3,450
c	4,870	4,058	4,058	4,058
ϵ_t	0,062	0,067	0,075	0,067
ϕ	0,900	0,900	0,900	0,900
ϕM_n	8,149	6,154	6,813	6,154
V_U	14,43	14,43	14,43	14,43
ϕV_C	66,94	66,94	66,94	66,94
Tul. Susut	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

10. Pelat dua arah pada lantai 1B tipe C (2450 × 4600).

	Tumpuan		Lapangan	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
d	105,00	95,00	105,00	95
x	83,0000	57,0000	40,0000	12,0000
M_U	6,8828	4,7267	3,3170	0,9951
k	0,6937	0,5819	0,3343	0,1225
ρ	0,0025	0,0021	0,0012	0,0004
ρ_{max}	0,0277	0,0277	0,0277	0,0277
A_S	264,51	200,22	126,36	41,69
$A_{S\ min}$	260,00	260,00	260,00	260,00
S	296,93	302,08	302,08	302,08
S_{max}	390,00	390,00	390,00	390,00
Tul. Pokok	D10-250	D10-300	D10-300	D10-300
$A_S\ aktual$	314,159	261,799	261,799	261,799
a	4,140	3,450	3,450	3,450
c	4,870	4,058	4,058	4,058
ϵ_t	0,062	0,067	0,075	0,067
ϕ	0,900	0,900	0,900	0,900
ϕM_n	8,149	6,154	6,813	6,154
V_U	14,43	14,43	14,43	14,43
ϕV_C	66,94	66,94	66,94	66,94
Tul. Susut	D8-150	D8-150	D8-150	D8-150

5.3. Perencanaan Tangga

Dimensi Tangga

Tinggi antar lantai (H) = 3500 mm

Lebar ruang tangga (L_1) = 3600 mm

Panjang ruang tangga (L_2) = 4600 mm

Tinggi anak tangga (O) = 175 mm

Lebar anak tangga (A) = 280 mm

Tebal pelat (t_p) = 130 mm

Lebar Bordes (L_3) = $\frac{1}{2} L_1 = \frac{1}{2} 3600 = 1800$ mm

Jumlah anak tangga (n) = $\frac{H}{O} = \frac{3500}{175} = 20$ buah

Sudut kemiringan tangga (α) = $\tan^{-1}\left(\frac{O}{A}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{175}{280}\right) = 32,01^\circ$

Panjang balok bordes = 4000 mm

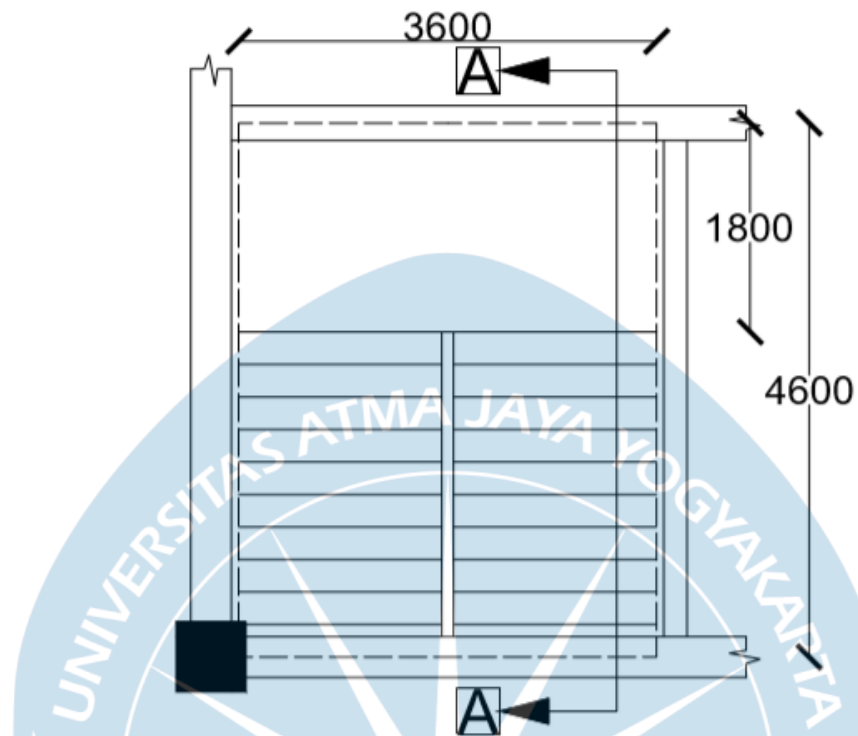
Tinggi balok bordes (h_b) = 400 mm

Lebar balok bordes (b_b) = 200 mm

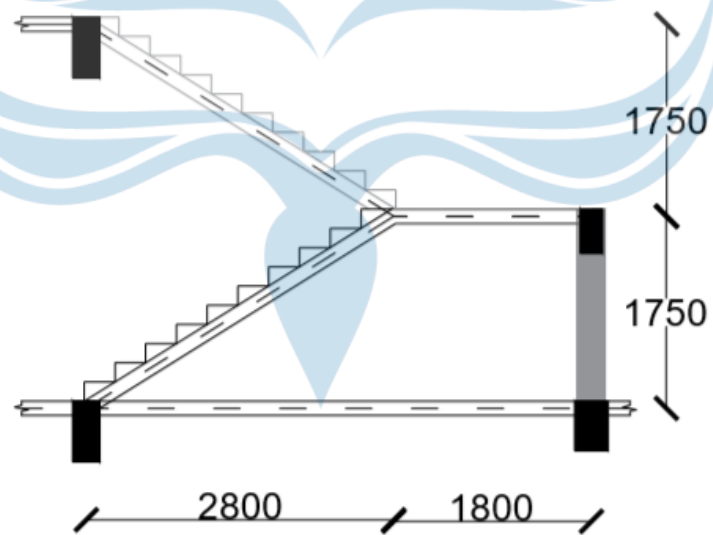
Panjang kolom bordes = 1750 mm

Tinggi kolom bordes (h_c) = 250 mm

Lebar kolom bordes (b_c) = 250 mm



Gambar 5.8. Denah Tangga A



Gambar 5.9. Potongan A-A Tangga A

5.3.1. Perancangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

1. Pembebanan pelat

Beban Mati Pelat tangga :

Pelat 130 mm	= (0,13) . (24) . (sec α)	= 3,612 kN/m ²
Anak tangga	= (0,175) . (24)	= 2,1 kN/m ²
Spesi	= (0,02) . (21)	= 0,42 kN/m ²
Pasir	= (0,03) . (16)	= 0,48 kN/m ²
Ubin	= (0,01) . (24)	= 0,24 kN/m ²
Railing		= 1 kN/m ²
	Total	= 7,852 kN/m ²

Beban Mati Pelat bordes :

Pelat 130 mm	= (0,13) . (24) . (sec α)	= 3,612 kN/m ²
Spesi	= (0,02) . (21)	= 0,42 kN/m ²
Pasir	= (0,03) . (16)	= 0,48 kN/m ²
Ubin	= (0,01) . (24)	= 0,24 kN/m ²
Railing		= 1 kN/m ²
	Total	= 5,743 kN/m ²

Beban hidup pelat tangga dan pelat bordes = 4,79 kN/m²

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan SAP2000, diperoleh momen maksimal dan gaya geser maksimal :

Tabel 5.12. Hasil Perhitungan Pelat Tangga dan Pelat Bordes dengan SAP2000

	M_{Umax}	V_{Umac}
Pelat tangga	46,41	37,78
Pelat bordes	46,41	38,33



Gambar 5.10. SFD Tangga

Gambar 5.11. BMD Tangga

Momen yang bekerja pada bagian tumpuan pelat diambil sebesar 0,5 dari momen maksimal, dan momen rencana pada bagian lapangan diambil sebesar 0,8 dari momen maksimal. Sehingga momen yang bekerja pada pelat tangga adalah :

Tabel 5.13. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Pelat Tangga dan Pelat Bordes

	M_{tU}	M_{lU}	V_{Umac}
Pelat tangga	22,71	36,33	37,78
Pelat bordes	22,71	36,33	38,33

2. Penulangan pelat tangga dan pelat bordes

Data perencanaan :

Digunakan tulangan D13 ($f_y = 280 \text{ MPa}$)

Tulangan susut D8 ($f_y = 280 \text{ MPa}$)

Kuat tekan beton (f_c') = 25 MPa

Selimit beton = 20 mm

$\phi_{\text{asumsi}} = 0,9$ (dianggap terkendali tarik)

$\beta_1 = 0,85$ ($f_c' < 28 \text{ MPa}$)

$d = t_p - t_{\text{selimit}} - \frac{1}{2} d_{\text{tulangan}}$

= 130 - 20 - $\frac{1}{2}$ 13

= 103,5 mm

a. Perhitungan tulangan tumpuan.

$$k = \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$= \frac{22,71 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 103,5^2}$$

$$= 2,355$$

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

$$= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,355}{0,85 \cdot 25}} \right)$$

$$= 0,00559$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \\ &= 0,018\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (dipakai } \rho = 0,006)$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00559 \cdot 1000 \cdot 103,5 \\ &= 616,86 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh > 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}A_{Smin} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 130 \\ &= 234 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s > A_{Smin}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_s .

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) \cdot 1000}{616,86} = 215,174 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D13-200.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{Saktual} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) \cdot 1000}{200} = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S\text{aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,661 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 13,117 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{13,117}{0,85} = 15,432 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(103,5-15,432)}{15,432} = 0,017$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_{S\text{aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 660,661 \cdot 420 \cdot \left(103,5 - \frac{13,117}{2} \right) \cdot 10^6 \\ &= 24,319 \text{ kNm} > M_{tU} \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

b. Perhitungan tulangan lapangan.

$$k = \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{36,33 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 103,5^2}$$

$$= 3,768$$

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

$$= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 3,768}{0,85 \cdot 25}} \right)$$

$$= 0,0995$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \\ &= 0,018\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (OK!)}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0995 \cdot 1000 \cdot 103,5 \\ &= 1029,825 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh > 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}A_{Smin} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 130 \\ &= 234 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s > A_{Smin}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_s .

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) \cdot 1000}{1029,825} = 128 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 3900 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D13-100.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{Saktual} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) \cdot 1000}{100} = 1327,323 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S_{aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1327,323 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 26,234 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{26,234}{0,85} = 30,864 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(103,5 - 30,864)}{30,864} = 0,007$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_{S_{aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 1327,323 \cdot 420 \cdot \left(103,5 - \frac{26,234}{2} \right) \cdot 10^{-6} \\ &= 45,348 \text{ kNm} > M_{U} \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

c. Cek terhadap geser.

Pelat tangga :

$$V_U < \phi V_c$$

$$36,852 \text{ kN} < \phi \cdot 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$36,852 \text{ kN} < 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 103,5 \cdot 10^{-3}$$

$$36,852 \text{ kN} < 65,981 \text{ kN (OK!)}$$

Pelat bordes :

$$V_U < \phi V_c$$

$$37,758 \text{ kN} < \phi \cdot 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$37,758 \text{ kN} < 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 103,5 \cdot 10^{-3}$$

$$37,758 \text{ kN} < 65,981 \text{ kN (OK!)}$$

d. Perhitungan tulangan susut.

Tulangan susut digunakam tulangan D8.

$$A_{s \min} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 = 260 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi (S)} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2\right) \cdot 1000}{260} = 193,33 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 5t_p = 5 \cdot 150 = 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{\max}$, maka tulangan yang dipakai D8-150.

5.3.2. Perancangan Balok Bordes

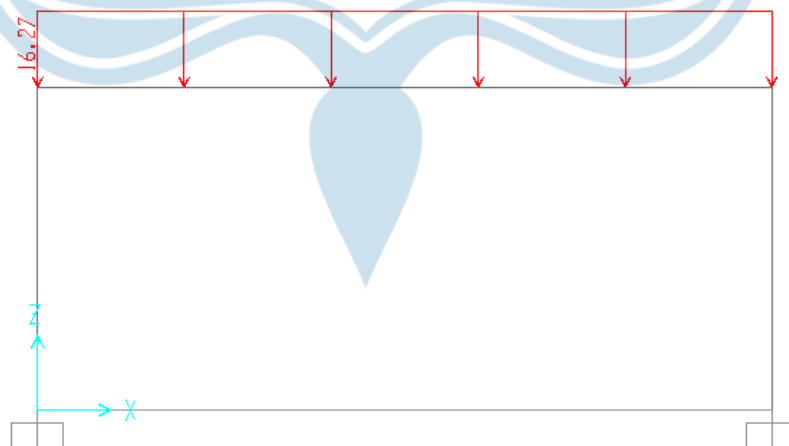
1. Pembebanan balok bordes :

Beban mati :

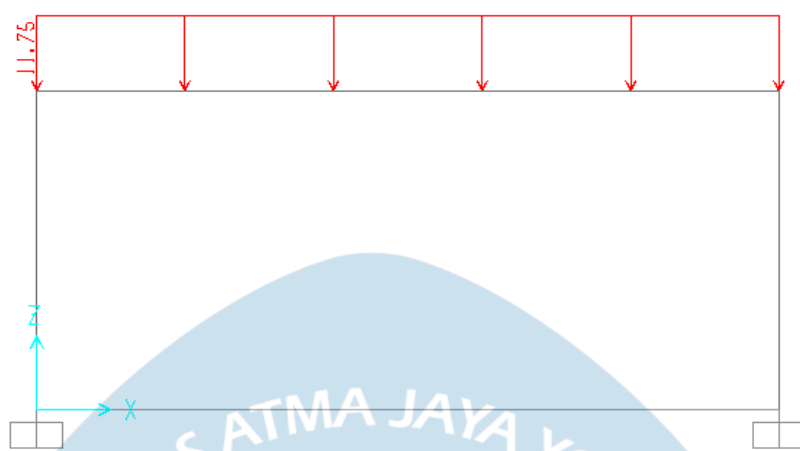
$$\text{Reaksi tumpuan} = 16,27 \text{ kN/m}^2$$

Beban hidup :

$$\text{Reaksi tumpuan} = 11,749 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 5.12. Beban Mati pada SAP2000



Gambar 5.13. Beban Hidup pada SAP2000

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan SAP2000, diperoleh momen maksimal dan gaya geser maksimal dari pelat tangga:

Tabel 5.14. Hasil Perhitungan Balok dan Kolom dengan SAP2000

	M_U	V_U
Tumpuan	50,38 kNm	81,17 kN
Lapangan	30,79 kNm	40,59 kN

2. Penulangan balok bordes.

Data perencanaan :

Tulangan utama digunakan D16 ($f_y = 420$ MPa)

Tulangan geser digunakan D10 ($f_y = 280$ MPa)

Kuat tekan beton (f_c') = 25 MPa

Selimut beton = 20 mm

$\phi_{asumsi} = 0,9$ (dianggap terkendali tarik)

$\beta_1 = 0,85$ ($f_c' < 28$ MPa)

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_{selimut} - d_{senggang} - \frac{1}{2} d_{tulangan} \\
 &= 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 16 \\
 &= 342 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

a. Perhitungan tulangan longitudinal pada bagian tumpuan

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{30,79 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 200 \cdot 342^2} \\
 &= 1,462 \\
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,462}{0,85 \cdot 25}} \right) \\
 &= 0,004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \\
 &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \\
 &= 0,018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \text{ atau } \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 420} \\
 &= 0,0033 \text{ atau } 0,003
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \text{ (maka } \rho = 0,004)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00609 \cdot 200 \cdot 332 = 416,646 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_s}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{416,646}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2\right)} = 2,07 \approx 3 \text{ buah}$$

Tulangan pokok tumpuan digunakan 3D16

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{200 - \left((40 \times 2) + (10 \times 2) + (16 \times 3)\right)}{2} = 28 \text{ mm}$$

$$S > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{s \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) = 3 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2\right) = 603,19 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{603,95 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200} = 59,61 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{59,61}{0,85} = 70,13 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(342-70,13)}{70,13} = 0,012$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,9 \cdot 603,19 \cdot 420 \cdot \left(342 - \frac{59,61}{2}\right) \cdot 10^{-6}$$

$$= 71,18 \text{ kNm} > M_{tu} \text{ (OK!)}$$

b. Perhitungan tulangan transversal daerah tumpuan.

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 200 \cdot 342 \cdot 10^{-3} \\ &= 58,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, faktor reduksi untuk geser $\phi = 0,75$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 58,14 \\ &= 43,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \phi V_c &= \frac{1}{2} \cdot 43,61 \\ &= 21,803 \text{ kN} \end{aligned}$$

$V_u > \phi V_c$, maka dibutuhkan tulangan geser.

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{81,17}{0,75} - 58,14 \\ &= 50,09 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{max} &= 0,66 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,66 \cdot \sqrt{25} \cdot 200 \cdot 342 \cdot 10^{-3} \\ &= 225,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

$V_s < V_{max}$ (Penampang balok memenuhi syarat)

Spasi tulangan geser tumpuan pada bagian tumpuan :

$$V_s < 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \text{ (112,72 kN)}$$

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 156,11 \text{ mm}^2$$

$$S_I = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_s} = \frac{156,11 \cdot 280 \cdot 342}{50,09 \cdot 10^3} = 300,32 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \cdot 342 = 171 \text{ mm}$$

$$S_3 = 600 \text{ mm}$$

Maka tulangan yang digunakan pada tulangan tumpuan yang lebih dari 800 mm dari muka tumpuan adalah D10-75.

c. Perhitungan tulangan longitudinal daerah lapangan.

$$k = \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$= \frac{50,38 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 200 \cdot 342^2}$$

$$= 2,393$$

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

$$= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,393}{0,85 \cdot 25}} \right)$$

$$= 0,006$$

$$\rho_{max} = 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y}$$

$$= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420}$$

$$= 0,018$$

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \text{ atau } \frac{\sqrt{25}}{4 \cdot 420} \\ &= 0,0033 \text{ atau } 0,003\end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \text{ (maka } \rho = 0,004)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 200 \cdot 342 = 414,54 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_s}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{414,54}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2\right)} = 2,06 \approx 3 \text{ buah}$$

Tulangan pokok tumpuan digunakan 3D16.

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{200 - ((40 \times 2) + (10 \times 2) + (16 \times 3))}{2} = 26 \text{ mm}$$

$$S > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{s \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) = 3 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2\right) = 603,19 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{603,19 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200} = 59,61 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{59,61}{0,85} = 70,13 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(342-70,13)}{70,13} = 0,012$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 603,19 \cdot 420 \cdot \left(342 - \frac{59,61}{2} \right) \cdot 10^{-6} \\
 &= 71,18 \text{ kNm} > M_{lU} \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan tulangan transversal daerah lapangan.

$$V_U = 40,59 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 200 \cdot 342 \cdot 10^{-3} \\
 &= 58,14 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, faktor reduksi untuk geser $\phi = 0,75$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \cdot 58,14 \\
 &= 43,61 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

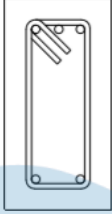
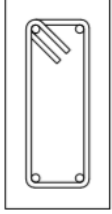
$V_U < \phi V_c$, maka tidak dibutuhkan tulangan geser namun tetap dipasang

tulangan geser dengan spasi $\frac{d}{2}$

$$S = \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$$

Maka tulangan geser pada daerah lapangan adalah D10-150.

Tabel 5.15. Detali Penulangan Balok Bordes

	Tumpuan	Lapangan
Gambar		
Dimensi	400 × 200	
Tul. Longitudinal	3D16	2D16
Tul. Transversal	D10-150	D10-150

5.3.3. Perancangan Kolom Tangga

Tulangan utama digunakan D19 ($f_y = 420$ MPa)

Tulangan utama digunakan D10 ($f_y = 280$ MPa)

Kuat tekan beton (f_c') = 25 MPa

Selimut beton = 40 mm

$\phi_{asumsi} = 0,9$ (dianggap terkendali tarik)

$\beta_1 = 0,85$ ($f_c' < 28$ MPa)

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_{selimut} - d_{senggang} - \frac{1}{2} d_{tulangan} \\
 &= 250 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 19 \\
 &= 190,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

1. Perhitungan Tulangan Longitudinal

Perhitungan tulangan longitudinal untuk kolom menggunakan aplikasi IKOLAT untuk memeriksa rasio penulangan sesuai dengan hasil analisis struktur.

$$P_U = 84,26 \text{ kN}$$

$$M_U = 30,79 \text{ kNm}$$

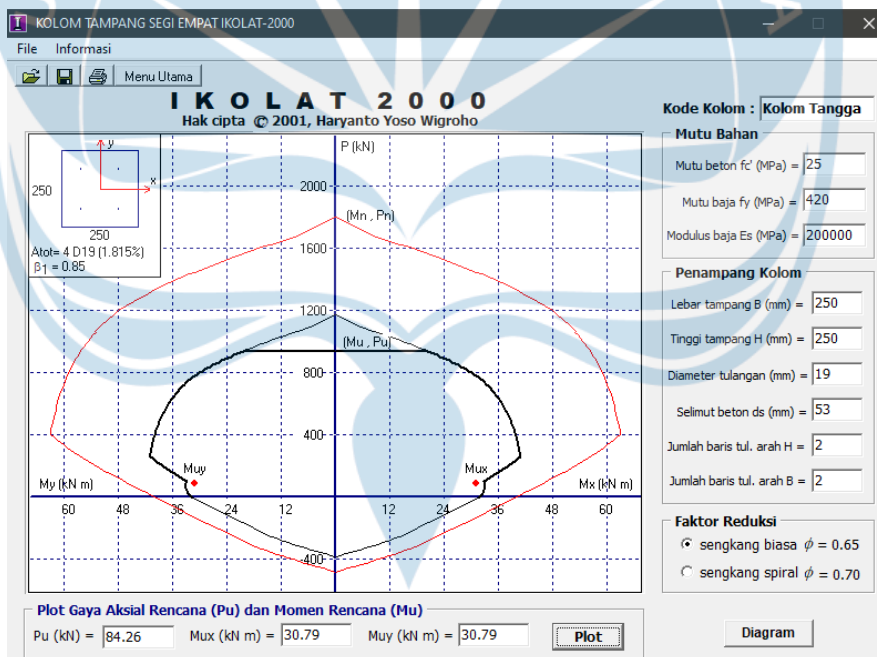
$$\rho = 0,01 \text{ (asumsi)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \rho \cdot b \cdot h \\
 &= 0,01 \cdot 250 \cdot 250 \\
 &= 625 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D19

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{st}}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} \\
 &= \frac{625}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2} \\
 &= 2,20 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan 8D22



Gambar 5.14. Diagram Interaksi Kolom dengan Ikolat2000

Cek spasi tulangan :

$$S = \frac{250 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 10 - 3 \cdot 22}{2} = 42 > 40 \text{ mm (OK!)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.6.1.1. menyatakan bahwa rasio tulangan tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,08.

$$\begin{aligned}\rho_{\text{aktual}} &= \frac{n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2}{b \cdot h} \\ &= \frac{4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2}{250 \cdot 250} \\ &= 0,018 < 0,08 \text{ (OK!)}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Tulangan Transversal

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{81,17}{14 \cdot 250 \cdot 250}\right) \sqrt{25} \cdot 250 \cdot 187,5 \cdot 10^{-3} \\ &= 39,85 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, faktor reduksi untuk geser $\phi = 0,75$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \cdot 39,85 \\ &= 29,89 \text{ kN} \\ \frac{1}{2} \phi V_c &= \frac{1}{2} \cdot 29,89 \\ &= 14,94 \text{ kN}\end{aligned}$$

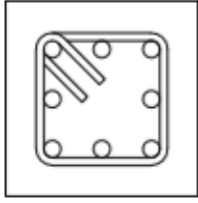
$V_u < \phi V_c$, maka tidak dibutuhkan tulangan geser. Namun tetap dipasang

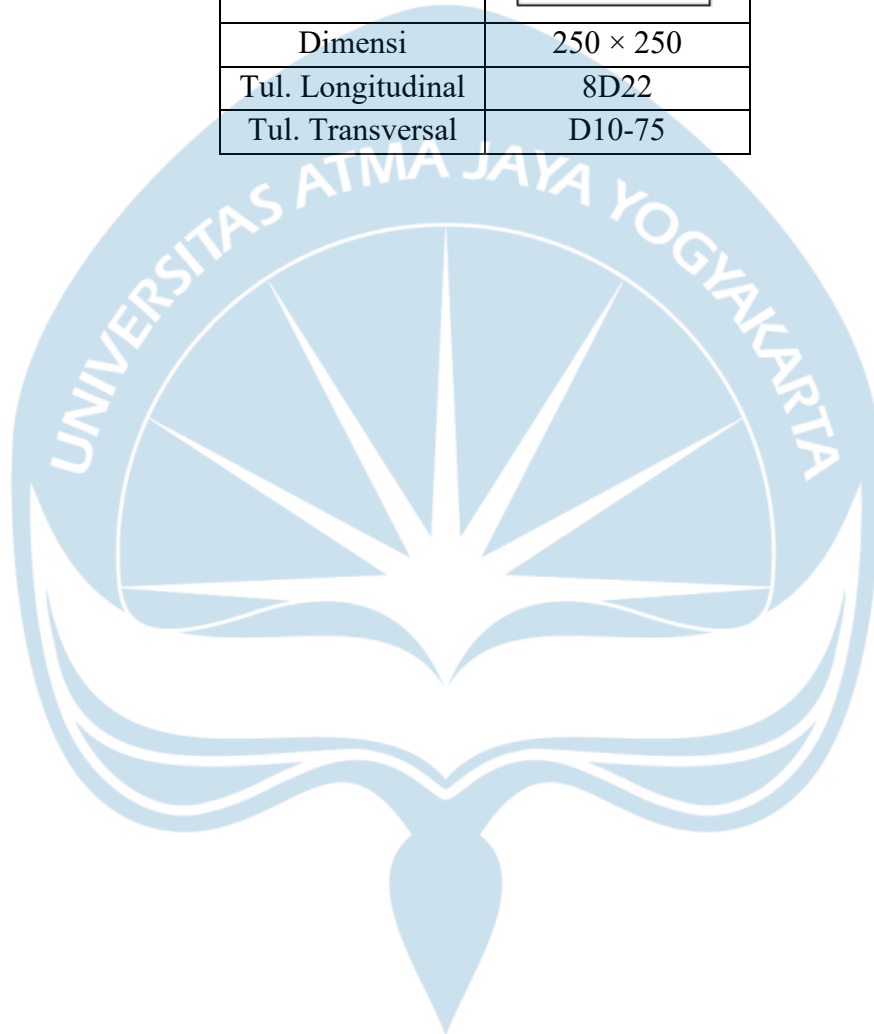
tulangan geser dengan spasi $\frac{d}{2}$.

$$S = \frac{d}{2} = \frac{187,5}{2} = 93,75 \text{ kN}$$

Maka tulangan geser pada daerah lapangan adalah D10-75.

Tabel 5.16. Detail Penulangan Kolom Tangga

Gambar	
Dimensi	250 × 250
Tul. Longitudinal	8D22
Tul. Transversal	D10-75



5.4. Perencanaan Tribun

Data perencanaan :

$$L_1 = 6400 \text{ mm}$$

$$L_2 = 13200 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi antar lantai } (H) = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar tribun } (A) = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi tribun } (O) = 437,5 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat tribun } (t_p) = 150 \text{ mm}$$

Dimensi balok tribun :

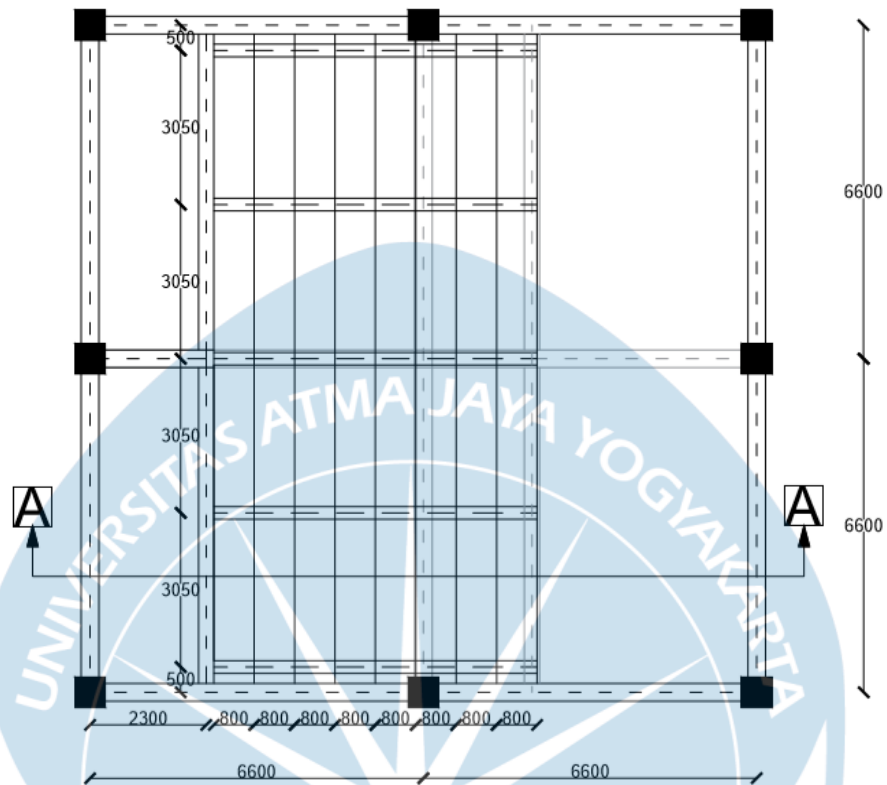
1. Tinggi balok (h) = 600 mm

2. Lebar balok (b) = 300 mm

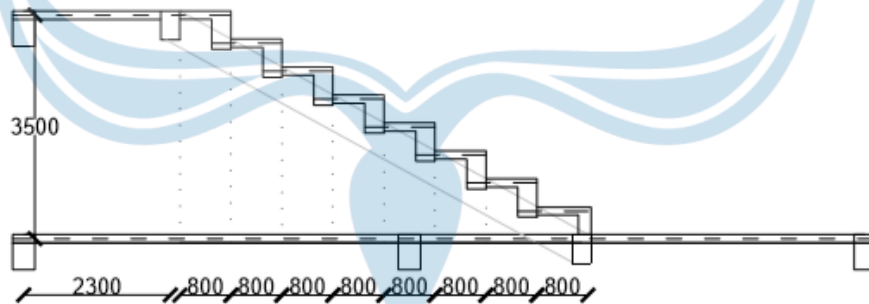
Dimensi balok miring

1. Tinggi balok (h) = 500 mm

2. Lebar balok (b) = 300 mm



Gambar 5.15. Denah Tribun



Gambar 5.16. Potongan A-A

5.4.1. Perancangan Pelat Tribun

1. Pembebanan pelat tribun

Beban mati pelat tribun :

$$\text{Pelat 130 mm} = (0,13) \cdot (24) \cdot (\sec \alpha) = 3,612 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = (0,02) \cdot (21) = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasir} = (0,03) \cdot (16) = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ubin} = (0,01) \cdot (21) = 0,21 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total} = 4,77 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup pelat tangga dan pelat bordes} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

2. Perhitungan momen pelat dengan kombinasi beban

$$Q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$= 1,2 \cdot 4,77 + 1,6 \cdot 4,79$$

$$= 13,39 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} Q_u \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 13,39 \cdot 0,8^2$$

$$= 1,071 \text{ kNm}$$

3. Penulangan pelat tribun

Tulangan utama D10 ($f_y = 280 \text{ MPa}$)

Tulangan susut D8 ($f_y = 280 \text{ MPa}$)

Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Selimut beton = 20 mm

$\phi_{asumsi} = 0,9$ (dianggap terkendali tarik)

$$\beta_1 = 0,85 \quad (f_c' < 28 \text{ MPa})$$

$$\begin{aligned} d &= t_p - t_{selimut} - \frac{1}{2} d_{ulangan} \\ &= 150 - 20 - \frac{1}{2} 10 \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

a. Perhitungan tulangan tumpuan dan lapangan.

$$\begin{aligned} k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{1,071 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 1000 \cdot 125^2} \\ &= 0,1033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,1033}{0,85 \cdot 25}} \right) \\ &= 0,00037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{280} \\ &= 0,018 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (dipakai } \rho = 0,006)$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00037 \cdot 1000 \cdot 125 \\ &= 38,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh < 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} A_{S \min} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_S < A_{S \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{S \min}$.

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{260} = 302,08 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3t_p = 3 \cdot 130 = 390 \text{ mm}$$

$S < S_{\max}$, maka tulangan yang dipakai D13-300.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2\right) \cdot 1000}{300} = 261,80 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{261,80 \cdot 280}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 3,45 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,45}{0,85} = 4,06 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(125-4,06)}{4,06} = 0,07$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 261,80 \cdot 280 \cdot \left(125 - \frac{3,45}{2} \right) \cdot 10^6 \\
 &= 6,81 \text{ kNm} > M_U \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

b. Cek terhadap geser.

$$\begin{aligned}
 V_U &< \phi V_c \\
 \frac{1}{2} \cdot Q_U \cdot L &< \phi \cdot 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 \frac{1}{2} \cdot 13,39 \cdot 0,8 &< 0,75 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 125 \cdot 10^{-3} \\
 3,18 \text{ kN} &< 65,981 \text{ kN (OK!)}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan tulangan susut.

Tulangan susut digunakam tulangan D8.

$$A_{S \min} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 130 = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 \right) \cdot 1000}{260} = 193,33 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 5t_p = 5 \cdot 150 = 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{\max}$, maka tulangan yang dipakai D8-150.

5.4.2. Perencanaan Balok Tribun

1. Pembebanan Balok Tribun

$$\text{Pelat } 130 \text{ mm} = (0,6) \cdot (0,3) \cdot (24) = 3,612 \text{ kN/m}$$

$$\text{Reaksi tumpuan} = 2 \times 5,355 = 10,71 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2 \cdot 3,612 + 10,72 \\
 &= 15,895 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan momen pelat dengan kombinasi beban

Balok ujung

$$\begin{aligned}
 Mt_U &= \frac{1}{16} Q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{16} \cdot 15,895 \cdot 3,05^2 \\
 &= 9,241 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ml_U &= \frac{1}{14} Q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{14} \cdot 15,895 \cdot 3,05^2 \\
 &= 10,561 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mt_U &= \frac{1}{10} Q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 15,895 \cdot 3,05^2 \\
 &= 14,786 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Balok ke-2 dan ke-3

$$\begin{aligned}
 Mt_U &= \frac{1}{10} Q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{10} \cdot 15,895 \cdot 3,05^2 \\
 &= 14,786 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ml_U &= \frac{1}{16} Q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{16} \cdot 15,895 \cdot 3,05^2 \\
 &= 9,241 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mt_U &= \frac{1}{11} Q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{11} \cdot 15,895 \cdot 3,05^2 \\
 &= 13,442 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3. Penulangan Balok Tribun

Tulangan utama D13 ($f_y = 420 \text{ MPa}$)

Tulangan susut D10 ($f_y = 280 \text{ MPa}$)

Mutu beton (f_c') = 25 MPa

Selimut beton = 40 mm

$\phi_{asumsi} = 0,9$ (dianggap terkendali tarik)

$\beta_1 = 0,85$ ($f_c' < 28 \text{ MPa}$)

$d = t_p - t_{selimut} - d_{senggang} - \frac{1}{2} d_{tulangan}$

$$= 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 13$$

$$= 543,5 \text{ mm}$$

a. Tulangan longitudinal tumpuan balok ujung.

Diambil momen tumpuan terbesar (14,786 kNm)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{14,786 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 543,5^2} \\
 &= 0,185
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,185}{0,85 \cdot 25}} \right) \\ &= 0,00044\end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} = \frac{\sqrt{25}}{420} = 0,00298$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \\ &= 0,018\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{min} \text{ (digunakan } \rho = 0,0033)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0033 \cdot 300 \cdot 543,5 = 543,5 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh > 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 300 \cdot 600 \\ &= 324 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s > A_{s \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_s .

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_s}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{543,5}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right)} = 4,095 \approx 5 \text{ buah}$$

Tulangan pokok tumpuan digunakan 5D13

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{200 - ((40 \times 2) + (10 \times 2) + (13 \times 5))}{4} = 33,75 \text{ mm}$$

$S > 25 \text{ mm (OK!)}$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{s \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) = 5 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,66 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 43,724 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{43,724}{0,85} = 51,44 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d - c)}{c} = 0,003 \frac{(342 - 70,13)}{70,13} = 0,03$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,9 \cdot 663,661 \cdot 420 \cdot \left(342 - \frac{43,724}{2}\right) \cdot 10^{-6}$$

$$= 130,861 \text{ kNm} > M_{tU} \text{ (OK!)}$$

b. Tulangan transversal tumpuan.

$$\begin{aligned} V_U &= \frac{1}{2} \cdot Q_U \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 15,895 \cdot 3,05 \\ &= 24,239 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 543,5 \cdot 10^{-3} \\ &= 138,59 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, faktor reduksi untuk geser $\phi = 0,75$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 138,59 \\ &= 103,944 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \phi V_c &= \frac{1}{2} \cdot 103,944 \\ &= 51,972 \text{ kN} \end{aligned}$$

$V_U < \phi V_c$, maka tidak dibutuhkan tulangan geser tapi tetap ditambah dengan spasi maksimum.

$$S_2 = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \cdot 543,5 = 271,75 \text{ mm}$$

$$S_3 = 600 \text{ mm}$$

Maka tulangan yang digunakan adalah D10-250.

c. Tulangan longitudinal lapangan.

$$\begin{aligned} k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{10,561 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 543,5^2} \\ &= 0,116 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,116}{0,85 \cdot 25}} \right) \\ &= 0,00028\end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} = \frac{\sqrt{25}}{420} = 0,00298$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \\ &= 0,018\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{min} \text{ (digunakan } \rho = 0,0033)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0033 \cdot 300 \cdot 543,5 = 543,5 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh > 420 , maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 300 \cdot 600 \\ &= 324 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s > A_{s \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_s .

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_s}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{543,5}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right)} = 4,095 \approx 5 \text{ buah}$$

Tulangan pokok tumpuan digunakan 5D13

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{200 - ((40 \times 2) + (10 \times 2) + (13 \times 5))}{4} = 33,75 \text{ mm}$$

$S > 25 \text{ mm (OK!)}$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{s \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) = 5 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{663,66 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 300} = 43,724 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{43,724}{0,85} = 51,44 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d - c)}{c} = 0,003 \frac{(342 - 70,13)}{70,13} = 0,03$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,9 \cdot 663,661 \cdot 420 \cdot \left(342 - \frac{43,724}{2}\right) \cdot 10^{-6}$$

$$= 130,861 \text{ kNm} > M_{tU} \text{ (OK!)}$$

d. Tulangan transversal tumpuan.

$$\begin{aligned} V_U &= \frac{1}{4} \cdot Q_U \cdot L \\ &= \frac{1}{4} \cdot 15,895 \cdot 3,05 \\ &= 12,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 300 \cdot 543,5 \cdot 10^{-3} \\ &= 138,59 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, faktor reduksi untuk geser $\phi = 0,75$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 138,59 \\ &= 103,944 \text{ kN} \end{aligned}$$

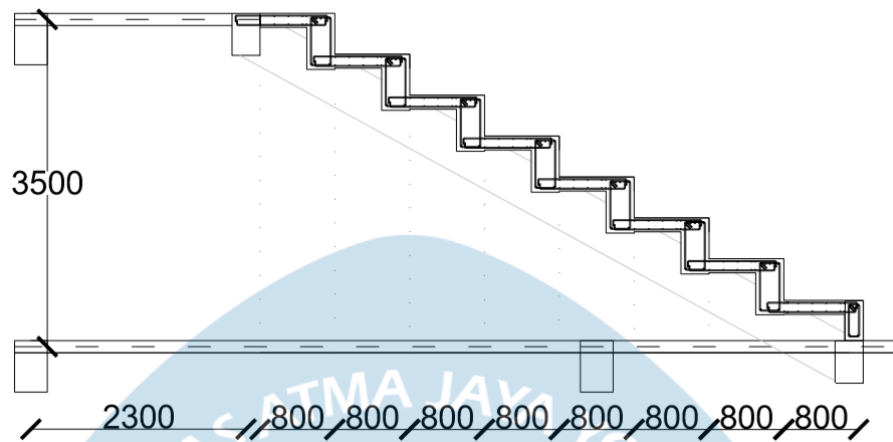
$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \phi V_c &= \frac{1}{2} \cdot 103,944 \\ &= 51,972 \text{ kN} \end{aligned}$$

$V_U < \phi V_c$, maka tidak dibutuhkan tulangan geser tapi tetap ditambah dengan spasi maksimum.

$$S_2 = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} \cdot 543,5 = 271,75 \text{ mm}$$

$$S_3 = 600 \text{ mm}$$

Maka tulangan yang digunakan adalah D10-250.

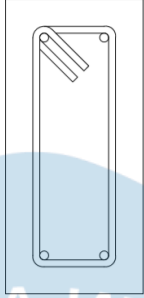
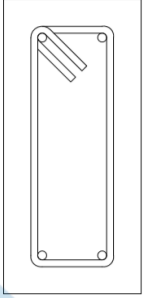


Gambar 5.17. Detail Penulangan Tribun

Tabel 5.17. Detail Penulangan Balok Tribun 1

	Tumpuan	Lapangan
BT-1		
Dimensi	600 × 300	600 × 300
Tul. Longitudinal	5D13	5D13
Tul. Transversal	D10-250	D10-250

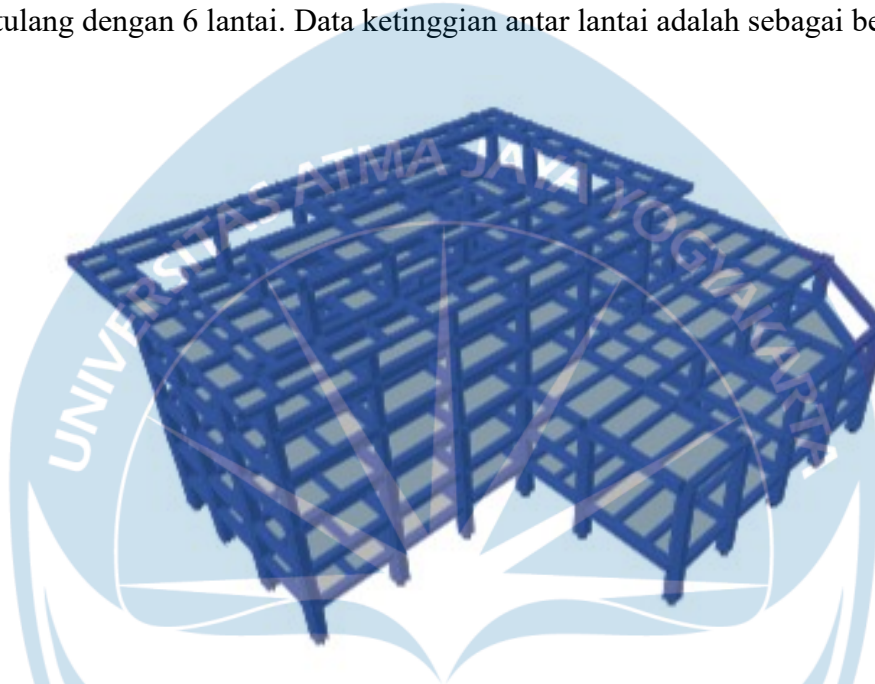
Tabel 5.18. Detail Penulangan Balok Tribun 2

	Tumpuan	Lapangan
BT-2		
Dimensi	430 × 200	430 × 200
Tul. Longitudinal	2D13	2D13
Tul. Transversal	D10-250	D10-250

5.5. Pemodelan Struktur

5.5.1. Model Struktur

Model struktur yang dipakai dalam perencanaan adalah struktur beton bertulang dengan 6 lantai. Data ketinggian antar lantai adalah sebagai berikut:



Gambar 5.18. Model Struktur

Tabel 5.19. Data Ketinggian Bangunan

Lantai	Tinggi (m)	Elevasi (m)
Roof	4,00	+ 23,40
Lantai 4	4,00	+ 19,40
Lantai 3	4,00	+ 15,40
Lantai 2	4,00	+ 11,40
Lantai 1A	4,40	+ 7,00
Lantai 1B	3,50	+ 3,50
Base	3,50	+0,00

5.5.2. Dimensi Struktur

Dimensi struktur yang dipakai pada perancangan tugas akhir adalah sebagai berikut :

Tabel 5.20. Dimensi Kolom

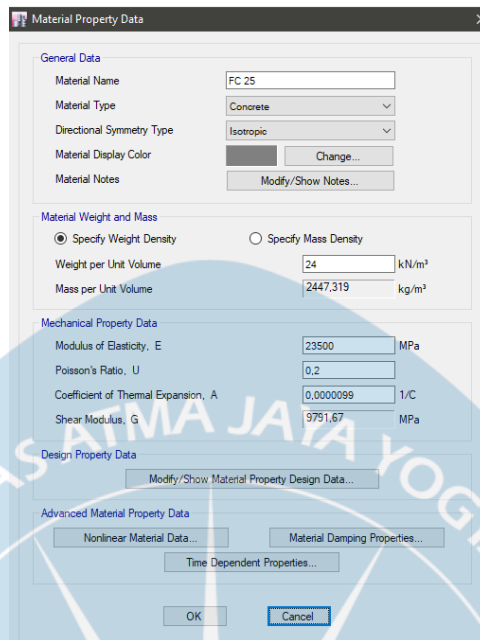
No.	Kode	Dimensi	
		h (mm)	b (mm)
1.	K1	800	800
2.	K2	700	700

Tabel 5.21. Dimensi Balok

No.	Kode	Dimensi	
		h (mm)	b (mm)
1.	B1	800	500
2.	B2	700	450
3.	BA1	550	300
4.	BA2	450	300
5.	BA3	400	250
6.	BK1	600	400
7.	BT1	900	700
8.	BT2	500	300
9.	BT3	1000	700

5.5.3. Input Material pada ETABS

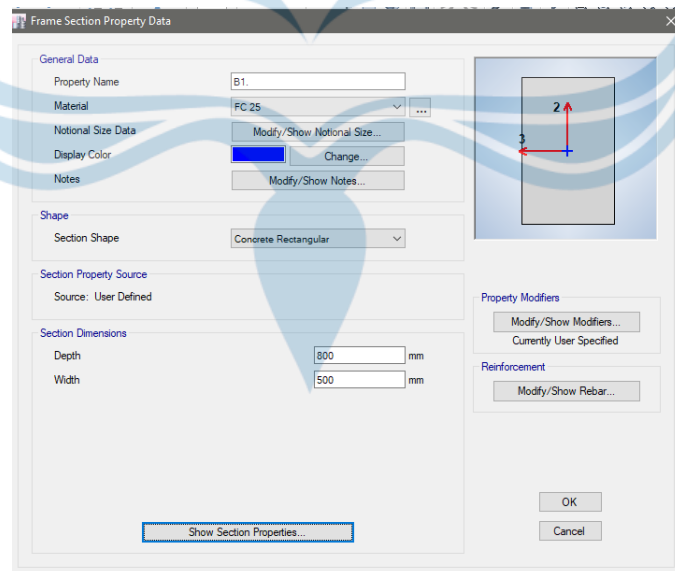
Mutu beton yang digunakan pada perancangan gedung ini adalah $f_c' = 25$ MPa, engan mutu tulangan $f_y = 280$ MPa untuk tulangan dengan diameter tulangan lebih kecil dari 13 mm dan $f_y = 420$ MPa dengan diameter tulangan lebih besar sama dengan 13 mm. Nilai modulus beton $E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 23500$ MPa



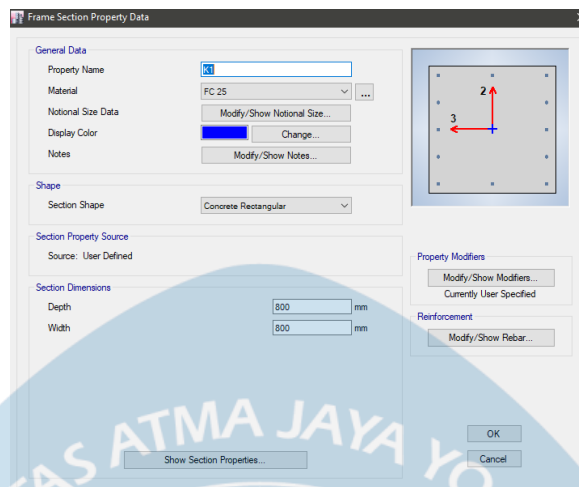
Gambar 5.19. Material Beton Bertulang

5.5.4. Balok, Kolom dan Pelat

Dimensi balok, kolom dan pelat pada ETABS dibuat seperti pada gambar.

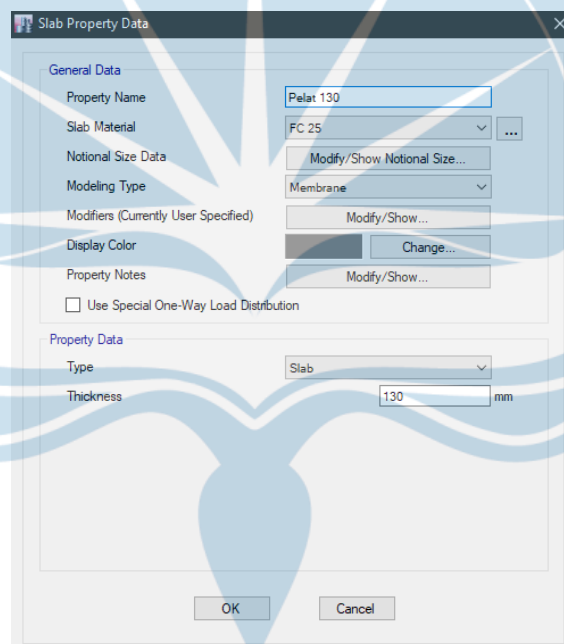


Gambar 5.20. Dimensi Balok



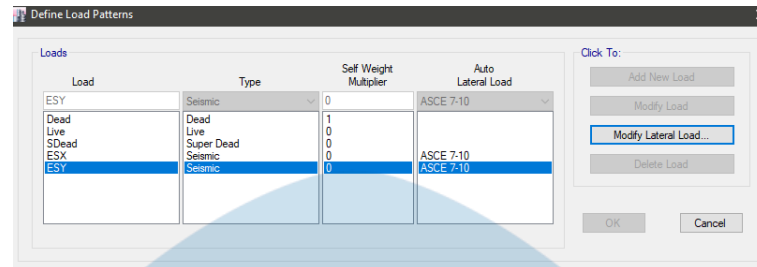
Gambar 5.21. Dimensi Kolom

Pelat lantai dimodelkan sebagai *membrane* dengan ketebalan 130 mm.



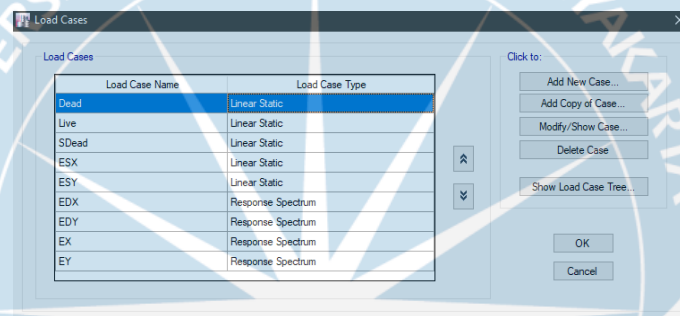
Gambar 5.22. Model Pelat Lantai

5.5.5. Load patterns



Gambar 5.23. Load Patterns

5.5.6. Load case



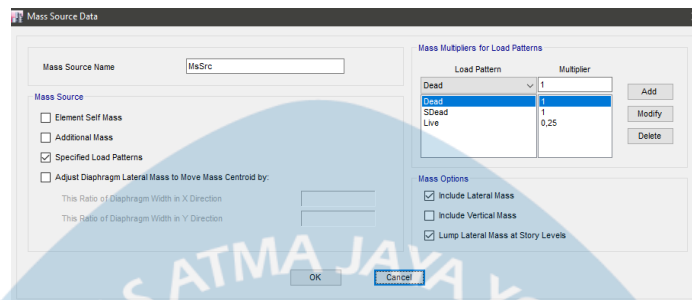
Gambar 5.24. Load Cases

Keterangan :

- Dead : Beban mati yang dihitung secara otomatis pada *software* ETABS.
- Live : Beban hidup tambahan yang diinput pada *software* ETABS.
- SDead : Beban mati tambahan yang diinput pada *software* ETABS.
- ESX : Beban gempa statik arah X.
- ESY : Beban gempa statik arah Y.
- EDX : Beban gempa dinamik sebelum dikali faktor pembesaran gaya geser gempa arah X.
- EDY : Beban gempa dinamik sebelum dikali faktor pembesaran gaya geser gempa arah X.
- EX : Beban gempa dinamik setelah dikali faktor pembesaran gaya geser gempa arah X.
- EY : Beban gempa dinamik setelah dikali faktor pembesaran gaya geser gempa arah X.

5.5.7. Mass Source

Mass source yang digunakan pada perencanaan ini adalah sebagai berikut:



Gambar 5.25. *Mass Source*

5.6. Perhitungan Beban Gempa

5.6.1. Menentukan Kelas Situs Tanah

Kelas situs tanah pada perencanaan kali ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan SPT.

Tabel 5.22. Penentuan Kelas Situs Tanah

Kedalaman (m)	Tebal (d) (m)	N-SPT	$N' = \frac{d}{N - SPT}$	$\bar{N} = \frac{\sum d}{\sum N'}$
2,00	2,00	3,00	0,67	8,95
4,00	2,00	3,00	0,67	
6,00	2,00	5,00	0,40	
8,00	2,00	6,00	0,33	
10,00	2,00	8,00	0,25	
12,00	2,00	9,00	0,22	
14,00	2,00	11,00	0,18	
16,00	2,00	18,00	0,11	
18,00	2,00	18,00	0,11	
20,00	2,00	34,00	0,06	
22,00	2,00	36,00	0,06	
24,00	2,00	25,00	0,08	
26,00	2,00	25,00	0,08	
28,00	2,00	28,00	0,07	
30,00	2,00	32,00	0,06	

Dari perhitungannya didapatkan nilai tes penetrasi standar rata-rata ekuivalen, $\bar{N} = 8,95$. Menurut SNI 1726:2019 tabel 5, kelas situs lokasi pembangunan adalah kelas situs E (Tanah lunak).

5.6.2. Menentukan nilai S_s dan S_1

Gedung dalam perancangan kali ini terletak di kota Samarinda, Kalimantan Timur. Dengan menggunakan aplikasi RSA2019, maka diperoleh nilai $S_s = 0,118927g$ dan $S_1 = 0,096757g$.

5.6.3. Menentukan nilai F_a dan F_v

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 6 dan tabel 7, untuk nilai $S_s = 0,118927g$ dengan kelas situs E didapatkan nilai $F_a = 2,4$ dan untuk nilai $S_1 = 0,096757g$ didapatkan nilai $F_v = 4,2$.

5.6.4. Menentukan nilai S_{MS} dan S_{M1}

Menurut SNI 1726:2019 pasal 6.2, nilai S_{MS} dan S_{M1} dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 2,4 \times 0,118927 = 0,2854 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 4,2 \times 0,096757 = 0,4063 \text{ g}$$

5.6.5. Menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1}

Menurut SNI 1726:2019 pasal 6.3, nilai S_{MS} dan S_{M1} dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} 0,2854 = 0,1903 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} 0,4063 = 0,2709 \text{ g}$$

5.6.6. Faktor Keamanan dan Kategori Resiko

Pemanfaatan gedung yang direncanakan ini adalah gedung sekolah. Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 3 dan tabel 4, gedung ini termasuk dalam kategori resiko IV dengan faktor keutamaan $I_e = 1,5$.

5.6.7. Kategori Desain Seismik (KDS)

Kategori desain seismik ditentukan berdasarkan S_{DS} dan S_{D1} . Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 8 dan tabel 9, dengan S_{DS} 0,1903 g dan $S_{D1} = 0,2709$ g termasuk dalam kategori desain seismik D (KDS D).

5.6.8. Sistem struktut dan Parameter Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 12, dengan KDS D dan sistem penahan gaya seismik berupa sistem rangkan pemikul momen khusus, maka didapat nilai :

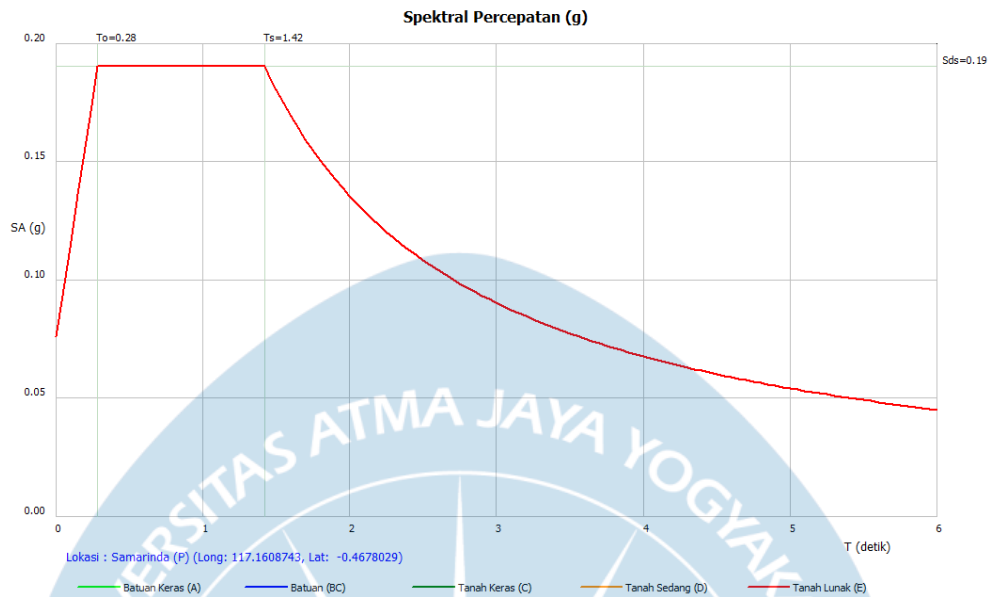
$$R = 8 \quad ; \quad \Omega_0 = 3 \quad ; \quad C_d = 5,5$$

5.6.9. Desain Respon Spektrum

Dengan menggunakan aplikasi RSA2019, diperoleh nilai $T_0 = 0,285$ detik dan $T_s = 1,424$ detik.

Tabel 5.23. Desain Respon Spektrum

T (detik)	S _a (g)
0,000	0,0761
0,285	0,1903
1,424	0,1903
1,50	0,1806
1,75	0,1548
2,00	0,1355
2,25	0,1204
2,50	0,1084
2,75	0,0985
3,00	0,0903
3,25	0,0834
3,50	0,0774
3,75	0,0722
4,00	0,0677
4,25	0,0637
4,50	0,0602
4,75	0,057
5,00	0,0542
5,25	0,0516
5,50	0,0493
5,75	0,0471
6,00	0,0452



(sumber : RSA2019)

Gambar 5.26. Grafik Desain Respon Spektrum**5.6.10. Periode Fundamental**

Dari hasil analisis menggunakan *software* ETABS, didapatkan periode getar alami sebagai berikut :

$$T_{cx} = 0,916 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 1,058 \text{ detik}$$

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.1, periode fundamental dengan menggunakan rumus pendekatan (T_a) dihitung menggunakan persamaan $T_a = C_t \cdot h_n^x$. Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel , nilai $C_t = 0,0446$; nilai $x = 0,9$ dan nilai $C_u = 1,4$.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0446 \cdot 23,4^{0,9} = 0,796 \text{ detik}$$

Periode fundamental maksimum yang diijinkan adalah :

$$T_{max} = C_u \cdot T_a = 1,5 \cdot 0,796 = 1,137 \text{ detik}$$

Apabila periode fundamental yang dihitung melebihi nilai T_{max} , maka T_{max} harus digunakan sebagai pengganti nilai T . Maka periode yang digunakan adalah :

$$T_x = 0,916 \text{ detik}$$

$$T_y = 1,058 \text{ detik}$$

5.6.11. Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1, koefisien respon seismik ditentukan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} = \frac{0,1903}{8/1,5} = 0,0357$$

Untuk $T > T_s$, maka :

$$C_{sx} = \frac{S_{D1}}{T_y \cdot R/I_e} = \frac{0,2709}{0,916 \cdot 8/1,5} = 0,0555$$

$$C_{sy} = \frac{S_{D1}}{T_x \cdot R/I_e} = \frac{0,2709}{1,058 \cdot 8/1,5} = 0,0480$$

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,1903 \cdot 1,5 = 0,0125 > 0,001$$

$$C_{s \min} = 0,0125$$

$$C_{s \min} < C_s < C_{sx} \text{ dan } C_{sy}$$

Maka nilai koefisien respon seismik untuk arah x dan arah y adalah $C_s = 0,0357$.

Nilai eksponen k berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.3, dapat menggunakan persamaan berikut :

$$k_x = 0,5T + 0,75 = 0,5(0,916) + 0,75 = 1,208$$

$$k_y = 0,5T + 0,75 = 0,5(1,058) + 0,75 = 1,279$$

5.6.12. Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Berdasarkan hasil analisis ETABS, jumlah partisipasi massa sebesar 100% berada pada mode ke-22.

Tabel 5.24. Partisipasi Massa

Mode	Periode	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY
1	1,058	0,0222	0,4577	0,2314	0,0222	0,4577
2	0,916	0,5586	0,0358	0,0040	0,5808	0,4935
3	0,682	0,0091	0,1427	0,3215	0,5899	0,6362
4	0,374	0,0483	0,1025	0,1153	0,6382	0,7387
5	0,36	0,1183	0,0594	0,0113	0,7565	0,7982
6	0,344	0,0430	0,0085	0,1009	0,7995	0,8066
7	0,193	0,0515	0,0421	0,0001	0,851	0,8488
8	0,191	0,0469	0,0369	0,0030	0,8979	0,8856
9	0,175	0,0018	0,0064	0,0813	0,8997	0,8921
10	0,136	0,0117	0,0390	0,0337	0,9114	0,931
11	0,133	0,0415	0,0132	0,0000	0,9529	0,9442
12	0,122	0,0017	0,0044	0,0412	0,9545	0,9486
13	0,091	0,0017	0,0055	0,0003	0,9562	0,9541
14	0,089	0,0053	0,0014	0,0002	0,9615	0,9555
15	0,083	0,0000	0,0018	0,0061	0,9616	0,9573
16	0,069	0,0055	0,0294	0,0193	0,967	0,9867
17	0,066	0,0243	0,0104	0,0029	0,9913	0,9971
18	0,06	0,0080	0,0015	0,0256	0,9993	0,9986
19	0,048	0,0000	0,0000	0,0000	0,9993	0,9986
20	0,048	0,0000	0,0014	0,0001	0,9993	1
21	0,047	0,0000	0,0000	0,0000	0,9993	1
22	0,045	0,0007	0,0000	0,0018	1	1

5.6.13. Gaya Geser Seismik

Dari hasil analisis ETABS, berat bangunan adalah 69387,14 kN. Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.1, gaya geser seismik ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V = W \cdot C_s = 69378,14 \cdot 0,0357 = 2475,53 \text{ kN}$$

Dari hasil analisis respon spektrum diperoleh gaya geser yang diakibatkan oleh beban gempa dinamik adalah sebagai berikut :

1. Gaya geser dinamik SPEC-X

$$V_{ix} = 1510,76 \text{ kN}$$

$$V_{iy} = 372,65 \text{ kN}$$

2. Gaya geser dinamik SEPC-Y

$$V_{ix} = 372,65 \text{ kN}$$

$$V_{iy} = 1322,47 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1, bila kombinasi respon seismik untuk geser dasar ragam (V_i) kurang dari gaya geser yang dihitung (V) menggunakan prosedur lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan V/V_i .

Hasil yang didapat menunjukkan V_i lebih kecil dari gaya geser yang dihitung (V).

Tabel 5.25. Gaya Geser Desain Seismik

Beban Gempa	Statik (V)	Dinamik (V_i)	Angka koreksi $\left(\frac{V}{V_i}\right)$	Dinamik Koreksi $V_i \times \left(\frac{V}{V_i}\right)$
Arah X	2475,53 kN	1510,76 kN	1,6386	2475,53 kN
Arah Y	2475,53 kN	1322,47 kN	1,8719	2475,53 kN

5.6.14. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi dibagi menjadi dua yaitu ketidakberaturan torsi 1a dan ketidakberaturan torsi 1b. Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 13, ketidakberaturan torsi 1a ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, disalah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata dikedu ujung struktur dan ketidakberaturan torsi 1b ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, disalah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata dikedu ujung struktur. Dari hasil analisis ETABS diperoleh Dari hasil analisis ETABS diperoleh:

Tabel 5.26. Ketidakberaturan Torsi Arah X

Lantai	Lt.	δ_{ex} (mm)		$\Delta = \frac{C_d \cdot \delta}{I_e}$ (mm)		$\Delta_i = \Delta_n - \Delta_{n-1}$ (mm)		Δ_{Avg} (mm)	$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{Avg}}$	Ket.
		Max	Min	Max	Min	Max	Min			
5	5	19,3	18,4	70,9	67,4	10,0	10,1	10,0	0,99	OKE
	4	16,6	15,6	61,0	57,3					
4	4	17,2	15,6	63,2	57,3	14,4	15,0	14,7	0,98	OKE
	3	13,3	11,5	48,7	42,3					
3	3	13,3	11,5	48,7	42,3	17,1	18,8	17,9	0,95	OKE
	2	8,6	6,4	31,6	23,5					
2	2	8,6	6,4	31,6	23,5	17,6	13,3	15,4	1,14	OKE
	1A	3,8	2,8	14,1	10,3					
1A	1A	3,8	2,8	14,0	10,3	9,2	6,6	7,9	1,16	OKE
	1B	1,3	1,0	4,9	3,6					
1B	1B	1,3	1,0	4,9	3,6	4,9	3,6	4,3	1,14	OKE

Tabel 5.27. Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Lantai	Lt.	δ_{ey} (mm)		$\Delta = \frac{C_d \cdot \delta}{I_e}$ (mm)		$\Delta_i = \Delta_n - \Delta_{n-1}$ (mm)		Δ_{Avg} (mm)	$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{Avg}}$	Ket.
		Max	Min	Max	Min	Max	Min			
5	5	30,1	18,3	110,2	67,1	12,6	10,0	11,3	1,11	OKE
	4	26,6	15,6	97,7	57,0					
4	4	26,6	15,6	97,7	57,0	18,8	13,8	16,3	1,15	OKE
	3	21,5	11,8	78,9	43,2					
3	3	21,5	10,7	78,9	39,2	24,6	14,2	19,4	1,27	1A
	2	14,8	6,8	54,3	25,1					
2	2	14,8	5,1	54,3	18,7	28,8	9,7	19,2	1,50	1B
	1A	7,0	2,5	25,5	9,0					
1A	1A	7,0	2,5	25,5	9,0	17,1	6,0	11,6	1,48	1B
	1B	2,3	0,8	8,4	3,0					
1B	1B	2,3	0,8	8,4	3,0	8,4	3,0	5,7	1,48	1B

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh arah X tidak memiliki ketidakberaturan torsi dan arah sumbu Y memiliki ketidakberaturan torsi tipe 1b. Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 16, maka analisis gempa menggunakan kombinasi respons spektrum yang sudah dikoreksi.

5.6.15. Simpangan Antar Lantai

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.12.1.1, untuk struktur dengan kategori desain seismik D dan kategori resiko IV maka batas simpangan antar lantai tidak

boleh melebihi $\frac{\Delta_a}{\rho}$, dengan $\rho = 1,3$ dan $\Delta_a = 0,01h_x$. Simpangan antar lantai elastis

dihitung dari hasil analisis struktur dengan menggunakan program ETABS .

Dari hasil analisis struktur simpangan antar lantai pada perencanaan bangunan gedung Laboratorium Fakultas Farmasi Universitas Mulawarman, masih

dalam keadaan aman, dengan nilai simpangan antar lantai tidak melebihi $\frac{\Delta_a}{\rho} = 40$

mm. Nilai simpangan antar lantai seperti ditunjukkan pada tabel 5.28. dan tabel 5.29.

Tabel 5.28. Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Elevasi	h_x	Lt.	δ_{ey}	$\Delta = \frac{C_d \cdot \delta}{I_e}$	$\Delta_i = \Delta_n - \Delta_{n-1}$	Δ_{ijin}	Ket.
	mm	mm			mm			
5	+23400	4000	5	18,5	67,8	9,7	40	Aman
			4	15,8	58,1			
4	+19400	4000	4	16,1	58,9	13,7	40	Aman
			3	12,3	45,2			
3	+15400	4000	3	13,3	48,9	19,7	40	Aman
			2	7,9	29,1			
2	+11400	4400	2	7,9	29,1	16,3	44	Aman
			1A	3,5	12,8			
1A	+7000	3500	1A	3,5	12,8	8,4	35	Aman
			1B	1,2	4,5			
1B	+3500	3500	1B	1,2	4,5	4,5	35	Aman

Tabel 5.29. Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Elevasi	h_x	Lt.	δ_{ey}	$\Delta = \frac{C_d \cdot \delta}{I_e}$	$\Delta_i = \Delta_n - \Delta_{n-1}$	Δ_{ijin}	Ket.
	mm	mm			mm			
5	+23400	4000	5	34,4	126,0	14,5	40	Aman
			4	30,4	111,5			
4	+19400	4000	4	30,4	111,5	21,8	40	Aman
			3	24,5	89,7			
3	+15400	4000	3	24,5	89,7	28,2	40	Aman
			2	16,8	61,5			
2	+11400	4400	2	16,8	61,5	32,5	44	Aman
			1A	7,9	29,0			
1A	+7000	3500	1A	7,9	29,0	19,4	35	Aman
			1B	2,6	9,5			
1B	+3500	3500	1B	2,6	9,5	9,5	35	Aman

5.7. Perancangan Balok

Balok yang didesain pada Portal E (B17 dan B52) dan Portal 4(B73 dan B74) sebanyak dua jenis balok, namun contoh perhitungan yang dipaparkan yaitu balok B2 di lantai 3 pada label B73.

$$\text{Lebar balok (b)} = 400 \text{ mm}$$

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

$$\text{Panjang bentang (l)} = 6600 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang bersih (l}_n\text{)} = 6600 - 600 = 5900 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan utama (d)} = 19 \text{ mm (} f_y = 420 \text{ MPa)}$$

$$\text{Tulangan geser (d}_t\text{)} = 13 \text{ mm (} f_y = 280 \text{ MPa)}$$

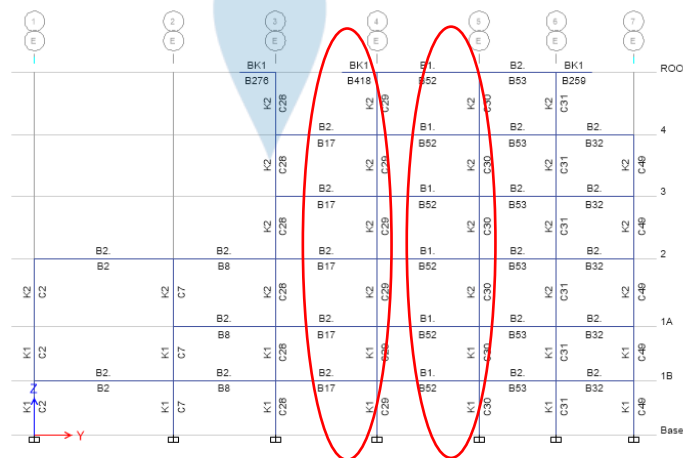
$$\text{Mutu beton (} f_c'\text{)} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

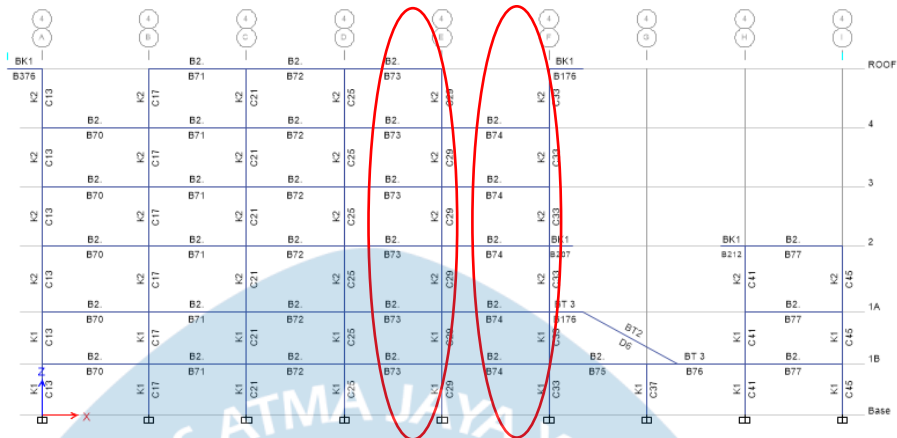
$$\beta_1 = 0,85 \text{ (} f_c' < 28 \text{ MPa)}$$

$$d = 700 - 40 - 13 - 0,5 \cdot 19$$

$$= 637,5 \text{ mm}$$



Gambar 5.27. Balok Label B17 dan B52 Portal E



Gambar 5.28. Balok Label B73 dan B74 Portal 4

5.7.1. Tulangan Longitudinal

Hasil analisis dengan menggunakan ETABS, diperoleh momen yang bekerja pada balok adalah:

Tabel 5.30. Momen Balok B2 lantai 3 Label B73

Tumpuan	Momen (kN.m)	
	Positif (M_{tU}^+)	95,80
Negatif (M_{tU}^-)	274,49	
Lapangan	Positif (M_{lU}^+)	140,18
	Negatif (M_{lU}^-)	59,16

1. Tulangan tumpuan negatif (M_{tU}^-)

$$M_{tU}^- = 275,26 \text{ kN.m}$$

$$k = \frac{M_{tU}^-}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$= \frac{274,49 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 450 \cdot 637,5^2}$$

$$= 1,668$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,668}{0,85 \cdot 25}} \right) \\ &= 0,0041\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (dipakai } \rho = 0,0041)$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0041 \cdot 450 \cdot 637,5 \\ &= 1187,68 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal luas tulangan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}A_{S \text{ min-1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \cdot 450 \cdot 637,5 \\ &= 853,79 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{S \text{ min-2}} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{420} \cdot 450 \cdot 637,5 \\ &= 956,25 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s > A_{S \text{ min}}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah A_s .

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_s}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{1187,67}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2\right)} = 4,189 \approx 5 \text{ buah}$$

Maka digunakan tulangan tarik tumpuan 5D19

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{450 - ((40 \times 2) + (13 \times 2) + (19 \times 5))}{4} = 62,25 \text{ mm}$$

$$S > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) = 5 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \right) = 1417,644 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1417,644 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450} = 41,51 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{41,51}{0,85} = 48,84 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(637,5-48,84)}{48,84} = 0,036$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\phi M_n = \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \cdot 1417,644 \cdot 420 \cdot \left(637,5 - \frac{41,51}{2} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$= 330,495 \text{ kNm} > M_{TU}^- \text{ (OK!)}$$

2. Tulangan tumpuan negatif (M_{TU}^+)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1, kuat lentur positif balok pada bagian tumpuan tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatif balok pada bagian tumpuan.

$$Mt_U^+ \geq 0,5Mt_U^-$$

$$95,80 \text{ kN} \geq 0,5 \cdot 274,49 \text{ kN}$$

$$95,80 \text{ kN} < 137,25 \text{ kN (OK!)}$$

Maka digunakan $Mt_U^+ = 137,25 \text{ kN.m}$

$$\begin{aligned} k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{137,25 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 450 \cdot 637,5^2} \\ &= 0,834 \\ \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,834}{0,85 \cdot 25}} \right) \\ &= 0,0020 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (dipakai } \rho = 0,0020)$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0020 \cdot 450 \cdot 637,5 \\ &= 581,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal luas tulangan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} A_{S \text{ min-1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \cdot 450 \cdot 637,5 \end{aligned}$$

$$= 853,795 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min-2}} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{420} \cdot 450 \cdot 637,5$$

$$= 956,25 \text{ mm}^2$$

$A_S < A_{S \text{ min}}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{S \text{ min}}$.

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_S}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{956,25}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2\right)} = 3,373 \approx 4 \text{ buah}$$

Maka digunakan tulangan tarik tumpuan 4D19

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{450 - ((40 \times 2) + (13 \times 2) + (19 \times 4))}{3} = 89,34 \text{ mm}$$

$$S > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) = 4 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2\right) = 1134,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1134,12 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450} = 33,21 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{33,21}{0,85} = 39,07 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d - c)}{c} = 0,003 \frac{(637,5 - 39,07)}{39,07} = 0,046$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 1134,12 \cdot 420 \cdot \left(637,5 - \frac{33,21}{2} \right) \cdot 10^{-6} \\
 &= 266,175 \text{ kNm} > M_{tU}^+ \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

3. Tulangan lapangan positif (M_{tU}^+)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1, kuat lentur negatif maupun positif pada setiap penampang sepanjang bentang balok tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar pada bagian tumpuan.

$$\begin{aligned}
 M_{tU}^+ &\geq 0,25 M_{tU}^- \\
 118,56 \text{ kN} &\geq 0,25 \cdot 274,49 \text{ kN} \\
 118,56 \text{ kN} &> 68,62 \text{ kN (OK!)}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan $M_{tU}^+ = 118,56 \text{ kN.m}$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{118,56 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 450 \cdot 637,5^2} \\
 &= 0,852 \\
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,852}{0,85 \cdot 25}} \right) \\
 &= 0,0021 \\
 \rho_{max} &= 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)}
 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (dipakai } \rho = 0,0021 \text{)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0021 \cdot 450 \cdot 637,5 \\ &= 593,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal luas tulangan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} A_{S \text{ min-1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \cdot 450 \cdot 637,5 \\ &= 853,795 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S \text{ min-2}} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{420} \cdot 450 \cdot 637,5 \\ &= 956,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s < A_{S \text{ min}}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{S \text{ min}}$.

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_s}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{956,25}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2\right)} = 3,373 \approx 4 \text{ buah}$$

Maka digunakan tulangan tarik tumpuan 4D19

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{450 - ((40 \times 2) + (13 \times 2) + (19 \times 4))}{3} = 89,34 \text{ mm}$$

$$S > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) = 4 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \right) = 1134,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1134,12 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450} = 33,21 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{33,21}{0,85} = 39,07 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(637,5-39,07)}{39,07} = 0,046$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 1134,12 \cdot 420 \cdot \left(637,5 - \frac{33,21}{2} \right) \cdot 10^{-6} \\ &= 266,175 \text{ kNm} > M_{U^+} \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

4. Tulangan lapangan negatif (M_{U^-})

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.1, kuat lentur negatif maupun positif pada setiap penampang sepanjang bentang balok tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar pada bagian tumpuan.

$$M_{U^-} \geq 0,25 M_{tU^-}$$

$$59,16 \text{ kN} \geq 0,25 \cdot 274,49 \text{ kN}$$

$$59,16 \text{ kN} < 68,62 \text{ kN (OK!)}$$

Maka digunakan $M_{U^+} = 68,62 \text{ kN.m}$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{68,62 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 450 \cdot 637,5^2} \\
 &= 0,417
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,417}{0,85 \cdot 25}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 0,0010$$

$$\rho_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho < \rho_{max} \text{ (dipakai } \rho = 0,0010)$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0010 \cdot 450 \cdot 637,5 \\
 &= 287,62 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal luas tulangan tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min-1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \cdot 450 \cdot 637,5 \\
 &= 853,795 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S \min-2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1,4}{420} \cdot 450 \cdot 637,5 \\
 &= 956,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_S < A_{S \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{S \min}$.

$$\text{Jumlah tul. (n)} = \frac{A_S}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)} = \frac{956,25}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2\right)} = 3,373 \approx 4 \text{ buah}$$

Maka digunakan tulangan tarik tumpuan 4D19

Cek jarak antar tulangan :

$$S = \frac{450 - ((40 \times 2) + (13 \times 2) + (19 \times 4))}{3} = 89,34 \text{ mm}$$

$$S > 25 \text{ mm (OK!)}$$

Cek kapasitas lentur :

$$A_{S \text{ aktual}} = n \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) = 4 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2\right) = 1134,12 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{1134,12 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450} = 33,21 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{33,21}{0,85} = 39,07 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(637,5-39,07)}{39,07} = 0,046$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 1134,12 \cdot 420 \cdot \left(637,5 - \frac{33,21}{2} \right) \cdot 10^{-6} \\
 &= 266,175 \text{ kNm} > M_{tU}^- \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

5.7.2. Tulangan Transversal

1. Perhitungan *Probable Moment Capacities* (M_{pr}).

M_{pr} pada tumpuan yang mengalami tarik :

$$\begin{aligned}
 a_{pr}^- &= \frac{1,25 \cdot A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\
 &= \frac{1,25 \cdot 1417,644 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450} \\
 &= 87,560 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= 1,25 \cdot A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a_{pr}^-}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 1417,644 \cdot 420 \cdot \left(637,5 - \frac{77,83}{2} \right) \cdot 10^{-6} \\
 &= 445,51 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

M_{pr} pada tumpuan yang mengalami tekan :

$$\begin{aligned}
 a_{pr}^+ &= \frac{1,25 \cdot A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\
 &= \frac{1,25 \cdot 1134,12 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 450} \\
 &= 62,27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^+ &= 1,25 \cdot A_{s\text{aktual}} \cdot f_y \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a_{pr}^-}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 1134,12 \cdot 420 \left(637,5 - \frac{62,27}{2} \right) \cdot 10^{-6} \\
 &= 361,04 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan gaya geser.

Perhitungan gaya geser dengan kombinasi pembebanan 1,2 beban mati dan 1,0 beban hidup yang diperoleh dengan menggunakan ETABS adalah:

$$V_g = 222,58 \text{ kN}$$

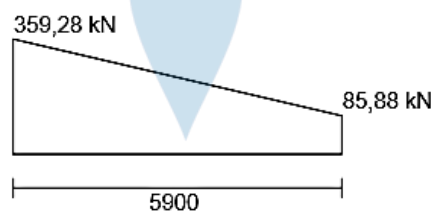
Gaya geser yang timbul akibat gempa dihitung ssebagai berikut:

$$V_e = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} = \frac{445,51 + 361,04}{5,9} = 136,71 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_E &= V_g \pm V_e \\
 &= 222,58 \pm 136,71
 \end{aligned}$$

$$V_{E1} = 359,28 \text{ kN}$$

$$V_{E2} = 85,88 \text{ kN}$$



Gambar 5.29. Diagram Gaya Geser Balok

Gaya geser akibat gempa pada area sendi plastis untuk perhitungan tulangan transversal tumpuan diambil sejarak 587,5 mm dari muka kolom.

$$\begin{aligned}
 V_{tE} &= 359,28 - \left((359,28 - (85,88)) \cdot \frac{637,5}{5900} \right) \\
 &= 329,74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya geser akibat gempa diluar area sendi plastis untuk perhitungan tulangan transversal lapangan diambil sejauh $2h$ dari muka kolom.

$$\begin{aligned}
 V_{lE} &= 359,28 - \left((359,28 - (85,88)) \cdot \frac{2 \cdot 700}{5900} \right) \\
 &= 294,41 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Tulangan geser tumpuan

$$V_U = V_E = 329,74 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 450 \cdot 637,5 \cdot 10^{-3} \\
 &= 239,06 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Faktor reduksi geser $\phi = 0,75$.

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \cdot 239,06 \\
 &= 179,29 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c < V_U \text{ (dibutuhkan tulangan geser)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, nilai V_c diasumsikan = 0 pada kedua ujung balok, bila gaya geser gempa mewakili setidaknya setengah atau lebih

dari kekuatan geser perlu dan nilai P_U kurang dari $A_g \cdot \frac{f_c'}{20}$.

$$0,5V_u = 164,87 \text{ kN} > V_e = 136,71 \text{ kN} \quad (V_c \neq 0)$$

$$P_U = 0 \text{ kN} < A_g \cdot \frac{f_c'}{20} = 22,950 \text{ kN} \quad (V_c = 0)$$

Karena salah satu syarat diatas terpenuhi, maka nilai $V_c = 0$ kN

$$V_s = \frac{V_U}{\phi} = \frac{329,74}{0,75} = 439,66 \text{ kN}$$

$$V_{s \text{ max}} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{2}{3} \sqrt{25} \cdot 450 \cdot 637,5 \cdot 10^{-3} = 956,25 \text{ kN}$$

$$V_s < V_{s \text{ max}} \text{ (OK!)}$$

Digunakan 3D13 ($A_V = 398,197 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_V \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{398,197 \cdot 280 \cdot 637,5 \cdot 10^{-3}}{439,66}$$

$$= 161,67 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4, spasi sengkang tidak boleh melebihi dari:

- a. $\frac{d}{4} = \frac{637,5}{4} = 159,38 \text{ mm}$
- b. $6 \cdot D19 = 6 \cdot 19 = 152 \text{ mm}$
- c. 150 mm

Maka digunakan sengkang pada daerah tumpuan 3D13-150.

4. Tulangan geser lapangan

$$V_U = V_E = 294,41 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 450 \cdot 637,5 \cdot 10^{-3} \\
 &= 239,06 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Faktor reduksi geser $\phi = 0,75$.

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 \cdot 239,06 \\
 &= 179,29 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$\phi V_c < V_U$ (dibutuhkan tulangan geser)

$$V_s = \frac{V_U}{\phi} - V_c = \frac{294,41}{0,75} - 239,06 = 153,48 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ max}} &= \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{2}{3} \sqrt{25} \cdot 450 \cdot 637,5 \cdot 10^{-3} = 956,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s < V_{s \text{ max}} \text{ (OK!)}$$

Digunakan 3D13 ($A_v = 398,197 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{398,197 \cdot 280 \cdot 637,5}{153,48} \cdot 10^{-3} \\
 &= 463,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6, spasi sengkang tidak boleh melebihi dari:

$$\frac{d}{2} = \frac{637,5}{2} = 318,75 \text{ mm}$$

Maka digunakan sengkang pada daerah tumpuan 3D13-300.

5.7.3. Tulangan Torsi

1. Cek pengaruh torsi.

Pengecekan pengaruh torsi terhadap penampang balok B2 (700×450)

$$A_{cp} = 315500 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2300 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.7.1.1, pengaruh torsi dapat diabaikan jika:

$$T_U \leq \phi T_{th}$$

$$T_U = 38,05 \text{ kN.m (ETABS)}$$

$$\phi T_{th} = \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{315500^2}{2300} \cdot 10^{-6}$$

$$= 13,43 \text{ kN.m}$$

$$T_U > \phi T_{th} \text{ (pengaruh torsi tidak dapat diabaikan)}$$

2. Cek dimensi penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_U}{b \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_U \cdot P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right)$$

$$\sqrt{\left(\frac{3329,74 \cdot 10^3}{450 \cdot 637,5}\right)^2 + \left(\frac{38,05 \cdot 10^6 \cdot 1928}{1,7 \cdot 216699^2}\right)^2} = 1,47 \text{ MPa}$$

$$0,75 \left(\frac{239,063}{450 \cdot 637,5} + 0,66 \sqrt{25}\right) = 3,100 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_U}{b \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_U \cdot P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} < \phi \left(\frac{V_c}{b \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'_c}\right)$$

Maka dimensi balok memenuhi syarat untuk memikul torsi.

3. Tulangan tansversal torsi tumpuan

$$\phi T_n > T_U$$

$$T_n = \frac{T_U}{\phi} = \frac{38,05}{0,75} = 50,73 \text{ kN.m}$$

$$T_n = \frac{2 \cdot 0,85 \cdot A_{oh} \cdot A_t \cdot f_{yt} \cot \theta}{S}$$

$$50,73 = \frac{2 \cdot 0,85 \cdot 216699 \cdot A_t \cdot 280 \cot 45}{S}$$

$$\frac{A_t}{S} = 0,49 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{S}$$

$$\frac{A_v}{S} = \frac{439,66}{280 \cdot 637,5} \cdot 10^{-3}$$

$$= 2,46 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{vt}}{S} = 2 \frac{A_t}{S} + \frac{A_v}{S}$$

$$= 2 \cdot (0,49) + 2,46$$

$$= 3,45 \text{ mm}$$

$$S = \frac{3\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)}{A_{vt}/S}$$

$$= \frac{3\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right)}{3,45}$$

$$= 115,53 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.3.3, spasi tulangan transversal torsi tidak boleh melebihi:

$$\text{a. } \frac{P_h}{8} = \frac{1928}{8} = 241 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 300 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan torsi transversal 3D13-100

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.6.4.2, luas minimum sengkang adalah:

$$A_{vt} = 3\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right)$$

$$= 398,197 \text{ mm}^2$$

$$A_{vt \text{ min1}} = 0,062 \sqrt{f_c'} \cdot S \frac{b}{f_{yt}}$$

$$= 0,062 \sqrt{25} \cdot 100 \frac{450}{280}$$

$$= 49,82 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{vt \min 2} &= 0,35 \cdot S \frac{b}{f_{yt}} \\
 &= 0,35 \cdot 100 \frac{450}{280} \\
 &= 56,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{vt} > A_{vt \min} \text{ (OK!)}$$

4. Tulangan tansversal torsi lapangan

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &> T_U \\
 T_n &= \frac{T_U}{\phi} = \frac{38,05}{0,75} = 50,73 \text{ kN.m} \\
 T_n &= \frac{2 \cdot 0,85 \cdot A_{oh} \cdot A_t \cdot f_{yt}}{S} \cot \theta \\
 50,73 &= \frac{2 \cdot 0,85 \cdot 216699 \cdot A_t \cdot 280}{S} \cot 45 \\
 \frac{A_t}{S} &= 0,49 \text{ mm} \\
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{S} \\
 \frac{A_v}{S} &= \frac{153,48}{280 \cdot 637,5} \cdot 10^{-3} \\
 &= 0,86 \text{ mm} \\
 \frac{A_{vt}}{S} &= 2 \frac{A_t}{S} + \frac{A_v}{S} \\
 &= 2 \cdot (0,49) + 0,86 \\
 &= 1,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi} &= \frac{3\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)}{A_{vt}/S} \\ &= \frac{3\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right)}{1,84} \\ &= 215,99 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.7.6.3.3, spasi tulangan transversal torsi tidak boleh melebihi:

$$\begin{aligned} \text{a. } \frac{P_h}{8} &= \frac{1928}{8} = 241 \text{ mm} \\ \text{b. } &300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan torsi transversal 3D13-200

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.6.4.2, luas minimum sengkang adalah:

$$\begin{aligned} A_{vt} &= 3\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2\right) \\ &= 398,197 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt \text{ min1}} &= 0,062 \sqrt{f_c'} \cdot S \frac{b}{f_{yt}} \\ &= 0,062 \sqrt{25} \cdot 200 \frac{450}{280} \\ &= 99,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vt \text{ min2}} &= 0,35 \cdot S \frac{b}{f_{yt}} \\ &= 0,35 \cdot 200 \frac{450}{280} \\ &= 112,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{vt} > A_{vt \text{ min}} \text{ (OK!)}$$

5. Tulangan longitudinal tambahan

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{A_t}{S} \cdot P_h \left(\frac{f_y}{f_{yt}} \right) \cot^2 45 \\
 &= 0,49 \cdot 1928 \left(\frac{420}{280} \right) \cot^2 45 \\
 &= 1422,42 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{l \min} &= \frac{0,42 \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{0,175 \cdot b}{f_{yt}} \right) \cdot P_h \left(\frac{f_y}{f_{yt}} \right) \\
 &= \frac{0,42 \sqrt{25} \cdot 315500}{420} - \left(\frac{0,175 \cdot 450}{280} \right) \cdot 1928 \left(\frac{420}{280} \right) \\
 &= 761,63
 \end{aligned}$$

Karena $A_{l \min} < A_l$ maka digunakan A_l

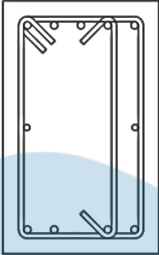
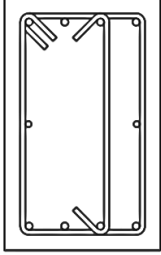
Digunakan tulangan samping tambahan D16.

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{4} A_l &= \frac{1}{4} \cdot 1422,42 \\
 &= 355,61 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{355,61}{\left(\frac{1}{4} \pi \cdot 16^2 \right)} = 1,769 \approx 2 \text{ buah}$$

Maka digunakan tulangan samping 4D16.

Tabel 5.31. Detail Balok B2 Label B73 Portal 4 Lantai 3

	Tumpuan	Lapangan
Gambar		
Tul. Atas	5D19	4D19
Tul. Bawah	4D19	4D19
Sengkang	3D13-100	3D13-200
Tul. Samping	2D16	2D16

5.7.4. Rekap Hasil Perhitungan Balok

Balok yang diperhitungkan adalah balok pada Portal E (B17 dan B52) dan Portal 4 (B73 dan B74). Berikut adalah rekap hasil perhitungan balok.

Tabel 5.32. Rekap Perhitungan Balok Label B17 Portal E

		Tumpuan		Lapangan	
		Gaya- gaya	Tulangan	Gaya- gaya	Tulangan
BK1	Tul. Atas	Mu = -74,77	3D19	Mu = -0	3D19
	Tul. Bawah	Mu = 0	3D19	Mu = 0	3D19
Lt. 5	Sengkang	Vu = 155,947	3D13-125	Vu = 189,782	3D13-250
	Tul. Samping	Tu = 25,39	2D16	Tu = 0	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -227,99	4D19	Mu = -36,49	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 71,94	4D19	Mu = 185,15	4D19
Lt. 4	Sengkang	Vu = 269,498	3D13-150	Vu = 237,864	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 7,46	2D16	Tu = 7,46	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -259,6	4D19	Mu = -56,93	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 80,75	4D19	Mu = 180,27	4D19
Lt. 3	Sengkang	Vu = 276,848	3D13-150	Vu = 245,214	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 6,78	2D16	Tu = 6,78	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -264,24	5D19	Mu = -57,53	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 93,97	4D19	Mu = 176,42	4D19
Lt. 2	Sengkang	Vu = 289,47	3D13-150	Vu = 254,136	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 8,48	2D16	Tu = 8,48	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -256,28	4D19	Mu = -52,48	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 72,36	4D19	Mu = 194,99	4D19
Lt. 1A	Sengkang	Vu = 285,848	3D13-150	Vu = 253,114	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 7,54	2D16	Tu = 7,54	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -229,77	4D19	Mu = -37,81	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 59,18	4D19	Mu = 195,43	4D19
Lt. 1B	Sengkang	Vu = 280,528	3D13-150	Vu = 247,794	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 5,34	2D16	Tu = 5,34	2D16

Tabel 5.33. Rekap Perhitungan Balok Label B52 Portal E

		Tumpuan		Lapangan	
		Gaya- gaya	Tulangan	Gaya- gaya	Tulangan
B1 Lt. 5	Tul. Atas	Mu = -182,01	5D19	Mu = -52,02	5D19
	Tul. Bawah	Mu = 99,55	5D19	Mu = 128,42	5D19
	Sengkang	Vu = 293,922	4D13-125	Vu = 242,105	3D13-175
	Tul. Samping	Tu = 104,69	6D16	Tu = 104,69	6D16
B1 Lt. 4	Tul. Atas	Mu = -294,89	5D19	Mu = -68,8	5D19
	Tul. Bawah	Mu = 128,34	5D19	Mu = 168,59	5D19
	Sengkang	Vu = 369,842	4D13-100	Vu = 318,025	3D13-125
	Tul. Samping	Tu = 124,34	6D16	Tu = 124,34	6D16
B1 Lt. 3	Tul. Atas	Mu = -326,06	5D19	Mu = -82,97	5D19
	Tul. Bawah	Mu = 141,53	5D19	Mu = 178,97	5D19
	Sengkang	Vu = 381,222	4D13-100	Vu = 329,405	3D13-125
	Tul. Samping	Tu = 128,89	6D16	Tu = 128,89	6D16
B1 Lt. 2	Tul. Atas	Mu = -340,82	5D19	Mu = -88,32	5D19
	Tul. Bawah	Mu = 146,98	5D19	Mu = 183,67	5D19
	Sengkang	Vu = 386,652	4D13-100	Vu = 334,835	3D13-100
	Tul. Samping	Tu = 129,17	6D16	Tu = 129,17	6D16
B1 Lt. 1A	Tul. Atas	Mu = -333,54	5D19	Mu = -82,87	5D19
	Tul. Bawah	Mu = 140,5	5D19	Mu = 181,05	5D19
	Sengkang	Vu = 394,637	4D13-100	Vu = 341,017	3D13-125
	Tul. Samping	Tu = 125	6D16	Tu = 125	6D16
B1 Lt. 1B	Tul. Atas	Mu = -309,15	5D19	Mu = -64,49	5D19
	Tul. Bawah	Mu = 127,58	5D19	Mu = 181,85	5D19
	Sengkang	Vu = 398,747	4D13-75	Vu = 345,127	3D13-100
	Tul. Samping	Tu = 151,24	8D16	Tu = 151,24	8D16

Tabel 5.34. Rekap Perhitungan Balok Label B73 Portal 4

		Tumpuan		Lapangan	
		Gaya- gaya	Tulangan	Gaya- gaya	Tulangan
BK1	Tul. Atas	Mu = -188,21	4D19	Mu = -20,24	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 72,25	4D19	Mu = 118,56	4D19
Lt. 5	Sengkang	Vu = 269,178	3D13-100	Vu = 237,544	3D13-175
	Tul. Samping	Tu = 62,33	4D16	Tu = 62,33	4D16
B2	Tul. Atas	Mu = -258,67	4D19	Mu = -49,19	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 84,06	4D19	Mu = 136,81	4D19
Lt. 4	Sengkang	Vu = 306,798	3D13-100	Vu = 275,164	3D13-225
	Tul. Samping	Tu = 37,58	2D16	Tu = 37,58	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -274,49	5D19	Mu = -59,16	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 95,80	4D19	Mu = 140,18	4D19
Lt. 3	Sengkang	Vu = 329,74	3D13-100	Vu = 294,406	3D13-200
	Tul. Samping	Tu = 38,05	2D16	Tu = 38,05	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -267,49	5D19	Mu = -55,75	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 91,71	4D19	Mu = 138,87	4D19
Lt. 2	Sengkang	Vu = 326,2	3D13-100	Vu = 290,866	3D13-225
	Tul. Samping	Tu = 36,21	2D16	Tu = 36,21	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -237,89	4D19	Mu = -35,57	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 69,45	4D19	Mu = 147,54	4D19
Lt. 1A	Sengkang	Vu = 316,658	3D13-100	Vu = 283,924	3D13-225
	Tul. Samping	Tu = 36,44	2D16	Tu = 36,44	2D16
B2	Tul. Atas	Mu = -217,6	4D19	Mu = -25,21	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 55,01	4D19	Mu = 158,41	4D19
Lt. 1B	Sengkang	Vu = 293,238	3D13-150	Vu = 260,504	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 4,50	2D16	Tu = 4,50	2D16

Tabel 5.35 Rekap Perhitungan Balok Label B74 Portal 4

		Tumpuan		Lapangan	
		Gaya- gaya	Tulangan	Gaya- gaya	Tulangan
B2 Lt. 4	Tul. Atas	Mu = -320,11	5D19	Mu = -34,9	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 85,2	4D19	Mu = 299,03	5D19
	Sengkang	Vu = 331,044	3D13-150	Vu = 296,496	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 6,09	2D16	Tu = 6,09	2D16
B2 Lt. 3	Tul. Atas	Mu = -355,58	6D19	Mu = -54,06	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 89,46	4D19	Mu = 289,89	5D19
	Sengkang	Vu = 344,983	3D13-150	Vu = 306,917	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 7,18	2D16	Tu = 7,18	2D16
B2 Lt. 2	Tul. Atas	Mu = -354,39	6D19	Mu = -51,53	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 96,49	4D19	Mu = 292,98	5D19
	Sengkang	Vu = 348,163	3D13-150	Vu = 310,097	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 5,9	2D16	Tu = 5,9	2D16
B2 Lt. 1A	Tul. Atas	Mu = -339,16	6D19	Mu = -25,65	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 59,21	4D19	Mu = 301,72	5D19
	Sengkang	Vu = 371,265	3D13-125	Vu = 331,893	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 7,36	2D16	Tu = 7,36	2D16
B2 Lt. 1B	Tul. Atas	Mu = -315,72	5D19	Mu = -22,84	4D19
	Tul. Bawah	Mu = 69,32	4D19	Mu = 320,94	5D19
	Sengkang	Vu = 357,136	3D13-125	Vu = 321,404	3D13-300
	Tul. Samping	Tu = 3,53	2D16	Tu = 3,53	2D16

5.8. Perancangan Kolom

Kolom yang dipaparkan dalam perhitungan ini adalah kolom K2 700 × 700 yang terletak pada lantai 3 AS 4E (C29). Dalam perancangan kolom K2, material yang digunakan adalah:

$$\text{Panjang total } (l) = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang bersih } (l_n) = 3300 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar kolom } (b) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom } (h) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan utama } (D) = 22 \text{ mm } (f_y = 420 \text{ MPa})$$

$$\text{Tulangan geser } (D_t) = 13 \text{ mm } (f_y = 280 \text{ MPa})$$

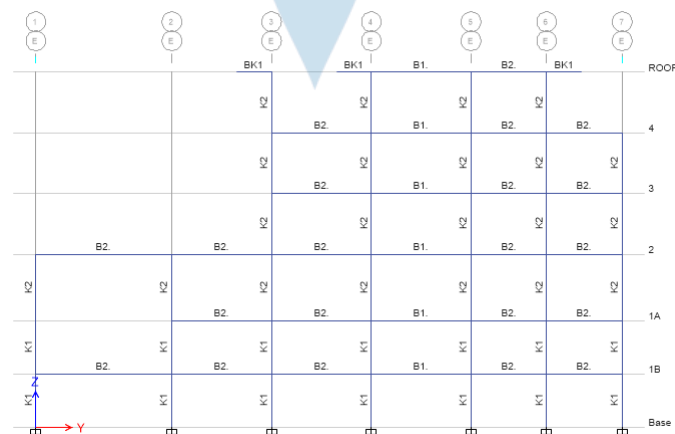
$$\text{Kuat tekan beton } (f_c') = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

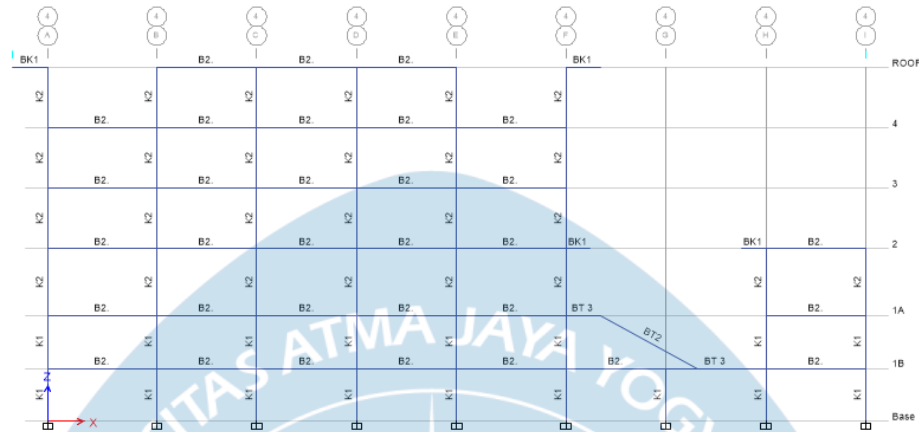
$$\beta_l = 0,85 \text{ } (f_c' < 28 \text{ MPa})$$

$$d = 700 - 2.50 - 2.13 - 0,5.22$$

$$= 626 \text{ mm}$$



Gambar 5.30. Kolom Label C29 Portal E



Gambar 5.31. Kolom Label C29 Portal 4

5.8.1. Pemeriksaan Tipe Portal

1. Arah X

Dari output ETABS diperoleh nilai:

$$P_{u \max} = 35733,55 \text{ kN}$$

$$\Delta = 16,07 \text{ mm}$$

$$V = 2183,80 \text{ kN}$$

$$Q = \sum \frac{P_u \cdot \Delta}{V \cdot l}$$

$$= \sum \frac{35733,55 \cdot 16,07}{2183,80 \cdot 4000}$$

$$= 0,066 > 0,05 \text{ (OK!)}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.4.3, maka termasuk portal bergoyang.

2. Arah Y

Dari output ETABS diperoleh nilai:

$$P_{u \max} = 35733,55 \text{ kN}$$

$$\Delta = 28,23 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 V &= 2167,57 \text{ kN} \\
 Q &= \sum \frac{P_u \cdot \Delta}{V \cdot l} \\
 &= \sum \frac{35733,55 \cdot 28,23}{2167,57 \cdot 4000} \\
 &= 0,116 > 0,05 \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.4.3, maka termasuk portal bergoyang.

5.8.2. Faktor Panjang Efektif

Faktor panjang efektif (k) diperoleh dari nilai faktor kekangan pada ujung-ujung kolom yang ditinjau, kolom atas dan kolom bawah.

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{E \cdot I_k}{I_k} \right)}{\sum \left(\frac{E \cdot I_b}{I_b} \right)}$$

Nilai I_k adalah momen inersia kolom ($0,7I_g$) dan nilai I_b adalah momen inersia balok ($0,35I_g$) sesuai SNI 2847:2019 tabel 6.6.3.1.1(a).

1. Pemeriksaan kolom arah X

a. Kekangan atas

Kolom tinjauan :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar kolom } (b) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi kolom } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang kolom } (l) &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{k\text{-tinjauan}} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{k\text{-tinjauan}} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{k\text{-tinjauan}} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\
 &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Kolom atas :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar kolom } (b) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi kolom } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang kolom } (l) &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{k\text{-atas}} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{k\text{-atas}} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{k\text{-tinjauan}} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\
 &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Balok atas kiri :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar balok } (b) &= 450 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang balok } (l) &= 6600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b-kiri} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,35 \cdot \frac{450 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 4,50 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{b-kiri} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b-kiri} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 4,50 \times 10^9 \\
 &= 1,06 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Balok atas kanan :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar balok } (b) &= 450 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang balok } (l) &= 6600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b-kanan} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,35 \cdot \frac{450 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 4,50 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{b-kanan} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b-kiri} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 4,50 \times 10^9 \\
 &= 1,06 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Faktor kekangan atas kolom :

$$\begin{aligned}\Psi_{atas} &= \frac{\frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{l_{k-tinjauan}} + \frac{E \cdot I_{k-atas}}{l_{k-atas}}}{\frac{E \cdot I_{b-kiri}}{l_{b-kiri}} + \frac{E \cdot I_{b-kanan}}{l_{b-kanan}}} \\ &= \frac{\frac{3,29 \times 10^{14}}{4000} + \frac{3,29 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,06 \times 10^{14}}{6600} + \frac{1,06 \times 10^{14}}{7200}} = 5,36\end{aligned}$$

b. Kekangan bawah

Kolom tinjauan :

$$\begin{aligned}\text{Lebar kolom } (b) &= 700 \text{ mm} \\ \text{Tinggi kolom } (h) &= 700 \text{ mm} \\ \text{Panjang kolom } (l) &= 4000 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{k-tinjauan} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\ &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12} \\ &= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E \cdot I_{k-tinjauan} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{k-tinjauan} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\ &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

Kolom bawah :

$$\begin{aligned}\text{Lebar kolom } (b) &= 700 \text{ mm} \\ \text{Tinggi kolom } (h) &= 700 \text{ mm} \\ \text{Panjang kolom } (l) &= 4000 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{k-bawah} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{k-bawah} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{k-tinjau} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\
 &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Balok bawah kiri :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar balok } (b) &= 450 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang balok } (l) &= 6600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b-kiri} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,35 \cdot \frac{450 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 4,50 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{b-kiri} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b-kiri} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 4,50 \times 10^9 \\
 &= 1,06 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Balok bawah kanan :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar balok } (b) &= 450 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang balok } (l) &= 6600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b\text{-kanan}} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,35 \cdot \frac{450 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 4,50 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 .E. I_{b\text{-kanan}} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b\text{-kiri}} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 4,50 \times 10^9 \\
 &= 1,06 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Faktor kekangan bawah kolom :

$$\begin{aligned}
 \Psi_{\text{bawah}} &= \frac{\frac{E \cdot I_{k\text{-tinjauan}}}{l_{k\text{-tinjauan}}} + \frac{E \cdot I_{k\text{-bawah}}}{l_{k\text{-bawah}}}}{\frac{E \cdot I_{b\text{-kiri}}}{l_{b\text{-kiri}}} + \frac{E \cdot I_{b\text{-kanan}}}{l_{b\text{-kanan}}}} \\
 &= \frac{\frac{3,29 \times 10^{14}}{4000} + \frac{3,29 \times 10^{14}}{4400}}{\frac{7,53 \times 10^{13}}{6600} + \frac{7,53 \times 10^{13}}{7200}} = 5,11
 \end{aligned}$$

2. Pemeriksaan kolom arah Y

a. Kekangan atas

Kolom tinjauan :

$$\text{Lebar kolom } (b) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom } (h) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang kolom } (l) = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I_{k-tinjauan} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{k-tinjauan} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{k-tinjauan} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\
 &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Kolom atas :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar kolom } (b) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi kolom } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang kolom } (l) &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{k-atas} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{k-atas} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{k-tinjauan} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\
 &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Balok atas kiri :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar balok } (b) &= 450 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok } (h) &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Panjang balok } (l) &= 6600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b-kiri} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,35 \cdot \frac{450 \cdot 700^3}{12} \\
 &= 4,50 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{b-kiri} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b-kiri} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 4,50 \times 10^9 \\
 &= 1,06 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Balok atas kanan :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar balok } (b) &= 500 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok } (h) &= 800 \text{ mm} \\
 \text{Panjang balok } (l) &= 6600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{b-kanan} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,35 \cdot \frac{500 \cdot 800^3}{12} \\
 &= 7,47 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{b-kanan} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b-kiri} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 7,47 \times 10^9 \\
 &= 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Faktor kekangan atas kolom :

$$\begin{aligned}\Psi_{atas} &= \frac{\frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{l_{k-tinjauan}} + \frac{E \cdot I_{k-atas}}{l_{k-atas}}}{\frac{E \cdot I_{b-kiri}}{l_{b-kiri}} + \frac{E \cdot I_{b-kanan}}{l_{b-kanan}}} \\ &= \frac{\frac{3,29 \times 10^{14}}{4000} + \frac{3,29 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,06 \times 10^{14}}{6600} + \frac{1,47 \times 10^{14}}{6600}} \\ &= 3,83\end{aligned}$$

b. Kekangan bawah

Kolom tinjauan :

$$\text{Lebar kolom } (b) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom } (h) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang kolom } (l) = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}I_{k-tinjauan} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\ &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12}\end{aligned}$$

$$= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}E \cdot I_{k-tinjauan} &= 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjauan} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\ &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2\end{aligned}$$

Kolom bawah :

$$\text{Lebar kolom } (b) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom } (h) = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang kolom } (l) = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{k-bawah} &= 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\ &= 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 700^3}{12} \\ &= 1,4 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E \cdot I_{k-bawah} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{k-tinjau} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 1,4 \times 10^{10} \\ &= 3,29 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Balok bawah kiri :

$$\text{Lebar balok } (b) = 450 \text{ mm}$$

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

$$\text{Panjang balok } (l) = 6600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{b-kiri} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\ &= 0,35 \cdot \frac{450 \cdot 700^3}{12} \\ &= 4,50 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E \cdot I_{b-kiri} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b-kiri} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 4,50 \times 10^9 \\ &= 1,06 \times 10^9 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Balok bawah kanan :

$$\text{Lebar balok } (b) = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok } (h) = 800 \text{ mm}$$

Panjang balok (l) = 6600 mm

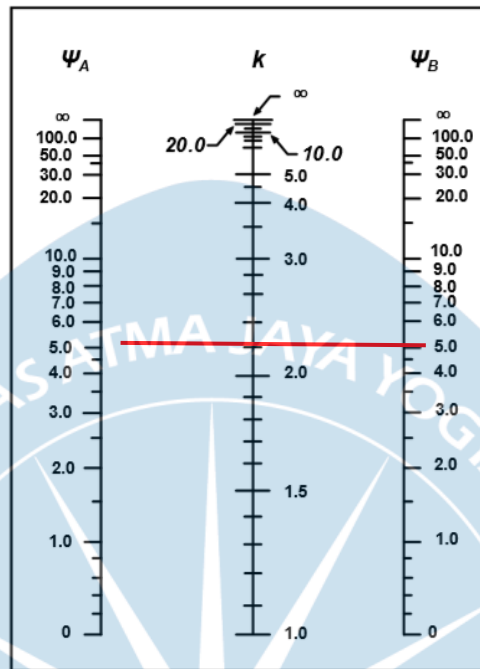
$$\begin{aligned}
 I_{b\text{-kanan}} &= 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= 0,35 \cdot \frac{500 \cdot 800^3}{12} \\
 &= 7,47 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E \cdot I_{b\text{-kanan}} &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot I_{b\text{-kanan}} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{25} \cdot 3,20 \times 10^9 \\
 &= 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}$$

Faktor kekangan bawah kolom :

$$\begin{aligned}
 \Psi_{\text{bawah}} &= \frac{\frac{E \cdot I_{k\text{-tinjauan}}}{l_{k\text{-tinjauan}}} + \frac{E \cdot I_{k\text{-bawah}}}{l_{k\text{-bawah}}}}{\frac{E \cdot I_{b\text{-kiri}}}{l_{b\text{-kiri}}} + \frac{E \cdot I_{b\text{-kanan}}}{l_{b\text{-kanan}}}} \\
 &= \frac{\frac{3,29 \times 10^{14}}{4000} + \frac{3,29 \times 10^{14}}{4400}}{\frac{1,06 \times 10^{14}}{6600} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{6600}} \\
 &= 3,65
 \end{aligned}$$

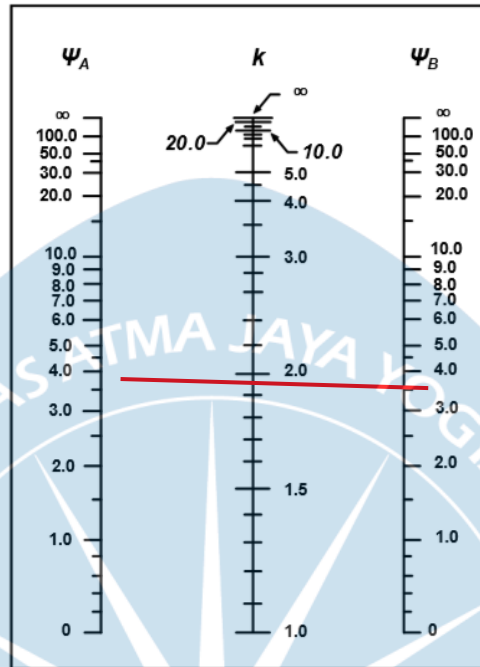
3. Faktor panjang efektif arah X.



Gambar 5.32. Faktor Panjang Efektif Arah X
(Sumber : SNI 2847:2019 gambar R6.2.5)

Dari diagram diatas, diperoleh nilai $k_x = 2,20$

4. Faktor panjang efektif arah Y.



Gambar 5.33. Faktor Panjang Efektif Arah Y
(Sumber : SNI 2847:2019 gambar R6.4.5)

Dari diagram diatas, diperoleh nilai $k_y = 1,95$

5.8.3. Pemeriksaan Kelangsingan Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.2.5, pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan apabila memenuhi persyaratan berikut:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \leq 22$$

1. Kelangsingan arah X.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1, radius girasi (r) untuk komponen struktur persegi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi pada arah stabilitas yang ditinjau.

$$\begin{aligned} r_x &= 0,3 \times 700 \\ &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{k_x \cdot l_{nx}}{r_x} = \frac{2,20 \cdot 3350}{210}$$

= 41,48 > 22 , maka kelangsingan diperhitungkan.

2. Kelangsingan arah Y.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1, radius girasi (r) untuk komponen struktur persegi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi pada arah stabilitas yang ditinjau.

$$\begin{aligned} r_x &= 0,3 \times 700 \\ &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{k_x \cdot l_{nx}}{r_x} = \frac{1,95 \cdot 3350}{210}$$

= 29,71 > 22 , maka kelangsingan diperhitungkan.

5.8.4. Pembesaran Momen

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.4.6, pembesaran momen struktur portal bergoyang dapat dihitung sebagai berikut.

1. Pembesaran momen arah X.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.4.6.1, pembesaran momen (δ_s) dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - Q_x} \\ &= \frac{1}{1 - 0,066} \\ &= 1,07 \end{aligned}$$

Momen ujung yang diperoleh dari hasil analisis ETABS sebagai berikut.

$$M_{1ns} = -178,54 \text{ kN.m}$$

$$M_{1s} = -211,33 \text{ kN.m}$$

$$M_{2ns} = 106,96 \text{ kN.m}$$

$$M_{2s} = 115,94 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 178,54 + 1,13 \cdot (211,33) \\ &= 404,74 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 106,96 + 1,13 \cdot (115,94) \\ &= 231,06 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_{pr \text{ balok}} = 522,83 \text{ kN.m} > M_1 \text{ atau } M_2$$

Maka digunakan $M_{Ux} = 522,83 \text{ kN.m}$

2. Pembesaran momen arah Y.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.4.6, pembesaran momen struktur portal bergoyang dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - Q_y} \\ &= \frac{1}{1 - 0,116} \\ &= 1,13 \end{aligned}$$

Momen ujung yang diperoleh dari hasil analisis ETABS sebagai berikut.

$$M_{1ns} = -178,54 \text{ kN.m}$$

$$M_{1s} = -211,33 \text{ kN.m}$$

$$M_{2ns} = 106,96 \text{ kN.m}$$

$$M_{2s} = 115,94 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 178,54 + 1,13 \cdot (211,33) \\ &= 417,69 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 106,96 + 1,13 \cdot (115,94) \\ &= 238,16 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_{pr \text{ balok}} = 527,65 \text{ kN.m} > M_1 \text{ atau } M_2$$

Maka digunakan $M_{Uy} = 527,65 \text{ kN.m}$

5.8.5. Tulangan Longitudinal

Perhitungan tulangan longitudinal kolom dengan bantuan *software* IKOLAT2000. Perhitungan tulangan dilakukan pada arah x dan arah y sebagai berikut.

Digunakan $\rho = 0,01$ sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, menyatakan bahwa rasio tulangan tidak boleh lebih dari 0,01 maka dicoba rasio tulangan minimum.

$$\begin{aligned} A_{st} &= \rho \cdot h \cdot b \\ &= 0,01 \cdot 700 \cdot 700 \\ &= 4900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

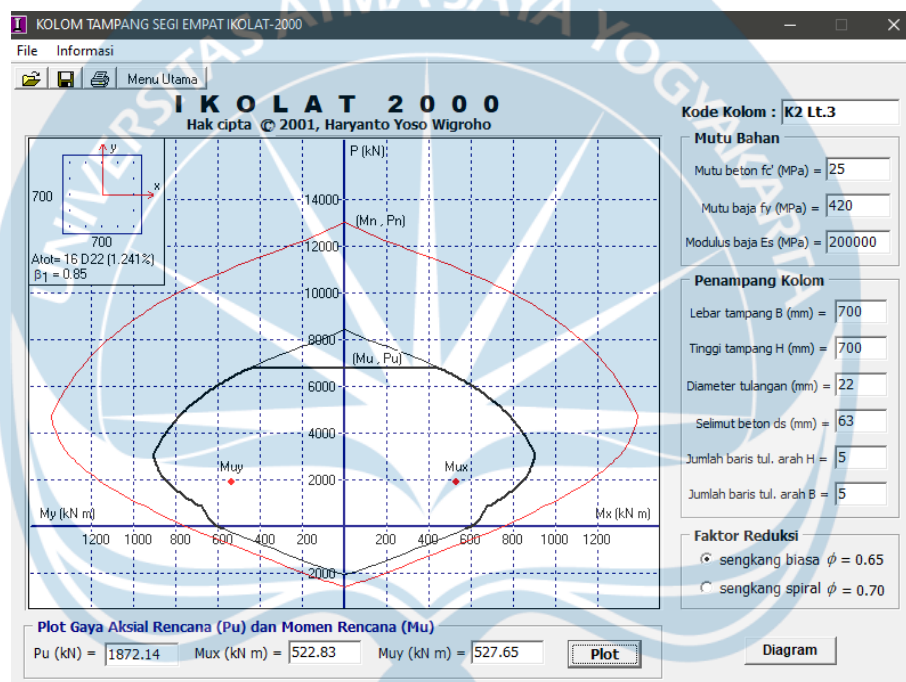
$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{st}}{0,25 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$$n = \frac{4900}{0,25 \cdot \pi \cdot 22^2} = 12,89 \approx 16 \text{ buah}$$

Maka digunakan 16D22

$$h_x = \frac{700 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 13 - 5 \cdot 22}{5 - 1} = 116 \text{ mm}$$

$$h_y = \frac{700 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 13 - 5 \cdot 22}{5 - 1} = 116 \text{ mm}$$



Gambar 5.34. Diagram Interaksi Kolom Lantai 3

SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, menyatakan rasio tulangan tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,06.

$$\begin{aligned} \rho_{\text{aktual}} &= \frac{n \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot d^2)}{b \cdot h} \\ &= \frac{16 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 22^2)}{700 \cdot 700} \\ &= 0,0124 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

5.8.6. Pemeriksaan Kuat Lentur

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, kuat kolom harus memenuhi syarat kolom kuat dan balok lemah sebagai berikut.

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

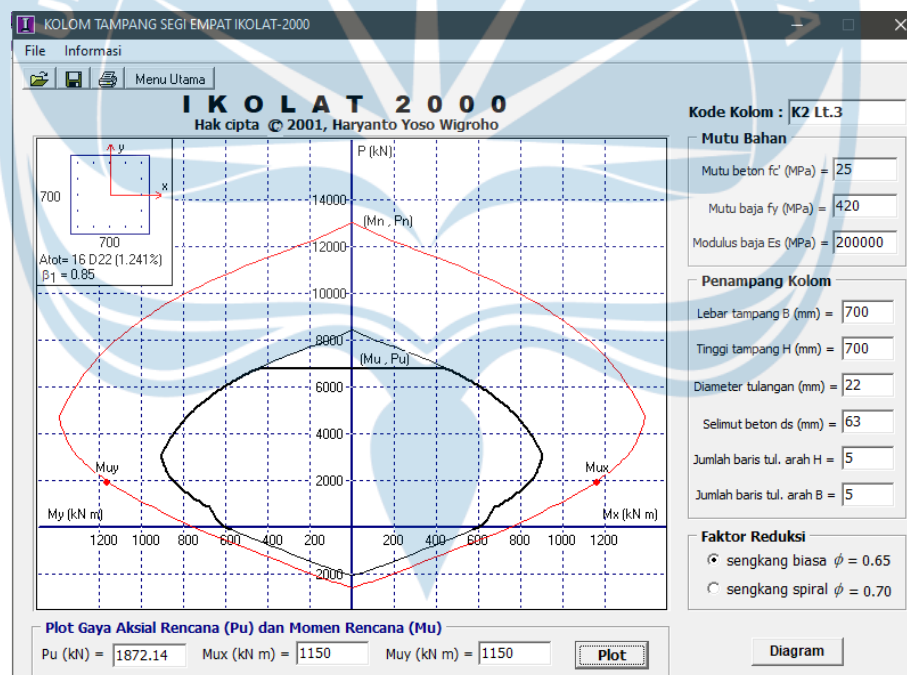
Joint atas (lantai 3 dan lantai 4):

$$M_{ncy,tinjau} = 1150 \text{ kN.m}$$

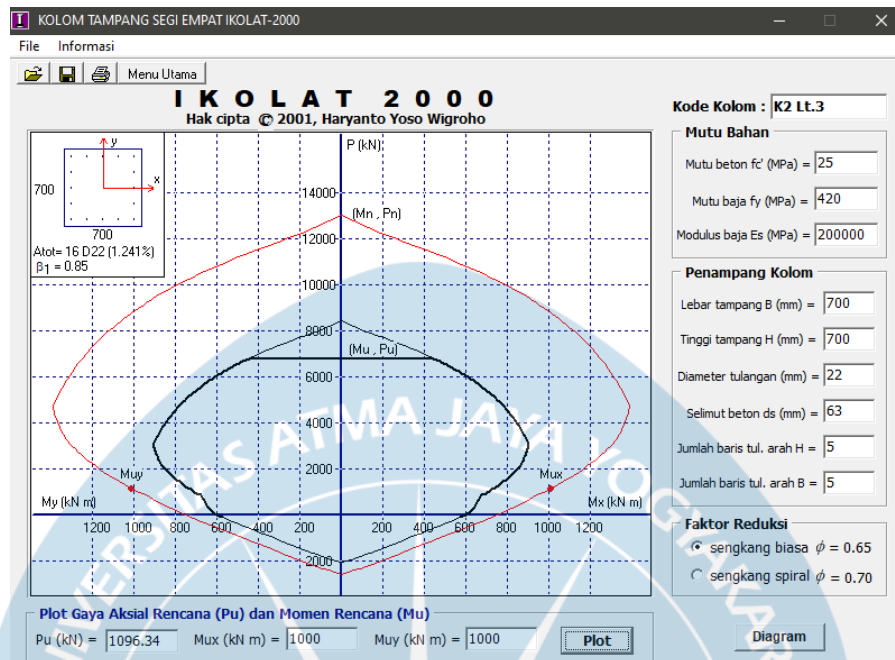
$$M_{ncy,lantai 4} = 1000 \text{ kN.m}$$

$$M_{nby,kiri} = 361,04 \text{ kN.m}$$

$$M_{nby,kanan} = 527,66 \text{ kN.m}$$



Gambar 5.35. Momen Nominal Kolom Lantai 3



Gambar 5.36. Momen Nominal Kolom Lantai 4

$$\sum M_{ncy} \geq 1,2 \sum M_{nby}$$

$$M_{ncy,tinjau} + M_{ncy,lantai\ 4} \geq 1,2 \cdot (M_{nby,kiri} + M_{nby,kanan})$$

$$1150 + 1000 \geq 1,2 \cdot (361,04 + 527,66)$$

$$2140 \text{ kN.m} > 806,54 \text{ kN.m (OK!)}$$

5.8.7. Tulangan Transversal

1. Panjang l_0

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.1, penulangan geser terbagi menjadi dua bagian yaitu daerah l_0 dan daerah diluar l_0 . Nilai l_0 dapat ditentukan dengan mengambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

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

b. $\frac{1}{6}l_n = \frac{1}{6} \cdot 3350 = 558,33 \text{ mm}$

c. 450 mm

Maka digunakan $l_0 = 700 \text{ mm}$

2. Spasi antar tulangan transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, Spasi tulangan geser pada daerah l_0 diambil nilai terkecil dari persyaratan berikut:

$$\text{a. } \frac{1}{4} \text{ dimensi terkecil kolom} = \frac{1}{4} \cdot 700 = 175 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 6 \text{ kali diameter tulangan longitudinal} = 6 \cdot 22 = 132,00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } S_0 &= 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \\ &= 100 + \left(\frac{350 - 116}{3} \right) \\ &= 146,80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka diambil spasi untuk daerah $l_0 = 100 \text{ mm}$.

3. Luas tulangan transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 18.7.5.4, luas tulangan transversal diambil nilai terbesar dari persamaan berikut:

$$\text{a. } \frac{A_{sh}}{S \cdot b_c} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \cdot S \cdot b_c$$

$$= 0,3 \left(\frac{700^2}{(700 - 2 \cdot 50)^2} - 1 \right) \frac{25}{280} \cdot 100 \cdot (700 - 2 \cdot 50)$$

$$= 580,36 \text{ mm}^2$$

$$\text{b. } \frac{A_{sh}}{S \cdot b_c} = 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \cdot S \cdot b_c$$

$$= 0,09 \frac{25}{280} \cdot 100 \cdot (700 - 2 \cdot 50)$$

$$= 482,14 \text{ mm}^2$$

Maka diambil $A_{sh} = 580,36$

4. Jumlah kaki sengkang

$$n = \frac{A_{sh}}{0,25 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{580,36}{0,25 \cdot \pi \cdot 13^2} = 4,37 \approx 5 \text{ buah}$$

5. Pemeriksaan kuat geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1.1, gaya geser desain menggunakan nilai M_{pr} dari kolom. Gaya geser kolom tersebut tidak perlu melebihi gaya geser desain yang dihitung dengan menggunakan M_{pr} balok

M_{pr} kolom diperoleh dengan *software* IKOLAT2000.

$$M_{prc-bawah} = 1150 \text{ kN.m}$$

$$M_{prc-atas} = 1150 \text{ kN.m}$$

Tabel 5.36. M_{pr} Balok Lantai 2

	Balok Arah X		Balok Arah Y	
	M_{prb}^+	M_{prb}^-	M_{prb}^+	M_{prb}^-
Balok kiri	361,04	445,51	361,04	445,51
Balok kanan	361,04	527,66	522,83	522,83

Maka diambil M_{pr} balok arah Y

$$\begin{aligned} M_{prb-lantai\ 2} &= M_{prb}^+{}_{ki} + M_{prb}^-{}_{ka} \\ &= 522,83 + 445,51 \\ &= 968,33 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Tabel 5.37. M_{pr} Balok Lantai 3

	Balok Arah X		Balok Arah Y	
	M_{prb}^+	M_{prb}^-	M_{prb}^+	M_{prb}^-
Balok kiri	361,04	445,51	361,04	361,04
Balok kanan	361,04	527,66	522,83	522,83

Maka diambil M_{pr} balok arah Y

$$\begin{aligned} M_{prb-lantai\ 3} &= M_{prb}^+{}_{ki} + M_{prb}^-{}_{ka} \\ &= 522,83 + 361,04 \\ &= 883,86 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DF_{bawah} &= \frac{E_c I_{k-tinjau}}{E_c I_{k-tinjau} + E_c I_{k-lantai2}} \\ &= \frac{3,29 \times 10^{14}}{3,29 \times 10^{14} + 3,29 \times 10^{14}} = 0,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DF_{atas} &= \frac{E_c I_{k-tinjau}}{E_c I_{k-tinjau} + E_c I_{k-lantai4}} \\ &= \frac{3,29 \times 10^{14}}{3,29 \times 10^{14} + 3,29 \times 10^{14}} = 0,50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{el} &= \frac{M_{pre-atas} + M_{pre-bawah}}{l_n} \\ &= \frac{1150 + 1150}{3,350} \\ &= 718,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} &= \frac{\sum M_{prb-atas} \cdot DF_{atas} + \sum M_{prb-bawah} \cdot DF_{bawah}}{l_n} \\
 &= \frac{883,86 \cdot 0,5 + 968,33 \cdot 0,50}{3,350} \\
 &= 289,41 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{ETABS} = 95,56 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh gaya geser desain yang dengan menggunakan M_{pr} kolom (V_{e1}) = 718,75 kN, lebih besar dari gaya geser desain yang dihitung dengan menggunakan M_{pr} balok (V_{e2}) = 289,41 kN, dan nilai V_{e1} dan V_{e2} lebih besar dari V_{ETABS} = 95,56 kN.

$$V_{ETABS} < V_{e2} < V_{e1}$$

Maka digunakan $V_e = V_{e2} = 289,41 \text{ kN}$.

Kuat geser beton diasumsikan $V_c = 0$

$$V_U = V_e = 289,41 \text{ kN}$$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 5 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 = 663,66 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{S} \\
 &= \frac{663,36 \cdot 280 \cdot 626}{100} \cdot 10^{-3} \\
 &= 1163,27 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\frac{V_U}{\phi} = \frac{289,41}{0,75} = 370,29 \text{ kN} < V_s \text{ (OK!)}$$

Maka digunakan sengkang 5D13-100.

6. Penulangan diluar l_0

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal .18.7.5.3, spasi tulangan geser diluar l_0

tidak boleh lebih besar dari:

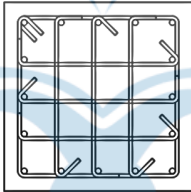
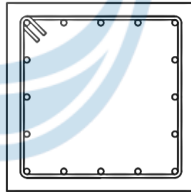
a. $6.D = 6 \cdot 22 = 132 \text{ mm}$

b. 150 mm

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{801,96}{14 \cdot 700^2} \right) 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 700 \cdot 626 \cdot 10^{-3} \\ &= 416,01 \text{ kN} > V_U = 289,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, nilai geser beton cukup untuk menahan gaya geser yang terjadi, namun tetap dipasang sengkang 2D13-100.

Tabel 5.38. Detail Penulangan Kolom K2 Lantai 3 AS E4

	Tumpuan	Lapangan
Gambar		
Tul. Longitudinal	16D22	16D22
Tul. Geser	5D13-100	2D13-100

Tabel 5.39. Rekap Hasil Perhitungan Kolom Label C29

	P_U kN	M_{Ux} kN.m	M_{Uy} kN.m	Tul. Longitudinal	Tul. Transversal	
					l_0	Luar l_0
K2 Lt. 5	332,88	361,04	522,83	16D22	4D13-100	2D13-100
K2 Lt. 4	1.096,34	445,50	522,83	16D22	4D13-100	2D13-100
K2 Lt. 3	1.872,14	527,65	522,83	16D22	4D13-100	2D13-100
K2 Lt. 2	2.653,81	527,65	522,83	16D22	5D13-100	2D13-100
K1 Lt. 1A	3.484,59	527,65	522,83	16D25	5D13-100	2D13-100
K1 Lt. 1B	4.355,84	529,56	543,76	16D25	5D13-100	2D13-100

5.9. Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok kolom yang dipaparkan terletak pada as E4 lantai 3 yang merupakan pertemuan antara kolom K2 (600×600), balok B1 (700×500) dan balok B2 (700×450). Gaya geser kolom akibat M_{pr} (V_U) sesuai dengan perhitungan sebelumnya yaitu 289,41 kN.

Gaya tarik balok kiri (4D19):

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \\ &= 1,25 \cdot 420 \cdot 4 \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \right) \cdot 10^{-3} \\ &= 595,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan Balok kanan (4D19):

$$\begin{aligned} C_1 &= 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \\ &= 1,25 \cdot 420 \cdot 4 \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \right) \cdot 10^{-3} \\ &= 595,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik balok kanan (5D19) :

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \\ &= 1,25 \cdot 420 \cdot 5 \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \right) \cdot 10^{-3} \\ &= 744,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan Balok kanan (5D19):

$$\begin{aligned} C_2 &= 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \\ &= 1,25 \cdot 420 \cdot 5 \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \right) \cdot 10^{-3} \\ &= 744,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser joint :

$$\begin{aligned} V_{x-x \text{ ki}} &= T_1 + C_2 - V_U \\ &= 595,41 + 744,26 - 289,41 \\ &= 1050,27 \text{ kN} \\ V_{x-x \text{ ka}} &= T_2 + C_1 - V_U \\ &= 744,27 + 446,56 - 152,61 \\ &= 1050,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek kuat geser Joint

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser beton nominal pada joint dengan kondisi jonit terkekang oleh balok pada keempat sisinya dapat dihitung sebagai berikut.

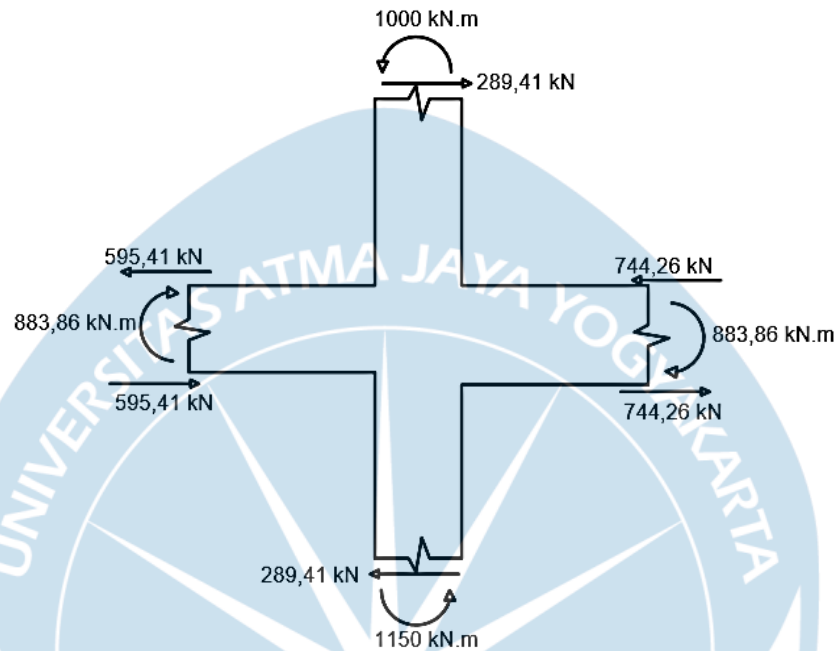
$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi (1,7 \cdot A_j \cdot \sqrt{f_c'}) \\ &= 0,75 (1,7 \cdot (700 \cdot 700) \cdot \sqrt{25}) \cdot 10^{-3} \\ &= 3123,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_n \geq V_{x-x}$$

$$\phi V_n = 3123,75 \text{ kN} > V_{x-x \text{ ki}} = 1050,27 \text{ kN (OK!)}$$

$$\phi V_n = 3123,75 \text{ kN} > V_{x-x \text{ ka}} = 1050,27 \text{ kN (OK!)}$$

Nilai $V_{x-x\ ki}$ dan $V_{x-x\ ka}$ memenuhi syarat kuat geser pada joint, maka pada joint tidak perlu diberikan tulangan geser tambahan.



Gambar 5.37. Hubungan Balok Kolom

Tabel 5.40. Rekap Gaya Geser Joint AS 4E (C29)

Lantai	Arah X		Arah Y		ϕV_n (kN)
	$V_{x-x\ ki}$ (kN)	$V_{x-x\ ka}$ (kN)	$V_{x-x\ ki}$ (kN)	$V_{x-x\ ka}$ (kN)	
Roof (K2)	356,56	356,56	817,99	817,99	3.123,75
4 (K2)	925,94	1.074,79	1.063,47	1.063,47	3.123,75
3 (K2)	1.061,96	1.210,81	1.050,27	1.050,27	3.123,75
2 (K2)	1.125,02	1.273,87	1.263,30	1.114,45	3.123,75
1A (K1)	833,95	1.131,66	969,61	969,61	4.080,00
1B (K1)	1.041,46	1.190,31	1.175,99	1.175,99	4.080,00

5.10. Perencanaan Fondasi

Fondasi yang digunakan dalam perencanaan gedung Laboratorium Fakultas Farmasi Universitas Mulawarman adalah fondasi tiang pancang (*spun pile*), dengan panjang tiang 43 meter (kedalaman 44 meter) dan diameter tiang adalah 0,5 meter.

5.10.1. Daya Dukung Tiang Pancang

1. Berdasarkan spesifikasi tiang pancang.

Tiang pancang yang digunakan pada perencanaan ini adalah jenis tiang pancang berongga dengan penampang lingkaran (*spun pile*) yang diproduksi oleh WIKA Beton dengan spesifikasi sebagai berikut:

Diameter Penampang	= 500 mm
Class	= A3
Q_{ijin}	= 178,20 ton
	= 1747,43 kN

2. Berdasarkan daya dukung tanah.

Daya dukung satu tiang dihitung menggunakan data SPT dengan menghitung daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang dengan menggunakan metode meyerhof (1956).

Tabel 5.41. Hasil Pengujian Tanah (SPT)

h	Tanah	$N1$	$N2$	N
1,00 - 2,00	Lempung larik	1	2	3
3,00 - 4,00	Lempung larik	1	2	3
5,00 - 6,00	Lempung lunak	2	3	5
7,00 - 8,00	Lempung lunak	2	4	6
9,00 - 10,00	Lempung lunak	3	5	8
11,00 - 12,00	Lempung lunak	4	5	9
13,00 - 14,00	Lempung lunak	5	6	11
15,00 - 16,00	Lempung lunak	8	10	18
17,00 - 18,00	Lempung lunak	8	10	18
19,00 - 20,00	Lempung lunak	15	19	34
21,00 - 22,00	Lempung lunak	16	20	36
23,00 - 24,00	Lempung pasir	14	12	26
25,00 - 26,00	Lempung pasir	12	14	26
27,00 - 28,00	Lempung sedang	14	14	28
29,00 - 30,00	Lempung sedang	15	17	32
31,00 - 32,00	Lempung sedang	15	18	33
33,00 - 34,00	Lempung sedang	17	17	34
35,00 - 36,00	Lempung keras	18	19	37
37,00 - 38,00	Lempung keras	20	25	45
39,00 - 40,00	Lempung keras	27	28	55
41,00 - 42,00	Lempung keras	29	29	58
43,00 - 44,00	Lempung keras	31	33	64
45,00 - 46,00	Lempung keras			64

- a. Tahanan ujung tiang tanah kohesif (Q_b)

$$Q_b = 9 \cdot C_u \cdot A_p$$

Dengan:

A_p = Luas penampang tiang

C_u = Nilai kohesi tanah = 0,6N ton/m² (Terzaghi & Peck 1967).

$$Q_b = 9 \cdot C_u \cdot A_p$$

$$= 9 \cdot 0,6 \cdot 64 \cdot 9,806 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,5^2 \right)$$

$$= 665,419 \text{ kN}$$

b. Daya dukung selimut tiang tanah kohesif (Q_s)

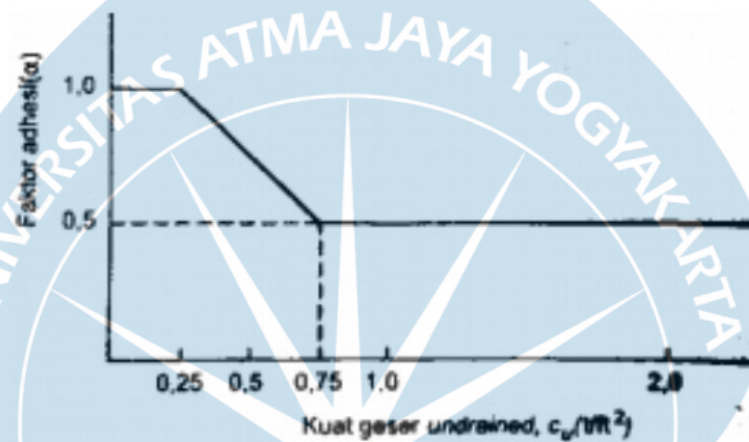
$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot A_s$$

Dengan:

α = Faktor adhesi dari gambar 5.38. ($1 \text{ t/ft}^2 = 105,6 \text{ kN/m}^2$)

A_s = Luas selimut tiang = $\pi \cdot D \cdot L$

C_u = Nilai kohesi tanah = $0,6 \text{ N ton/m}^2$ (Terzaghi & Peck 1967).



(Sumber ; Hardiyatmo, 2015)

Gambar 5.38. Hubungan faktor adhesi (α) dengan nilai kohesi tanah (C_u) berdasarkan metode U.S. Army Corps

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot A_s$$

Tabel 5.42. Daya dukung Selimut Tiang (Q_s)

h (m)	L (m)	Jenis Tanah	A_s	N	C_u (kN/m ²)	α	Q_s (kN)
1,00 - 2,00	0,80	Lempung	1,885	3	17,65	1,00	22,181
3,00 - 4,00	2,00	Lempung	3,142	3	17,65	1,00	55,452
5,00 - 6,00	2,00	Lempung	3,142	5	29,42	0,966	89,778
7,00 - 8,00	2,00	Lempung	3,142	6	35,30	0,909	101,555
9,00 - 10,00	2,00	Lempung	3,142	8	47,07	0,795	118,929
11,00 - 12,00	2,00	Lempung	3,142	9	52,95	0,739	124,526
13,00 - 14,00	2,00	Lempung	3,142	11	64,72	0,625	129,542
15,00 - 16,00	2,00	Lempung	3,142	18	105,90	0,50	166,355
17,00 - 18,00	2,00	Lempung	3,142	18	105,90	0,50	166,355
19,00 - 20,00	2,00	Lempung	3,142	34	200,04	0,50	314,226
21,00 - 22,00	2,00	Lempung	3,142	36	211,81	0,50	332,710
23,00 - 24,00	2,00	Lempung pasir	3,142	26	152,97	0,50	240,290
25,00 - 26,00	2,00	Lempung pasir	3,142	26	152,97	0,50	240,290
27,00 - 28,00	2,00	Lempung	3,142	28	164,74	0,50	258,774
29,00 - 30,00	2,00	Lempung	3,142	32	188,28	0,50	295,742
31,00 - 32,00	2,00	Lempung	3,142	33	194,16	0,50	304,984
33,00 - 34,00	2,00	Lempung	3,142	34	200,04	0,50	314,226
35,00 - 36,00	2,00	Lempung	3,142	37	217,69	0,50	341,952
37,00 - 38,00	2,00	Lempung	3,142	45	264,76	0,50	415,887
39,00 - 40,00	2,00	Lempung	3,142	55	323,60	0,50	508,307
41,00 - 42,00	2,00	Lempung	3,142	58	341,25	0,50	536,032
43,00 - 44,00	2,00	Lempung	3,142	64	376,55	0,50	591,484
45,00 - 46,00	2,00	Lempung	3,142	64	376,55	0,50	591,484
						$\sum Q_s$	5669,575

c. Menghitung daya dukung ultimate (Q_U) dan daya dukung ijin (Q_{ijin})

$$Q_U = Q_b + Q_s$$

$$= 665,419 + 5669,575 = 6334,995 \text{ kN}$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_U}{SF} = \frac{6334,995}{3} = 2111,665 \text{ kN}$$

3. Daya dukung satu tiang ($P_{1\text{tiang}}$)

Daya dukung ijin tiang berdasarkan data SPT lebih besar dari daya dukung ijin tiang berdasarkan spesifikasi tiang. Maka daya dukung satu tiang digunakan daya dukung ijin tiang berdasarkan spesifikasi tiang, $P_{1\text{tiang}} = 1747,43 \text{ kN}$.

5.10.2. Beban Rencana Fondasi

1. Jarak antar tiang

$$S \rightarrow 2,5D \leq S \leq 3D$$

$$S \rightarrow 2,5 \cdot 0,5 \leq S \leq 3 \cdot 0,5$$

$$S \rightarrow 1,25 \text{ m} \leq S \leq 1,5 \text{ m}$$

Digunakan $S = 1,5 \text{ m}$

2. Jarak tiang ke tepi

$$S' \rightarrow 1,25D \leq S' \leq 1,5D$$

$$S' \rightarrow 1,25 \cdot 0,5 \leq S' \leq 1,5 \cdot 0,5$$

$$S' \rightarrow 0,625 \text{ m} \leq S' \leq 0,75 \text{ m}$$

Digunakan $S' = 0,75 \text{ m}$

3. Beban mati *pile cap*.

$$\text{Tinggi } \textit{pile cap} (h) = 1,50 \text{ m}$$

$$\text{Luas } \textit{pile cap} (A_{PC}) = 3 \times 3 = 9 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat sendiri } \textit{pile cap} = 9 \times 1,5 \times 24 = 324,00 \text{ kN}$$

4. Beban Fondasi

$$P_{ETABS} = 4502,07 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_U &= P_{ETABS} + 1,2 \text{ (berat sendiri pile cap)} \\ &= 4357,99 + 1,2 \cdot 324,00 \\ &= 4890,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

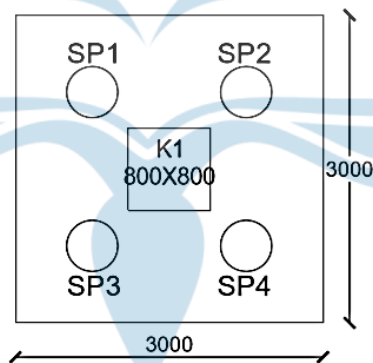
5.10.3. Kebutuhan Tiang

$$P_{\text{tiang}} = 1747,43 \text{ kN}$$

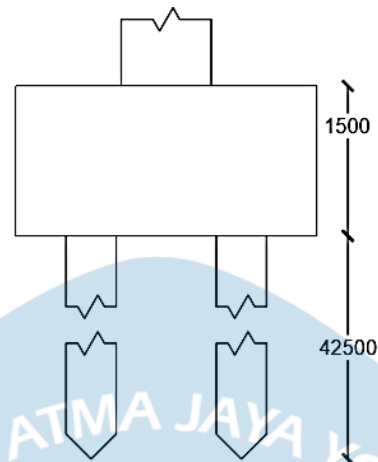
$$P_U = 4746,79 \text{ kN}$$

$$n = \frac{P_U}{P_{\text{tiang}}} = \frac{4746,79}{1747,43} = 2,72 \approx 4 \text{ buah}$$

Digunakan 4 tiang dengan diameter 0,5 meter dan panjang 42,5 meter.



Gambar 5.39. Denah Fondasi Pile Cap



Gambar 5.40. Tampak Samping *Pile Cap* dan *Spun Pile*

5.10.4. Kontrol Reaksi Tiang

Digunakan momen terfaktor terbesar dari hasil output ETABS:

$$P_U = 4890,87 \text{ kN}$$

$$M_{Ux} = 419,14 \text{ kN.m (ETASB)}$$

$$M_{Uy} = 241,46 \text{ kN.m (ETASB)}$$

$$\sum X^2 = 2 \cdot (-0,75)^2 + 2 \cdot (0,75)^2 = 2,25 \text{ m}^2$$

$$\sum Y^2 = 2 \cdot (-0,75)^2 + 2 \cdot (0,75)^2 = 2,25 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_{Uy} \cdot x}{\sum x^2} + \frac{M_{Ux} \cdot y}{\sum y^2} \\ &= \frac{4890,87}{4} + \frac{241,46 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{319,14 \cdot (-0,75)}{2,25} \\ &= 1248,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_{Uy} \cdot x}{\sum x^2} + \frac{M_{Ux} \cdot y}{\sum y^2} \\ &= \frac{4890,87}{4} + \frac{241,46 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{319,14 \cdot 0,75}{2,25} \\ &= 1409,58 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_3 &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_{Uy} \cdot x}{\sum x^2} + \frac{M_{Ux} \cdot y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{4890,87}{4} + \frac{241,46 \cdot (-0,75)}{2,25} + \frac{319,14 \cdot (-0,75)}{2,25} \\
 &= 1035,85 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_4 &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_{Uy} \cdot x}{\sum x^2} + \frac{M_{Ux} \cdot y}{\sum y^2} \\
 &= \frac{4890,87}{4} + \frac{241,46 \cdot (-0,75)}{2,25} + \frac{319,14 \cdot 0,75}{2,25} \\
 &= 1196,82 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$P_{max} = 1409,58 \text{ kN} < P_{1\text{tiang}} = 1747,43 \text{ kN}$$

5.10.5. Efisiensi Kelompok Tiang

Perhitungan efisiensi kelompok kolom menggunakan rumus *converse-Labarre*.

$$\begin{aligned}
 \eta &= 1 - \frac{\theta}{90} \left(\frac{(a-1) \cdot b + (b-1) \cdot a}{a \cdot b} \right) \\
 &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{D}{S}\right)}{90} \left(\frac{(a-1) \cdot b + (b-1) \cdot a}{a \cdot b} \right) \\
 &= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{0,5}{1,5}\right)}{90} \left(\frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{2 \cdot 2} \right) \\
 &= 0,795
 \end{aligned}$$

Kekuatan kelompok kolom:

$$\begin{aligned}
 P_n &= \eta \cdot n \cdot P_{1\text{tiang}} \\
 &= 0,795 \cdot 4 \cdot 1747,43 \\
 &= 5557,99 \text{ kN} > P_U = 4890,87 \text{ kN (OK!)}
 \end{aligned}$$

5.10.6. Kontrol Geser *Pile Cap*

Beban aksial rencana (P_U)	= 4890,87 kN
Jumlah tiang (n)	= 4 buah
Dimensi <i>pile cap</i> (b_x) = (b_y)	= 3 m
Tinggi <i>pile cap</i> (h)	= 1,5 m
Luas penampang <i>pile cap</i> (A_{PC})	= 9 m ²
Dimensi kolom (b_c) = (h_c)	= 0,8 m
Tul. utama <i>pile cap</i>	= 25 mm
Tul. susut <i>pile cap</i>	= 22 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 MPa
Mutu tulangan baja (f_y)	= 420 MPa
Selimut beton	= 80 mm
d	= $h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ tulangan utama}$
	= $1500 - 80 - \frac{1}{2} 25$
	= 1407,50 mm

$$\frac{P_U}{A_{PC}} = \frac{4890,87}{9} = 543,43 \text{ kN}$$

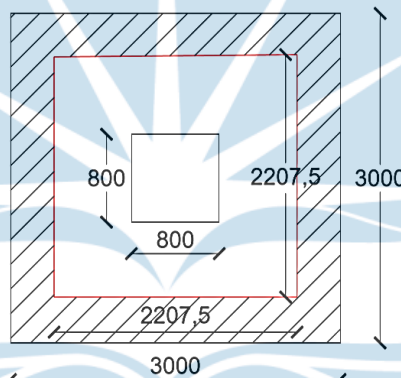
$$b_1 = b_2 = b_c + d = 800 + 1407,5 = 2207,50 \text{ mm}$$

1. Kontrol geser lentur dua arah akibat kolom.

$$\begin{aligned}\text{Keliling penampang kritis } (b_0) &= 2.(b_1 + b_2) \\ &= 2.(2207,5 + 2207,5) \\ &= 8830 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang kritis } (A_0) &= b_1 \times b_2 \\ &= (2207,5 \times 2207,5) \times 10^{-6} \\ &= 4,13 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\beta_c = \frac{b_c}{h_c} = \frac{800}{800} = 1$$



Gambar 5.41. Geser Lentur Dua Arah Akibat Kolom

Gaya geser pada penampang kritis:

$$\begin{aligned}V_U &= \frac{P_U}{A_{PC}} \cdot A_0 \\ &= 527,42 \cdot 4,13 \\ &= 2242,71 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.6.5.2, nilai V_c digunakan yang terkecil:

$$\begin{aligned}
 V_{c1} &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 8830 \cdot 1407,5 \cdot 10^{-3} \\
 &= 31691,97 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{c2} &= 0,083 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,083 \cdot \left(\frac{40 \cdot 1407,5}{9230} + 2\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 8830 \cdot 1407,5 \cdot 10^{-3} \\
 &= 43200,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

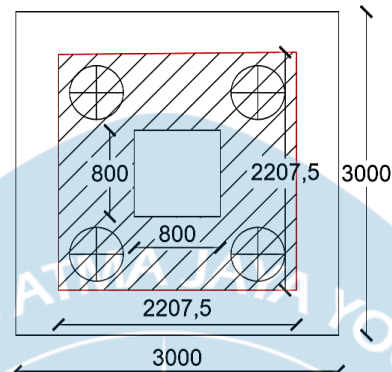
$$\begin{aligned}
 V_{c3} &= 0,333 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d \\
 &= 0,333 \cdot \sqrt{25} \cdot 8830 \cdot 1407,5 \cdot 10^{-3} \\
 &= 20692,99 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai $V_c = 20692,99 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi V_c \\
 &= 0,75 \cdot 20692,99 \\
 &= 15519,75 \text{ kN} > V_U = 2242,71 \text{ kN (OK!)}
 \end{aligned}$$

2. Kontrol geser lentur dua arah akibat tiang pancang

$$b_1 = b_2 = 2207,5 \text{ mm} > \text{jarak antar tiang}$$



Gambar 5.42. Geser Lentur Dua Arah Akibat Tiang Pancang

$$\begin{aligned} V_u &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \\ &= 1248,61 + 1409,58 + 1035,85 + 1196,82 \\ &= 4890,87 \text{ kN} \end{aligned}$$

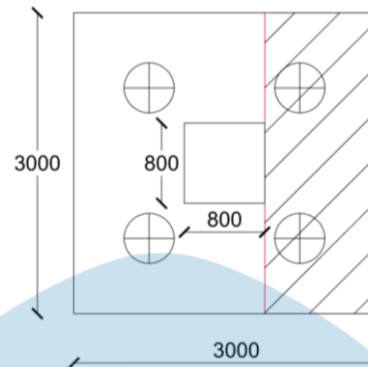
$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c \\ &= 15519,75 \text{ kN} > V_u = 4890,87 \text{ kN (OK!)} \end{aligned}$$

3. Kontrol geser lentur satu arah

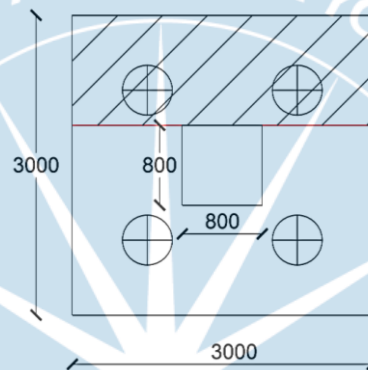
Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 13.2.7.2, gaya geser terfaktor (V_u) diambil sejauh d dari muka tumpuan, maka:

$$\begin{aligned} x = y &= \left(\frac{1}{2} \cdot b_x \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot b_c \right) - d \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot 3000 \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 800 \right) - 1407,5 \\ &= -307,50 \text{ mm (diluar pilecap)} \end{aligned}$$

Karena pada area kritis terdapat beban terpusat, maka penampang kritis diambil dari muka tumpuan. (SNI 2847:2019 pasal 13.2.7.2.c)



Gambar 5.43. Geser Satu Arah, Arah X



Gambar 5.44. Geser Satu Arah, Arah Y

$$\begin{aligned}
 V_{UX} &= P2 + P4 \\
 &= 1409,58 + 1196,82 \\
 &= 2606,41 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{UY} &= P1 + P2 \\
 &= 1248,61 + 1409,58 \\
 &= 2658,19 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

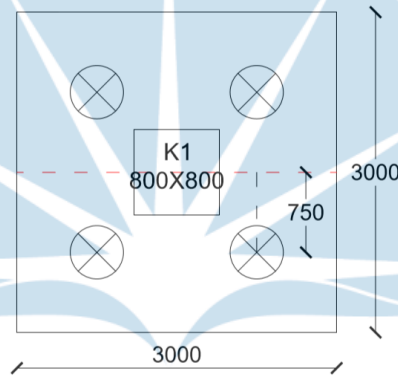
Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1, nilai V_c digunakan:

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{25} \cdot 3000 \cdot 1407,5 \cdot 10^{-3} \\
 &= 3589,13 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

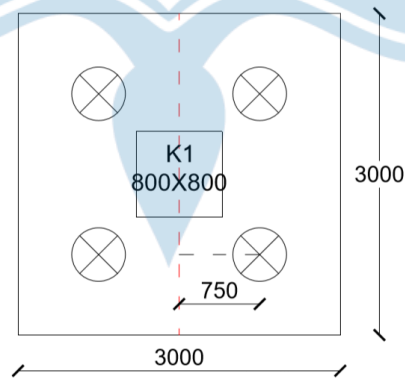
$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi \cdot V_c \\
 &= 0,75 \cdot 3589,13 \\
 &= 2691,84 \text{ kN} > V_{UX} \text{ dan } V_{UY} \text{ (OK!)}
 \end{aligned}$$

5.10.7. Penulangan *Pile Cap*

Momen lentur (M_U) *pile cap* diperhitungkan dari besarnya beban yang dipikul dikalikan dengan jarak tegak lurus dari tengah pile menuju titik kritis akibat pembebanan (dalam hal ini titik tengah kolom).



Gambar 5.45. Momen Lentur Kritis M_{Ux}



Gambar 5.46. Momen Lentur Kritis M_{Uy}

$$P_{tiang} = P_{tiang \max} = 1409,58 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Ux} &= 2 \cdot P_{tiang} \cdot x \\
 &= 2 \cdot 1409,58 \cdot 0,75 \\
 &= 2114,37 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Uy} &= 2 \cdot P_{tiang} \cdot y \\
 &= 2 \cdot 1409,58 \cdot 0,75 \\
 &= 2114,37 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_x &= h - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ tulangan utama} \\
 &= 1500 - 80 - \frac{1}{2} 25 \\
 &= 1407,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_y &= h - \text{selimut beton} - \text{tulangan utama} - \frac{1}{2} \text{ tulangan utama} \\
 &= 1500 - 80 - 25 - \frac{1}{2} 25 \\
 &= 1382,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

1. Penulangan arah X

$$M_{Ux} = 2114,37 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\
 &= \frac{2114,37 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 3000 \cdot 1407,5^2} \\
 &= 0,395
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,395}{0,85 \cdot 25}} \right) \\
 &= 0,00095
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} = 0,0184\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} (\rho = 0,00095)$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00095 \cdot 3000 \cdot 1407,5 \\ &= 4011,79 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh = 420, maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 3000 \cdot 1500 = 8100 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s < A_{s \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{s \min}$.

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2\right) \cdot 3000}{8100} = 181,81 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3t_p = 3 \cdot 1500 = 4500 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D25-150.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2\right) \cdot 3000}{150} = 9817,48 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{9817,48 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 3000} = 64,68 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{64,68}{0,85} = 76,09 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(1407,5-76,09)}{76,09} = 0,052$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 9817,48 \cdot 420 \cdot \left(1407,5 - \frac{64,68}{2} \right) \\ &= 5103,23 \text{ kNm} > M_{Ux} \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

2. Penulangan arah Y

$$M_{Uy} = 2114,37$$

$$k = \frac{M_U}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$= \frac{2114,37 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 3000 \cdot 1382,5^2}$$

$$= 0,409$$

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

$$= \frac{0,85 \cdot 25}{280} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,409}{0,85 \cdot 25}} \right)$$

$$= 0,00099$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c' \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} = 0,0184\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{max} (\rho = 0,00099)$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00099 \cdot 3000 \cdot 1082,50 \\ &= 4124,95 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh = 420, maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}A_{s \min} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 3000 \cdot 1500 = 8100 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$A_s < A_{s \min}$, maka luas tulangan yang dipakai adalah $A_{s \min}$.

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2\right) \cdot 3000}{8100} = 181,81 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3t_p = 3 \cdot 1200 = 3600 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{max}$, maka tulangan yang dipakai D25-150.

Cek kapasitas lentur :

$$A_{s \text{ aktual}} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right) \cdot b}{S} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2\right) \cdot 3000}{150} = 9817,48 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{9817,48 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 3000} = 64,68 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{64,68}{0,85} = 76,09 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = 0,003 \frac{(d-c)}{c} = 0,003 \frac{(1382,5-76,09)}{76,09} = 0,052$$

$\varepsilon_t > 0,005$, maka termasuk kondisi terkendali tarik $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi A_{S \text{ aktual}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \cdot 9817,48 \cdot 420 \cdot \left(1382,5 - \frac{64,68}{2} \right) \\ &= 5010,45 \text{ kNm} > M_{Ux} \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

3. Tulangan susut

Perhitungan tulangan susut menggunakan luas tulangan minimum dengan diameter tulanga susut adalah 22 mm ($f_y = 420$ MPa).

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.6.1.1. pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan nilai tegangan luluh = 420, maka luas tulangan minimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} A_{S \text{ min}} &= 0,0018 \cdot b \cdot h \\ &= 0,0018 \cdot 3000 \cdot 1500 \\ &= 8100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \cdot b}{A_s} = \frac{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \right) \cdot 3000}{8100} = 140,79 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 5t_p = 5 \cdot 1200 = 6000 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$S < S_{\text{max}}$, maka tulangan yang dipakai D22-100.

5.10.8. Kapasitas Dukungan Lateral Tiang

1. Kapasitas lateral tiang dengan metode McNulty (1956)

Pemodelan fondasi menggunakan SAP2000 dengan menganggap adanya dukungan *spring* arah x dan y.

Representative range of values of lateral modulus of subgrade reaction (value of A_s in the equation $k_s = A_s + Bz^n$)

Soil*	k_s , kcf	k_s , MN/m ³
Dense sandy gravel	1400–2500	220–400
Medium dense coarse sand	1000–2000	157–300
Medium sand	700–1800	110–280
Fine or silty, fine sand	500–1200	80–200
Stiff clay (wet)	350–1400	60–220
Stiff clay (saturated)	175–700	30–110
Medium clay (wet)	250–900	39–140
Medium clay (saturated)	75–500	10–80
Soft clay	10–250	2–40

(Sumber : Foundation Analysis and Design)

Gambar 5.47. Nilai Konstanta Spring (Bowles, 1977)

Dari hasil pengujian tanah diperoleh jenis tanah terdapat 3 jenis lapisan tanah yaitu tanah lempung lunak dengan nilai $k_s = 40000 \text{ kN/m}^3$, lempung sedang dengan nilai $k_s = 140000 \text{ kN/m}^3$, dan lempung keras dengan nilai $k_s = 220000 \text{ kN/m}^3$.

Diameter tiang (D) = 0,5 m

Panjang tiang = 42,5 m

Panjang segmen (a) = 0,5 m

Perhitungan dukungan *spring* sebagai berikut:

a. Konstanta *spring* ujung tiang.

$$\begin{aligned} k_{s1} &= d \cdot \frac{a}{2} \cdot k_s \\ &= 0,5 \cdot \frac{0,5}{2} \cdot 40000 \\ &= 5000 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{s2} &= d \cdot \frac{a}{2} \cdot k_s \\ &= 0,5 \cdot \frac{0,5}{2} \cdot 220000 \\ &= 27500 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Konstanta *spring* sepanjang tiang.

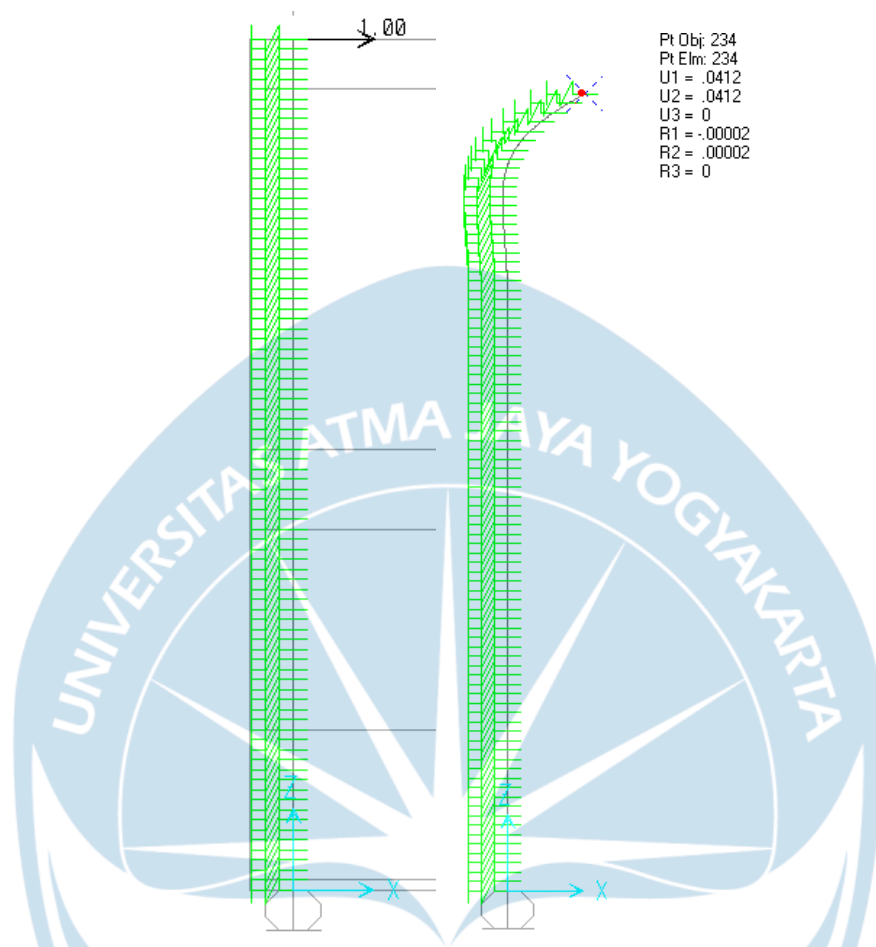
$$\begin{aligned} k_{sH3} &= d \cdot a \cdot k_s \\ &= 0,5 \cdot 0,5 \cdot 40000 \\ &= 10000 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{sH4} &= d \cdot a \cdot k_s \\ &= 0,5 \cdot 0,5 \cdot 140000 \\ &= 35000 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{sH5} &= d \cdot a \cdot k_s \\ &= 0,5 \cdot 0,5 \cdot 220000 \\ &= 55000 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Defleksi toleransi (δ_{ijin}) untuk bangunan gedung berdasarkan McNulty (1956) adalah 6 mm. Defleksi yang diperoleh dengan menggunakan SAP 2000 dengan nilai P_x dan P_y sebesar 1 kN adalah:

$$\delta = 0,0000412 \text{ m} = 0,0412 \text{ mm}$$

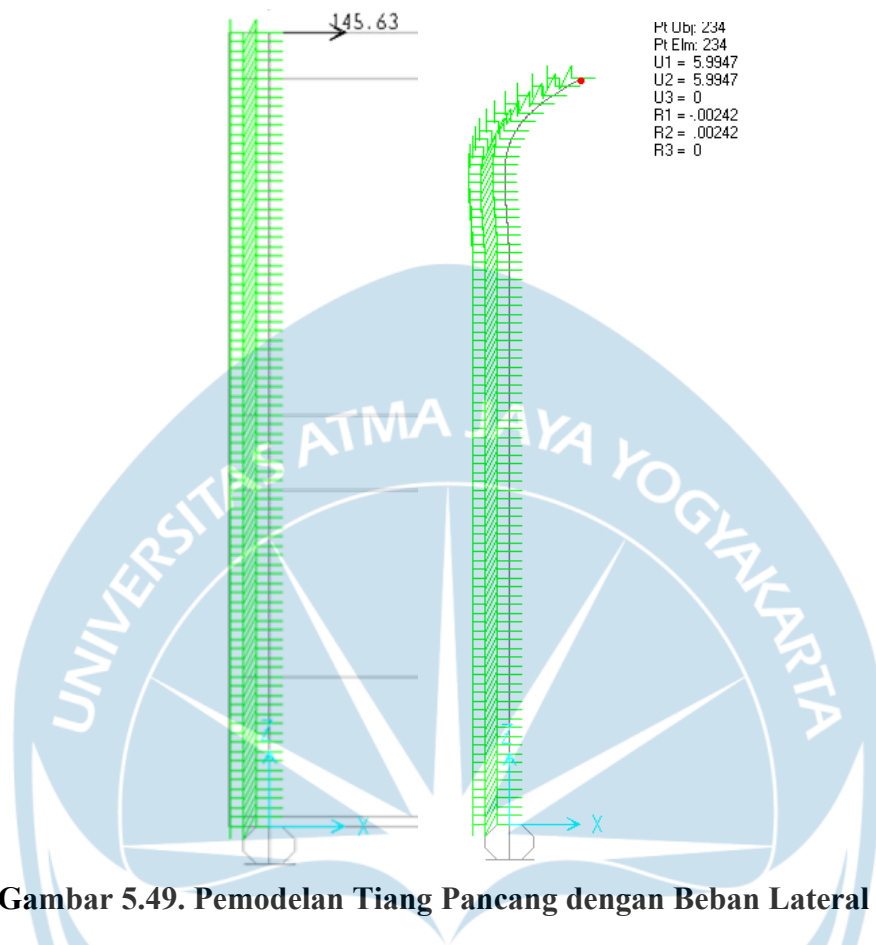


Gambar 5.48. Pemodelan Tiang Pancang dengan Beban 1 kN

Perhitungan gaya lateral maksimum:

$$\begin{aligned}
 H_U &= \frac{\delta_{izin}}{\delta} \cdot 1 \text{ kN} \\
 &= \frac{6}{0,0412} \cdot 1 \\
 &= 145,63 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka gaya lateral ultimet sebesar 145,63 kN menyebabkan defleksi sebesar 6 mm seperti gambar 5.49. dibawah ini.



Gambar 5.49. Pemodelan Tiang Pancang dengan Beban Lateral Ultimit

2. Kapasitas lateral tiang dengan metode Broms (1964)

Tiang pancang berada pada tanah kohesif. Defleksi maksimum akibat beban lateral dihitung berdasarkan defleksi toleransi yaitu 6 mm dengan menggunakan metode Broms (1964).

a. Kriteria kekakuan tiang

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{n_h}}$$

Dimana:

E_p = Modulus elastisitas tiang (kN/m²)

I_p = Momen inersia tiang (m⁴)

n_h = Nilai koefisien menurut jenis tanah = 111 kN/m³ (tanah lempung terkonsolidasi organik)

$$\begin{aligned}
 E_p &= 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \cdot \sqrt{52} \\
 &= 33892,1819 \text{ MPa} \\
 &= 33,892 \times 10^6 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot D^4 - \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot (D - 2t)^4 \\
 &= \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot 500^4 - \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot (500 - 2 \cdot 90)^4 \\
 &= 2553243035,41 \text{ mm}^4 \\
 &= 25,5324 \times 10^{-4} \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{n_h}} \\
 T &= \sqrt[5]{\frac{(33,892 \times 10^6) \cdot (25,5324 \times 10^{-4})}{111}} \\
 &= 3,7896 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{L}{T} &= \frac{42,5}{3,7896} \\
 &= 11,215 > 4 \text{ (Merupakan tiang panjang)}
 \end{aligned}$$

b. Kapasitas geser maksimum fondasi.

$$y_o = \frac{H \cdot \beta}{k_h \cdot D}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p}}$$

Dimana:

β = Koefisien tanah kohesif

k_h = Modulus subgrade lateral = $\frac{k_1}{1,5}$

k_1 = Modulus subgrade *Terzaghi* (kN/m³)

D = Diameter tiang = 0,5 m

Tabel 5.43. Modulus Subgrade *Terzaghi*

Konsistensi	Kaku	Sangat Kaku	Keras
C_u (kN/m ²)	100 – 200	200 – 400	> 400
k_1 (MN/m ³)	18 – 36	36 – 72	> 72
k_1 (MN/m ³)	27	54	> 108

$$C_u = 376,55 \text{ kN/m}^2$$

$$k_1 = 54 \text{ MN/m}^3 = 54000 \text{ kN/m}^3$$

$$k_h = \frac{k_1}{1,5} = \frac{54000}{1,5} = 36000 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{36000 \cdot 0,5}{4 \cdot (33,892 \times 10^6) \cdot (25,5324 \times 10^{-4})}}$$

$$= 0,4772$$

$$y_o = \frac{H_n \cdot \beta}{k_h \cdot D}$$

$$\begin{aligned} H_n &= \frac{y_0 \cdot k_h \cdot D}{\beta} \\ &= \frac{(6 \times 10^{-3}) \cdot 36000 \cdot 0,5}{0,4772} \\ &= 226,321 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua cara perhitungan diatas digunakan kapasitas lateral tiang (H_n) yang terkecil yaitu $H_n = 145,63 \text{ kN}$.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan struktur yang meliputi atap baja, pelat, tangga, tribun, balok, kolom, dan fondasi, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Digunakan atap baja dengan gording 125 x 50 x 20 x 3,2 dan kuda-kuda WF 350 x 175 x 7 x 11.
2. Kelas situs tanah pada lokasi perencanaan termasuk dalam kelas situs SD.
3. Kategori desain seismik (KDS) lokasi perencanaan adalah D dengan nilai $S_{ds} = 0,1903g$ dan $S_{d1} = 0,2709g$.
4. Pelat lantai dan pelat atap menggunakan tulangan tumpuan D10-150, tulangan lapangan D10-250, dan tulangan susut D8-150, dengan tebal pelat adalah 130 mm.
5. Pelat tangga dan pelat bordes menggunakan tulangan tumpuan D10-200, tulangan lapangan D10-100, dan tulangan susut D8-150, dengan tebal pelat adalah 130 mm.
6. Balok bordes berukuran 400 x 200 mm dengan tulangan tumpuan 3D16, tulangan lapangan 2D16, tulangan geser tuumpuan D10-75 dan D10-150.
7. Kolom tangga dengan ukuran 250 x 250 mm digunakan tulangan longitudinal 4D19, dan tulangan geser D10-75.