

BAB V

STRUKTUR SEKUNDER

5.1 Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak direncanakan untuk menahan beban gempa akan tetapi menahan beban yang mengakibatkan lentur serta membebani struktur primer suatu gedung, berdasarkan beban yang terdapat pada (Badan Standardisasi Indonesia, SNI 1727- 2020) (SNI 03 1727, 1989) dan (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727 - 2013)

5.2 Perencanaan Pembebanan Pelat Atap

5.2.1 Pembebanan Pelat Atap

❖ Beban Mati (*Dead Load*) (PPPURG 1987 dan SNI 03-1727-1989 Pasal 2.1.1)

- Beban Sendiri Pelat Atap	= $0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	= 288 kg/m^2
- Penggantung Langit – Langit		= 7 kg/m^2
- Plafond		= 11 kg/m^2
- Plumbing + Ducting AC		= 40 kg/m^2
- Spesi 2 cm	= $0,02 \times 2100 \text{ kg/m}^2$	= 42 kg/m^2
- Aspal 1 cm	= $0,01 \times 1400 \text{ kg/m}^2$	= 14 kg/m^2
- Finishing		= 21 kg/m^2
- Tandon Air	= $20000 : (5 \times 2)$	= 2000 kg/m^2

+

Total Jumlah Beban Mati Pelat Atap (qD) = 2423 kg/m²

❖ Beban Hidup (*Live Load*)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.3-1, Beban hidup pada struktur atap gedung

- Beban Hidup Pelat Atap = **100 kg/m²**

❖ Beban Air Hujan

- Beban Air Hujan = **50 kg/m²**

❖ Kombinasi Beban *Ultimate*

$$Q_u = 1,2D + 1,6L + 0,5R$$

$$Q_u = 1,2(2423) + 1,6(100) + 0,5(50)$$

$$Q_u = \mathbf{3092,6 \text{ kg/m}^2}$$

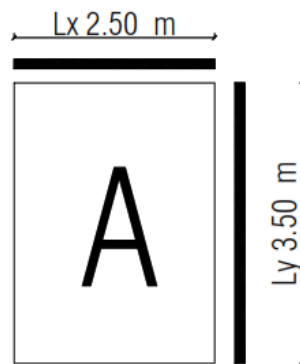
5.2.2 Perhitungan Momen Pelat Atap

Perhitungan momen pada pelat atap yang direncanakan dengan perhitungan momen pelat atap, yang akan diasumsikan direncanakan nantinya yang akan mengalami lendutan jika terbebani, maka dari itu pelat atap akan direncanakan dengan pelat terjepit elastis. Digunakan pada contoh pelat A pada Gambar 5.1 sebagai berikut :

5.2.3 Perhitungan Penulangan Pelat Atap

Untuk perhitungan momen pada pelat lantai, maka digunakan dengan Pelat A (Gambar 5.1) sebagai contoh dalam perhitungan.

Tebal pada pelat atap : 120 mm



Gambar 5. 1 Tipe Pelat Atap

$$L_y/L_x = 3,5/2,5 = 1,4 < 2,5 \quad (\text{Two way Slab})$$

Kemudian didapatkan pada Koefisien C pada PBI 1971 Tabel 13.3.2 dengan jenis pelat III :

Perhitungan Momen pada Pelat A :

$$M_{tx} : 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = 0,001 \cdot 3092,6 \cdot 2,5^2 \cdot 71 = 1372,34 \text{ Kgm}$$

$$M_{ly} : 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = 0,001 \cdot 3092,6 \cdot 2,5^2 \cdot 51 = 985,77 \text{ Kgm}$$

$$M_{ty} : 0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = 0,001 \cdot 3092,6 \cdot 2,5^2 \cdot 51 = 985,77 \text{ Kgm}$$

5.2.4 Tabel Perhitungan Pelat Atap

Tabel 5. 1 Perhitungan Momen Pelat Atap

Gambar Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)			Ly/Lx	Kontrol	Keterangan	C	Momen	Mu (Kgm)	Penulangan
	2,5	x	3,5	1,4	2,5	Two Way Slab	71	Mtx	1372,34	Arah X D13-250
							51	Mly	985,77	
							51	Mty	985,77	Arah Y D13-300
	2,5	x	3,5	1,4	2,5	Two Way Slab	65	Mlx	1256,37	Arah X D13-250
							51	Mly	985,77	
							51	Mty	985,77	Arah Y D13-300
	2,5	x	3	1,2	2,5	Two Way Slab	50	Mtx	966,44	Arah X D13-250
							38	Mly	734,49	
							38	Mty	734,49	Arah Y D13-300
	2,5	x	3	1,2	2,5	Two Way Slab	53	Mtx	1024,42	Arah X D13-250
							48	Mly	927,78	
							48	Mty	927,78	Arah Y D13-300
	2,5	x	3,5	1,4	2,5	Two Way Slab	53	Mtx	1024,42	Arah X D13-250
							38	Mly	734,49	
							38	Mty	734,49	Arah Y D13-300

❖ Syarat Batas Penulangan Pelat Atap

Perhitungan syarat batas penulangan pelat atap dengan menggunakan standart SNI 2847-2019 Pasal 22.2.2.4.3

$\beta_1 = 0,85$, pelat ini direncanakan menggunakan mutu beton $f_c' = 25$ MPa

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,0253$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0253 = 0,0190$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \cdot 25} = 19,76$$

❖ Penulangan Pelat Atap Arah X dan Y

Tebal Pelat Atap (h) = 120 mm

Tebal selimut beton (s) = 20 mm

Diameter tulangan utama (D) = 13 mm

Diameter tulangan susut (\emptyset) = 8 mm

Maka direncanakan dengan menggunakan tulangan utama dengan diameter D13 mm dan tulangan susut menggunakan diameter \emptyset 8 mm.

Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 D) \\ &= 120 - 20 - (1/2 \cdot 13) \\ &= 93,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = M_{tx} = 1372,34 \text{ Kgm} = 13458070,32 \text{ Nmm}$$

$$M_n \text{ diminta} = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{13458070,32}{0,8} = 16822587,90 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{16822587,90}{1000 \cdot 93,50^2} = 1,92 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 1,92}{420}} \right) = 0,0048$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0048 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}})$$

Tulangan perlu arah X

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot x \cdot d = 0,0048 \cdot 1000 \cdot 93,50 = 499,76 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D13 - 250 mm** ($A_s = 530,66 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut arah X

$$A_{s\text{sperlu}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **\emptyset 8 - 200 mm** ($A_s = 251 \text{ mm}^2$)

Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dy)} &= h - s - \emptyset \text{ tulangan arah x} - (1/2 \emptyset \text{ tulangan arah y}) \\ &= 120 - 20 - 13 - 1/2 \cdot 13 \\ &= 80,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = M_{ty} = 985,77 \text{ Kgm} = 9667064,60 \text{ Nmm}$$

$$M_n \text{ diminta} = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{9667064,60}{0,8} = 12083830,74 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ diminta}}{b \cdot dy^2} = \frac{12083830,74}{1000 \cdot 80,50^2} = 1,86 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 1,86}{420}} \right) = 0,0047$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0047 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}})$$

Tulangan perlu arah Y

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0047 \cdot 1000 \cdot 80,50 = 374,63 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D13 - 300 mm** ($A_s = 442,22 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut arah Y

$$A_{s\text{s perlu}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø8 - 200 mm** ($A_s = 251 \text{ mm}^2$)

5.2.5 Kontrol Kekuatan Pelat Atap



Kontrol Tulangan Arah X

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{530,66}{1000 \cdot 93,50} = 0,0057$$

$$a = \frac{530,66 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 10,49 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot fy \left(d - \frac{a}{2} \right) = 530,66 \cdot 420 \left(93,50 - \frac{10,49}{2} \right) = 19670212,41 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 19670212,41 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 16822587,90 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 200 \text{ mm} \leq 3 \cdot 120 = (360 \text{ mm}) \text{ (OK)}$$

Tulangan Susut :

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1000}{200} = 251,20 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$



Kontrol Tulangan Arah Y

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dy} = \frac{442,22}{1000 \cdot 80,50} = 0,0055$$

$$a = \frac{442,22 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 8,74 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot fy \left(d - \frac{a}{2} \right) = 442,22 \cdot 420 \left(80,50 - \frac{8,74}{2} \right) = 14139674,81 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 14139674,81 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 12083830,74 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 225 \text{ mm} \leq 3 \cdot 120 = (360 \text{ mm}) \text{ (OK)}$$

Tulangan Susut :

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1000}{200} = 251,20 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

5.2.6 Kontrol Retak Pelat Atap

$$Z = f_s \cdot (d_c \cdot A)^{\frac{1}{3}} \leq 25 M_n / m$$

$$f_s = 60\% \cdot f_y = 60\% \cdot 420 = 252 \text{ MPa}$$

$$d_c = s + \frac{1}{2} \cdot \phi = 20 + \frac{1}{2} \cdot 13 = 26,5 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot d_c \cdot h = 2 \cdot 26,5 \cdot 120 = 6360 \text{ mm}^2$$

$$Z = f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} = 240 \cdot \sqrt[3]{26,5 \cdot 6360} = 14,16 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m (OK)}$$

5.3 Perencanaan Pelat Lantai

5.3.1 Pembebanan Pelat Lantai

❖ Beban Mati (*Dead Load*) (PPURG 1987 dan SNI 03-1727-1989 Pasal 2.1.1)

- Beban Sendiri Pelat Lantai = $0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$
- Peggantung = 7 kg/m^2
- Plafond = 11 kg/m^2
- Plumbing + Ducting AC = 40 kg/m^2
- Spesi 2 cm = $0,02 \times 2100 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$
- Keramik 1 cm = $0,01 \times 2400 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2$
- Beban Furniture = 150 kg/m^2

$$\text{Total Jumlah Beban Mati Pelat Lantai (qD) } = 562 \text{ kg/m}^2 \quad +$$

❖ Beban Hidup (*Live Load*)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.3-1, Beban hidup pada struktur atap gedung

- Beban Hidup Pelat Lantai = 192 kg/m^2

❖ Kombinasi Beban *Ultimate*

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

$$Q_u = 1,2(562) + 1,6(192)$$

$$Q_u = 981,6 \text{ kg/m}^2$$

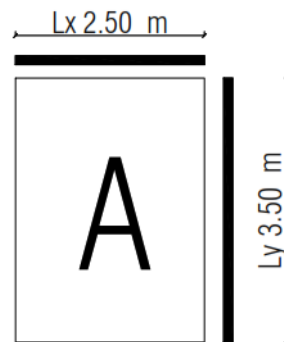
5.3.2 Perhitungan Momen Pelat Lantai

Perhitungan momen pada pelat lantai yang direncanakan dengan perhitungan momen pelat lantai, yang akan diasumsikan direncanakan nantinya yang akan mengalami lendutan jika terbebani, maka dari itu pelat atap akan direncanakan dengan pelat terjepit elastis. Digunakan pada contoh pelat A pada Gambar 5.2 sebagai berikut :

5.3.3 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

Untuk perhitungan momen pada pelat lantai, maka digunakan dengan Pelat A (Gambar 5.2) sebagai contoh dalam perhitungan.

Tebal pada Pelat Lantai : 120 mm



Gambar 5. 2 Tipe Pelat Lantai

$$L_y/L_x = 3,5/2,5 = 1,4 < 2,5 \quad (\text{Two way Slab})$$

Kemudian didapatkan pada Koefisien C pada PBI 1971 Tabel 13.3.2 dengan jenis pelat III :

Perhitungan Momen pada Pelat A :

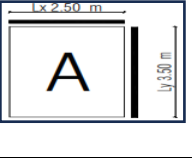
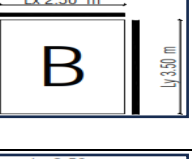
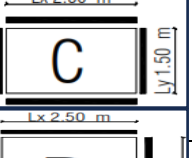

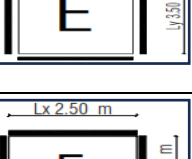
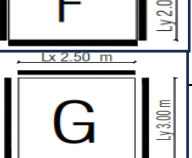
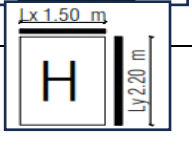
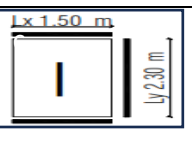
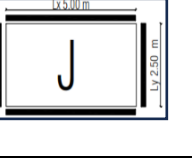

$$M_{ix} : +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = +0,001 \cdot 981,6 \cdot 2,5^2 \cdot 71 = 435,59 \text{ Kgm}$$

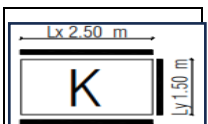
$$M_{iy} : +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = +0,001 \cdot 981,6 \cdot 2,5^2 \cdot 51 = 312,89 \text{ Kgm}$$

$$M_{iy} : -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = -0,001 \cdot 981,6 \cdot 2,5^2 \cdot 51 = 312,89 \text{ Kgm}$$

5.3.4 Tabel Perhitungan Pelat Lantai

Tabel 5. 2 Perhitungan Momen Pelat Lantai

Gambar Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)		L_y/L_x	Kontrol	Keterangan	C	Momen	Mu (Kgm)	Penulangan	
	2,5	x	3,5	1,4	2,5	<i>Two Way Slab</i>	71	Mtx	435,59	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							51	Mly	312,89	
							51	Mty	312,89	
	2,5	x	3,5	1,4	2,5	<i>Two Way Slab</i>	71	Mtx	435,59	Arah X D13-250 Arah Y D13-300
							51	Mly	312,89	
							51	Mty	312,89	
	2,5	x	1,5	0,6	2,5	<i>Two Way Slab</i>	36	Mtx	220,86	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							36	Mly	220,86	
							36	Mty	220,86	
	2,5	x	3	1,2	2,5	<i>Two Way Slab</i>	51	Mtx	312,89	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							38	Mly	233,13	
							38	Mty	233,13	
	2,5	x	3,5	1,4	2,5	<i>Two Way Slab</i>	53	Mtx	325,16	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							38	Mly	233,13	
							38	Mty	233,13	
	2,5	x	2	0,8	2,5	<i>Two Way Slab</i>	36	Mtx	220,86	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							36	Mly	220,86	
							36	Mty	220,86	
	2,5	x	3	1,2	2,5	<i>Two Way Slab</i>	42	Mtx	257,67	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							37	Mly	227,00	
							37	Mty	227,00	
	1,5	x	3,2	2,1	2,5	<i>Two Way Slab</i>	89	Mtx	546,02	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							49	Mly	300,62	
							49	Mty	300,62	
	1,5	x	2,3	1,5	2,5	<i>Two Way Slab</i>	69	Mtx	423,32	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							51	Mly	312,89	
	2,5	x	2,5	1,0	2,5	<i>Two Way Slab</i>	36	Mtx	220,86	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							36	Mly	220,86	
							36	Mty	220,86	

	2,5	x	1,5	0,6	2,5	Two Way Slab	38	Mtx	233,13	Arah X D13-300 Arah Y D13-300
							43	Mly	263,81	
							43	Mty	263,81	

❖ Syarat Batas Penulangan Pelat Lantai

Perhitungan syarat batas penulangan pelat atap dengan menggunakan standart SNI 2847-2019 Pasal 22.2.2.4.3

$\beta_1 = 0,85$, pelat ini direncanakan menggunakan mutu beton $f_c' = 25$ MPa

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \left(\frac{600}{600+420} \right) = 0,0253$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0253 = 0,0190$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \cdot 25} = 19,76$$

❖ Penulangan Pelat Lantai Arah X dan Y

Tebal Pelat Atap (h) = 120 mm

Tebal selimut beton (s) = 20 mm (SNI 2847-2019 Tabel 20.6.1.3.1)

Diameter tulangan utama (D) = 13 mm

Diameter tulangan susut (\emptyset) = 8 mm

Maka direncanakan dengan menggunakan tulangan utama dengan diameter D13 mm dan tulangan susut menggunakan diameter $\emptyset 8$ mm

✚ Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \emptyset) \\ &= 120 - 20 - (1/2 \cdot 13) \\ &= 93,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = M_{tx} = 435,59 \text{ Kgm} = 4271629,64 \text{ Nmm}$$

$$M_n \text{ diminta} = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{4271629,64}{0,8} = 5339537,05 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{5339537,05}{1000 \cdot 93,50^2} = 0,61 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 0,61}{420}} \right) = 0,0015$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0015 < \rho_{\text{min}} = 0,0033 \text{ (dipakai } \rho_{\text{min}})$$

Tulangan perlu arah X

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot x \cdot d = 0,0033 \cdot 1000 \cdot 93,50 = 190 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D13 - 300 mm** ($A_s = 311,67 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut arah X

$$A_{ss \text{ perlu}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø8 - 200 mm** ($A_s = 251 \text{ mm}^2$)

✚ Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dy)} &= h - s - \emptyset_{\text{ tulangan arah x}} - \left(\frac{1}{2} \emptyset_{\text{ tulangan arah y}} \right) \\ &= 120 - 20 - 13 - \frac{1}{2} \cdot 13 \\ &= 80,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_u = M_{ty} = 312,89 \text{ Kgm} = 3068353,69 \text{ Nmm}$$

$$M_n \text{ diminta} = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{3068353,69}{0,8} = 3835442,11 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dy^2} = \frac{3835442,11}{1000 \cdot 80,50^2} = 0,59 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 0,59}{420}} \right) = 0,0014$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0014 < \rho_{\text{min}} = 0,0033 \text{ (dipakai } \rho_{\text{min}})$$

Tulangan perlu arah Y

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot x \cdot d = 0,0033 \cdot 1000 \cdot 80,50 = 26,338 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D13 - 300 mm** ($A_s = 442,22 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut arah Y

$$A_{ss \text{ perlu}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø8 - 200 mm** ($A_s = 251 \text{ mm}^2$)

5.3.5 Kontrol Kekuatan Pelat Lantai

✚ Kontrol Tulangan Arah X

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{442,22}{1000 \cdot 93,50} = 0,0047$$

$$a = \frac{442,22 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 8,74 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 442,22 \cdot 420 \left(93,50 - \frac{8,74}{2} \right) = 16554177,81 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 16554177,81 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 5339537,05 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 250 \text{ mm} \leq 3 \cdot 120 = (360 \text{ mm}) \text{ (OK)}$$

Tulangan Susut :

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1000}{200} = 251,20 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$



Kontrol Tulangan Arah Y

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{442,22}{1000 \cdot 80,50} = 0,0055$$

$$a = \frac{442,22 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 8,74 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 442,22 \cdot 420 \left(80,50 - \frac{8,74}{2} \right) = 14139674,81 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 14139674,81 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 3835442,11 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 250 \text{ mm} \leq 3 \cdot 120 = (360 \text{ mm}) \text{ (OK)}$$

Tulangan Susut :

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1000}{200} = 251,20 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

5.3.6 Kontrol Retak Pelat Lantai

$$Z = f_s \cdot (dc \cdot A)^{\frac{1}{3}} \leq 30 M_n / m$$

$$f_s = 60\% \cdot f_y = 60\% \cdot 420 = 252 \text{ MPa}$$

$$dc = s + \frac{1}{2} \cdot \phi = 20 + \frac{1}{2} \cdot 13 = 26,5 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot dc \cdot h = 2 \cdot 26,5 \cdot 120 = 6360 \text{ mm}^2$$

$$Z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} = 252 \cdot \sqrt[3]{26,5 \cdot 6360} = 14,16 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m} \text{ (OK)}$$

5.4 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga Adapun data perencanaan tangga adalah sebagai berikut :

Selisih Tinggi Lantai : 4,00 m

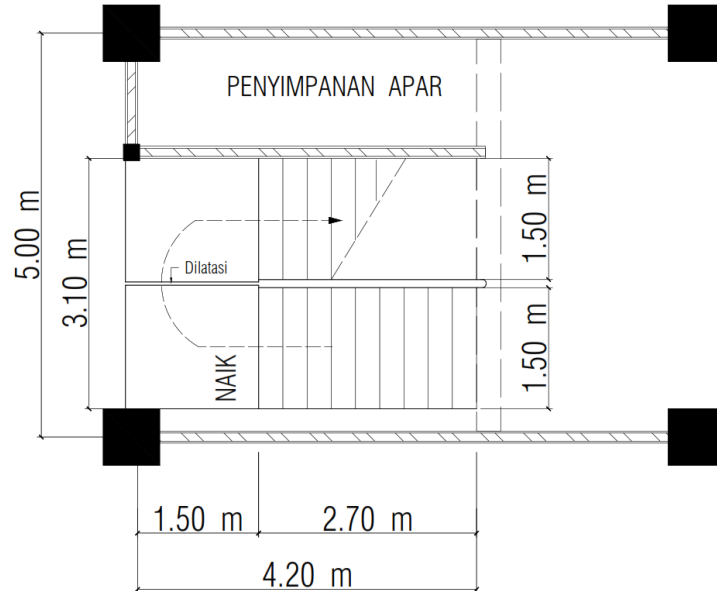
Panjang Tangga : 4,20 m

Lebar Tangga : 3,10 m

Panjang Bordes : 2,50 m

Lebar Bordes : 3,10 m

Elevasi Bordes : 2,00 m
 Mutu Beton : 25 MPa
 Mutu Baja : 420 MPa



Gambar 5. 3 Denah Tangga

✚ Perhitungan Tangga

Lebar anak tangga (*Antrade*) = 30 cm , Syarat : $26 \text{ cm} \leq A \leq 30 \text{ cm}$ (OK)

Tinggi anak tangga (*Optrade*) = 20 cm , Syarat : $16 \text{ cm} \leq O \leq 20 \text{ cm}$ (OK)

Jumlah injakan tangga = $\frac{\text{Elevasi bordes}}{\text{Lebar anak tangga}} = \frac{200}{20} = 10$ anak tangga

Jumlah injakan = $10 - 1 = 9$ anak tangga

Syarat kemiringan tangga = $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$

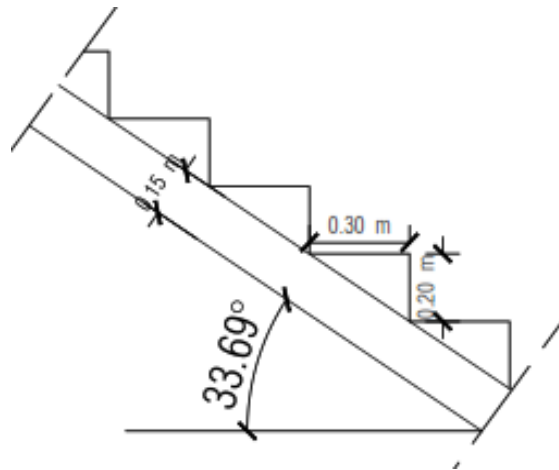
Sudut kemiringan tangga (α) = $\text{Arc. Tan } \frac{O}{A} = \text{Arc. Tan } \frac{20}{30} = 33,69^\circ \leq 40^\circ$ (OK)

✚ Perhitungan Tebal Pelat Tangga

Tebal selimut beton = 20 mm

$H_{\min} = \frac{H}{27} = \frac{180}{\sin 33,69} = 13,35 \text{ cm}$

Digunakan tebal pelat tangga = 15 cm



Gambar 5. 4 Tebal Pelat Tangga

$$h' = h + \left(\frac{0}{2} \times \cos \alpha\right) = 15 \left(\frac{20}{2} \times \cos 33,69^\circ\right) = 23,32 \text{ cm}$$

Maka, tebal equivalen pelat tangga = $23,32 - 15 = 8,32 \text{ cm} = 0,0832 \text{ m}$ (dari anak tangga segitiga)

5.4.1. Pembebanan Tangga

✚ **Beban Pelat Tangga**

❖ **Beban Mati (*Dead Load*)**

- Berat sendiri	$= 0,15 \times 2400 \times \left(\frac{1}{\cos 33,69}\right) \times 1,5$	$= 648,99 \text{ Kg/m}^2$
- Berat anak tangga	$= 0,0832 \times 1,5 \times 2400$	$= 299,52 \text{ Kg/m}^2$
- Spesi (2cm)	$= 2 \times 21 \times 1,5$	$= 63 \text{ Kg/m}^2$
- Keramik (1 cm)	$= 1 \times 24 \times 1,5$	$= 36 \text{ Kg/m}^2$
- Berat	$= 50$	$= 50 \text{ Kg/m}^2$

$$\text{Total Jumlah Beban Mati Pelat Tangga (qD)} = 1097,51 \text{ Kg/m}^2$$

❖ **Beban Hidup (*Live Load*)**

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.3-1, Beban hidup untuk tangga dan jalan keluar harus direncanakan agar dapat menaha beban hidup merata sebesar 192 Kg/m^2

❖ **Kombinasi Pembebanan**

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(1097,51) + 1,6(192) \end{aligned}$$

$$= 1624,212 \text{ Kg/m}^2$$

❖ **Beban Pelat Bordes**

Beban Mati (*Dead Load*)

- Berat sendiri	= 0,15 x 2400 x 1,5	= 540	Kg/m ²
- Spesi (2cm)	= 2 x 21 x 1,5	= 63	Kg/m ²
- Keramik (1 cm)	= 1 x 24 x 1,5	= 72	Kg/m ²
- Berat	= 50	= 50	Kg/m ²

$$\text{Total Jumlah Beban Mati Pelat Bordes (qD)} = 725 \text{ Kg/m}^2$$

❖ **Beban Hidup (*Live Load*)**

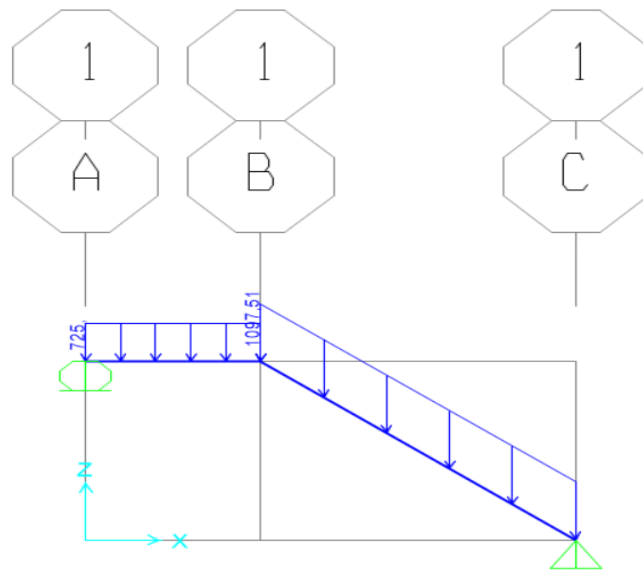
Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.3-1, Beban hidup untuk tangga dan jalan keluar harus direncanakan agar dapat menaha beban hidup merata sesesar 192 Kg/m²

❖ **Kombinasi Pembebanan**

$$\begin{aligned} \text{Qu} &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(725) + 1,6(192) \\ &= 1177,2 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

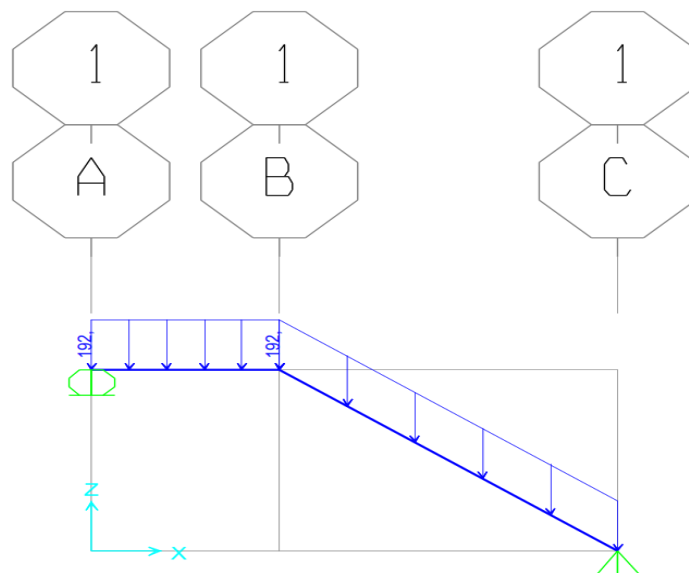
5.4.2. Analisa Statistika Tangga

Setelah melakukan perhitungan pembebanan, untuk selanjutnya untuk mencari momen – momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer yaitu SAP2000.

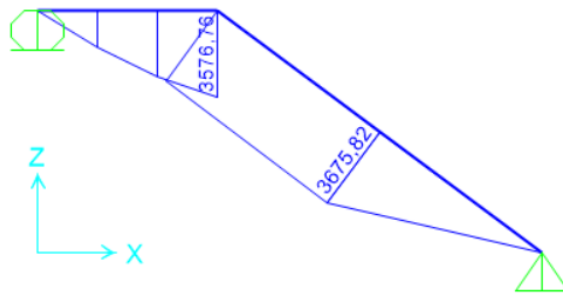


Gambar 5. 5 Beban Mati pada Tangga dan Bordes

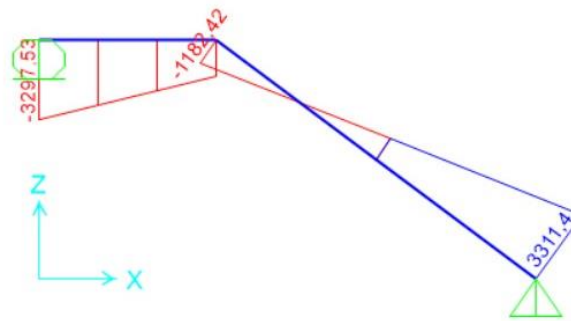
Berdasarkan pada Gambar 5.5 bahwa terdapat 2 perlakuan pada perencanaan tangga ini yang atas menggunakan perletakkan rol dengan menggunakan karet bantalan, yang menumpang pada balok bordes sedangkan pada bagian bawah dengan menggunakan perletakkan sendi untuk lantai 1 menumpang pada element *Sloof* dan untuk lantai berikutnya menumpang pada balok anak.



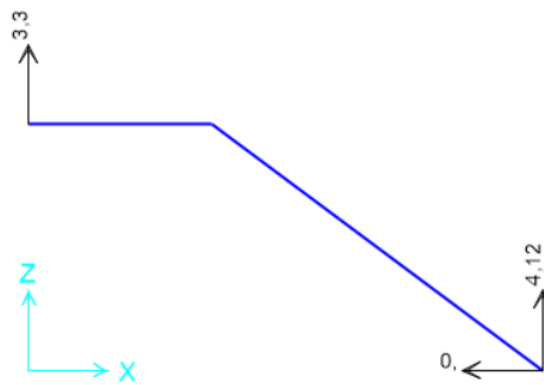
Gambar 5. 6 Beban Hidup pada Tangga dan Bordes



Gambar 5. 7 Gaya Momen pada Tangga



Gambar 5. 8 Gaya Geser pada Tangga



Gambar 5. 9 Joint Reaction pada Tangga



Gambar 5. 10 Gaya Dalam pada Bordes



Gambar 5. 11 Gaya Dalam pada Tangga miring

Dalam hasil perhitungan gaya – gaya dalam diatas di atas menggunakan program bantu computer, maka didapatkan :

$$M_u \text{ tangga} = 3675,82 \text{ Kgm}$$

$$M_u \text{ bordes} = 3576,76 \text{ Kgm}$$

❖ **Gaya Dalam pada Tangga**

Momen yang terjadi : $M_u = 3675,82 \text{ Kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3675,82}{0,9} = 4084,24 \text{ Kgm} = 40.842.400 \text{ Nmm}$$

❖ **Gaya Dalam pada Bordes**

Momen yang terjadi : $M_u = 3576,76 \text{ Kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3576,76}{0,9} = 3977,24 \text{ Kgm} = 39.772.400 \text{ Nmm}$$

5.4.3. Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

❖ **Data Perencanaan :**

Mutu beton ($f'c$)	: 25 MPa
Mutu baja (f_y)	: 420 MPa
Tebal selimut beton	: 20 mm
Diameter tulangan	: D13 mm
M_n	: 40.842.400 Nmm

❖ **Syarat Batas Penulangan Pelat Tangga**

Syarat batas penulangan pada pelat tangga rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019. Faktor bentuk distribusi : Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'c = 25 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $\beta = 0,85$ yaitu :

$$\beta = 0,85$$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,025$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,025 = 0,019$$

Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 420$ maka menggunakan rumus

$$\rho_{\min} = 0,0020$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{420}{0,85 \cdot 25} = 19,76$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \phi) \\ &= 150 - 20 - (1/2 \cdot 13) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{40842400}{1000 \cdot 123,5^2} = 2,68 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 2,68}{420}} \right) = 0,0068$$

$$\rho_{min} = 0,0020 < \rho_{perlu} = 0,0068 \text{ (dipakai } \rho_{perlu} = 0,0068)$$

Tulangan perlu

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \times b \times d = 0,0068 \cdot 1000 \cdot 123,5 = 844,46 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D13 - 150 mm** ($A_s = 885 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut

$$A_{ss \text{ perlu}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 150 = 300 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø8- 150 mm** ($A_s = 335 \text{ mm}^2$)

5.4.3.1. Kontrol Kekuatan Pelat Tangga

✚ Kontrol Tulangan Tangga

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{885}{1000 \cdot 123,5} = 0,0072$$

$$a = \frac{1062 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 17,49$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 885 \cdot 420 \left(123,5 - \frac{17,49}{2} \right) = 42654105,53 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 42.654.105,53 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 40.842.400 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 150 \text{ mm} \leq 3 \cdot 150 = (450 \text{ mm}) \text{ (OK)}$$

Tulangan Susut :

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1000}{150} = 334,9 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 300 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

5.4.4. Penulangan Pelat Bordes

Data Perencanaan :

Mutu beton (f'_c) : 25 MPa

Mutu baja (f_y) : 420 MPa

Tebal selimut beton : 20 mm

Diameter tulangan : D13 mm

M_n : 39772400 Nmm

Syarat batas penulangan pada pelat tangga rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

Faktor bentuk distribusi : Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'c = 25$ MPa maka menggunakan rumus $\beta = 0,85$ yaitu

$$\beta = 0,85$$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,025$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,025 = 0,019$$

Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 420$ maka menggunakan rumus

$$\rho_{\min} = 0,0020$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{420}{0,85 \cdot 25} = 19,76$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \emptyset) \\ &= 150 - 20 - (1/2 \cdot 13) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{39772400}{1000 \cdot 123,5^2} = 2,61 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 2,61}{420}} \right) = 0,0066$$

$$\rho_{\min} = 0,0020 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0066 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0066)$$

Tulangan perlu

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot x \cdot d = 0,0066 \cdot 1000 \cdot 124 = 820,66 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **D13 - 150 mm** ($A_s = 885 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut

$$A_{ss \text{ perlu}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 150 = 300 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø8- 150 mm** ($A_s = 335 \text{ mm}^2$)

5.4.4.1. Kontrol Kekuatan Pelat Bordes

✚ Kontrol Tulangan Tangga

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{885}{1000 \cdot 123,5} = 0,0072$$

$$a = \frac{885 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 1000} = 17,49$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 885 \cdot 420 \left(123,5 - \frac{17,49}{2} \right) = 42.654.105,53 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 42.654.105,53 \text{ Nmm} > M_n \text{ awal} = 39.772.400 \text{ Nmm (OK)}$$

Jarak tulangan $\leq 3 \times$ tebal pelat = 150 mm $\leq 3 \cdot 150 = (450 \text{ mm})$ (OK)

Tulangan Susut :

$$A_{ss} \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \emptyset^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1000}{150} = 334,9 \text{ mm}^2 > A_{ss} \text{ perlu} = 300 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

5.4.5. Perencanaan Balok Bordes (BB – 20/30 cm)

Data Perencanaan :

Mutu beton ($f'c$)	: 25 MPa
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tulangan utama	: D12 mm (420 MPa)
Tulangan sengkang	: $\emptyset 8$ mm (280 MPa)

❖ Dimensi Balok Bordes

Menentukan dimensi balok sesuai dengan SNI 2847 – 2019 Pasal 9.3.1.1 tinggi maksimum balok bordes dianggap tertumpu sederhana sehingga menggunakan : $h =$

$$\frac{l}{16}$$

$$h = \frac{1}{16} = \frac{310}{16} = 19,37 \text{ cm maka di pakai } h = 30 \text{ cm}$$

$$b = 0,3 h = 0,3 (19,37) = 5,81 \text{ cm maka di pakai } b = 20 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok bordes yang digunakan adalah 20/30 cm

❖ Pembebanan Balok Bordes

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,20 \times 0,30 \times 2400 = 144 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat akibat beban kerja pada pelat bordes} = 1177,2 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat tambahan pekerja + alat pekerja} = 100 \text{ Kg/m}$$

❖ Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(144) + 1,6(100 + 1177,2) \\ &= 2216,32 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

5.1. Perhitungan Momen yang bekerja pada Balok Bordes (BB – 20/30 cm)

❖ Syarat Batas Penulangan Balok Bordes Bordes (BB – 20/30 cm)

Penulangan pada balok bordes dengan syarat batas dengan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019 .

Faktor bentuk distribusi : Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'c = 25$ MPa maka menggunakan rumus $\beta = 0,85$ yaitu

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 0,85}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,025$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,025 = 0,019$$

Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 420$ maka menggunakan rumus

$$\rho_{\min} = 0,0020$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{420}{0,85 \cdot 25} = 19,76$$

✚ Penulangan Lentur Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \cdot \phi_{\text{tul. Utama}}) - \phi_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 300 - 40 - (1/2 \cdot 12) - 8 \\ &= 246 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{tumpuan}} = 33518674 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{420}{0,85 \cdot 25} = 19,76$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{33518674}{200 \cdot 246^2} = 2,71 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 2,71}{420}} \right) = 0,0071$$

$$\rho_{\min} = 0,0020 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0071 < \rho_{\max} = 0,019 \quad (\text{dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0071)$$

Luas tulangan tarik (Atas)

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0071 \cdot 200 \cdot 246 = 146,43 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D12** ($A_s = 452,16 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Bawah)

$$A_s' = \delta \cdot A_s \text{ pakai} = 0,5 \cdot 452,16 = 226,08 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **2D12** ($A_s = 226,08 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan tulangan pada balok bordes (BB – 20/30 cm) :

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{452,16 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200} = 44,68$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 452,16 \cdot 420 \cdot \left(246 - \frac{44,68}{2}\right) = 42474260,07 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 42474260,07 \text{ Nmm} > M_{\text{awal}} = 33518674 \text{ Nmm (OK)}$$

✚ Penulangan Lentur Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - \left(\frac{1}{2} \phi_{\text{tul. Utama}}\right) - \phi_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 300 - 40 - \left(\frac{1}{2} \cdot 12\right) - 8 \\ &= 246 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 15733255,15 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \cdot 25} = 19,76$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{15733255,15}{200 \cdot 246^2} = 1,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{19,76} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 19,76 \cdot 1,30}{420}}\right) = 0,0032$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0020 < \rho_{\text{max}} = 0,0032 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0034 \text{ (dipakai } \rho_{\text{max}} = 0,0032)$$

Luas tulangan tarik (Bawah)

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0032 \cdot 200 \cdot 246 = 146,43 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D12** ($A_s = 339,12 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Atas)

$$A_s' = \delta \cdot A_s \text{ pakai} = 0,5 \cdot 339,12 = 169,56 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **2D12** ($A_s = 226,08 \text{ mm}^2$)

5.2. Kontrol kekuatan tulangan pada balok bordes (BB – 20/30 cm) :

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{339,12 \cdot 420}{0,85 \cdot 25 \cdot 200} = 35,51$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 339,12 \cdot 420 \cdot \left(246 - \frac{35,51}{2}\right) = 32651240,89 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 32651240,89 \text{ Nmm} > M_{\text{awal}} = 15733255,15 \text{ Nmm (OK)}$$

5.3. Perhitungan Penulangan Geser Balok Bordes (BB – 20/30 cm)

➤ Kekuatan Geser Beton

$$\text{Beban geser terfaktor (V}_u) = 6615,39 \text{ Kg} = 64830,82 \text{ N}$$

• Geser Daerah Tumpuan

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{25} \cdot 200 \cdot 246 = 48511,85 \text{ N}$$

➤ **Periksa Kategori Desain**

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 48511,85 &= 36383,89 \text{ N} \\ \frac{1}{2} \phi V_c &= \frac{1}{2} \times 36383,89 &= 18191,95 \text{ N} \\ V_s = \frac{1}{3} \times b_w \times d &= \frac{1}{3} \times 200 \times 246 &= 16400 \text{ N} \\ \phi V_s &= 0,75 \times 16400 &= 12300 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi V_s &= 36383,89 + 12300 &= 48683,89 \text{ N} \\ \min \phi V_s &= 0,6 \times 12300 &= 7380 \text{ N} \\ \phi V_c + \min \phi V_s &= 36383,89 + 7380 &= 43763,89 \text{ N} \\ \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 200 \times 246 &= 58214,23 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 36383,89 + 58214,23 &= 94598,12 \text{ N} \\ \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{25} \times 200 \times 246 &= 116428,45 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 36383,89 + 116428,45 &= 152812,34 \text{ N} \end{aligned}$$

Kategori desain :

$$V_{ul} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} (L_n - d) \right)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} = \frac{64830,82 \left(\frac{1}{2} (310 - 24,6) \right)}{\frac{1}{2} \cdot 310} = 59514,69 \text{ N}$$

Untuk $V_{ul} = 59514,69 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 4, dimana

$$\phi V_c + \min \phi V_s < V_{ul} \leq \phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 43763,89 \text{ N} < 59514,69 \text{ N} \leq 94598,12 \text{ N}$$

Kuat geser nominal tulangan :

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{23,81 \times 280 \times 246}{100} = 69210,62 \text{ N}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{69210,62}{0,75} - 36383,89 = 55896,9 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 55896,9 \text{ N} < 97023,71 \text{ N} \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat spasi sengkang} = S_{\max} \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$100 \leq \frac{246}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$100 \leq 123 \leq 600 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{v\min} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 280} = 23,81 \text{ mm}^2$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 100 \text{ mm}$

Gaya geser perlawanan sengkang :

Dipakai sengkang 2 kaki $\varnothing 8 \text{ mm}$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{v\min} = 23,81 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s\text{ perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{100,48 \times 280 \times 246}{100} = 69210,62 \text{ N}$$

$$\varnothing V_s = 0,75 \times 69210,62 = 51907,97 \text{ N} > \min \varnothing V_s = 7380 \text{ N (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\varnothing 8 - 100 \text{ mm}$

- **Geser Daerah Lapangan**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 200 \times 246 = 48511,85 \text{ N}$$

- **Periksa Kategori Desain**

$$\varnothing V_c = 0,75 \times 48511,85 = 36383,89 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \varnothing V_c = \frac{1}{2} \times 36383,89 = 18191,95 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 200 \times 246 = 16400 \text{ N}$$

$$\varnothing V_s = 0,75 \times 16400 = 12300 \text{ N}$$

$$\varnothing V_c + \varnothing V_s = 36383,89 + 12300 = 48683,89 \text{ N}$$

$$\min \varnothing V_s = 0,6 \times 12300 = 7380 \text{ N}$$

$$\varnothing V_c + \min \varnothing V_s = 36383,89 + 7380 = 43763,89 \text{ N}$$

$$\varnothing \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{25} \times 200 \times 246 = 58214,23 \text{ N}$$

$$\varnothing V_c + \varnothing \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 36383,89 + 58214,23 = 94598,12 \text{ N}$$

$$\varnothing \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{25} \times 200 \times 246 = 116428,45 \text{ N}$$

$$\varnothing V_c + \varnothing \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 36383,89 + 116428,45 = 152812,34 \text{ N}$$

Kategori desain :

$$V_{u2} = \frac{Vu \left(\frac{1}{2} \cdot Ln \frac{1}{4} Ln\right)}{\frac{1}{2} \cdot Ln} = \frac{33461,12 \left(\frac{1}{2} \cdot (310-77,5)\right)}{\frac{1}{2} \cdot Ln} = 25095,845 \text{ N}$$

Untuk $V_{u2} = 25095,845 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 2, dimana

$$\frac{1}{2} \phi V_c < Vu2 \leq \phi V_c = 18191,95 \text{ N} < 25095,845 \text{ N} \leq 36383,89 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{Vu}{\phi} - V_c = \frac{25095,845}{0,75} - 36383,89 = -2922,77 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d = -2922,77 \text{ N} < 97023,71 \text{ N} \text{ (OK)}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 120 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{v\min} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 120}{3 \times 280} = 28,75 \text{ mm}^2$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

Dipakai sengkang 2 kaki $\phi 8 \text{ mm}$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{v\min} = 28,75 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s\text{ perlu}} = \frac{Av \times fy \times d}{s} = \frac{100,48 \times 280 \times 246}{120} = 57675,52 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 57675,52 = 43256,64 \text{ N} > \min \phi V_s = 7380 \text{ N} \text{ (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\phi 8 - 120 \text{ mm}$

5.4. Maka dipakai tulangan geser Balok Bordes (BB – 20/30 cm) untuk daerah Tumpuan dan Lapangan adalah :

$$\text{Tulangan Geser pada Daerah Tumpuan} = \phi 8 - 100$$

$$\text{Tulangan Geser pada Daerah Lapangan} = \phi 8 - 120$$

5.5. Perencanaan Balok Lift

Balok *Lift* merupakan balok yang meliputi balok – balok yang berkaitan dengan ruang mesin *lift*, yaitu terdiri dari balok penumpu dan balok penggantung *lift*. Untuk *lift* pada bangunan ini direncanakan dengan data – data sebagai berikut :

Tipe *lift* = SIGMA ELEVATOR (Simplex standard)

Kapasitas = 8 orang

Kecepatan = 1.0 m/s

Lebar pintu (<i>open width</i>)	= 800 mm
Dimensi sangkar (<i>carsize</i>)	= 1400 mm x 1030 mm
Dimensi ruang luncur (<i>hoistway</i>)	= 1800 mm x 1700 mm
Dimensi ruang mesin (<i>machine</i>)	= 1800 mm x 1700 mm
Beban reaksi pada ruang mesin	= R1 = 4050 Kg R2 = 2500 Kg

5.5.1. Beban Hidup Koefisien Kejut yang Diakibatkan oleh *Crane*

Balok Penggantung *lift* memikul beban *crane* yang ditambah dengan berat pada muatan yang diangkat. Perhitungan beban rencana balok penggantung *lift* perlu ditambahkan beban *crane* dengan koefisien seperti rumus di bawah :

$$\Psi = (1 + k_1 \times k_2 \times V) \geq 1,15$$

$$\Psi = (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \geq 1,15$$

$$\Psi = 1,78 \geq 1,15$$

Dimana :

Ψ = koefisien kejut yang diakibatkan oleh keran

k_1 = koefisien oleh kekuatan keran induk , umumnya diambil 0,6 untuk struktur rangka

k_2 = koefisien pada sifat – sifat mesin angkat pada keran angkat, umumnya diambil 1,3

V = kecepatan angkat maksimum yang nilainya tidak perlu lebih dari 1m/sec

Beban yang bekerja pada balok penggantung *lift* :

$$P_{u1} = R1 \times \Psi = 4050 \times 1,78 = 7209 \text{ Kg}$$

$$P_{u1} = R2 \times \Psi = 2500 \times 1,78 = 4450 \text{ Kg}$$

$$P = P_{u1} + P_{u2} = 7209 + 4450 = 11659 \text{ Kg}$$

5.5.2. Pembebanan Balok Penggantung *Lift*

❖ Beban terpusat

$$\text{Beban terpusat } \textit{lift} = 11659 \text{ Kg}$$

$$\text{Beban kapasitas elevator} = 450 \text{ Kg}$$

_____ +

$$\text{Total} = 12109 \text{ Kg}$$

❖ **Beban Merata**

Beban mati

$$\text{Beban sendiri balok} = 0,2 \times 0,35 \times 2400 = \mathbf{168 \text{ Kg/m}}$$

Beban hidup

$$\text{Beban pekerja} = \mathbf{100 \text{ Kg/m}}$$

❖ **Kombinasi Beban *Ultimate***

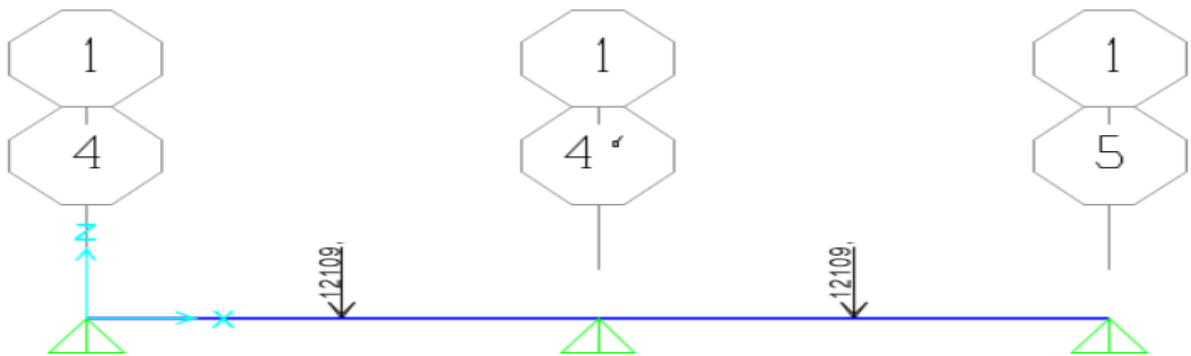
$$Q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$Q_u = 1,2(168) + 1,6(100)$$

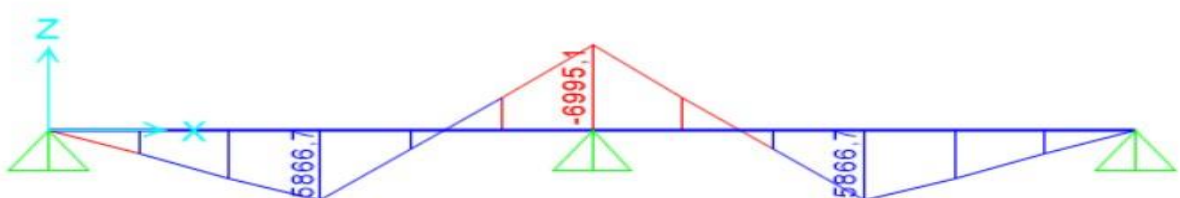
$$Q_u = \mathbf{361,6 \text{ kg/m}}$$

5.5.3. Analisa Statistika Balok *lift*

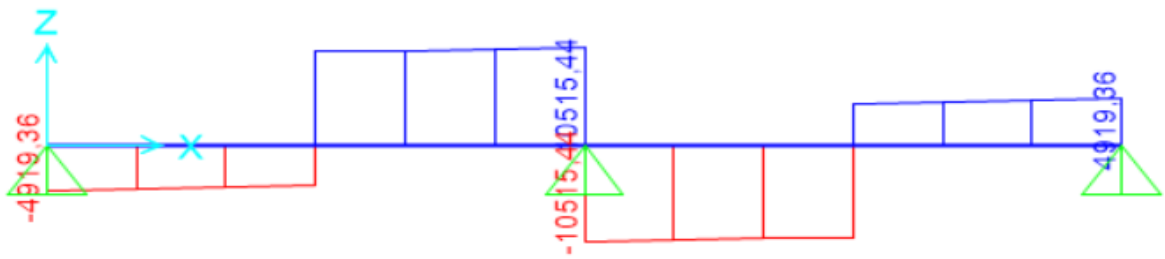
Setelah melakukan perhitungan pembebanan, untuk selanjutnya untuk mencari momen – momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer yaitu SAP2000.



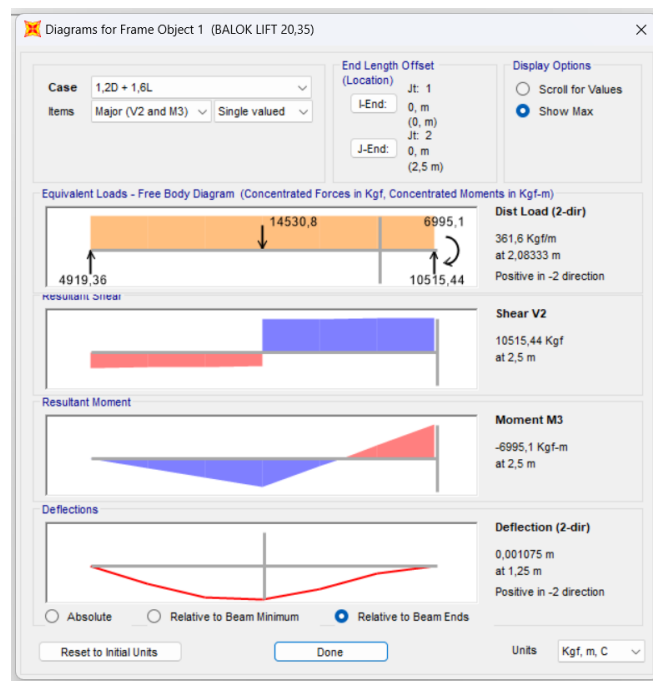
Gambar 5. 12 Pembebanan Balok Penggantung Lift



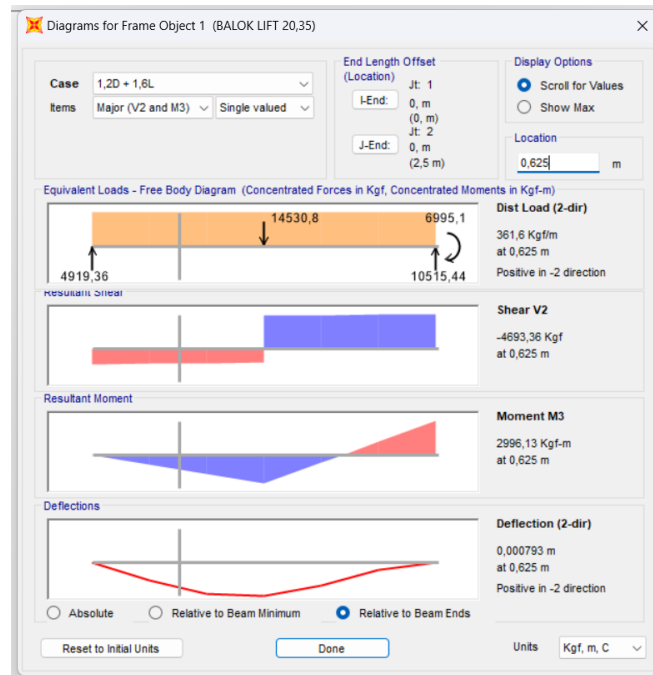
Gambar 5. 13 Momen Lentur pada Balok Penggantung Lift



Gambar 5. 14 Gaya Geser pada Balok Penggantung Lift



Gambar 5. 15 Gaya Dalam Tumpuan pada Balok Penggantung Lift



Gambar 5. 16 Gaya Dalam Lapangan pada Balok Penggantung Lift

Dalam hasil perhitungan gaya – gaya dalam diatas di atas menggunakan program bantu Komputer, maka didapatkan :

$$M_u \text{ tumpuan} = 6995,10 \text{ Kgm}$$

$$M_u \text{ lapangan} = 2996,13 \text{ Kgm}$$

$$V = 10515,44 \text{ Kg}$$

❖ **Momen Tumpuan**

Momen yang terjadi : $M_u \text{ tumpuan} = 6995,10 \text{ Kgm}$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{6995,10}{0,9} = 7772,3 \text{ Kgm} = 77723000 \text{ Nmm}$$

❖ **Momen Lapangan**

Momen yang terjadi : $M_u \text{ lapangan} = 2996,13 \text{ Kgm}$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2996,13}{0,9} = 3329,03 \text{ Kgm} = 33290300 \text{ Nmm}$$

5.5.4. Perhitungan Penulangan Balok lift

❖ **Data Perencanaan :**

Mutu beton ($f'c$) : 35 MPa

Dimensi balok lift : 20/35

Bentang balok : 2500 mm
 Tulangan utama : D16 (420 MPa)
 Tulangan sengkang : Ø8 (280 MPa)
 Selimut beton (s) : 40 mm

❖ **Syarat Batas Penulangan Balok Penggantung Lift (BA Lift – 20/35 cm)**

Penulangan pada balok bordes dengan syarat batas dengan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019 .

Faktor bentuk distribusi : Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'c = 35$ MPa maka menggunakan rumus yaitu $\beta : 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7}$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,031$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,031 = 0,023$$

Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 420$ maka menggunakan rumus

$$\rho_{min} = \frac{0,0018 \times 420}{420} A_g = \frac{0,0018 \times 420}{420} A_g$$

✚ **Penulangan Lentur Daerah Tumpuan**

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \cdot D_{Utama}) - \emptyset_{tul. \text{ Sengkang}} \\ &= 350 - 40 - (1/2 \cdot 16) - 8 \\ &= 294 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{tumpuan} = 7772,3 \text{ Kgm} = 77.723.000 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{77723000}{200 \cdot 294^2} = 4,50 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 4,50}{420}} \right) = 0,0117$$

$$\rho_{min} = 0,0020 < \rho_{perlu} = 0,0117 < \rho_{max} = 0,023 \text{ (dipakai } \rho_{perlu} = 0,0120 \text{)}$$

Luas tulangan tarik (Atas)

$$A_{s\text{perlu}} = p_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,0117 \cdot 200 \cdot 294 = 685,52 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D16** ($A_s = 804 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Bawah)

$$A_s' = \delta \times A_{s\text{pakai}} = 0,5 \times 804 = 402 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D16** ($A_s = 603 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan tulangan pada balok penggantung lift (BA Lift – 20/35 cm) :

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{804 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 200} = 56,75$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 804 \cdot 420 \cdot \left(294 - \frac{56,75}{2} \right) = 89.695.753,41 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 89.695.753,41 \text{ Nmm} > M_{\text{awal}} = 77.723.000 \text{ Nmm (OK)}$$



Penulangan Lentur Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - \left(\frac{1}{2} D_{\text{tul. Utama}} \right) - \emptyset_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 350 - 40 - \left(\frac{1}{2} \cdot 16 \right) - 8 \\ &= 294 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 3329,03 \text{ Kgm} = 33.290.300 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{33290300}{200 \cdot 294^2} = 1,93 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 1,93}{420}} \right) = 0,0047$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0020 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0047 < \rho_{\text{max}} = 0,023 \text{ (dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0047)$$

Luas tulangan tarik (Bawah)

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,0047 \cdot 200 \cdot 294 = 278,94 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D16** ($A_s = 603 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Atas)

$$A_s' = \delta \times A_{s\text{pakai}} = 0,5 \times 603 = 301,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **2D16** ($A_s = 402 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan tulangan pada balok penggantung lift (BA Lift – 20/35 cm) :

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{603 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 200} = 42,56$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 603 \cdot 420 \cdot \left(294 - \frac{42,56}{2} \right) = 69.068.471,29 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 69.068.471,29 \text{ Nmm} > M_{\text{awal}} = 33.290.300 \text{ Nmm (OK)}$$

5.5.4.1. Penulangan Geser Balok Lift (BA Lift – 20/35 cm)

➤ Kekuatan Geser Beton

$$\text{Beban geser terfaktor } (V_u) = 10515,44 \text{ Kg} = 105154,4 \text{ N}$$

• Geser Daerah Tumpuan

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} x b x d = \frac{1}{6} \sqrt{35} x 200 x 294 = 57977,58 \text{ N}$$

➤ Periksa Kategori Desain

$$\phi V_c = 0,75 x 57977,58 = 43483,19 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} x 43483,19 = 21741,59 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} x b_w x d = \frac{1}{3} x 200 x 294 = 19600 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 x 19600 = 14700 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_s = 43483,19 + 14700 = 58183,19 \text{ N}$$

$$\text{min } \phi V_s = 0,6 x 14700 = 8820 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \text{min } \phi V_s = 43483,19 + 8820 = 52303,19 \text{ N}$$

$$\phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} x b_w x d = 0,6 x \frac{1}{3} \sqrt{35} x 200 x 294 = 69573,1 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} x b_w x d = 43483,19 + 69573,1 = 113056,23 \text{ N}$$

$$\phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} x b_w x d = 0,6 x \frac{2}{3} \sqrt{35} x 200 x 294 = 139146,2 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} x b_w x d = 43483,19 + 139146,2 = 182629,38 \text{ N}$$

Kategori desain :

$$V_{ul} = \frac{V_u (\frac{1}{2} Ln - d)}{\frac{1}{2} \cdot Ln} = \frac{105154,4 (\frac{1}{2} \cdot 250 - 29,4)}{\frac{1}{2} \cdot 250} = 92788,2 \text{ N}$$

Untuk $V_{ul} = 92788,2 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 4, dimana

$$\phi V_c + \text{min } \phi V_s < V_{ul} < \phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} x b_w x d = 52303,19 \text{ N} < 92788,2 \text{ N} \leq 182629,38 \text{ N}$$

Sehingga diperlukan tulangan geser minimum dengan sengkang yang harus memenuhi syarat berikut :

Kuat geser nominal tulangan :

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{92788,2}{0,75} - 43483,19 = 80234,47 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d = 80234,47 \text{ N} < 115955,16 \text{ N (OK)}$$

$$\text{Syarat spasi sengkang} = S_{\max} \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$100 \leq \frac{294}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$100 \leq 147 \leq 600 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{v\min} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 280} = 23,81 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\phi 8 \text{ mm}$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{v\min} = 23,81 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s\text{ perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{23,81 \times 280 \times 294}{100} = 19600 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 19600 = 14700 \text{ N} > \min \phi V_s = 8820 \text{ N (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\phi 8 - 100 \text{ mm}$

- **Geser Daerah Lapangan**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 200 \times 294 = 57977,58 \text{ N}$$

- **Periksa Kategori Desain**

$$\phi V_c = 0,75 \times 57977,58 = 43483,19 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 43483,19 = 21741,59 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 200 \times 294 = 19600 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 19600 = 14700 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_s = 43483,19 + 14700 = 58183,19 \text{ N}$$

$$\min \phi V_s = 0,6 \times 14700 = 8820 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \min \phi V_s = 43483,19 + 8820 = 52303,19 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d &= 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 294 = 69573,1 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d &= 43483,19 + 69573,1 = 113056,23 \text{ N} \\ \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d &= 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 294 = 139146,2 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d &= 43483,19 + 139146,2 = 182629,38 \text{ N}\end{aligned}$$

Kategori desain :

$$V_{u2} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \cdot \left(L_n - \frac{1}{4} L_n \right) \right)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} = \frac{105154,4 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot (250 - 62,5) \right)}{\frac{1}{2} \cdot 250} = 78865,8 \text{ N}$$

Untuk $V_{u2} = 78865,8 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke - 4, dimana

$$\phi V_c + \min \phi V_s < V_{u2} < \phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d = 52303,19 \text{ N} < 78865,8 \text{ N} \leq 182629,38 \text{ N}$$

Sehingga diperlukan tulangan geser minimum dengan sengkang yang harus memenuhi syarat berikut :

Kuat geser nominal tulangan :

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{78940,8}{0,75} - 43483,19 = 61771,21 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d = 61771,21 \text{ N} < 115955,16 \text{ N} \text{ (OK)}$$

$$\text{Syarat spasi sengkang} = S_{\max} \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$125 \leq \frac{294}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$125 \leq 147 \leq 600 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 140 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{v\min} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 140}{3 \times 280} = 33,33 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\phi 8 \text{ mm}$ dengan

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{v\min} = 23,81 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s\text{ perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{33,33 \times 280 \times 294}{140} = 19600 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 19600 = 14700 \text{ N} > \min \phi V_s = 8820 \text{ N} \text{ (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\varnothing 8 - 140$ mm

5.5.4.2. Maka dipakai tulangan geser balok penggantung lift (Balok Lift 20/35) untuk daerah Tumpuan dan Lapangan adalah :

$$\text{Tulangan Geser pada Daerah Tumpuan} = \varnothing 8 - 100$$

$$\text{Tulangan Geser pada Daerah Lapangan} = \varnothing 8 - 140$$

5.6. Perencanaan Balok Anak Atap

Struktur sekunder balok anak atap dimana perhitungannya meliputi perhitungan beban , momen hingga perhitungan penulangan yang dibutuhkan. Terdapat tipe Balok Anak aTap BAA1, BAA2 dan BAA3 dan Direncanakan sesuai SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1. tinggi minimum balok untuk balok nonprategang balok anak atap dianggap kedua ujung menerus sehingga menggunakan :

$$h = \frac{l}{21} = \frac{500}{21} = 23,80 \text{ cm}$$

Tinggi balok rencana yang akan dipakai **$h = 40$ cm**

Untuk lenar balok minimal :

$$b = 0,3h = 0,3 \times 35 = 12 \text{ cm} \text{ maka dipakai } \mathbf{b = 30 \text{ cm}}$$

$$\text{Syarat : } b = \frac{h}{b} \leq 2$$

$$b = \frac{40}{30} \leq 2 = 1,3 \leq 2 \text{ (OK)}$$

❖ **Gaya dalam pada balok 30/40 cm didapat dengan *output* hasil sebagai berikut :**

$$M_{\text{tumpuan}} = 138447611 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 69223805 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 16941,27 \text{ Kg}$$

5.6.1. Perhitungan Penulangan Lentur Balok Anak Atap Tipe 1

❖ Data Perencanaan :

Mutu beton ($f'c$)	: 35 MPa
Dimensi balok anak atap	: 30/40 cm
Bentang balok	: 5000 mm
Tulangan utama	: D16 (420 MPa)
Tulangan sengkang	: Ø8 (280 MPa)
Selimut beton (s)	: 40 mm

❖ Syarat Batas Penulangan Balok Anak Atap

Penulangan pada balok anak atap dengan syarat batas dengan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019 .,

Faktor bentuk distribusi : Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'c = 35$ MPa maka menggunakan rumus yaitu $\beta : 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7}$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,033$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,033 = 0,025$$

Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 420$ maka menggunakan rumus

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

✚ Penulangan Lentur Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \cdot \emptyset_{\text{tul. Utama}}) - \emptyset_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 400 - 40 - (1/2 \cdot 16) - 8 \\ &= 344 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{tumpuan}} = 134529824,70 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{138447611}{300 \cdot 344^2} = 3,79 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 3,79}{420}} \right) = 0,0100$$

$$\rho_{min} = 0,0035 < \rho_{perlu} = 0,0100 < \rho_{max} = 0,023 \text{ (dipakai } \rho_{perlu} = 0,0100)$$

Luas tulangan tarik (Atas)

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \times b \times d = 0,0100 \cdot 300 \cdot 344 = 1030,35 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **6D16** ($A_s = 1205,76 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Bawah)

$$A_s' = \delta \times A_{s \text{ pakai}} = 0,5 \times 1205,76 = 602,88 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D16** ($A_s = 803,84 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan tulangan pada balok anak atap :

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1205,76 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 56,74$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1205,76 \cdot 420 \cdot \left(344 - \frac{56,74}{2} \right) = 159840675,04 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 159840675,04 \text{ Nmm} > M_{awal} = 134529824,70 \text{ Nmm (OK)}$$



Penulangan Lentur Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - \left(\frac{1}{2} \phi_{tul. \text{ Utama}} \right) - \phi_{tul. \text{ Sengkang}} \\ &= 400 - 40 - \left(\frac{1}{2} \cdot 16 \right) - 8 \\ &= 344 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{lapangan} = 69223805 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{69223805}{300 \cdot 344^2} = 1,95 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 1,95}{420}} \right) = 0,0048$$

$$\rho_{min} = 0,0035 < \rho_{perlu} = 0,0048 < \rho_{max} = 0,023 \text{ (dipakai } \rho_{perlu} = 0,0048)$$

Luas tulangan tarik (Bawah)

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \times b \times d = 0,0048 \cdot 300 \cdot 344 = 363,42 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **4D16** ($A_s = 803,84 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Atas)

$$A_s' = \delta \times A_{s \text{ pakai}} = 0,5 \times 803,84 = 401,92 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D16** ($A_s = 602,88 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan tulangan pada balok anak atap :

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{803,84 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 37,83$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) = 803,84 \cdot 420 \cdot (344 - \frac{37,83}{2}) = 109753234,42 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 109753234,42 \text{ Nmm} > M_{\text{awal}} = 69223805 \text{ Nmm (OK)}$$

5.6.2. Perhitungan Penulangan Geser Balok Anap Atap

➤ Kekuatan Geser Beton

$$\text{Beban geser terfaktor } (V_u) = 16941,27 \text{ kg} = 166024,45 \text{ N}$$

Geser Daerah Tumpuan

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 344 = 101756,57 \text{ N}$$

➤ Periksa Kategori Desain

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 101756,57 = 76317,43 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \cdot 76317,43 = 38158,71 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 344 = 34400 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \cdot 34400 = 25800 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_s = 76317,43 + 25800 = 102117,43 \text{ N}$$

$$\text{min } \phi V_s = 0,6 \cdot 25800 = 15480 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \text{min } \phi V_s = 76317,43 + 15480 = 91797,43 \text{ N}$$

$$\phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 0,6 \cdot \frac{1}{3} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 344 = 122107,89 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 76317,43 + 122107,89 = 198425,32 \text{ N}$$

$$\phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 0,6 \cdot \frac{2}{3} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 344 = 244215,77 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 76317,43 + 244215,77 = 320533,20 \text{ N}$$

Kategori desain :

$$V_{ul} = \frac{V_u (\frac{1}{2} \cdot L_n - d)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} = \frac{166024,45 (\frac{1}{2} \cdot 500 - 34,4)}{\frac{1}{2} \cdot 500} = 143179,48 \text{ N}$$

Untuk $V_{ul} = 143179,48 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke - 4,

Syarat kategori desain ke - 4

$$\phi V_c + \text{min } \phi V_s < V_u \leq \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 91797,43 \text{ N} < 143179,48 \text{ N} \leq 122107,89 \text{ N}$$

Sehingga diperlukan tulangan geser minimum dengan sengkang yang harus

memenuhi syarat berikut :

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 143179,48 - 76317,43 = 66862,05 \text{ N}$$

$$\text{Syarat spasi sengkang} = S_{\max} \leq \frac{d}{2} \leq 300 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \leq \frac{344}{2} \leq 300 \text{ mm}$$

$$150 \leq 172 \leq 300 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{v\min} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{300 \times 100}{3 \times 280} = 35,71 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\emptyset 8 \text{ mm}$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{v\min} = 35,71 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s\text{ perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{100,48 \times 280 \times 344}{100} = 96782,34 \text{ N}$$

$$\emptyset V_{s\text{ pakai}} = 0,75 \times 96782,34 = 72586,75 \text{ N} > \min \emptyset V_s = 15480 \text{ N (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\emptyset 8 - 100 \text{ mm}$

- **Geser Daerah Lapangan**

$$V_u = 4375,24 \text{ kg} = 42877,35 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 300 \times 344 = 101756,57 \text{ N}$$

- **Periksa Kategori Desain**

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 101756,57 = 76317,43 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \emptyset V_c = \frac{1}{2} \times 76317,43 = 38158,71 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 300 \times 344 = 34400 \text{ N}$$

$$\emptyset V_s = 0,75 \times 34400 = 25800 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \emptyset V_s = 76317,43 + 25800 = 102117,43 \text{ N}$$

$$\min \emptyset V_s = 0,6 \times 25800 = 15480 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \min \emptyset V_s = 43778,99 + 15480 = 91797,43 \text{ N}$$

$$\emptyset \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 344 = 122107,89 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \emptyset \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 76317,43 + 122107,89 = 198425,32 \text{ N}$$

$$\phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d = 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 344 = 244215,77 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d = 76317,43 + 244215,77 = 320533,20 \text{ N}$$

Kategori desain :

$$V_{u2} = \frac{Vu \left(\frac{1}{2} \cdot Ln - d \right)}{\frac{1}{2} \cdot Ln} = \frac{42877,35 \left(\frac{1}{2} \cdot 500 - 125 \right)}{\frac{1}{2} \cdot 500} = 32158,01 \text{ N}$$

Untuk $V_{u2} = 32158,01 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke - 1, yaitu pada kategori desain ini tidak memiliki persyaratan tulangan

Syarat kategori desain ke - 1

$$V_{u2} \leq 0,5 \phi V_c \leq 32158,01 \text{ N} \leq 38158,71 \text{ N}$$

Sehingga diperlukan tulangan geser dengan sengkang yang harus

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 150 \text{ mm}$

Dipakai sengkang 2 kaki $\phi 8 \text{ mm}$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{v \text{ min}} = 53,57 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$A_v = 150 \text{ mm}^2 > A_{v \text{ min}} = 53,57 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{Av \cdot fy \cdot x \cdot d}{s} = \frac{100,48 \times 280 \times 344}{150} = 64521,56 \text{ N}$$

$$\phi V_{s \text{ pakai}} = 0,75 \times 64521,56 = 48391,17 \text{ N} > \text{min } \phi V_s = 15480 \text{ N (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\phi 8 - 150 \text{ mm}$

5.7. Perencanaan Balok Anak Lantai

Struktur sekunder balok anak lantai dimana perhitungannya meliputi perhitungan beban , momen hingga perhitungan penulangan yang dibutuhkan. Terdapat tipe Balok Anak Lantai BAL1, BAL2, BAL3 dan BAL4. Direncanakan sesuai SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1. tinggi minimum balok untuk balok nonprategang balok anak atap dianggap kedua ujung menerus sehingga menggunakan :

$$h = \frac{l}{21} = \frac{700}{21} = 33,33 \text{ cm}$$

Tinggi balok rencana yang akan dipakai $h = 40 \text{ cm}$

Untuk lenar balok minimal :

$$b = 0,3h = 0,3 \times 35 = 10,5 \text{ cm maka dipakai } b = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Syarat : } b = \frac{h}{b} \leq 2$$

$$b = \frac{40}{25} \leq 2 = 1,6 \leq 2 \text{ (OK)}$$

❖ **Gaya dalam pada balok 30/40 cm didapat dengan *output* hasil sebagai berikut :**

$$M_{tumpuan} = 15074429,60 \text{ Nmm}$$

$$M_{lapangan} = 7537214,82 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 3074,33 \text{ Kg}$$

5.7.1. Perhitungan Penulangan Lentur Balok Anak Lantai Tipe 1

❖ **Data Perencanaan :**

Mutu beton ($f'c$)	: 35 MPa
Dimensi balok anak atap	: 30/40
Bentang balok	: 3000 mm
Tulangan utama	: D16 (420 MPa)
Tulangan sengkang	: Ø8 (280 MPa)
Selimit beton (s)	: 40 mm

❖ **Syarat Batas Penulangan Balok Anak Lantai**

Penulangan pada balok anak lantai dengan syarat batas dengan rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019 .

Faktor bentuk distribusi : Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus yaitu $\beta : 0,85 - \frac{0,05(f'c-28)}{7}$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05(f'c-28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35-28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600+420} \right) = 0,031$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,031 = 0,023$$

Sesuai SNI 2847 – 2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 420$ maka menggunakan rumus

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

✚ Penulangan Lentur Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \cdot \emptyset_{\text{tul. Utama}}) - \emptyset_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 400 - 40 - (1/2 \cdot 16) - 8 \\ &= 344 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{tumpuan}} = 15074429,60 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{15074429,60}{300 \cdot 344^2} = 0,42 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 0,42}{420}} \right) = 0,0010$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0010 < \rho_{\min} = 0,0035 \text{ (dipakai } \rho_{\min} = 0,0035 \text{)}$$

Luas tulangan tarik (Atas)

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 300 \cdot 344 = 363,42 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D16** ($A_s = 602,88 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Bawah)

$$A_s' = \delta \cdot A_{\text{s pakai}} = 0,5 \cdot 602,88 = 310,44 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **2D16** ($A_s = 401,92 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan tulangan pada balok anak lantai

$$a = \frac{A_{\text{s pakai}} \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{602,88 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 28,37$$

$$M_n = A_{\text{s pakai}} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 602,88 \cdot 420 \cdot \left(344 - \frac{28,37}{2} \right) = 83512219,96 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 83512219,96 \text{ Nmm} > M_{\text{awal}} = 15074429,60 \text{ Nmm (OK)}$$

✚ Penulangan Lentur Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - s - (1/2 \cdot \emptyset_{\text{tul. Utama}}) - \emptyset_{\text{tul. Sengkang}} \\ &= 400 - 40 - (1/2 \cdot 16) - 8 \\ &= 344 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 7537214,82 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{420}{0,85 \cdot 35} = 14,12$$

$$R_n = \frac{Mn \text{ diminta}}{b \cdot dx^2} = \frac{7537214,82}{300 \cdot 344^2} = 0,21 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 0,21}{420}} \right) = 0,0005$$

$$\rho_{perlu} = 0,0005 < \rho_{min} = 0,0035 \text{ (dipakai } \rho_{min} = 0,0035 \text{)}$$

Luas tulangan tarik (Bawah)

$$A_{sperlu} = \rho_{min} \times b \times d = 0,0035 \cdot 300 \cdot 344 = 363,42 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D16** ($A_s = 602,88 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan (Atas)

$$A_s' = \delta \times A_{s \text{ pakai}} = 0,5 \times 602,88 = 301,44 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **2D16** ($A_s = 401,92 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan tulangan pada balok anak lantai

$$a = \frac{A_s \text{ pakai} \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{602,88 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 28,37$$

$$M_n = A_s \text{ pakai} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 608,22 \cdot 420 \cdot \left(344 - \frac{28,22}{2} \right) = 83512219,96 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 83512219,96 \text{ Nmm} > M_{awal} = 7537214,82 \text{ Nmm (OK)}$$

5.7.2. Perhitungan Penulangan Geser Balok Anap Lantai 25/40 cm

➤ **Kekuatan Geser Beton**

$$\text{Beban geser terfaktor } (V_u) = 3074,33 \text{ Kg} = 30128,43 \text{ N}$$

Geser Daerah Tumpuan

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{fc'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 300 \times 344 = 101756,57 \text{ N}$$

➤ **Periksa Kategori Desain**

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 101756,57 = 76317,43 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \emptyset V_c = \frac{1}{2} \times 76317,43 = 38158,71 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 300 \times 344 = 34400 \text{ N}$$

$$\emptyset V_s = 0,75 \times 34400 = 25800 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \emptyset V_s = 76761,14 + 25800 = 102117,43 \text{ N}$$

$$\min \emptyset V_s = 0,6 \times 25800 = 15480 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \min \emptyset V_s = 76317,43 + 15480 = 91797,43 \text{ N}$$

$$\emptyset \cdot \frac{1}{3} \sqrt{fc'} \times b_w \times d = 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 344 = 122107,89 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \emptyset \cdot \frac{1}{3} \sqrt{fc'} \times b_w \times d = 76761,14 + 122107,89 = 198425,32 \text{ N}$$

$$\emptyset \cdot \frac{2}{3} \sqrt{fc'} \times b_w \times d = 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 344 = 244215,77 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \emptyset \cdot \frac{2}{3} \sqrt{fc'} \times b_w \times d = 76317,43 + 244215,77 = 320533,20 \text{ N}$$

Kategori desain :

$$V_{u1} = \frac{Vu (\frac{1}{2} \cdot Ln - d)}{\frac{1}{2} \cdot Ln} = \frac{30128,43 (\frac{1}{2} \cdot 300 - 34,4)}{\frac{1}{2} \cdot 300} = 26673,71 \text{ N}$$

Untuk $V_{u1} = 26673,71 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke -1, yaitu pada kategori desain ini tidak memiliki persyaratan tulangan

$$V_{u1} \leq \frac{1}{2} \emptyset V_c = 26673,71 \text{ N} \leq 38158,71 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{vmin} = \frac{b \times s}{3 \times fy} = \frac{300 \times 100}{3 \times 280} = 35,71 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\emptyset 8 \text{ mm}$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{vmin} = 35,71 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{Av \times fy \times d}{s} = \frac{35,71 \times 280 \times 344}{100} = 96782,34 \text{ N}$$

$$\emptyset V_{s \text{ pakai}} = 0,75 \times 96782,34 = 72586,75 \text{ N} > \min \emptyset V_s = 15480 \text{ N (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\emptyset 8 - 100 \text{ mm}$

- **Geser Daerah Lapangan**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{fc'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 300 \times 344 = 102348,18 \text{ N}$$

- **Periksa Kategori Desain**

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 101756,57 = 76317,43 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \emptyset V_c = \frac{1}{2} \times 76317,43 = 38158,71 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 300 \times 344 = 34400 \text{ N}$$

$$\emptyset V_s = 0,75 \times 34400 = 25800 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c + \emptyset V_s = 76761,14 + 25800 = 102117,43 \text{ N}$$

$$\min \emptyset V_s = 0,6 \times 25800 = 15480 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c + \min \phi V_s &= 76317,43 + 15480 &= 91797,43 \text{ N} \\ \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 344 &= 122107,89 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 76761,14 + 122107,89 &= 198425,32 \text{ N} \\ \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 344 &= 244215,77 \text{ N} \\ \phi V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d &= 76317,43 + 244215,77 &= 320533,20 \text{ N} \end{aligned}$$

Kategori desain :

$$V_{u2} = \frac{Vu \left(\frac{1}{2} \cdot Ln - d \right)}{\frac{1}{2} \cdot Ln} = \frac{16434,6 \left(\frac{1}{2} \cdot 300 - 75 \right)}{\frac{1}{2} \cdot 300} = 12325,95 \text{ N}$$

Untuk $V_{u2} = 12325,95 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke -1, Dimana (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u2} \leq \frac{1}{2} \phi V_c = 12325,95 \text{ N} \leq 38158,71 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang dengan jarak $S = 150 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{300 \times 150}{3 \times 280} = 53,57 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\phi 8 \text{ mm}$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 8^2 = 100,48 \text{ mm}^2 > A_{vmin} = 53,57 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Gaya geser perlawanan sengkang :

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{Av \times fy \times d}{s} = \frac{53,57 \times 280 \times 344}{150} = 64521,26 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 64521,26 = 48391 \text{ N} > \min \phi V_s = 15480 \text{ N (OK)}$$

Makan dipakai tulangan sengkang $\phi 8 - 150 \text{ mm}$

5.7.2.1. Rekapitulasi Penulangan Struktur Sekunder

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Penulangan Pelat Atap, Pelat lantai Pelat Bordes dan Pelat Tangga,

Tipe	Tulangan Pakai				Luas		Tulangan Perlu		Mtx (Kgm)	Mty (Kgm)	Kontrol Tulangan
	a				b		Luas				
	a				b		Luas				
Pelat Atap	D	13	-	250	531	mm2	449,76	mm2	1372,34	985,77	OK
	Ø	8	-	200	251	mm2	240	mm2			OK
	D	13	-	300	442,22	mm2	374,63	mm2			OK
	Ø	8	-	200	251,20	mm2	240	mm2			OK
Tipe	Tulangan Pakai				Luas		Tulangan Perlu		Mtx (Kgm)	Mty (Kgm)	Kontrol Tulangan
	a				b		Luas				
	a				b		Luas				
Pelat Lantai	D	13	-	300	442	mm2	311,67	mm2	435,59	312,89	OK
	Ø	8	-	200	251	mm2	240	mm2			OK
	D	13	-	300	442,22	mm2	268,33	mm2			OK
	Ø	8	-	200	251,20	mm2	240	mm2			OK

Tipe	Tulangan Pakai				Luas		Tulangan Perlu		Kontrol Tulangan
	a				b		Luas		
	a				b		Luas		
Pelat Tangga	D	13	-	150	885,00	mm2	844,46	mm2	OK
	Ø	8	-	150	334,93	mm2	300	mm2	OK
Pelat Bordes	D	13	-	150	885,00	0,00	820,66	mm2	OK
	Ø	8	-	150	334,93	0,00	300	mm2	OK

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Penulangan Balok Bordes, Balok *Lift* Balok Anak Atap dan Balok Anak Lantai

Tipe	Dimensi (cm)	Tumpuan Pakai					Lapangan Pakai					Tumpuan Output SAP2000		Lapangan Output SAP2000		Kontrol Tulangan			
		Tulangan			Luas		Tulangan			Luas		c	d	a > c	b > d				
		a					b							e					
Balok Bordes	20/30	4	D	12	452,16	mm2	2	D	12	226,08	mm2	146,43	mm2	169,56	mm2	OK	OK		
		2	D	12	226,08	mm2	3	D	12	339,12	mm2	226,08	mm2	146,43	mm2	OK	OK		
		2	Ø	8	-	100	100,48	mm2	2	Ø	8	-	120	100,48	mm2	23,81	mm2	28,57	mm2
Balok <i>Lift</i>	20/35	4	D	16	804,00	mm2	2	D	16	402,00	mm2	685,92	mm2	301,5	mm2	OK	OK		
		3	D	16	603,00	mm2	3	D	16	603,00	mm2	402	mm2	278,94	mm2	OK	OK		
		2	Ø	8	-	100	100,48	mm2	2	Ø	8	-	140	100,48	mm2	23,81	mm2	33,33	mm2
Tipe	Dimensi (cm)	Tumpuan Pakai					Lapangan Pakai					Tumpuan Output SAP2000		Lapangan Output SAP2000		Kontrol Tulangan			
		Tulangan			Luas		Tulangan			Luas		c	d	a > c	b > d				
		a					b							e					
BAA 1	30/40	6	D	16	1205,76	mm2	3	D	16	602,88	mm2	1164	mm2	358	mm2	OK	OK		
		4	D	16	803,84	mm2	4	D	16	803,84	mm2	557	mm2	698	mm2	OK	OK		
		2	Ø	8	-	100	100,48	mm2	2	Ø	8	-	150	100,48	mm2	35,71	mm2	53,57	mm2
BAA 2	25/40	4	D	16	803,84	mm2	2	D	16	401,92	mm2	400	mm2	130	mm2	OK	OK		
		3	D	16	602,88	mm2	3	D	16	602,88	mm2	262	mm2	298	mm2	OK	OK		
		2	Ø	8	-	100	100,48	mm2	2	Ø	8	-	150	100,48	mm2	29,76	mm2	44,64	mm2
BAA 3	30/40	4	D	16	803,84	mm2	2	D	16	401,92	mm2	373	mm2	122	mm2	OK	OK		
		3	D	16	602,88	mm2	3	D	16	602,88	mm2	245	mm2	305	mm2	OK	OK		
		2	Ø	8	-	100	100,48	mm2	2	Ø	8	-	150	100,48	mm2	35,71	mm2	53,57	mm2
BAA 4	15/30	3	D	16	602,88	mm2	2	D	16	401,92	mm2	387	mm2	121	mm2	OK	OK		
		2	D	16	401,92	mm2	3	D	16	602,88	mm2	186	mm2	213	mm2	OK	OK		
		2	Ø	8	-	100	100,48	mm2	2	Ø	8	-	150	100,48	mm2	17,86	mm2	26,79	mm2

Tipe	Dimensi (cm)	Tumpuan Pakai					Lapangan Pakai					Tumpuan Output SAP2000		Lapangan Output SAP2000		Kontrol Tulangan			
		Tulangan			Luas		Tulangan			Luas		c	d	a > c	b > d				
		a					b							e					
BAL 1	30/40	3	D	16		602,88	mm2	2	D	16		401,92	mm2	158	mm2	39	mm2	OK	OK
		2	D	16		401,92	mm2	3	D	16		602,88	mm2	79	mm2	102	mm2	OK	OK
		2	∅	8	-	100	100,48	mm2	2	∅	8	-	150	100,48	mm2	35,71	mm2	53,57	mm2
BAL 2	30/40	5	D	16		1004,80	mm2	3	D	16		602,88	mm2	933	mm2	295	mm2	OK	OK
		3	D	16		602,88	mm2	4	D	16		803,84	mm2	450	mm2	754	mm2	OK	OK
		2	∅	8	-	100	100,48	mm2	2	∅	8	-	150	100,48	mm2	35,71	mm2	53,57	mm2
BAL 3	25/40	3	D	16		602,88	mm2	2	D	16		401,92	mm2	171	mm2	42	mm2	OK	OK
		2	D	16		401,92	mm2	3	D	16		602,88	mm2	85	mm2	104	mm2	OK	OK
		2	∅	8	-	100	100,48	mm2	2	∅	8	-	150	100,48	mm2	29,76	mm2	44,64	mm2
BAL 4	15/30	2	D	16		401,92	mm2	2	D	16		401,92	mm2	126	mm2	39	mm2	OK	OK
		2	D	16		401,92	mm2	2	D	16		401,92	mm2	78	mm2	69	mm2	OK	OK
		2	∅	8	-	100	100,48	mm2	2	∅	8	-	150	100,48	mm2	17,86	mm2	26,79	mm2