

BAB V

STRUKTUR SKUNDER

5.1. Struktur Sekunder

Struktur sekunder adalah struktur yang hanya dapat menerima lentur akibat gaya gravitasi saja dan tidak untuk menerima gaya lateral yang disebabkan oleh gempa, sehingga dapat diperhitungkan secara terpisah dari struktur utama dalam perhitungan analisis. Namun karena adanya struktur sekunder ini, maka tetap mempengaruhi dan menjadi beban bagi struktur utama. Struktur sekunder pada perencanaan Hotel Velins Yogyakarta meliputi plat, balok anak, perencanaan tangga dan perencanaan balok penggantung *lift*.

5.2. Perencanaan Plat

Pada subbab ini akan membahas tentang perencanaan struktur sekunder plat atap dan plat lantai, yang meliputi perhitungan beban-beban yang terjadi, momen hingga tulangan plat yang akan digunakan kemudian dilakukan kontrol kekuatan dan kontrol retakan.

5.3. Pembebanan Plat Atap

➤ Beban Mati (qD)

Beban sendiri plat	= 0,10 x 2400 kg/m ³	= 240 kg/m ²
<i>Ducting AC</i>		= 20 kg/m ²
<i>Plumbing</i>		= 10 kg/m ²
<i>Plafond</i> + penggantung	= 11 x 7	= 18 kg/m ²
Aspal		= 14 kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 0,2 x 2100 kg/m ²	= 42 kg/m ²
<i>Finishing</i>	= 0,1 x 2100 kg/m ²	= 21 kg/m ²

+

Total qD = 365 kg/m²

➤ Beban Hidup (qL)

Beban hidup atap = 100 kg/m²

➤ Beban Air Hujan (qR)

Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 8.3 beban air hujan yang diperoleh dari rumusan berikut:

Asumsi: Tinggi statis (ds) = 15 mm

 Kepala hidraulik (dh) = 10 mm

$$R = 0,0098 \times (ds + dh)$$

$$R = 0,0098 \times (15 + 10)$$

$$R = 0,245 \text{ kN/m}^2$$

$$\mathbf{R = 24,5 \text{ kg/m}^2}$$

➤ Beban Ultimate (Qu)

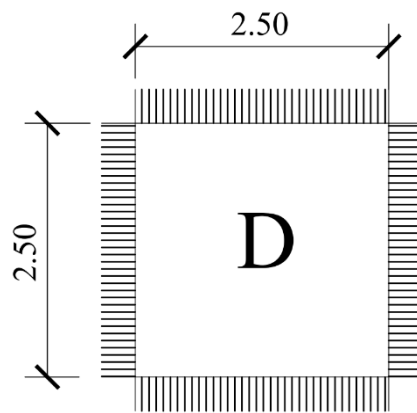
$$Q_u = 1,2 D + 1,6 L + 0,5R$$

$$Q_u = 1,2 (365) + 1,6 (100) + 0,5 (24,5)$$

$$\mathbf{Q_u = 610,25 \text{ kg/m}^2}$$

5.3.1. Perhitungan Momen Plat Atap

Plat atap diasumsikan dapat melendut ketika berada di bawah beban, sehingga plat atap harus terjepit elastis. Langkah pertama adalah membagi bentang terpanjang (Lx) dengan bentang terpendek (Ly) untuk menentukan jenis plat.



Gambar 5.1 Tipe Plat Atap

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{250}{250} = 1 < 2 \text{ (tergolong plat tulangan dua arah atau } two \text{ way slab)}$$

Untuk mendapatkan koefisien C maka dapat dilihat pada PBI-1971 tabel 13.3.1 sesuai dengan jenis tipe plat yang diperlukan. Untuk tipe plat atap seperti Gambar 5.1 didapatkan yaitu sebagai berikut:

Nilai Koefisien C $M_{lx} = 21$

Nilai Koefisien C $M_{ly} = 21$

Nilai Koefisien C $M_{tx} = 52$

Nilai Koefisien C $M_{ty} = 52$

Menentukan momen yang terdapat pada plat atap:

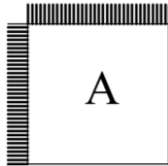
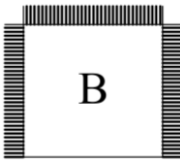
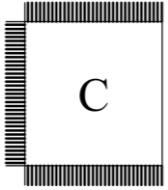
$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 610,25 \times 2,5^2 \times 21 = 80,10 \text{ kgm}$$

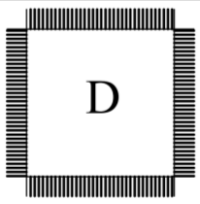
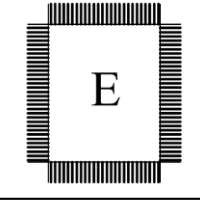
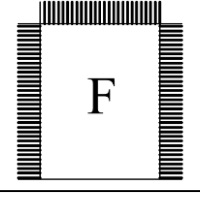
$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 610,25 \times 2,5^2 \times 21 = 80,10 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 610,25 \times 2,5^2 \times 52 = 198,33 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 610,25 \times 2,5^2 \times 52 = 198,33 \text{ kgm}$$

Tabel 5.1 Perhitungan Momen Plat Atap

No	Tipe Plat	Ukuran Plat (m)	L_y / L_x	Keterangan	Momen	Mu (Kgm)	Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y
1		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M_{lx}	106,79	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M_{ly}	106,79		
					M_{tx}	259,36		
					M_{ty}	259,36		
2		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M_{lx}	80,10	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M_{ly}	99,17		
					M_{tx}	209,77		
					M_{ty}	228,84		
3		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M_{lx}	99,17	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M_{ly}	80,10		
					M_{tx}	228,84		
					M_{ty}	209,77		

4		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M _{lx}	80,10	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	80,10		
					M _{tx}	198,33		
					M _{ty}	198,33		
5		2,50 x 2,00	1,25	Two Way Slab	M _{lx}	118,24	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	72,47		
					M _{tx}	263,17		
					M _{ty}	217,40		
6		2,50 x 2,00	1,25	Two Way Slab	M _{lx}	137,31	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	106,79		
					M _{tx}	312,75		
					M _{ty}	274,61		

5.3.2. Syarat Batas Penulangan Plat Atap

Pada subbab ini syarat batas tulangan plat atap dihitung sesuai rencana dengan SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3. Untuk mutu beton (f_c') perencanaan Gedung Hotel Velins adalah $f_c' = 35$ MPa sehingga menggunakan persyaratan $28 \leq f_c' \leq 55$ dalam menentukan faktor reduksi β_1 dapat dilihat sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,03 = 0,025$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 untuk $f_y = 420$ menggunakan rumus berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} = \frac{0,0018 \cdot 420}{420} = 0,0018$$

5.3.3. Penulangan Plat Atap

Data perencanaan penulangan pada plat atap struktur beton cor setempat yang berhubungan dengan cuaca dilihat sebagai berikut:

Tebal Plat (h) = 100 mm

Selimut beton (s) = 40 mm (berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 20.6.1.3.1)

Tulangan diameter (\emptyset) = 10 mm

➤ Tulangan Arah X

Tinggi efektif (dx) = $h - s - \frac{1}{2} \times \emptyset$ tulangan arah x

$$= 100 - 40 - \frac{1}{2} \times 10$$

$$= 55 \text{ mm}$$

Momen Mu = Mtx = 312,75 kgm = 3127500 Nmm

$$Mn = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{3127500}{0,8} = 3909375 \text{ Nmm}$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{3909375}{1000 \times 55^2} = 1,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 1,29}{420}} \right) \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,0031 < 0,025$, maka pakai $\rho = 0,0031$

- Tulangan perlu X

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times dx = 0,0031 \times 1000 \times 55 = 170,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **$\emptyset 10-200\text{mm}$** ($As = 393 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} = 170,5 \text{ mm}^2$)

- Tulangan susut X

$$As_{\text{susut}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 100 = 200 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **$\emptyset 10-200\text{mm}$** ($As = 393 \text{ mm}^2 > As_{\text{susut}} = 200 \text{ mm}^2$)

➤ Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned}\text{Tinggi efektif (dy)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \text{Ø tulangan arah x} - \text{Ø tulangan arah y} \\ &= 100 - 40 - \frac{1}{2} \times 10 - 10 \\ &= 45 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Momen Mu} = M_{ty} = 274,61 \text{ kgm} = 2746100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2746100}{0,8} = 3432625 \text{ Nmm}$$

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dy^2} = \frac{3432625}{1000 \times 45^2} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 1,70}{420}} \right) \\ &= 0,0042\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} > \rho > \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,0042 < 0,025, \text{ maka pakai } \rho = 0,0042$$

- Tulangan perlu Y

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times dy = 0,0042 \times 1000 \times 45 = 189 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø10-200mm** ($A_s = 393 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 189 \text{ mm}^2$)

- Tulangan susut Y

$$A_{S_{\text{susut}}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 100 = 200 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø10-200mm** ($A_s = 393 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 200 \text{ mm}^2$)

5.3.4. Kontrol Kekuatan Pada Plat Atap

Kontrol kekuatan pada plat atap ini berfungsi untuk mengetahui kuat lentur M_n dapat dihitung setelah mendapatkan kebutuhan tulangan yang telah ditentukan sebagai berikut:

➤ Kontrol Tulangan arah X

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{393}{1000 \cdot 55} = 0,0071$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{393 \times 420}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,55 \text{ mm}$$

$$Mn = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 393 \times 420 \times \left(55 - \frac{5,55}{2}\right) = 8620258,5 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 8620258,5 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 3909375 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal plat} = 200 \text{ mm} \leq 3 \times 100 = 300 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ pakai (OK)} \end{aligned}$$

➤ Kontrol Tulangan arah Y

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \cdot dy} = \frac{393}{1000 \cdot 45} = 0,0087$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} = \frac{393 \times 420}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,55 \text{ mm}$$

$$Mn = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 393 \times 420 \times \left(45 - \frac{5,55}{2}\right) = 6969658,5 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 6969658,5 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 3432625 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal plat} = 200 \text{ mm} \leq 3 \times 100 = 300 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ pakai (OK)} \end{aligned}$$

5.3.5. Kontrol Retak Pada Plat Atap

Subbab ini bertujuan untuk menjelaskan cara kontrol retak pada plat atap sebagai berikut:

$$Z = fs \cdot \sqrt[3]{dc} \cdot A \leq 25 \text{ MN/m}$$

$$Fs = 60\% \times fy = 60\% \times 420 = 252 \text{ MPa}$$

$$dc = s + \frac{1}{2} \cdot \varnothing = 40 + \frac{1}{2} \cdot 10 = 45 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot dc \cdot h = 2 \cdot 45 \cdot 100 = 9000 \text{ mm}^2$$

$$Z = fs \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} = 252 \cdot \sqrt[3]{45 \cdot 9000} = 18644 \text{ Nmm} = 18,644 \text{ MN/m}$$

$$\text{Diperoleh : } Z = 18,644 \text{ MN/m} \leq 25 \text{ MN/m (OK)}$$

5.4. Perencanaan Pembebanan Plat Lantai

Plat lantai memiliki beban yang menyebabkan lendutan pada plat lantai itu sendiri sehingga menimbulkan momen, maka dari itu berdasarkan besarnya momen tersebut dapat ditentukan jumlah tulangan yang akan digunakan.

➤ Beban Mati (qD)

Beban sendiri plat	= 0,12 x 2400 kg/m ³	= 288 kg/m ²
<i>Ducting AC</i>		= 20 kg/m ²
<i>Plumbing</i>		= 10 kg/m ²
<i>Plafond + penggantung</i>	= 11 x 7	= 18 kg/m ²
Spesi (2 cm)	= 0,2 x 2100 kg/m ²	= 42 kg/m ²
Keramik		= 24 kg/m ²

+

$$\text{Total qD} = 402 \text{ kg/m}^2$$

➤ Beban Hidup (qL)

$$\text{Beban hidup lantai} = 250 \text{ kg/m}^2$$

➤ Beban Ultimate (Qu)

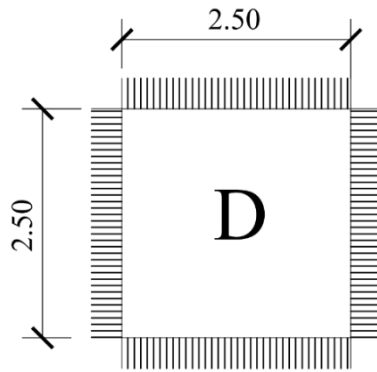
$$Q_u = 1,2 D + 1,6 L$$

$$Q_u = 1,2 (402) + 1,6 (250)$$

$$Q_u = 882,4 \text{ kg/m}^2$$

5.4.1. Perhitungan Momen Plat Lantai

Plat lantai diasumsikan dapat melendut ketika berada di bawah beban, sehingga plat lantai harus terjepit elastis. Langkah pertama adalah membagi bentang terpanjang (Lx) dengan bentang terpendek (Ly) untuk menentukan jenis plat.



Gambar 5.2 Tipe Plat Lantai

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{250}{250} = 1 < 2 \text{ (tergolong plat tulangan dua arah atau } two \text{ way slab)}$$

Untuk mendapatkan koefisien C maka dapat dilihat pada PBI-1971 tabel 13.3.1 sesuai dengan jenis tipe plat yang diperlukan. Untuk tipe plat lantai seperti Gambar 5.2 didapatkan yaitu sebagai berikut:

$$\text{Nilai Koefisien C } M_{lx} = 21$$

$$\text{Nilai Koefisien C } M_{ly} = 21$$

$$\text{Nilai Koefisien C } M_{tx} = 52$$

$$\text{Nilai Koefisien C } M_{ty} = 52$$

Menentukan momen yang terdapat pada plat lantai:

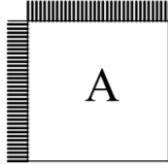
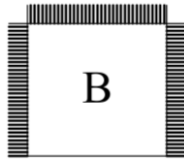
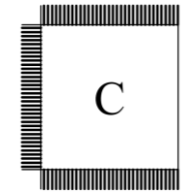

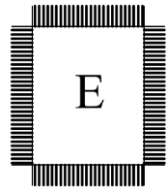
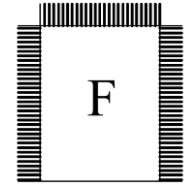
$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 2,5^2 \times 21 = 115,82 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 2,5^2 \times 21 = 115,82 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 2,5^2 \times 52 = 286,78 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = 0,001 \times Q_u \times l_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 2,5^2 \times 52 = 286,78 \text{ kgm}$$

Tabel 5.2 Perhitungan Momen Plat Lantai

No	Tipe Plat	Ukuran Plat (m)	L_y / L_x	Keterangan	Momen	Mu (Kgm)	Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y
1		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M _{lx}	154,42	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	154,42		
					M _{tx}	375,02		
					M _{ty}	375,02		
2		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M _{lx}	115,82	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	143,39		
					M _{tx}	303,33		
					M _{ty}	330,90		
3		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M _{lx}	143,39	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	115,82		
					M _{tx}	330,90		
					M _{ty}	303,33		
4		2,50 x 2,50	1	Two Way Slab	M _{lx}	115,82	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	115,82		
					M _{tx}	286,78		
					M _{ty}	286,78		
5		2,50 x 2,00	1,25	Two Way Slab	M _{lx}	170,97	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	104,79		
					M _{tx}	380,54		
					M _{ty}	314,36		
6		2,50 x 2,00	1,25	Two Way Slab	M _{lx}	198,54	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm
					M _{ly}	154,42		
					M _{tx}	452,23		
					M _{ty}	397,08		

5.4.2. Syarat Batas Penulangan Plat Lantai

Pada subbab ini syarat batas tulangan plat lantai dihitung sesuai rencana dengan SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3. Untuk mutu beton (f_c') perencanaan Gedung Hotel Velins adalah $f_c' = 35$ MPa sehingga menggunakan persyaratan $28 \leq f_c' \leq 55$ dalam menentukan faktor reduksi β_1 dapat dilihat sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f'c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,03 = 0,025$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 untuk $f_y = 420$ menggunakan rumus berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} = \frac{0,0018 \cdot 420}{420} = 0,0018$$

5.4.3. Penulangan Plat Lantai

Perencanaan penulangan pada plat lantai yang tidak terpapar cuaca maupun kontak langsung dengan tanah dapat dilihat sebagai berikut:

Tebal Plat (h) = 120 mm

Selimit beton (s) = 20 mm (berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 20.6.1.3.1)

Tulangan diameter (\emptyset) = 10 mm

➤ Tulangan Arah X

Tinggi efektif (d_x) = $h - s - \frac{1}{2} \times \emptyset$ tulangan arah x

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 10$$

$$= 95 \text{ mm}$$

Momen $M_u = M_{tx} = 452,42 \text{ kgm} = 4524200 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{4524200}{0,8} = 5655250 \text{ Nmm}$$

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_x^2} = \frac{5655250}{1000 \times 95^2} = 0,627 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 0,627}{420}} \right) \\ &= 0,0015\end{aligned}$$

$\rho < \rho_{\text{min}}$ maka pakai $\rho_{\text{min}} = 0,0018$

- Tulangan perlu X

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times dx = 0,0018 \times 1000 \times 95 = 171 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø10-200mm** ($A_s = 393 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 171 \text{ mm}^2$)

- Tulangan susut X

$$A_{S_{\text{susut}}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø10-200mm** ($A_s = 393 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 240 \text{ mm}^2$)

➤ Tulangan Arah Y

Tinggi efektif (d_y) = $h - s - \frac{1}{2} \times \text{Ø tulangan arah x} - \text{Ø tulangan arah y}$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 - 10$$

$$= 85 \text{ mm}$$

Momen $M_u = M_{ty} = 397,08 \text{ kgm} = 3970800 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3970800}{0,8} = 4963500 \text{ Nmm}$$

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d_y^2} = \frac{4963500}{1000 \times 85^2} = 0,687 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 0,687}{420}} \right) = 0,0017$$

$\rho < \rho_{\text{min}}$ maka pakai $\rho_{\text{min}} = 0,0018$

- Tulangan perlu Y

$$A_{S\text{perlu}} = \rho \times b \times d_y = 0,0018 \times 1000 \times 85 = 153 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø10-200mm** ($A_s = 393 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 153 \text{ mm}^2$)

- Tulangan susut Y

$$A_{S\text{susut}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø10-200mm** ($A_s = 393 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 240 \text{ mm}^2$)

5.4.4. Kontrol Kekuatan Pada Plat Lantai

Kontrol kekuatan pada plat lantai ini berfungsi untuk mengetahui kuat lentur Mn dapat dihitung setelah mendapatkan kebutuhan tulangan yang telah ditentukan sebagai berikut:

- Kontrol Tulangan arah X

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot d_x} = \frac{393}{1000 \cdot 95} = 0,0041$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{393 \times 420}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,55 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 420 \times \left(95 - \frac{5,55}{2} \right) = 15222658,5 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 15222658,5 \text{ Nmm} > M_n \text{ beban} = 5655250 \text{ Nmm (OK)}$$

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

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \geq A_s \text{ pakai (OK)} \end{aligned}$$

- Kontrol Tulangan arah Y

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot d_y} = \frac{393}{1000 \cdot 85} = 0,0046$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{393 \times 420}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,55 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 420 \times \left(85 - \frac{5,55}{2} \right) = 13572058,5 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 13572058,5 \text{ Nmm} > M_n \text{ beban} = 4963500 \text{ Nmm (OK)}$$

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

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \geq \text{Ass pakai (OK)} \end{aligned}$$

5.4.5. Kontrol Retak Pada Plat Lantai

Subbab ini bertujuan untuk menjelaskan cara kontrol retak pada plat lantai sebagai berikut:

$$Z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} \leq 25 \text{ MN/m}$$

$$F_s = 60\% \times f_y = 60\% \times 420 = 252 \text{ MPa}$$

$$dc = s + \frac{1}{2} \cdot \emptyset = 20 + \frac{1}{2} \cdot 10 = 25 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot dc \cdot h = 2 \cdot 25 \cdot 120 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$Z = f_s \cdot \sqrt[3]{dc \cdot A} = 252 \cdot \sqrt[3]{25 \cdot 6000} = 13389,50 \text{ Nmm} = 13,189 \text{ MN/m}$$

$$\text{Diperoleh: } Z = 13,189 \text{ MN/m} \leq 30 \text{ MN/m (OK)}$$

5.5. Perencanaan Balok Anak Atap

Pada perencanaan balok anak atap ini menggunakan beton bertulang, untuk mengetahui besar beban yang terjadi pada balok anak di perencanaan struktur hotel dapat meliputi perhitungan beban, momen dan tulangan yang diperlukan untuk balok anak atap, dengan data perencanaan sebagai berikut:

$$\text{Dimensi balok: } h = 40 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

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

$$b = \frac{40}{30} = 1,33 \leq 2 \text{ (OK)}$$

Diameter tulangan = D-12

Diameter sengkang = Ø10

Mutu beton (f_c') = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 420 MPa

Selimut beton = 40 mm (berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 20.6.1.3.1)

5.5.1. Pembebanan Balok Anak Atap

Saat merencanakan beban pada balok anak atap, tidak hanya menghitung beban sendiri pada balok anak atap, tetapi juga menghitung beban peralatan dan *finishing* untuk mendapatkan persyaratan tulangan yang benar untuk balok anak atap itu sendiri.

Beban Mati (qD)

Beban sendiri plat = $0,10 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 240 \text{ kg/m}^2$

Ducting AC = 20 kg/m^2

Plumbing = 10 kg/m^2

Plafond + penggantung = $11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2$

Aspal = 14 kg/m^2

Spesi (2 cm) = $0,2 \times 2100 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$

Finishing = $0,1 \times 2100 \text{ kg/m}^2 = 21 \text{ kg/m}^2$

+

Total qD = 365 kg/m²

Beban Hidup (qL)

Beban hidup atap = 100 kg/m²

Beban Air Hujan (qR)

Berdasarkan SNI 1727-2020 pasal 8.3 beban air hujan yang diperoleh dari rumusan berikut:

Asumsi: Tinggi statis (ds) = 15 mm

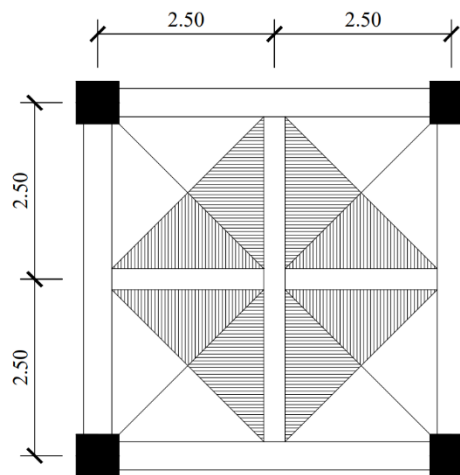
Kepala hidraulik (dh) = 10 mm

$$R = 0,0098 \times (ds + dh)$$

$$R = 0,0098 \times (15 + 10)$$

$$R = 0,245 \text{ kN/m}^2$$

$$R = 24,5 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 5.3 Pembebanan Segitiga Pada Balok Anak Atap

1) **Beban Mati**

Beban sendiri balok = $0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$ = 288 kg/m

Beban ekuivalen = $\left(\frac{1}{3} \times qD \times Lx\right) \times 2$
= $\left(\frac{1}{3} \times 365 \times 2,5\right) \times 2$ = 608,3 kg/m

Total beban mati = 288 kg/m + 608,3 kg/m = 896,3 kg/m

2) **Beban Hidup**

Beban ekuivalen = $\left(\frac{1}{3} \times qL \times Lx\right) \times 2$
= $\left(\frac{1}{3} \times 100 \times 2,5\right) \times 2$ = 166,6 kg/m

Total beban hidup = 166,6 kg/m

3) **Beban Air Hujan**

Beban ekuivalen = $\left(\frac{1}{3} \times R \times Lx\right) \times 2$
= $\left(\frac{1}{3} \times 24,5 \times 2,5\right) \times 2$ = 40,83 kg/m

Total beban air hujan = 40,83 kg/m

Beban Ultimate

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

$$Q_u = 1,2 (896,3) + 1,6 (166,6) + 0,5 (40,83)$$

$$Q_u = 1362,535 \text{ kg/m}$$

5.5.2. Perhitungan Gaya Dalam

$$\text{Momen}_{\text{tumpuan}} = \frac{1}{11} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{11} \times 1362,535 \times 5^2 = 3096,67 \text{ kgm}$$

$$\text{Momen}_{\text{lapangan}} = \frac{1}{16} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{16} \times 1362,535 \times 5^2 = 2128,96 \text{ kgm}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{1}{2} \cdot Q_u \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1362,535 \cdot 5 = 3406,34 \text{ kg}$$

5.5.3. Syarat Batas Penulangan Balok Anak Atap

Syarat batas penulangan pada balok anak atap rencana harus sesuai dengan SNI 2847-2019 tabel 22.2.2.4.3 karena $f_c' = 35 \text{ MPa}$, maka menggunakan $28 < f_c' < 55$. Sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,03 = 0,023$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 untuk $f_y = 420 \text{ MPa}$, maka menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} = \frac{0,0018 \cdot 420}{420} = 0,0018$$

5.5.4. Penulangan Lentur Balok Anak Atap

Tulangan lentur bordes yang perlu dihitung yaitu ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang diperlukan pada daerah tumpuan dan daerah lapangan sebagai berikut:

Daerah Tumpuan

$$\text{Momen}_{\text{tumpuan}} = 3096,67 \text{ kgm} = 30966700 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 400 - 40 - 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 356 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{30966700}{0,8} = 38708375 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 56 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \frac{600 \cdot 356}{600+420} = 157,06 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 56 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 56}{420} = 1011,5 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1011,5 \times 420 \times \left(356 - \frac{0,85 \cdot 56}{2} \right) = 141128526 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 38708375 - 141128526 = -102420151 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{38708375}{300 \cdot 356^2} = 1,018$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 1,018}{420}} \right) = 0,0025$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 < 0,0025 < 0,023, \text{ pakai } \rho = 0,0025$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0025 \times 300 \times 356 = 267 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **5D12** ($A_s = 565,2 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 565,2 = 282,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D12** ($A_s = 339,1 \text{ mm}^2$)

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{565,2}{300 \times 356} = 0,00529$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{565,2 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 26,60 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 565,2 \cdot 420 \left(356 - \frac{26,60}{2} \right) = 81351496,8 \text{ Nmm}$$

$M_n > M_n$ yang bekerja = $81351496,8 \text{ Nmm} > 38708375 \text{ Nmm}$ (OK)

Daerah Lapangan

$$\text{Momen}_{\text{lapangan}} = 2128,96 \text{ kgm} = 21289600 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 400 - 40 - 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 356 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{21289600}{0,8} = 26612000 \text{ Nmm}$$

$$X_{\text{min}} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 56 \text{ mm}$$

$$X_{\text{max}} = 0,75 \frac{600 \cdot 356}{600 + 420} = 157,06 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 56 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 56}{420} = 1011,5 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1011,5 \times 420 \times \left(356 - \frac{0,85 \cdot 56}{2} \right) = 141128526 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 26612000 - 141128526 = -114516526 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{26612000}{300 \cdot 356^2} = 0,70$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 0,70}{420}}\right) = 0,0017$$

$\rho < \rho_{\text{min}} = 0,0017 < 0,0018$, maka pakai $\rho_{\text{min}} = 0,0018$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 300 \times 356 = 192,24 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **5D12** ($A_s = 565,2 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 565,2 = 282,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D12** ($A_s = 339,1 \text{ mm}^2$)

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{565,2}{300 \times 356} = 0,00529$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{565,2 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 26,60 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 565,2 \cdot 420 \left(356 - \frac{26,60}{2}\right) = 81351496,8 \text{ Nmm}$$

$M_n > M_n \text{ yang bekerja} = 81351496,8 \text{ Nmm} > 26612000 \text{ Nmm (OK)}$

5.5.5. Penulangan Geser Balok Anak Atap

Sebagai tulangan geser balok atap, perlu dihitung ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang dibutuhkan dari area tumpuan dan area lapangan, sebagai berikut:

Daerah Tumpuan

Beban geser terfaktor: $V_u = 3406,34 \text{ kg} = 34063,4 \text{ N}$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 356 = 105306,22 \text{ N}$$

Kategori desain:

- 1) $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 105306,22 = 31592,87 \text{ N}$
- 2) $\phi \cdot V_c = 0,6 \times 105306,22 = 63183,73 \text{ N}$
- 3) $\phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 356 = 84543,73 \text{ N}$
- 4) $\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 189551,19 \text{ N}$
- 5) $\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 315918,66 \text{ N}$

$V_u = 34063,4 \text{ N}$ masuk pada kategori desain ke-2 ($\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi \cdot V_c$) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\phi V_s = \phi \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$0,6 V_s = 0,6 \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \right) \cdot 300 \cdot 356$$

$$V_s = 210612,44$$

$$A_v = 3\phi 10 = 235,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{235,5 \cdot 420 \cdot 356}{210612,44} = 167,19 \text{ mm}$$

$$\text{Max } S = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

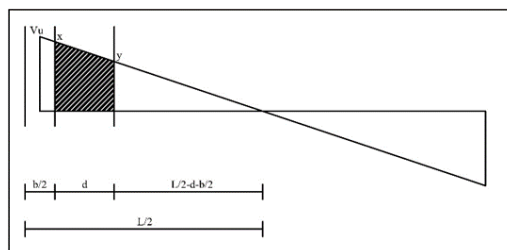
$$= \frac{356}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= 178 \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang **2Ø10 – 100 mm**

Daerah Lapangan

Beban geser terfaktor: $V_u = 3406,34 \text{ kg} = 34063,4 \text{ N}$



Gambar 5.4 Diagram Geser

Mencari nilai y:

$$\frac{Vu}{\frac{1}{2}L} = \frac{y}{\frac{1}{2}L - \frac{b}{2} - d}$$

$$\frac{34063,4}{\frac{1}{2} \cdot 5000} = \frac{y}{\frac{1}{2} \cdot 5000 - \frac{300}{2} - 356}$$

$$y = 27168,97 \text{ N}$$

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 356 = 105306,22 \text{ N}$$

Kategori desain:

$$1) \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 105306,22 = 31592,87 \text{ N}$$

$$2) \phi \cdot Vc = 0,6 \times 105306,22 = 63183,73 \text{ N}$$

$$3) \phi \cdot Vc + \min \phi \cdot Vs = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 356 = 84543,73 \text{ N}$$

$$4) \phi \cdot Vc + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 189551,19 \text{ N}$$

$$5) \phi \cdot Vc + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 315918,66 \text{ N}$$

$Vu = 34063,4 \text{ N}$ masuk pada kategori desain ke-2 ($\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc < Vu \leq \phi \cdot Vc$) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\phi Vs = \phi \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{fc} \right) \cdot bw \cdot d$$

$$0,6 Vs = 0,6 \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \right) \cdot 300 \cdot 356$$

$$Vs = 210612,44$$

$$Av = 3\phi 10 = 235,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{Vs} = \frac{235,5 \cdot 420 \cdot 356}{210612,44} = 167,19 \text{ mm}$$

$$\text{Max } S = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= \frac{356}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= 178 \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang **2Ø10 – 150 mm**

5.6. Perencanaan Balok Anak Lantai

Pada perencanaan balok anak lantai ini untuk mengetahui besar beban yang terjadi pada balok anak dapat meliputi perhitungan beban, momen dan tulangan yang diperlukan untuk balok anak lantai, dengan data perencanaan sebagai berikut:

Dimensi balok: $h = 40 \text{ cm}$

$b = 30 \text{ cm}$

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

$b = \frac{40}{30} = 1,33 \leq 2 \text{ (OK)}$

Diameter tulangan = D-12

Diameter sengkang = Ø10

Mutu beton (f_c') = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 420 MPa

Selimut beton = 40 mm (berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 20.6.1.3.1)

5.6.1. Pembebanan Balok Anak Lantai

Saat merencanakan beban pada balok anak lantai, tidak hanya menghitung beban sendiri pada balok anak lantai, tetapi juga menghitung beban peralatan dan *finishing* untuk mendapatkan persyaratan tulangan yang benar untuk balok anak lantai itu sendiri.

Beban Mati (qD)

Beban sendiri plat = $0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$

Ducting AC = 20 kg/m^2

Plumbing = 10 kg/m^2

Plafond + penggantung = $11 \times 7 = 18 \text{ kg/m}^2$

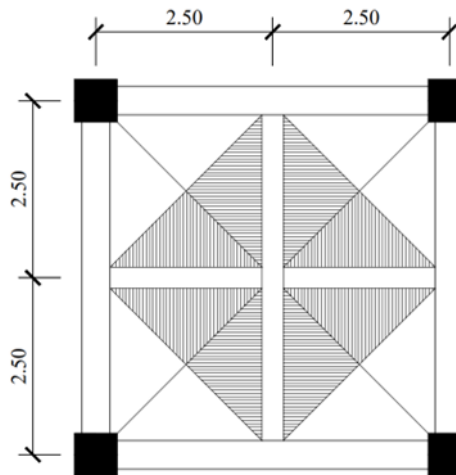
Spesi (2 cm) = $0,2 \times 2100 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$

$$\text{Keramik} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Total } qD = 402 \text{ kg/m}^2$$

Beban Hidup (qL)

$$\text{Beban hidup lantai} = 250 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 5.5 Pembebanan Segitiga Pada Balok Anak Lantai

1) Beban Mati

$$\text{Beban sendiri balok} = 0,3 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \left(\frac{1}{3} \times qD \times Lx\right) \times 2 \\ &= \left(\frac{1}{3} \times 402 \times 2,5\right) \times 2 = 670 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 288 \text{ kg/m} + 670 \text{ kg/m} = 958 \text{ kg/m}$$

2) Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \left(\frac{1}{3} \times qL \times Lx\right) \times 2 \\ &= \left(\frac{1}{3} \times 250 \times 2,5\right) \times 2 = 416,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban hidup} = 416,6 \text{ kg/m}$$

Beban Ultimate

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

$$Q_u = 1,2 (958) + 1,6 (416,6)$$

$$Q_u = 1816,16 \text{ kg/m}$$

5.6.2. Perhitungan Gaya Dalam

$$\text{Momen}_{\text{tumpuan}} = \frac{1}{11} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{11} \times 1816,16 \times 5^2 = 4127,63 \text{ kgm}$$

$$\text{Momen}_{\text{lapangan}} = \frac{1}{16} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{16} \times 1816,16 \times 5^2 = 2837,75 \text{ kgm}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{1}{2} \cdot Q_u \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1816,16 \cdot 5 = 4540,4 \text{ kg}$$

5.6.3. Syarat Batas Penulangan Balok Anak Lantai

Syarat batas penulangan pada balok anak lantai rencana harus sesuai dengan SNI 2847-2019 tabel 22.2.2.4.3 karena $f_c' = 35 \text{ MPa}$, maka menggunakan $28 < f_c' < 55$. Sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8 \left(\frac{600}{600 + 420} \right)}{420} = 0,03$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,03 = 0,023$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 untuk $f_y = 420 \text{ MPa}$, maka menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} = \frac{0,0018 \cdot 420}{420} = 0,0018$$

5.6.4. Penulangan Lentur Balok Anak Lantai

Tulangan lentur bordes yang perlu dihitung yaitu ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang diperlukan pada daerah tumpuan dan daerah lapangan sebagai berikut:

Daerah Tumpuan

$$\text{Momen}_{\text{tumpuan}} = 4127,63 \text{ kgm} = 41276300 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 400 - 40 - 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 356 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{41276300}{0,8} = 51595375 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 56 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \frac{600 \cdot 356}{600+420} = 157,06 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 56 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 56}{420} = 1011,5 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1011,5 \times 420 \times \left(356 - \frac{0,85 \cdot 56}{2} \right) = 141128526 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 51595375 - 141128526 = -89533151 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{51595375}{300 \cdot 356^2} = 1,36$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 1,36}{420}} \right) = 0,0033$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 < 0,0033 < 0,023, \text{ pakai } \rho = 0,0033$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0033 \times 300 \times 356 = 352,44 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **5D12** ($A_s = 565,2 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 565,2 = 282,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D12** ($A_s = 339,1 \text{ mm}^2$)

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{565,2}{300 \times 356} = 0,00529$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{565,2 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 26,60 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 565,2 \cdot 420 \left(356 - \frac{26,60}{2} \right) = 81351496,8 \text{ Nmm}$$

$$M_n > M_n \text{ yang bekerja} = 81351496,8 \text{ Nmm} > 51595375 \text{ Nmm (OK)}$$

Daerah Lapangan

$$\text{Momen}_{\text{lapangan}} = 2837,75 \text{ kgm} = 28377500 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 400 - 40 - 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 356 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{28377500}{0,8} = 35471875 \text{ Nmm}$$

$$X_{\text{min}} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 56 \text{ mm}$$

$$X_{\text{max}} = 0,75 \frac{600 \cdot 356}{600 + 420} = 157,06 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 56 \text{ mm}$$

$$A_{\text{sc}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 56}{420} = 1011,5 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{nc}} = A_{\text{sc}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1011,5 \times 420 \times \left(356 - \frac{0,85 \cdot 56}{2} \right) = 141128526 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{ns}} = M_n - M_{\text{nc}} = 35471875 - 141128526 = -105656651 \text{ Nmm}$$

$$M_n - M_{\text{nc}} < 0 \text{ (tidak perlu tulangan tekan)}$$

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{35471875}{300 \cdot 356^2} = 0,933$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 0,933}{420}} \right) = 0,0023$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,0023 < 0,023, \text{ maka pakai } \rho = 0,0023$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0023 \times 300 \times 356 = 245,64 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **5D12** ($A_s = 565,2 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 565,2 = 282,6 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D12** ($A_s = 339,1 \text{ mm}^2$)

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{565,2}{300 \times 356} = 0,00529$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{565,2 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 26,60 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 565,2 \cdot 420 \left(356 - \frac{26,60}{2} \right) = 81351496,8 \text{ Nmm}$$

$$M_n > M_n \text{ yang bekerja} = 81351496,8 \text{ Nmm} > 35471875 \text{ Nmm (OK)}$$

5.6.5. Penulangan Geser Balok Anak Lantai

Sebagai tulangan geser balok lantai, perlu dihitung ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang dibutuhkan dari area tumpuan dan area lapangan, sebagai berikut:

Daerah Tumpuan

$$\text{Beban geser terfaktor: } V_u = 4540,4 \text{ kg} = 45404 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 356 = 105306,22 \text{ N}$$

Kategori desain:

$$1) \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 105306,22 = 31592,87 \text{ N}$$

$$2) \phi \cdot V_c = 0,6 \times 105306,22 = 63183,73 \text{ N}$$

$$3) \phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 356 = 84543,73 \text{ N}$$

$$4) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 189551,19 \text{ N}$$

$$5) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 315918,66 \text{ N}$$

$V_u = 45404 \text{ N}$ masuk pada kategori desain ke-2 ($\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi \cdot V_c$)

berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\phi V_s = \phi \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$0,6 V_s = 0,6 \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \right) \cdot 300 \cdot 356$$

$$V_s = 210612,44$$

$$A_v = 3\phi 10 = 235,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{235,5 \cdot 420 \cdot 356}{210612,44} = 167,19 \text{ mm}$$

$$\text{Max } S = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

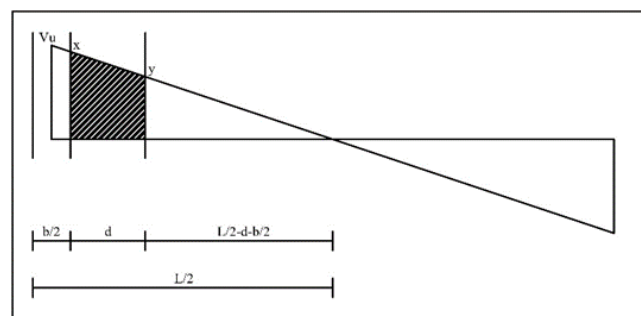
$$= \frac{356}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= 178 \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang **2Ø10 – 100 mm**

Daerah Lapangan

Beban geser terfaktor: $V_u = 4540,4 \text{ kg} = 45404 \text{ N}$



Gambar 5.6 Diagram Geser

Mencari nilai y:

$$\frac{V_u}{\frac{1}{2}L} = \frac{y}{\frac{1}{2}L - \frac{b}{2} - d}$$

$$\frac{45404}{\frac{1}{2} \cdot 5000} = \frac{y}{\frac{1}{2} \cdot 5000 - \frac{300}{2} - 356}$$

$$y = 36214,23 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 356 = 105306,22 \text{ N}$$

Kategori desain:

- 1) $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 105306,22 = 31592,87 \text{ N}$
- 2) $\phi \cdot V_c = 0,6 \times 105306,22 = 63183,73 \text{ N}$
- 3) $\phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 356 = 84543,73 \text{ N}$
- 4) $\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 189551,19 \text{ N}$
- 5) $\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63183,73 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 356 = 315918,66 \text{ N}$

$V_u = 45404 \text{ N}$ masuk pada kategori desain ke-2 ($\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi \cdot V_c$) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\phi V_s = \phi \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$0,6 V_s = 0,6 \left(\frac{1}{3} \cdot \sqrt{35} \right) \cdot 300 \cdot 356$$

$$V_s = 210612,44$$

$$A_v = 3\phi 10 = 235,5 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{235,5 \cdot 420 \cdot 356}{210612,44} = 167,19 \text{ mm}$$

$$\text{Max } S = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= \frac{356}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= 178 \leq 600 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang **2Ø10 – 150 mm**

5.7. Perencanaan Tangga

Tangga adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan antar lantai bangunan yang memiliki perbedaan elevasi. Perencanaan tangga pada gedung hotel Velins ini dengan data sebagai berikut:

Mutu Beton (f_c') = 35 MPa

Mutu Baja (f_y) = 420 MPa

Beda tinggi lantai = 400 cm

Elevasi Bordes = 200 cm

Panjang bordes = 160 cm

Lebar Bordes = 370 cm

Tinggi injakan = 18 cm

Lebar injakan = 25 cm

Panjang miring = $\sqrt{200^2 + 250^2} = 320,16$ cm

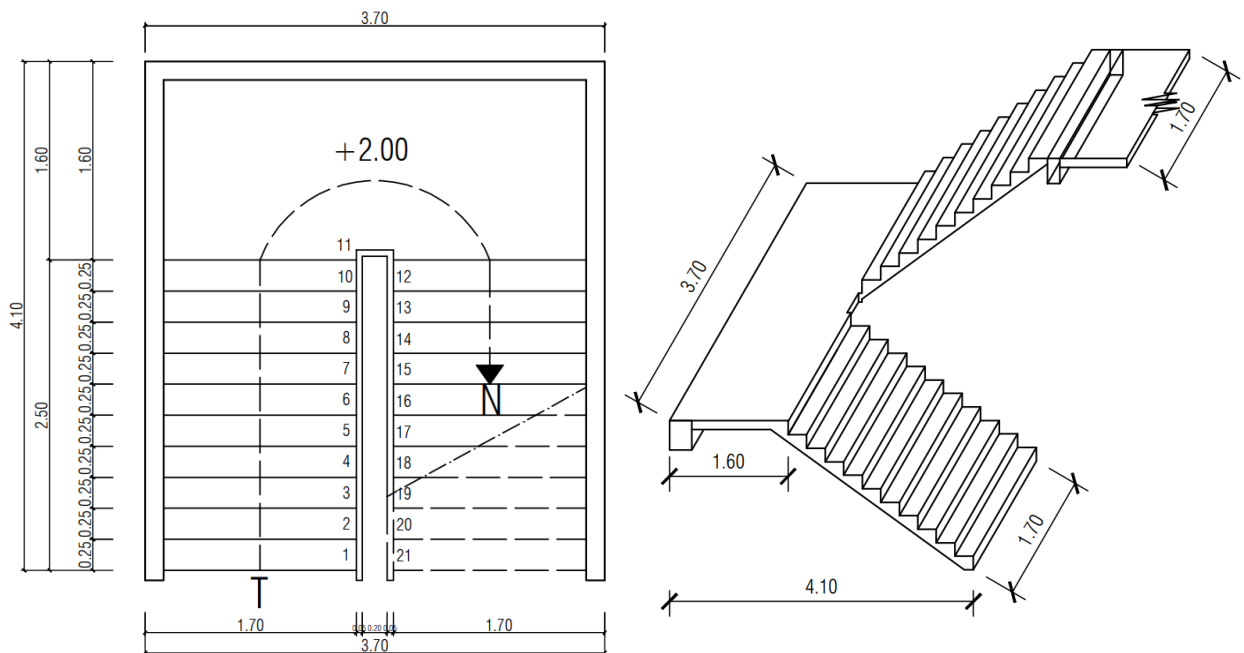
Jumlah injakan = 21 buah

Jumlah injakan (n) = $11 - 1 = 10$ buah

Sudut kemiringan tangga (α) = $\tan^{-1} \left(\frac{200}{250} \right) = 38,66^\circ$

Syarat sudut tangga = $\leq 40^\circ =$ memenuhi

R = $\frac{1}{2} \cdot h \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot 18 \cdot \cos 38,66^\circ = 7,03$ cm



Gambar 5.7 Perencanaan Tangga

5.7.1. Pembebanan Tangga

Perhitungan beban tangga digunakan untuk menentukan jumlah tulangan yang akan digunakan dalam tangga.

Beban Plat Miring Tangga

1. Beban mati

Beban sendiri plat	$= 0,12 \times 2400 \times \frac{1}{\cos 38,66^\circ} \times 1,7$	$= 626,996 \text{ kg/m}$
Spesi (2 cm)	$= 0,02 \times 2100 \text{ kg/m}^2$	$= 42 \text{ kg/m}$
Keramik (1 cm)	$= 0,01 \times 2400 \text{ kg/m}^2$	$= 24 \text{ kg/m}$
Beban anak tangga	$= 0,0703 \times 2400 \text{ kg/m}^2$	$= 168,72 \text{ kg/m}$
Beban sandaran		$= 30 \text{ kg/m}$

$$\mathbf{qD = 891,716 \text{ kg/m}}$$

2. Beban Hidup

$$\mathbf{\text{Beban hidup plat tangga miring} \quad \mathbf{qL = 300 \text{ kg/m}}}$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} qU &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(891,716) + 1,6(300) \\ &= \mathbf{1550,06 \text{ kg/m}} \end{aligned}$$

Beban Plat Bordes Tangga

1. Beban mati

Beban sendiri plat	$= 0,12 \times 2400 \times \frac{1}{\cos 38,66^\circ} \times 1,7$	$= 626,996 \text{ kg/m}$
Spesi (2 cm)	$= 0,02 \times 2100 \text{ kg/m}^2$	$= 42 \text{ kg/m}$
Keramik (1 cm)	$= 0,01 \times 2400 \text{ kg/m}^2$	$= 24 \text{ kg/m}$
Beban sandaran		$= 30 \text{ kg/m}$

$$\mathbf{qD = 722,996 \text{ kg/m}}$$

2. Beban Hidup

Beban hidup plat tangga bordes

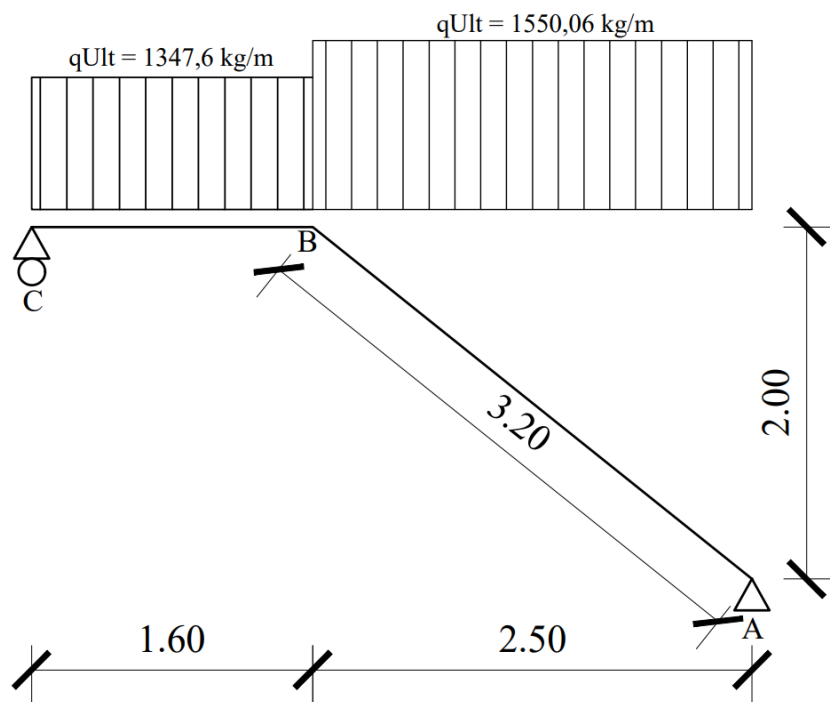
$$qL = 300 \text{ kg/m}$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(722,996) + 1,6(300) \\ &= \mathbf{1347,6 \text{ kg/m}} \end{aligned}$$

5.7.2. Analisa Statika Tangga

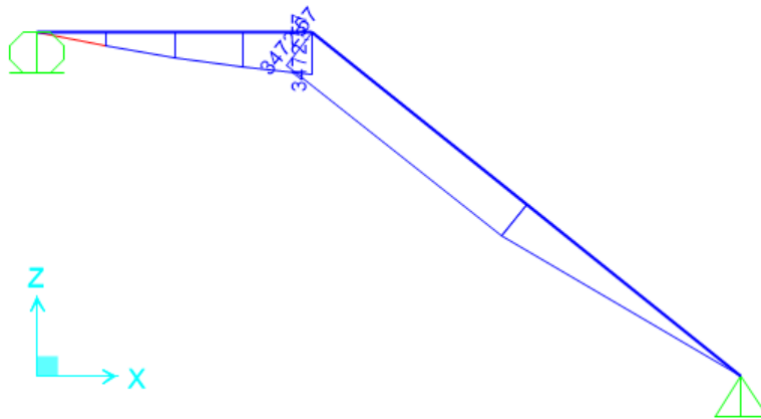
Tangga dianggap konstruksi statis tertentu dengan tumpuan rol dan sendi, dengan metode gambar kesetimbangan gaya x dalam (reaksi bidang M, D, dan N) dapat dilihat pada Gambar 5.8 dibawah ini :



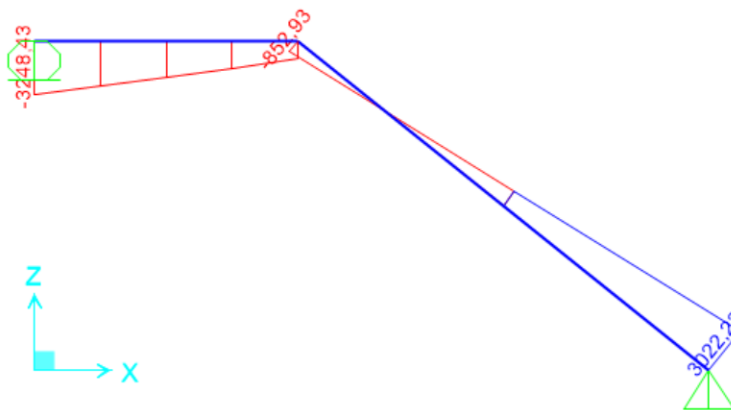
Gambar 5.8 Analisa Statika Tangga

5.7.3. Gaya Dalam Tangga

Gaya dalam yang terdapat pada tangga adalah gaya geser dan momen. Program pada komputer digunakan untuk menghitung gaya momen dan geser pada Gambar 5.9 dan 5.10.



Gambar 5.9 Gaya Momen Pada Tangga



Gambar 5.10 Gaya geser Momen Pada Tangga



Gambar 5.11 Gaya Dalam Plat Bordes



Gambar 5.12 Gaya Dalam Plat Miring

5.7.4. Penulangan Plat Bordes Tangga

Plat bordes tangga harus dihitung untuk menentukan ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang akan dibutuhkan dalam perencanaan sesuai dengan data sebagai berikut:

$$\text{Mutu Baja } (f_y) = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Beton } (f_c') = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal plat bordes} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Selimur beton} = 20 \text{ mm (SNI 2847-2019 tabel 20.6.1.3.1)}$$

$$\text{Tulangan diameter } (\varnothing) = 14 \text{ mm}$$

Tulangan Arah X

$$\text{Mencari tinggi efektif } (d_x) = h - s - \frac{1}{2} \times \varnothing \text{ tulangan arah } x$$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 14 = 93 \text{ mm}$$

$$\text{Momen } Mu = 3472,57 \text{ kgm} = 34725700 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{34725700}{0,8} = 43407125 \text{ Nmm}$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{43407125}{1000 \times 93^2} = 5,019$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 5,019}{420}} \right) = 0,013$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,013 < 0,023 \text{ maka pakai } \rho = 0,013$$

Tulangan perlu X

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,013 \times 1000 \times 93 = 1209 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-100 mm** ($As = 1539 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 1209 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut X

$$As_{\text{susut}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-300 mm** ($As = 513 \text{ mm}^2 > As \text{ susut} = 240 \text{ mm}^2$)

Tulangan Arah Y

$$\text{Mencari tinggi efektif (dy)} = h - s - \frac{1}{2} \times \text{Ø tulangan arah x} - \text{Ø tulangan arah y}$$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 14 - 14$$

$$= 79 \text{ mm}$$

$$\text{Momen } Mu = 3472,57 \text{ kgm} = 34725700 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{34725700}{0,8} = 43407125 \text{ Nmm}$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dy^2} = \frac{43407125}{1000 \times 79^2} = 6,96$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 6,96}{420}} \right) = 0,019$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,019 < 0,023 \text{ maka pakai } \rho = 0,019$$

Tulangan perlu Y

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,019 \times 1000 \times 79 = 1501 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-100 mm** ($A_s = 1539 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1501 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut Y

$$A_{S_{\text{susut}}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-300 mm** ($A_s = 513 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 240 \text{ mm}^2$)

5.7.5. Kontrol Kekuatan Plat Bordes Tangga

Kontrol kekuatan pada plat bordes tangga dapat dihitung setelah mendapatkan kebutuhan tulangan yang telah ditentukan sebagai berikut:

Kontrol Tulangan Arah X

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{1539}{1000 \cdot 93} = 0,017$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1539 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 1000} = 21,73$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1539 \times 420 \times \left(93 - \frac{21,73}{2} \right) = 53090421,3 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 53090421,3 \text{ Nmm} > M_n \text{ beban} = 43407125 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal plat} = 300 \leq 3 \times 120 = 360 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 14^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{300} \\ &= 512,86 \text{ mm}^2 \geq A_{s \text{ pakai}} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Tulangan Arah Y

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \cdot dy} = \frac{1539}{1000 \cdot 79} = 0,019$$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1539 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 1000} = 21,73$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1539 \times 420 \times \left(79 - \frac{21,73}{2} \right) = 44041101,3 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 44041101,3 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 43407125 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal plat} = 300 \leq 3 \times 120 = 360 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 14^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{300} \\ &= 512,86 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ pakai} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

5.7.6. Penulangan Plat Tangga Miring

Plat tangga miring harus dihitung untuk menentukan ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang akan dibutuhkan dalam perencanaan sesuai dengan data sebagai berikut:

$$\text{Mutu Baja } (fy) = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Beton } (fc') = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal plat bordes} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Selimur beton} = 20 \text{ mm (SNI 2847-2019 tabel 20.6.1.3.1)}$$

$$\text{Tulangan diameter } (\emptyset) = 14 \text{ mm}$$

Tulangan Arah X

$$\text{Mencari tinggi efektif } (dx) = h - s - \frac{1}{2} \times \emptyset \text{ tulangan arah } x$$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 14$$

$$= 93 \text{ mm}$$

$$\text{Momen } Mu = 3472,57 \text{ kgm} = 34725700 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{34725700}{0,8} = 43407125 \text{ Nmm}$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{43407125}{1000 \times 93^2} = 5,019$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 5,019}{420}} \right) = 0,013$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,013 < 0,023 \text{ maka pakai } \rho = 0,013$$

Tulangan perlu X

$$As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,013 \times 1000 \times 93 = 1209 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-100 mm** ($As = 1539 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 1209 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut X

$$As_{\text{susut}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-300 mm** ($As = 513 \text{ mm}^2 > As \text{ susut} = 240 \text{ mm}^2$)

Tulangan Arah Y

$$\text{Mencari tinggi efektif (dy)} = h - s - \frac{1}{2} \times \text{Ø tulangan arah x} - \text{Ø tulangan arah y}$$

$$= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 14 - 14$$

$$= 79 \text{ mm}$$

$$\text{Momen } Mu = 3472,57 \text{ kgm} = 34725700 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{34725700}{0,8} = 43407125 \text{ Nmm}$$

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

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dy^2} = \frac{43407125}{1000 \times 79^2} = 6,96$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 6,96}{420}} \right) = 0,019$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,019 < 0,023 \text{ maka pakai } \rho = 0,019$$

Tulangan perlu Y

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,019 \times 1000 \times 79 = 1501 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-100 mm** ($A_s = 1539 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1501 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut Y

$$A_{S_{\text{susut}}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **Ø14-300 mm** ($A_s = 513 \text{ mm}^2 > A_s \text{ susut} = 240 \text{ mm}^2$)

5.7.7. Kontrol Kekuatan Plat Tangga Miring

Kontrol kekuatan pada plat tangga miring dapat dihitung setelah mendapatkan kebutuhan tulangan yang telah ditentukan sebagai berikut:

Kontrol Tulangan Arah X

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot dx} = \frac{1539}{1000 \cdot 93} = 0,0165$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1539 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 1000} = 21,73$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1539 \times 420 \times \left(93 - \frac{21,73}{2} \right) = 53090421,3 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 53090421,3 \text{ Nmm} > M_n \text{ beban} = 43407125 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal plat} = 300 \leq 3 \times 120 = 360 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \varnothing^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 14^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{300} \\ &= 512,86 \text{ mm}^2 \geq A_{s \text{ pakai}} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Tulangan Arah Y

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \cdot dy} = \frac{1539}{1000 \cdot 79} = 0,019$$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1539 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 1000} = 21,73$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 1539 \times 420 \times \left(79 - \frac{21,73}{2}\right) = 44041101,3 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 44041101,3 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 43407125 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal plat} = 300 \leq 3 \times 120 = 360 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan Susut:

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \cdot \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \cdot 14^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{300} \\ &= 512,86 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ pakai} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

5.8. Perencanaan Balok Bordes

Perencanaan balok bordes dapat dihitung dengan data perencanaan sebagai berikut:

$$\text{Dimensi balok} \quad h = \frac{l}{16} = \frac{500}{16} = 31,25 \text{ cm} \quad \text{maka, pakai } h = 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 40 = 26,67 \text{ cm} \quad \text{maka, pakai } b = 30 \text{ cm}$$

Diameter tulangan = D-16

Diameter sengkang = Ø12

Mutu beton (f_c') = 35 MPa

Mutu baja (f_y) = 420 MPa

Selimut beton = 20 mm

5.8.2. Syarat Batas Penulangan Balok Bordes

Syarat batas penulangan pada balok anak lantai rencana harus sesuai dengan SNI 2847-2019 tabel 22.2.2.4.3 karena $f_c' = 35$ MPa, maka menggunakan $28 < f_c' < 55$. Sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,03 = 0,023$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 untuk $f_y = 420$ MPa, maka menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_{\min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} = \frac{0,0018 \cdot 420}{420} = 0,0018$$

5.8.3. Penulangan Lentur Balok Bordes

Tulangan lentur balok bordes yang perlu dihitung yaitu ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang diperlukan pada daerah tumpuan dan daerah lapangan sebagai berikut:

Daerah Tumpuan

$$\text{Momen}_{\text{tumpuan}} = 9069,20 \text{ kgm} = 90692000 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \text{Ø tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \text{Ø tulangan utama}$$

$$d = 400 - 20 - 12 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 376 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{90692000}{0,8} = 113365000 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = s + \text{Ø tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \text{Ø tulangan utama}$$

$$= 20 + 12 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 40 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \frac{600 \cdot 376}{600 + 420} = 165,88 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 50}{420} = 903,13 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2}\right) = 903,13 \times 420 \times \left(376 - \frac{0,85 \cdot 50}{2}\right) = 134561854,35 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 113365000 - 134561854,35 = -21196854,35 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{113365000}{300 \cdot 376^2} = 2,67$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 2,67}{420}}\right) = 0,0067$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 < 0,0067 < 0,023, \text{ pakai } \rho = 0,0067$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0067 \times 300 \times 376 = 755,76 \text{ mm}^2$$

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

Tulangan tekan

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

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

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{804}{300 \times 376} = 0,0071$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{804 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 37,84 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 804 \cdot 420 \left(376 - \frac{37,84}{2}\right) = 120578774,4 \text{ Nmm}$$

$$M_n > M_n \text{ yang bekerja} = 120578774,4 \text{ Nmm} > 113365000 \text{ Nmm (OK)}$$

Daerah Lapangan

$$Momen_{lapangan} = 6235,08 \text{ kgm} = 62350800 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 400 - 20 - 12 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 376 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{62350800}{0,8} = 77938500 \text{ Nmm}$$

$$X_{min} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 20 + 12 + \frac{1}{2} \cdot 16 = 40 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 0,75 \frac{600 \cdot 376}{600+420} = 165,88 \text{ mm}$$

$$X_{pakai} = 40 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 40}{420} = 722,5 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2} \right) = 722,5 \times 420 \times \left(376 - \frac{0,85 \cdot 40}{2} \right) = 108938550 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 77938500 - 108938550 = -31000050 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{77938500}{300 \cdot 376^2} = 1,84$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 1,84}{420}} \right) = 0,0045$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0018 < 0,0045 < 0,023, \text{ pakai } \rho = 0,0045$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0045 \times 300 \times 376 = 507,6 \text{ mm}^2$$

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

Tulangan tekan

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

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

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{603}{300 \times 376} = 0,0053$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{603 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 28,38 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 603 \cdot 420 \left(376 - \frac{28,38}{2} \right) = 91632000,6 \text{ Nmm}$$

$M_n > M_n$ yang bekerja = $91632000,6 \text{ Nmm} > 77938500 \text{ Nmm}$ (OK)

5.8.4. Penulangan Geser Balok Bordes

Sebagai tulangan geser balok bordes, perlu dihitung ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang dibutuhkan dari area tumpuan dan area lapangan, sebagai berikut:

Daerah Tumpuan

Beban geser terfaktor: $V_u = 9976,13 \text{ kg} = 99761,3 \text{ N}$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 376 = 111222,3 \text{ N}$$

Kategori desain:

$$1) \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 111222,3 = 33366,7 \text{ N}$$

$$2) \phi \cdot V_c = 0,6 \times 111222,3 = 66733,4 \text{ N}$$

$$3) \phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s = 66733,4 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 376 = 89293,4 \text{ N}$$

$$4) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 66733,4 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 376 = 200200,16 \text{ N}$$

$$5) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 66733,4 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 376 = 333667 \text{ N}$$

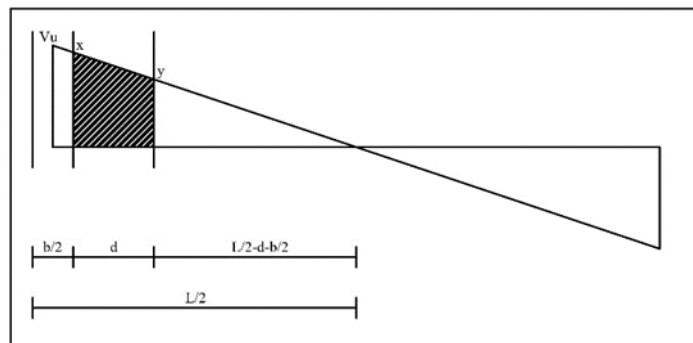
$V_u = 99761,3 \text{ N}$ masuk pada kategori desain ke-4 ($\phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s < V_u \leq \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\begin{aligned} \text{Max } S &= \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= \frac{376}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= 188 \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan jarak sengkang **2Ø12 – 100 mm**

Daerah Lapangan

Beban geser terfaktor: $V_u = 9976,13 \text{ kg} = 99761,3 \text{ N}$



Gambar 5.13 Diagram Geser

Mencari nilai y :

$$\frac{V_u}{\frac{1}{2}L} = \frac{y}{\frac{1}{2}L - \frac{b}{2} - d}$$

$$\frac{99761,3}{\frac{1}{2} \cdot 5000} = \frac{y}{\frac{1}{2} \cdot 5000 - \frac{300}{2} - 376}$$

$$y = 78771,52 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 376 = 111222,3 \text{ N}$$

Kategori desain:

$$1) \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 111222,3 = 33366,7 \text{ N}$$

$$2) \phi \cdot V_c = 0,6 \times 111222,3 = 66733,4 \text{ N}$$

$$3) \phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s = 66733,4 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 376 = 89293,4 \text{ N}$$

$$4) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 66733,4 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 376 = 200200,16 \text{ N}$$

$$5) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 66733,4 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 376 = 333667 \text{ N}$$

$V_u = 99761,3$ N masuk pada kategori desain ke-4 ($\phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s < V_u \leq \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\begin{aligned} \text{Max } S &= \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= \frac{376}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= 188 \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan jarak sengkang **2Ø12 – 150 mm**

5.9. Perencanaan Balok Penggantung pada *Lift*

Subbab ini berkaitan dengan perencanaan balok penggantung *lift* yang terdapat pada ruang mesin *lift*. Untuk perencanaan ini dapat menggunakan data sebagai berikut:

Balok <i>lift</i>	= 30 m x 40 m
Tipe <i>lift</i>	= Duplex
Merk	= Hyundai Passenger Elevator
Kapasitas	= 18 orang (1350 kg)
Kecepatan	= 1,5 m/sec
Lebar pintu (<i>Open Width</i>)	= 1100 mm
Dimensi sangkar (<i>Carsize</i>)	= 2000 x 1450 mm ²
Dimensi ruang luncur (<i>Hoistway</i>)	= 2500 x 2150 mm ²
Dimensi ruang mesin (<i>Machine</i>)	= 2850 x 3950 mm ²
Beban reaksi pada ruang mesin (<i>Reaction Load</i>)	
R1	= 7800 kg
R2	= 6000 kg

Beban yang bekerja pada balok penggantung *lift* yaitu beban mesin penggerak *lift*, berat kereta luncur, beban akibat bandul dan perlengkapan.

5.9.1. Koefisien Kejut Beban Hidup oleh Beban Keran

Berdasarkan SNI 03-1727-1989 pasal 2.1.2 menyebutkan bahwa beban keran yang dialami struktur terdiri dari berat sendiri keran ditambah dengan berat beban muatan yang diangkatnya. Sebagai beban rencana harus beban keran tersebut dan dikalikan dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\psi = (1 + k_1 \times k_2 \times v) \geq 1,15$$

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

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

Keterangan:

ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

v = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkat muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau dan nilainya tidak perlu lebih dari 1,00 m/dt.

k_1 = koefisien yang tergantung pada kekuatan struktur keran induk, untuk keran induk dengan struktur rangka pada umumnya diambil sebesar 0,6

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat-sifat mesin angkat dari keran angkatnya, menggunakan mesin sangkar asinkron dan mesin termis dengan kopleng yang diambil yaitu 1,3

Maka, beban yang bekerja pada balok penggantung lift adalah:

$$P_{u1} = R_1 \times \psi = 7800 \times 1,78 = 13884 \text{ kg}$$

$$P_{u2} = R_2 \times \psi = 6000 \times 1,78 = 10680 \text{ kg}$$

$$P = P_{u1} + P_{u2} = 13884 + 10680 = 24564 \text{ kg}$$

5.9.2. Pembebanan Balok Penggantung Lift

1) Beban terpusat

Beban terpusat *lift* = 24564 kg

Beban kapasitas elevator = 1350 kg

+

Total = 25914 kg

2) Beban merata

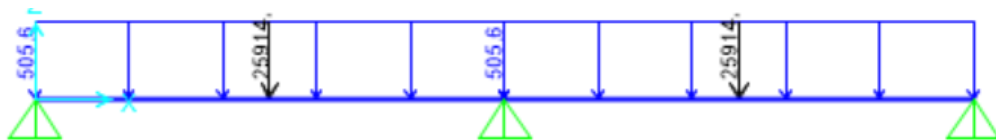
Beban sendiri balok = $0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$

Beban pekerja = 100 kg/m

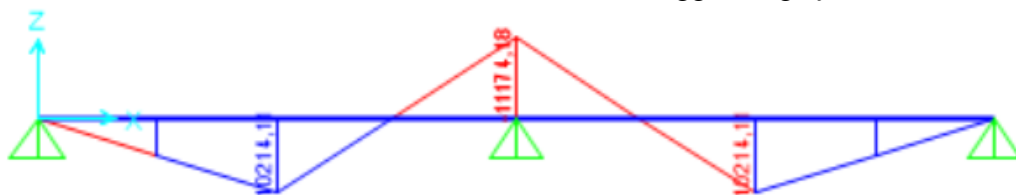
3) Kombinasi beban

$$1,2D + 1,6L = 1,2 (288) + 1,6 (100) = 505,6 \text{ kg/m}$$

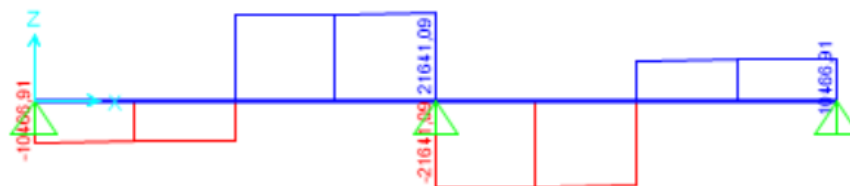
Statika pembebanan pada balok penggantung lift dapat dilihat pada Gambar 5.14. Analisa gaya-gaya dalam akan dianalisa menggunakan program struktur yang terdapat di komputer sehingga mendapatkan gaya lentur (Mu) pada Gambar 5.15 serta gaya geser (Vu) pada Gambar 5.16. *Output* yang didapatkan dari analisa struktur hasil pembebanan balok penggantung lift dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.14 Pembebanan Balok Penggantung lift



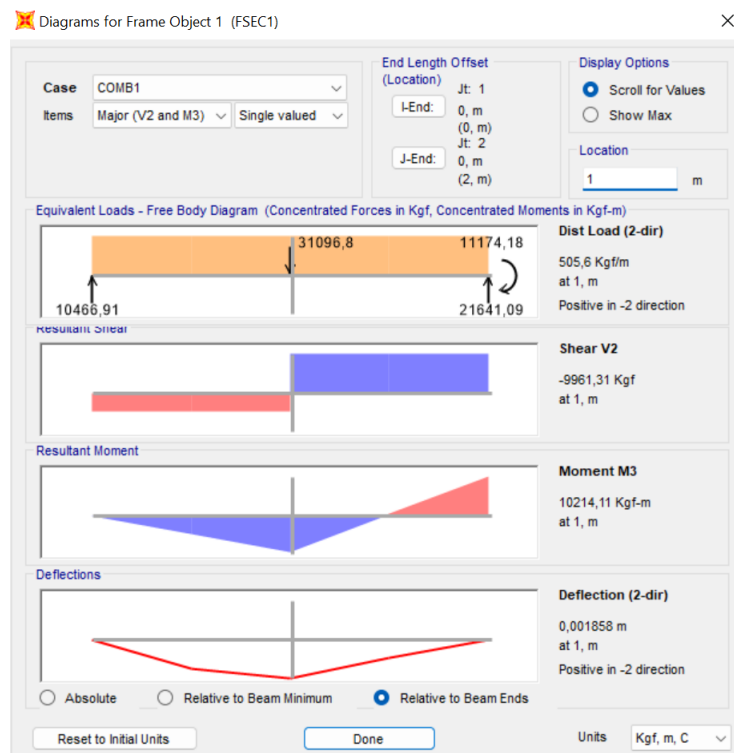
Gambar 5.15 Momen Lentur (Mu) pada Balok penggantung lift



Gambar 5.16 Gaya Geser (Vu) pada Balok penggantung lift



Gambar 5.17 Gaya Dalam Tumpuan Balok Penggantung Lift



Gambar 5.18 Gaya Dalam Lapangan Balok Penggantung Lift

Gaya geser pada balok penggantung *lift*

$$V_{\text{terpusat}} = 25914 \text{ kg}$$

$$V_{\text{merata}} = 505,6 \text{ kg/m}$$

$$V_{\text{total}} = (505,6 \times 3) + 25914 = 27430,8 \text{ kg/m}$$

5.9.3. Syarat Batas Penulangan Balok Penggantung *Lift*

Syarat batas penulangan pada balok penggantung *lift* rencana harus sesuai dengan SNI 2847-2019 tabel 22.2.2.4.3 karena $f_c' = 35 \text{ MPa}$, maka menggunakan $28 < f_c' < 55$. Sehingga dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c' - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{420} \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,03$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,03 = 0,023$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 untuk $f_y = 420 \text{ MPa}$, maka menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_{\text{min}} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} = \frac{0,0018 \cdot 420}{420} = 0,0018$$

5.9.4. Penulangan Lentur Balok Penggantung *Lift*

Tulangan lentur balok penggantung *lift* yang perlu dihitung yaitu ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang diperlukan pada daerah tumpuan dan daerah lapangan sebagai berikut:

$$\text{Diameter tulangan} = \text{D22}$$

$$\text{Diameter sengkang} = \text{Ø13}$$

$$\text{Mutu beton (} f_c' \text{)} = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja (} f_y \text{)} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm (SNI 2847-2019 pasal 20.6.1.3.1)}$$

Daerah Tumpuan

$$\text{Momen}_{\text{tumpuan}} = 11174,18 \text{ kgm} = 111741800 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 400 - 40 - 13 + \frac{1}{2} \cdot 22 = 358 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{111741800}{0,8} = 139677250 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 40 + 13 + \frac{1}{2} \cdot 22 = 64 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \frac{600 \cdot 358}{600+420} = 158 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 70 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 70}{420} = 1264,4 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1264,4 \times 420 \times \left(358 - \frac{0,85 \cdot 70}{2} \right) = 174316506 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 139677250 - 174316506 = -34639256 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{139677250}{300 \cdot 358^2} = 3,6$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 3,6}{420}} \right) = 0,0092$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0018 < 0,0092 < 0,023, \text{ pakai } \rho = 0,0092$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0092 \times 300 \times 358 = 988,1 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D22** ($A_s = 1140 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1140 = 570 \text{ mm}^2$$

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

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1140}{300 \times 358} = 0,011$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1140 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 53,65 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1140 \cdot 420 \left(358 - \frac{53,65}{2} \right) = 158566590 \text{ Nmm}$$

$M_n > M_n$ yang bekerja = 158566590 Nmm > 139677250 Nmm (OK)

Daerah Lapangan

$$\text{Momen}_{\text{lapangan}} = 10214,11 \text{ kgm} = 102141100 \text{ Nmm}$$

$$d = h - s - \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 400 - 40 - 13 + \frac{1}{2} \cdot 22 = 358 \text{ mm}$$

$$M_n = \frac{102141100}{0,8} = 127676375 \text{ Nmm}$$

$$X_{\min} = d' = s + \emptyset \text{ tulangan sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$= 40 + 13 + \frac{1}{2} \cdot 22 = 64 \text{ mm}$$

$$X_{\max} = 0,75 \frac{600 \cdot 358}{600 + 420} = 158 \text{ mm}$$

$$X_{\text{pakai}} = 64 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,85 \cdot 300 \cdot 64}{420} = 1156 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta x}{2} \right) = 1156 \times 420 \times \left(358 - \frac{0,85 \cdot 64}{2} \right) = 160610016 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = M_n - M_{nc} = 127676375 - 160610016 = -32933641 \text{ Nmm}$$

$M_n - M_{nc} < 0$ (tidak perlu tulangan tekan)

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

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{127676375}{300 \cdot 358^2} = 3,3$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{14,12} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 3,3}{420}}\right) = 0,0083$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} = 0,0018 < 0,0083 < 0,023, \text{ pakai } \rho = 0,0083$$

Tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0083 \times 300 \times 358 = 891,42 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan **3D22** ($A_s = 1140 \text{ mm}^2$)

Tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1140 = 570 \text{ mm}^2$$

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

Kontrol Kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1140}{300 \times 358} = 0,011$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1140 \cdot 420}{0,85 \cdot 35 \cdot 300} = 53,65 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = 1140 \cdot 420 \left(358 - \frac{53,65}{2}\right) = 158566590 \text{ Nmm}$$

$$M_n > M_n \text{ yang bekerja} = 158566590 \text{ Nmm} > 127676375 \text{ Nmm (OK)}$$

5.9.5. Penulangan Geser Balok Penggantung *Lift*

Sebagai tulangan geser balok penggantung *lift*, perlu dihitung ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang dibutuhkan dari area tumpuan dan area lapangan, sebagai berikut:

Daerah Tumpuan

$$\text{Beban geser terfaktor: } V_u = 27430,8 \text{ kg} = 274308 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 358 = 105897,8 \text{ N}$$

Kategori desain:

- 1) $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 105897,8 = 31769,34 \text{ N}$
- 2) $\phi \cdot V_c = 0,6 \times 105897,8 = 63538,68 \text{ N}$
- 3) $\phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s = 63538,68 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 358 = 85018,68 \text{ N}$
- 4) $\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b w \cdot d = 63538,68 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 358 = 190616,07 \text{ N}$
- 5) $\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b w \cdot d = 63538,68 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 358 = 317693,47 \text{ N}$

$V_u = 274308 \text{ N}$ masuk pada kategori desain ke-5 ($\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b w \cdot d < V_u \leq \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b w \cdot d$) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\begin{aligned} \text{Max } S &= \frac{d}{2} \leq 300 \text{ mm} \\ &= \frac{358}{2} \leq 300 \text{ mm} \\ &= 179 \leq 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak sengkang s dicoba menggunakan $= 75 \text{ mm}$

$$A_v = \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times n = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times 2 = 265,33 \text{ mm}^2$$

$$\phi V_s = \frac{\phi \cdot A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{0,6 \cdot 265,33 \cdot 420 \cdot 358}{75} = 319160,15 \text{ N}$$

$$\phi V_n = \phi V_s + \phi V_c = 319160,15 + 63538,68 = 382698,83 \text{ N}$$

Dikarenakan $\phi V_n > V_u = 382698,83 \text{ N} > 274308 \text{ N}$, sehingga dapat menggunakan sengkang **2Ø13-75 mm**.

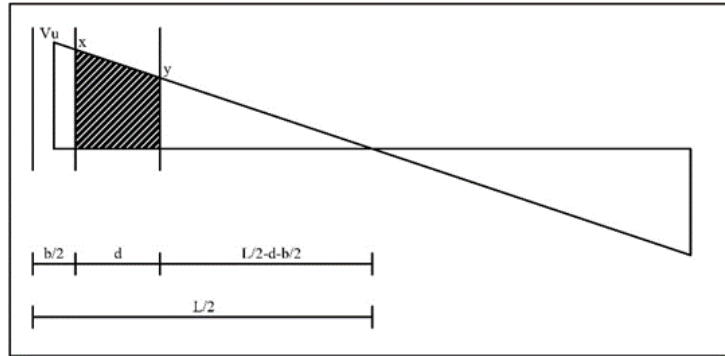
Daerah Lapangan

Beban geser terfaktor: $V_u = 27430,8 \text{ kg} = 274308 \text{ N}$

$$\frac{V_u}{\frac{1}{2}L} = \frac{y}{\frac{1}{2}L - \frac{b}{2} - d}$$

$$\frac{274308}{\frac{1}{2} \cdot 2000} = \frac{y}{\frac{1}{2} \cdot 2000 - \frac{300}{2} - 358}$$

$$y = 134959,54 \text{ N}$$



Gambar 5.19 Diagram Geser

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \cdot 300 \cdot 358 = 105897,8 \text{ N}$$

Kategori desain:

$$6) \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 105897,8 = 31769,34 \text{ N}$$

$$7) \phi \cdot V_c = 0,6 \times 105897,8 = 63538,68 \text{ N}$$

$$8) \phi \cdot V_c + \min \phi \cdot V_s = 63538,68 + 0,6 \times \frac{1}{3} \times 300 \times 358 = 85018,68 \text{ N}$$

$$9) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63538,68 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 358 = 190616,07 \text{ N}$$

$$10) \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = 63538,68 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 300 \times 358 = 317693,47 \text{ N}$$

$V_u = 274308 \text{ N}$ masuk pada kategori desain ke-5 ($\phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d < V_u \leq \phi \cdot V_c + \phi \cdot \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$) berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 7.6.3.1 memerlukan tulangan minimum.

$$\text{Max } S = \frac{d}{2} \leq 300 \text{ mm} = \frac{358}{2} \leq 300 \text{ mm}$$

$$= 179 \leq 300 \text{ mm}$$

Jarak sengkang s dicoba menggunakan = 100 mm

$$A_v = \frac{1}{4} \times 3,14 \times d^2 \times n = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times 2 = 265,33 \text{ mm}^2$$

$$\phi V_s = \frac{\phi \cdot A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{0,6 \cdot 265,33 \cdot 420 \cdot 358}{100} = 239370,11 \text{ N}$$

$$\phi V_n = \phi V_s + \phi V_c = 239370,11 + 63538,68 = 302908,79 \text{ N}$$

Dikarenakan $\phi V_n > V_u = 302908,79 \text{ N} > 274308 \text{ N}$, sehingga dapat menggunakan sengkang **2Ø13-100 mm**.