

BAB V

DESAIN STRUKTUR SEKUNDER

5.1 Perhitungan Struktur Plat Lantai

Struktur plat lantai yang dihitung merupakan plat yang dikelilingi oleh balok atau terjepit penuh. Plat ini digunakan pada lantai 2 hingga lantai atap.

5.1.1 Perhitungan Struktur Plat Lantai

Analisa struktur plat lantai menggunakan tabel koefisien momen. Momen-momen yang terjadi mengikuti ketentuan sebagai berikut:



Gambar 5.1 Ketentuan Pada Analisa Plat Lantai

Dimana:

Lx : Bentang plat pendek
Ly : Bentang plat panjang

Untuk beban yang bekerja pada plat lantai adalah beban mati dan beban hidup. Berikut adalah besaran beban yang bekerja:

1. Beban Mati Lantai Dasar

Berat sendiri (Beton fc' 30 Mpa)	: 0,12 m x 2400 kg/m ³	288 kg/m ²
Beban keramik	:	110 kg/m ²
Beban Dinding Bata Ringan	:	232 kg/m ²
qDL	:	667,6 kg/m ²

2. Beban Hidup Lantai 1-10

Berat sendiri (Beton fc' 30 Mpa)	: 0,12 m x 2400 kg/m ³	288 kg/m ²
Beban keramik	:	110 kg/m ²
Beban MEP	:	19 kg/m ²
Beban plafon	:	8,6 kg/m ²
Beban penggantung langit langit	:	10 kg/m ²
Beban Dinding Bata Ringan	:	232 kg/m ²
qDL	:	667,6 kg/m ²

3. Beban Hidup

Ruang Pertemuan (lantai dasar) qLL	: 479 kg/m ²
Ruang Tempat Tinggal (lantai 1 -10) qLL	: 192 kg/m ²
Beban Lantai Atap (lantai 11), qLL	: 96 kg/m ²

4. Beban Kombinasi

$$1,4 \text{ DL} = 1,4 \times (667,6 \text{ kg/m}^2) = 934,64 \text{ kg/m}^2$$

Untuk Ruang Pertemuan (lantai 1-10)

$$1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times (667,6 \text{ kg/m}^2) + 1,6 \times (192 \text{ kg/m}^2) \\ = 1108,32 \text{ kg/m}^2$$

Untuk Ruang Pertemuan (lantai dasar)

$$1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times (630 \text{ kg/m}^2) + 1,6 \times (479 \text{ kg/m}^2) \\ = 1522,4 \text{ kg/m}^2$$

Untuk Ruang Pertemuan (lantai atap)

$$1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times (330,6 \text{ kg/m}^2) + 1,6 \times (96 \text{ kg/m}^2) \\ = 550,32 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan di atas, maka diambil nilai beban terbesar yaitu **1522,4 kg/m²** untuk perhitungan momen plat lantai.

Untuk perhitungan momen plat lantai menggunakan koefisien momen PBI dengan rumus $M = 0,001 \cdot qL \cdot Lx^2 \cdot X$, yaitu sebagai berikut:

1. Plat ukuran 6 m x 4,415 m:

$$Ly = 6 \text{ m}$$

$$Lx = 4,415 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{Ly}{Lx} = \frac{6}{4,415} = 1,359 < 2, \text{ (Plat dua arah)}$$

$$IX = 31; \quad tX = 19$$

$$IY = 69; \quad tY = 57$$

Maka momen yang terjadi adalah:

$$Mlx = 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 31 = 919,92 \text{ Kgm}$$

$$Mly = 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 19 = 563,82 \text{ Kgm}$$

$$Mtx = 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 69 = 2047,57 \text{ Kgm}$$

$$Mty = 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 57 = 1691,47 \text{ Kgm}$$

2. Plat ukuran 6 m x 4,15 m:

$$Ly = 6 \text{ m}$$

$$Lx = 4,15 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{L_y}{L_x} = \frac{6}{4,15} = 1,446 < 2, \text{ (Plat dua arah)}$$

$$l_x = 21; \quad t_x = 52$$

$$l_y = 21; \quad t_y = 52$$

Maka momen yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,15 \text{ m})^2 \times 34 &= 891,46 \text{ Kgm} \\ M_{ly} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,15 \text{ m})^2 \times 18 &= 471,95 \text{ Kgm} \\ M_{tx} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,15 \text{ m})^2 \times 73 &= 1914,03 \text{ Kgm} \\ M_{ty} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,15 \text{ m})^2 \times 57 &= 1494,51 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

3. Plat ukuran 4,5 m x 4,415 m:

$$L_y = 4,5 \text{ m}$$

$$L_x = 4,415 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{L_y}{L_x} = \frac{4,5}{4,415} = 1,02 < 2, \text{ (Plat dua arah)}$$

$$l_x = 41; \quad t_x = 83$$

Maka momen yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 21 &= 623,17 \text{ Kgm} \\ M_{ly} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 21 &= 623,17 \text{ Kgm} \\ M_{tx} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 52 &= 1543,10 \text{ Kgm} \\ M_{ty} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (4,415 \text{ m})^2 \times 52 &= 1543,10 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

4. Plat ukuran 4,5 m x 3,15 m:

$$L_y = 4,5 \text{ m}$$

$$L_x = 3,15 \text{ m}$$

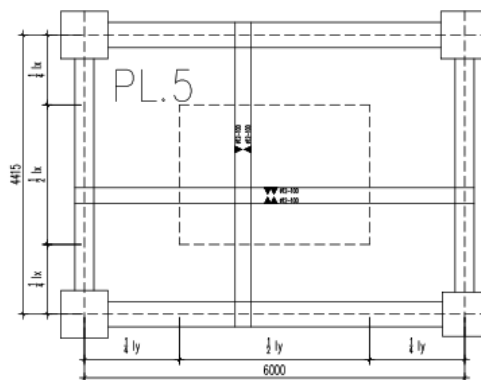
$$\beta_1 = \frac{L_y}{L_x} = \frac{4,5}{3,15} = 1,429 < 2, \text{ (Plat dua arah)}$$

$$l_x = 42; \quad t_x = 83$$

Maka momen yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (3,15 \text{ m})^2 \times 34 &= 513,60 \text{ Kgm} \\ M_{ly} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (3,15 \text{ m})^2 \times 18 &= 271,91 \text{ Kgm} \\ M_{tx} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (3,15 \text{ m})^2 \times 73 &= 1102,74 \text{ Kgm} \\ M_{ty} &= 0,001 \times 1522,4 \text{ kg/m}^2 \times (3,15 \text{ m})^2 \times 57 &= 861,04 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

5.1.1.1 Perhitungan Tulangan Plat Dua Arah



Gambar 5.2 Plat Dua Arah (Plat 5)

$$\begin{aligned}
L_y &= 6000 \text{ mm} \\
L_x &= 4415 \text{ mm} \\
L_n &= 6000 \text{ mm} - \frac{300 \text{ mm}}{2} - \frac{300 \text{ mm}}{2} = 5700 \text{ mm} \\
S_n &= 4415 \text{ mm} - \frac{400 \text{ mm}}{2} - \frac{400 \text{ mm}}{2} = 4015 \text{ mm} \\
\beta_1 &= \frac{5700 \text{ mm}}{4015 \text{ mm}} = 1,42 < 2 \text{ (Plat dua arah)}
\end{aligned}$$

Nilai momen diambil yang terbesar, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
M_{lx} &= 919,92 \text{ kgm} &= 9,1992 \text{ kNm} \\
M_{tx} &= 2047,57 \text{ kgm} &= 20,4757 \text{ kNm} \\
M_{ly} &= 563,82 \text{ kgm} &= 5,6382 \text{ kNm} \\
M_{ty} &= 1691,47 \text{ kgm} &= 16,9147 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Untuk contoh perhitungan kebutuhan tulangan pada daerah lapangan Arah X (M_{lx}) dengan mutu beton $f_c' = 30 \text{ Mpa}$ sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d_x = t_{\text{plat}} - t_{\text{selimut}} - \frac{D}{2} = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} = 94 \text{ mm}$$

$$d_y = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} = 82 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{240 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 9,41$$

$$p_{\text{min}} = 0,002 \text{ (SNI 03-2847-2019 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$\begin{aligned}
p_{\text{max}} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
&= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{240 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 240 \text{ Mpa}} \right) = 0,0484
\end{aligned}$$

$$M_{lx} = 20,47 \text{ kN.m} = 20.475.700 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{20.475.700 \text{ N.mm}}{0,9} = 22.750.777,78 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{22.750.777,78 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (94 \text{ mm})^2} = 2,575 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{9,41} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,41 \cdot 2,575 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0113$$

Karena $p > p_{min}$, maka dipakai $p = 0,0113$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0113 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm} = 1065,267 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai D12-100} \rightarrow A_{s_{pakai}} = 1130,973 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab dan 450 mm, sehingga:

$$100 \text{ mm} < 2 \cdot t_{plat} \rightarrow 100 \text{ mm} < 2 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm (OKE)}$$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 10.6.4. Syarat:

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \cdot c_c ; \text{ dan tidak melebihi; } s \text{ max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 240 \text{ Mpa} = 160 \text{ Mpa}$$

Dengan c_c merupakan jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik, yaitu $c_c = 20 \text{ mm}$, sehingga:

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{160} \right) - 2,5 \cdot 20 = 475 \text{ mm} ; \text{ dan } ; s \text{ max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{160} \right) = 525 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 475 \text{ mm (OKE)}$$

- Kontrol geser dua arah (pons) pada jarak $d/2$ dari muka kolom

$d = 94$ mm, apabila lebar kolom = 750 mm, maka:

$$b_o = 4 \times (750 \text{ mm} + 94 \text{ mm}) = 3376 \text{ mm}$$

$$V_u = (\ell_y \cdot \ell_x - (b_{\text{kolom}} + d)^2) \cdot q_u$$

$$V_u = (6 \text{ m} \cdot 4,415 \text{ m} - (0,75 \text{ m} + 0,094 \text{ m})^2) \cdot 15,22 \text{ kN/m}^2 = 392,44 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot (0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}) \cdot b_o \cdot d$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot (0,33 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}) \cdot 3376 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm} = 430,2 \text{ kN}$$

$$392,44 \text{ kN} < 430,20 \text{ kN} \text{ (OKE)}$$

- Kontrol geser satu arah pada jarak d dari muka kolom

$$x = \left(\frac{6000 \text{ mm}}{2}\right) - \left(\frac{750 \text{ mm}}{2}\right) - 94 \text{ mm} = 2531 \text{ mm} = 2,531 \text{ m}$$

$$V_c = q_u \cdot b \cdot x = 15,22 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot 2,531 \text{ m} = 38,53 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot (0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}) \cdot b \cdot d$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot (0,17 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}) \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 94 \text{ mm} = 65,645 \text{ kN}$$

$$38,53 \text{ kN} < 65,645 \text{ kN} \text{ (OKE)}$$

5.2 Perhitungan Struktur Tangga

Desain struktur tangga meliputi plat tangga, balok tangga, plat bordes serta balok bordes. Sebagai contoh perhitungan, ditinjau tangga yang menghubungkan lantai dasar dengan lantai 2. Denah untuk penempatan tangga yang ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut:

f_c' : 30 Mpa

f_y : 400 Mpa

Tulangan rencana	: D 13
Tebal plat tangga	: 150 mm
Tebal plat bordes	: 150 mm
Injakan	: 280 mm
Tanjakan	: 190 mm

$$\text{Luas } \Delta 1 = 0,5 \times i \times t = 0,5 \times 280 \text{ mm} \times 190 \text{ mm} = 26600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas } \Delta 2 = 0,5 \times (i^2 + t^2)^{0,5} \times d = 0,5 \times (280^2 + 190^2)^{0,5} \times d = 169,19 \times d \cdot 0,5$$

$$\text{Luas } \Delta 1 : \text{Luas } \Delta 2 = 26600 \text{ mm}^2 : 169,19 \text{ mm} \cdot d \cdot 0,5$$

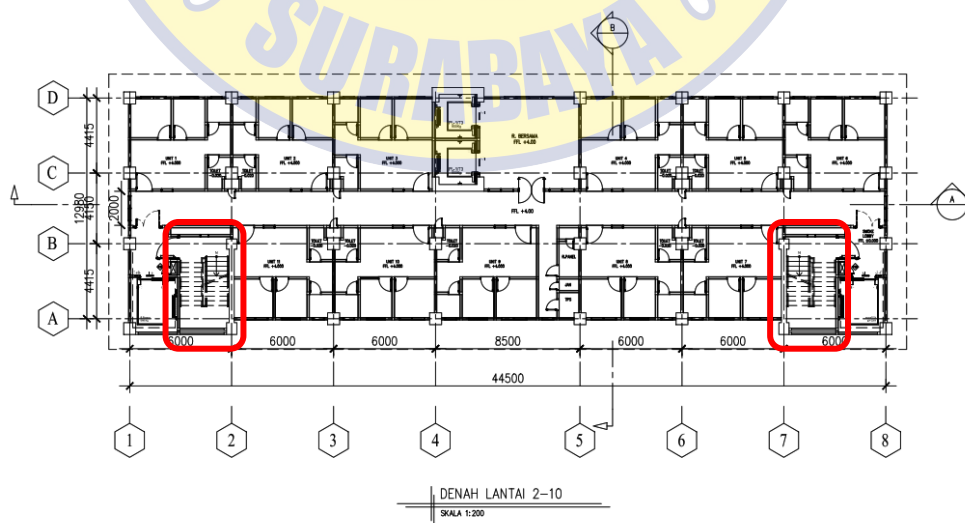
$$d = 26600 \text{ mm}^2 : (169,19 \text{ mm} \cdot 0,5) = 78,61 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif plat tangga} = 150 \text{ mm} + 78,61 \text{ mm} = 228,61 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$$

Untuk beban yang bekerja pada plat tangga dan plat bordes merupakan beban ultimate dari beban hidup dan beban mati

- **Beban Mati (DL)**
Beban keramik + spesi = $110 \text{ kg/m}^2 \rightarrow q_{DL} = 110 \text{ kg/m}^2$
- **Beban Hidup (LL)**
Beban hidup bordes + anak tangga = $216 \text{ kg/m}^2 \rightarrow q_{LL} = 216 \text{ kg/m}^2$
- **Beban Ultimate (UL)**
 $q_U = 1,4 \times q_{DL}$
 $= 1,4 \times 110 \text{ kg/m}^2 = 154 \text{ kg/m}^2$
 $q_U = 1,2 \times q_{DL} + 1,6 \times q_{LL}$
 $= 1,2 \times 110 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \times 216 \text{ kg/m}^2 = 477,71 \text{ kg/m}^2$
 Sehingga dipakai q_{UL} paling besar yaitu: $477,71 \text{ kg/m}^2$

5.2.1 Perhitungan Struktur Plat Tangga



Gambar 5.3 Denah Tangga antar Lantai

$$L_y = L_n = 3775 \text{ mm}$$

$$L_x = S_n = 1400 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{3775 \text{ mm}}{1400 \text{ mm}} = 2,695 > 2 \text{ (plat satu arah)}$$

$$d_x = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{13 \text{ mm}}{2} = 123,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{13 \text{ mm}}{2} = 110,5 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,686$$

$$p_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0244$$

$$M_x = 44,71 \text{ kN.m} = 44.708.400 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{44.708.400 \text{ N.mm}}{0,9} = 49.676.000 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{49.676.000 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (123,5 \text{ mm})^2} = 3,26 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 3,26 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0087$$

Karena $p > p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0087$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0087 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123,5 \text{ mm} = 1079,267 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D13-100 $\rightarrow A_{s_{pakai}} = 1327,32 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2, disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab, sehingga:

$$100 \text{ mm} < 2 \cdot t_{\text{plat}} \rightarrow 100 \text{ mm} < 2 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OKE)}$$

- Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI

03-2847-2013 Pasal 10.6.4. Syarat:

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s}\right) - 2,5 \cdot c_c ; \text{ dan tidak melebihi; } s \text{ max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{f_s}\right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} \cdot f_y = \frac{2}{3} \cdot 400 \text{ Mpa} = 266 \text{ Mpa}$$

Dengan c_c merupakan jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik, yaitu $c_c = 20 \text{ mm}$, sehingga:

$$s = 300 \cdot \left(\frac{280}{266}\right) - 2,5 \cdot 20 = 265 \text{ mm} ; \text{ dan } ; s \text{ max} = 300 \cdot \left(\frac{280}{266}\right) = 315 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 315 \text{ mm (OKE)}$$

Untuk perhitungan tulangan bagi, berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1,

adalah: $\rho = 0,002$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123,5 \text{ mm} = 247 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D10-200 $\rightarrow A_{s_{pakai}} = 392,7 \text{ mm}^2$

5.2.2 Perhitungan Struktur Plat Bordes

$$L_y = L_n = 2530 \text{ mm}$$

$$L_x = S_n = 1450 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{2530 \text{ mm}}{1450 \text{ mm}} = 1,745 > 2 \text{ (plat dua arah)}$$

$$d_x = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{13 \text{ mm}}{2} = 123,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{13 \text{ mm}}{2} = 110,5 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,686$$

$$p_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 03-2847-2013 Pasal 7.12.2.1)}$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0244$$

$$M_x = 29,03 \text{ kN.m} = 29.034.900 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{29.034.900 \text{ N.mm}}{0,9} = 32.261.000 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{32.261.000 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (123,5 \text{ mm})^2} = 2,12 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 2,12 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0055$$

Karena $p > p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0055$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0055 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123,5 \text{ mm} = 682,65 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai D13-150} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 884,88 \text{ mm}^2$$

Untuk perhitungan tulangan bagi, berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 7.6.1.1,

adalah: $\rho = 0,002$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,002 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 123,5 \text{ mm} = 247 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D10-200 $\rightarrow A_{s_{pakai}} = 392,7 \text{ mm}^2$

Menghitung panjang penyaluran tulangan dari balok ke plat tangga berdasarkan

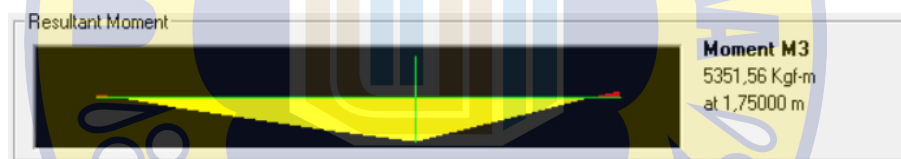
SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.2, diketahui:

$$d_b = 13 \text{ mm} ; \psi_s = 1,0 ; \psi_t = 1,0 ; \psi_e = 1,0 ; \lambda = 1,0$$

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) \cdot d_b = \left(\frac{400 \text{ Mpa} \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,7 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 13 \text{ mm} = 558,46 \text{ mm} \rightarrow 600 \text{ mm}$$

5.3 Desain Balok Penggantung Lift

Dari hasil perhitungan gaya pada program bantu SAP 200 v.14 didapatkan gaya-gaya sebagai berikut:



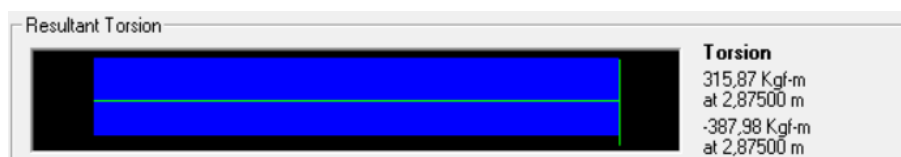
Gambar 5.4 Gaya Momen pada Balok Penggantung Lift

- Mu Tumpuan = 2074,06 kg.m = 20,74 kN.m
- Mu Lapangan = 5351,56 kg.m = 53,51 kN.m



Gambar 5.5 Gaya Geser pada Balok Penggantung Lift

- $V_u = 5819,77 \text{ kg} = 58,19 \text{ kN}$



Gambar 5.6 Gaya Torsi pada Balok Penggantung Lift

- $T_u = 387,98 \text{ kg.m} = 3,87 \text{ kN.m}$

1. Data Perencanaan

L: 2875 mm

b: 250 mm

h: 400 mm

t : 40 mm

Tulangan Lentur: D16

Tulangan Geser : Ø10

2. Perhitungan Tulangan Tumpuan

Syarat menghitung kebutuhan tulangan untuk $f_c' = 30$ Mpa, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = h - t_{\text{selimut}} - \text{senggang} - \frac{D_{\text{lentur}}}{2}$$
$$= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 342 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,686$$

$$p_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\text{max}} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$
$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0244$$

$$M_u = 20,74 \text{ kN.m} = 20.740.600 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{20.740.600 \text{ N.mm}}{0,9} = 23.045.111 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{23.045.111 \text{ N.mm}}{250 \text{ mm} \cdot (342 \text{ mm})^2} = 0,788 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,788 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,002$$

Karena $p < p_{min}$, maka dipakai $p_{min} = 0,0035$

Sehingga: $A_{s_{perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 250 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm} = 299,25 \text{ mm}^2$

Maka dipakai 2-D16 $\rightarrow A_{s_{pakai}} = 402,12 \text{ mm}^2$

3. Perhitungan Tulangan Lapangan

Syarat menghitung kebutuhan tulangan untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = h - t_{selimut} - \text{senggang} - \frac{D_{lentur}}{2}$$
$$= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 342 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,686$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$
$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0244$$

$$M_u = 53,51 \text{ kN.m} = 53.515.600 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{53.515.600 \text{ N.mm}}{0,9} = 59.461.778 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{59.461.778 \text{ N.mm}}{250 \text{ mm} \cdot (342 \text{ mm})^2} = 2,03 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 2,03 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0053$$

Karena $p > p_{min}$, maka dipakai $p = 0,0053$

Sehingga: $A_{s_{perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,0053 \cdot 250 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm} = 453,53 \text{ mm}^2$

Maka dipakai 3-D16 $\rightarrow A_{s_{pakai}} = 603,19 \text{ mm}^2$

4. Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor, V_u sejarak d dari muka tumpuan sesuai SNI 2847-2019 Pasal 9.6.3.1.

$$V_{u'} = \frac{V_u}{\left(\frac{L}{2}\right)} \cdot \left(\frac{L}{2} - d\right)$$

$$V_{u'} = \frac{58,19 \text{ kN}}{\left(\frac{2875 \text{ mm}}{2}\right)} \cdot \left(\frac{2875 \text{ mm}}{2} - 342 \text{ mm}\right) = 44,35 \text{ kN}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal R9.6.3.

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana: $\lambda = 1$ untuk beton normal berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.2.

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm} = 79.611,47 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 79.611,47 \text{ N} = 59.708,61 \text{ N} = 59,70 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 59,70 \text{ kN} = 29,85 \text{ kN}$$

Karena: $V_{u'} > 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$, maka termasuk kondisi 2 \rightarrow perlu tulangan geser, maka harus diberikan tulangan geser.

$$V_{s \text{ min}} = \frac{b \cdot d}{3} = \frac{250 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm}}{3} = 28.500 \text{ N}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki $\emptyset 10$

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2\right) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 342 \text{ mm}}{28.500 \text{ N}} = 452,39 \text{ mm}$$

Diambil $s = 150 \text{ mm}$, Maka dipakai sengkang $\emptyset 10-150$

5. Perhitungan Tulangan Torsi

a. Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.7.1:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \cdot \sqrt{f_{c'}}\right)$$

Dimana untuk gaya yang terjadi:

$$\text{Torsi maksimum terjadi: } T_u = 387,98 \text{ Kg.m} = 3.879.800 \text{ N.m}$$

$$\text{Geser maksimum terjadi: } V_u = 44,351 \text{ kN} = 44.351,71 \text{ N}$$

$$b_h = b - 2 \cdot t - d_{\text{sengkang}} = 250 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot t - d_{\text{sengkang}} = 400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 310 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_h = 2 \cdot (b_h + h_h) = 2 \cdot (160 \text{ mm} + 310 \text{ mm}) = 940 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$A_{oh} = b_h \cdot h_h = 160 \text{ mm} \cdot 310 \text{ mm} = 49.600 \text{ mm}^2$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm} = 78.050,46 \text{ N}$$

Maka:

$$\sqrt{\left(\frac{44.351,71 \text{ N}}{250 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm}}\right)^2 + \left(\frac{3.879.800 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 940 \text{ mm}}{1,7 \cdot (49.600 \text{ mm}^2)^2}\right)^2} = 1,015 \text{ Mpa}$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{78.050,46 \text{ N}}{250 \text{ mm} \cdot 342 \text{ mm}} + 0,66 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}\right) = 3,395 \text{ Mpa}$$

Karena nilai $1,015 \text{ Mpa} \leq 3,395 \text{ Mpa}$, maka penampang cukup untuk menahan torsi terfaktor.

- b. Periksa persyaratan pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 9.5.4.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika:

$$T_u \leq T_{u_{\min}}$$

$$T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

Dimana:

A_{cp} : Luas Penampang Keseluruhan

P_{cp} : Keliling Penampang Keseluruhan

λ : 1 (berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.2 untuk beton normal)

ϕ : 0,75 (faktor reduksi beban torsi)

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir:

$$A_{cp} = b \cdot h = 250 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} = 100.000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (250 \text{ mm} + 400 \text{ mm}) = 1.300 \text{ mm}$$

Maka nilai $T_{u_{\min}}$:

$$T_{u_{\min}} = 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{(100.000 \text{ mm}^2)^2}{1.300 \text{ mm}}\right) = 2.622.748,40 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$T_u \geq T_{u_{\min}} = 3.879.800 \text{ N} \cdot \text{mm} \geq 2.622.748,40 \text{ N} \cdot \text{mm}$, maka perlu tulangan torsi

- c. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi transversal, berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.6.1.1, dalam menghitung penulangan transversal penahan torsi, nilai A_o dapat diambil sama dengan $0,85 A_{oh}$ dan nilai $\theta = 45^\circ$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} = 0,85 \cdot 49.600 \text{ mm}^2 = 42.160 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_T \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta^\circ$$

$$\frac{T_u}{\phi} = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_T \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta^\circ$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{\phi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta^\circ}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{3.879.800 \text{ N} \cdot \text{mm}}{0,75 \cdot 2 \cdot 42.160 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot \cot 45^\circ} = 0,256 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} = \frac{28.500 \text{ N}}{240 \text{ Mpa} \cdot 342 \text{ mm}} = 0,35 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} = 0,35 + 2 \cdot 0,256 = 0,858 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Untuk tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki Ø10 – 150

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2}{150 \text{ mm}} = 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Karena nilai $\frac{A_{v_{pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$, maka tulangan sengkang terpasang sudah mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi.

- d. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi longitudinal, berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.6.1, tulangan torsi untuk tulangan lentur dihitung sebagai berikut:

$$A_\ell = \frac{A_t}{s} \cdot p_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 \theta$$

Sehingga:

$$A_\ell = 0,256 \text{ mm}^2/\text{mm} \cdot 940 \text{ mm} \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \cdot \cot^2 45^\circ = 240,289 \text{ mm}^2$$

Apabila digunakan tulangan 2-D13, maka:

$$2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 = 265,46 \text{ mm}^2 > 240,289 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Jadi, digunakan tulangan 2-D13 di setiap sisi samping kiri dan kanan balok baik di sepanjang tumpuan maupun lapangan.

