

BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

5.1 Umum

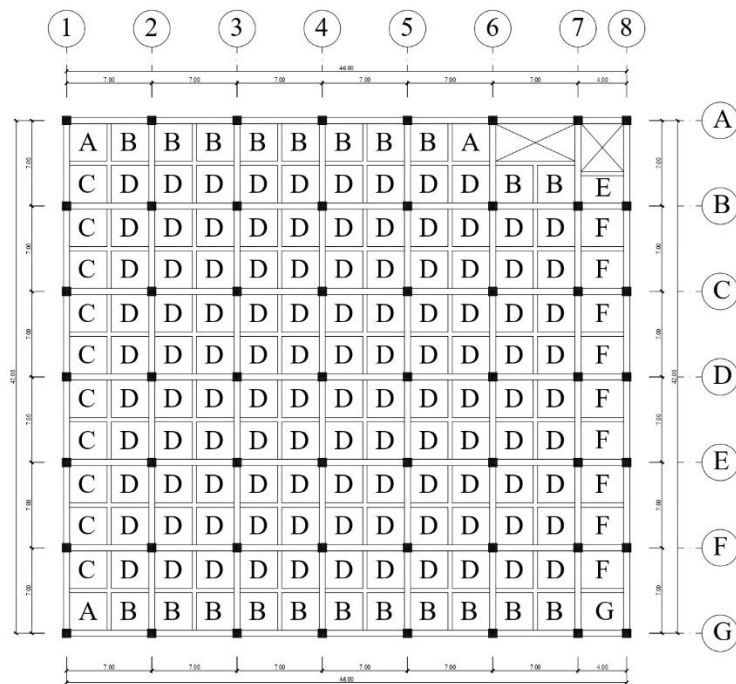
Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak direncanakan untuk menahan beban gempa akan tetapi tetap hanya menahan beban yang mengakibatkan lentur serta tetap membebani struktur primer sebuah gedung.

5.2 Perencanaan Pelat

Berdasarkan data *preliminary design* yang telah dibahas pada **BAB IV** maka diperoleh data perencanaan sebagai berikut:

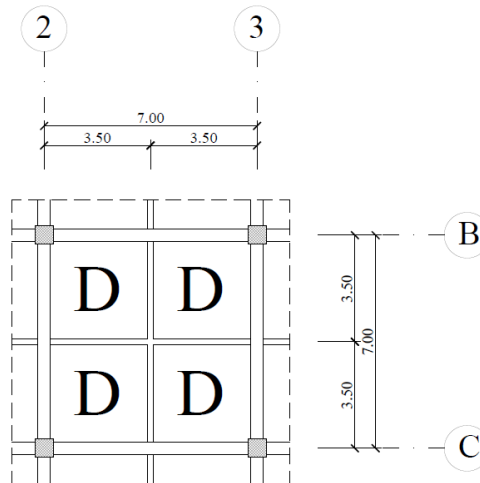
1. Mutu beton (f'_c) : 35 MPa
2. Mutu baja (f_y) : 390 MPa
3. Tebal pelat atap (h_t) : 10 cm
4. Tebal pelat lantai (h_t) : 12 cm
5. Modulus elastisitas beton (E_c) : $4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,58 \text{ MPa}$
6. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) : 0,9 (SNI 2847-2019 tabel 21.2.1)

5.2.1 Perencanaan Pelat Atap



Gambar 5. 1 Denah Pelat Atap

Pelat atap memiliki beban yang mengakibatkan pelat atap sendiri mengalami lendutan yang menyebabkan adanya momen, sehingga jumlah tulangan yang akan dipakai dapat diketahui dari besarnya momen yang didapatkan.



Gambar 5. 2 Pelat Atap

Pembebanan Pelat Atap

- Beban mati

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

$$\text{Plumbing} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafond} = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting AC} = 20 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal} = 14 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi 2 cm} = 2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Finishing} = 21 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total beban mati pelat atap (D)} = \underline{365 \text{ kg/m}^2}$$

- Beban hidup

$$\text{Beban hidup pelat atap (L)} = 100 \text{ kg/m}^2$$

- Beban air hujan (R) = 50 kg/m²

Beban *Ultimate*

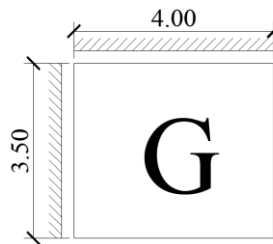
$$Q_u = 1,2D + 1,6L + 0,5R$$

$$Q_u = 1,2(365) + 1,6(100) + 0,5(50)$$

$$Q_u = 623 \text{ kg/m}^2$$

5.2.1.1 Momen Pelat Atap

Pelat atap diasumsikan bahwa pelat yang akan didesain agar dapat melendut ketika terbebani akan tetapi penampang pelat di atas tumpuan tidak berotasi, maka didesain dengan perletakan jepit penuh. Perhitungan momen pada pelat atap digunakan pelat tipe A (**Gambar 5.2**) yang mempunyai nilai momen terbesar dibandingkan tipe pelat lainnya seperti diuraikan pada **Tabel 5.1**. Momen pelat atap dihitung berdasarkan PBI 1971. Langkah pertama dengan membagi bentang terpanjang (L_y) dengan bentang terpendek (L_x) untuk menentukan jenis pelat.



Gambar 5. 3 Sket Tipe Pelat Atap

Dari **Gambar 5.2** diketahui:

- 1) Pelat bentang panjang $L_y = 4,00$ m
- 2) Pelat bentang pendek $L_x = 3,50$ m

$$\text{Maka, } \frac{L_y}{L_x} = \frac{4,0}{3,5} = 1,14 < 2,5 \text{ (two way slab)}$$

Didapatkan koefisien C pada PBI 1971 tabel 13.3.1 jenis tipe pelat III:

$$\text{Nilai koefisien C Mlx} = 33$$

$$\text{Nilai koefisien C Mly} = 28$$

$$\text{Nilai koefisien C Mtx} = 77$$

$$\text{Nilai koefisien C Mty} = 72$$

Perhitungan momen yang terdapat pada pelat atap

$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = 0,001 \times 623 \times 3,5^2 \times 33 = 251,85 \text{ kgm}$$

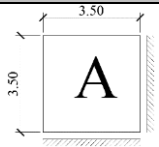
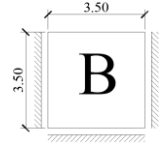
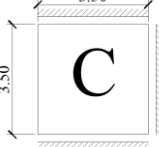
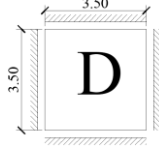
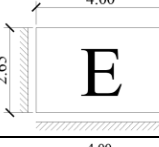
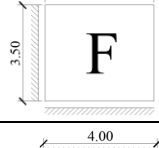

$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times L_y^2 \times C = 0,001 \times 623 \times 4,0^2 \times 28 = 213,69 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = -0,001 \times Q_u \times Lx^2 \times C = -0,001 \times 623 \times 3,5^2 \times 77 = -587,64 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times Q_u \times Lx^2 \times C = -0,001 \times 623 \times 3,5^2 \times 72 = -549,49 \text{ kgm}$$

Diambil momen terbesar arah X yaitu $M_{tx} = -587,64 \text{ kgm}$ dan momen terbesar arah Y yaitu $M_{ty} = -549,49 \text{ kgm}$.

Tabel 5. 1 Perhitungan Momen Pelat Atap

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	Ly/Lx	Keterangan	C	Momen	Mu (kgm)
 A	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	28	Mlx	213,69
				28	Mly	213,69
				68	Mtx	-518,96
				68	Mty	-518,96
 B	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	21	Mlx	160,27
				26	Mly	198,43
				55	Mtx	-419,75
				60	Mty	-457,91
 C	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	26	Mlx	198,43
				21	Mly	160,27
				60	Mtx	-457,91
				55	Mty	-419,75
 D	3,5 x 3,5	1,00	Two Way Slab	21	Mlx	160,27
				21	Mly	160,27
				52	Mtx	-396,85
				52	Mty	-396,85
 E	4,0 x 2,65	1,50	Two Way Slab	48	Mlx	210,00
				25	Mly	109,38
				103	Mtx	-450,63
				77	Mty	-336,88
 F	4,0 x 3,5	1,14	Two Way Slab	29	Mlx	221,32
				20	Mly	152,64
				66	Mtx	-503,70
				57	Mty	-435,01
 G	4,0 x 3,5	1,14	Two Way Slab	33	Mlx	251,85
				28	Mly	213,69
				77	Mtx	-587,64
				72	Mty	-549,49

5.2.1.2 Syarat Batas Penulangan Pelat Atap

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

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

5.2.1.3 Penulangan pada Pelat Atap

Data perencanaan penulangan pada pelat atap arah X dan Y dapat dilihat sebagai berikut:

$$\text{Tebal pelat (h)} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (s)} = 20 \text{ mm (SNI 2847-2019 Tabel 20.6.1.3.1)}$$

$$\text{Tulangan diameter } (\phi) = 10 \text{ mm}$$

Tulangan arah X

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan arah } x \\ &= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen } Mu = Mtx = 587,64 \text{ kgm} = 5876400 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{5876400}{0,9} = 6529333,3 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{6529333,3}{1000 \times 75^2} = 1,16$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,16}{390}} \right) = 0,0030$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0030 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0030$$

Tulangan perlu X

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0030 \times 1000 \times 75 = 225 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 ($As = 393 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut X

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

Digunakan tulangan D8 – 200 (Ass = 251 mm²)

Tulangan arah Y

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan arah } x - \phi \text{ tulangan arah } y \\ &= 100 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 - 10 \\ &= 65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen } Mu = Mty = 549,49 \text{ kgm} = 5494900 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{5494900}{0,9} = 6105444,4 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{6105444,4}{1000 \times 65^2} = 1,45$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,45}{390}} \right) = 0,0038$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0038 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0038$$

Tulangan perlu Y

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0038 \times 1000 \times 65 = 247 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 (As = 393 mm²)

Tulangan susut Y

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

Digunakan tulangan D8 – 200 (Ass = 251 mm²)

5.2.1.4 Kontrol Kekuatan Pelat Atap

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat atap dapat dihitung sebagai berikut:

Kontrol tulangan arah X

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 75} = 0,0052$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$Mn = As \times fy \left(d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left(75 - \frac{5,15}{2} \right) = 11.100.580 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 11.100.580 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 6.529.333,3 \text{ Nmm (OK)}$$

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

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan arah Y

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 65} = 0,0061$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$Mn = As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left(65 - \frac{5,15}{2} \right) = 9.567.879,8 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 9.567.879,8 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 6.105.444,4 \text{ Nmm (OK)}$$

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

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

5.2.2.5 Kontrol Retak

Kontrol retak pada pelat atap dapat diketahui sebagai berikut:

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

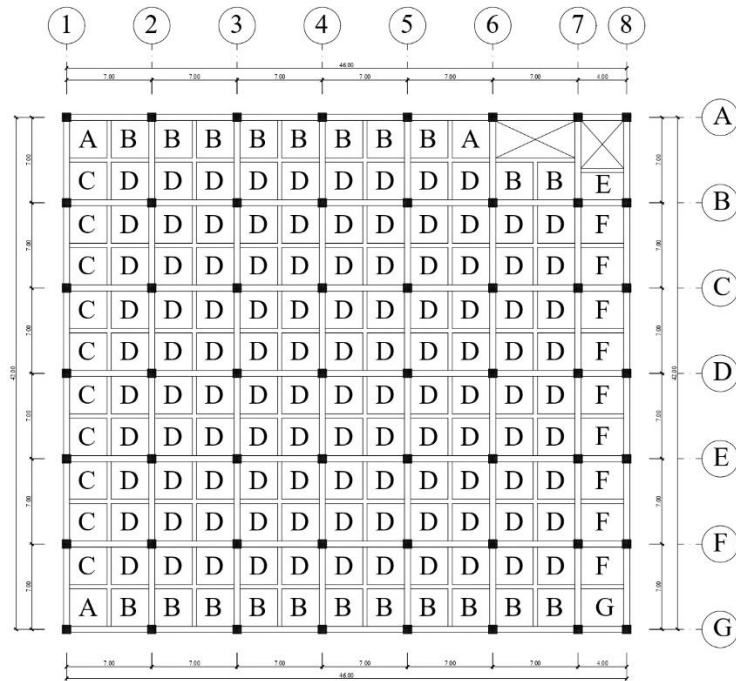
$$f_s = 60\% \times f_y = 60\% \times 390 = 234 \text{ MPa}$$

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

$$A = 2 \times dc \times h = 2 \times 25 \times 100 = 5000 \text{ mm}^2$$

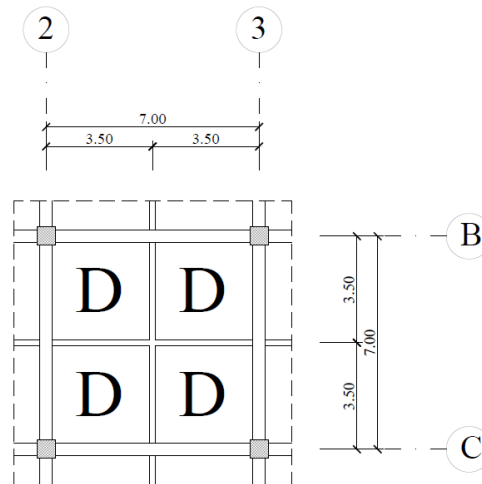
$$Z = 234 \times \sqrt[3]{25 \times 5000} = 11,7 \text{ MN/m} \leq 25 \text{ MN/m (OK)}$$

5.2.2 Perencanaan Pelat Lantai



Gambar 5. 4 Denah Pelat Lantai

Pelat lantai memiliki beban yang mengakibatkan pelat lantai sendiri mengalami lendutan yang menyebabkan adanya momen, sehingga jumlah tulangan yang akan dipakai dapat diketahui dari besarnya momen yang didapatkan.



Gambar 5. 5 Pelat Lantai

Pembebanan Pelat Lantai

- Beban mati

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

Plumbing		= 10 kg/m^2
Plafond		= 18 kg/m^2
Ducting AC		= 20 kg/m^2
Keramik		= 24 kg/m^2
Spesi 2 cm	= 2 x 21	= 42 kg/m^2 +
Total beban mati pelat lantai (D)		= 402 kg/m^2

- **Beban hidup**

Beban hidup pelat lantai (L) = 250 kg/m^2

Beban Ultimate

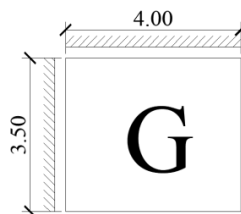
$$Q_u = 1,2D + 1,6L$$

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

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

5.2.2.1 Momen Pelat Lantai

Pelat atap diasumsikan bahwa pelat yang akan didesain agar dapat melendut ketika terbebani akan tetapi penampang pelat di atas tumpuan tidak berotasi, maka didesain dengan perletakan jepit penuh. Perhitungan momen pada pelat atap digunakan pelat tipe A (**Gambar 5.5**) yang mempunyai nilai momen terbesar dibandingkan tipe pelat lainnya seperti diuraikan pada **Tabel 5.2**. Momen pelat lantai dihitung berdasarkan PBI 1971. Langkah pertama dengan membagi bentang terpanjang (L_y) dengan bentang terpendek (L_x) untuk menentukan jenis pelat.



Gambar 5. 6 Sket Tipe Pelat Lantai

Dari **Gambar 5.6** diketahui:

- 1) Pelat bentang panjang $L_y = 3,50$ m

2) Pelat bentang pendek $L_x = 3,50$ m

Maka, $\frac{L_y}{L_x} = \frac{3,5}{3,5} = 1 < 2,5$ (*two way slab*)

Didapatkan koefisien C pada PBI 1971 tabel 13.3.1 jenis tipe pelat III:

Nilai koefisien C $M_{lx} = 28$

Nilai koefisien C $M_{ly} = 28$

Nilai koefisien C $M_{tx} = 68$

Nilai koefisien C $M_{ty} = 68$

Perhitungan momen yang terdapat pada pelat atap

$$M_{lx} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 33 = 356,71 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = 0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 28 = 302,66 \text{ kgm}$$

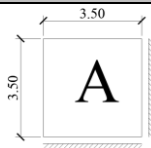
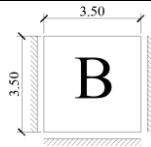
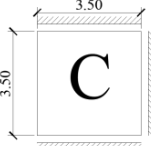
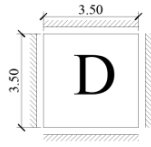
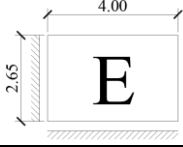
$$M_{tx} = -0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = -0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 77 = -832,32 \text{ kgm}$$

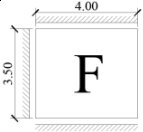
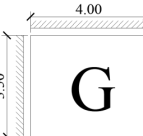
$$M_{ty} = -0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times C = -0,001 \times 882,4 \times 3,5^2 \times 72 = -778,28 \text{ kgm}$$

Diambil momen terbesar arah X yaitu **$M_{tx} = 832,32$ kgm** dan momen terbesar arah Y yaitu

$M_{ty} = 778,28$ kgm.

Tabel 5. 2 Perhitungan Momen Pelat Lantai

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	L_y/L_x	Keterangan	C	Momen	M_u (kgm)
	3,5 x 3,5	1,00	<i>Two Way Slab</i>	28	M_{lx}	302,66
				28	M_{ly}	302,66
				68	M_{tx}	-735,04
				68	M_{ty}	-735,04
	3,5 x 3,5	1,00	<i>Two Way Slab</i>	21	M_{lx}	227
				26	M_{ly}	281,04
				55	M_{tx}	-594,52
				60	M_{ty}	-648,56
	3,5 x 3,5	1,00	<i>Two Way Slab</i>	26	M_{lx}	281,04
				21	M_{ly}	227
				60	M_{tx}	-648,56
				55	M_{ty}	-594,52
	3,5 x 3,5	1,00	<i>Two Way Slab</i>	21	M_{lx}	227
				21	M_{ly}	227
				52	M_{tx}	-562,09
				52	M_{ty}	-562,09
	4,0 x 2,65	1,50	<i>Two Way Slab</i>	48	M_{lx}	297,44
				25	M_{ly}	154,92
				103	M_{tx}	-638,26
				77	M_{ty}	-477,14
	4,0 x 3,5	1,14	<i>Two Way</i>	29	M_{lx}	313,47

			<i>Slab</i>	20	Mly	216,19
				66	Mtx	-713,42
				57	Mty	-616,14
	4,0 x 3,5	1,14	<i>Two Way Slab</i>	33	Mlx	356,71
				28	Mly	302,66
				77	Mtx	-832,32
				72	Mty	-778,28

5.2.2.2 Syarat Batas Penulangan Pelat Lantai

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

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

5.2.2.3 Penulangan pada Pelat Lantai

Data perencanaan penulangan pada pelat lantai arah X dan Y dapat dilihat sebagai berikut:

Tebal pelat (h) = 120 mm

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

Tulangan diameter (ϕ) = 10 mm

Tulangan arah X

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

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

$$= 95 \text{ mm}$$

Momen $M_u = M_{tx} = 832,32 \text{ kgm} = 8323200 \text{ Nmm}$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{8323200}{0,9} = 9248000 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{9248000}{1000 \times 95^2} = 1,03$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,03}{390}} \right) = 0,0027$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0034 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0034$$

Tulangan perlu X

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0027 \times 1000 \times 95 = 256,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 ($As = 393 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut X

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

Digunakan tulangan D8 – 200 ($Ass = 251 \text{ mm}^2$)

Tulangan arah Y

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan arah } x - \phi \text{ tulangan arah } y \\ &= 120 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 - 10 \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen } Mu = Mty = 778,28 \text{ kgm} = 7782800 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{7782800}{0,9} = 8647555,6 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{8647555,6}{1000 \times 85^2} = 1,20$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,2}{390}} \right) = 0,0031$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0031 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0031$$

Tulangan perlu Y

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d = 0,0031 \times 1000 \times 85 = 263,5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D10 – 200 ($As = 393 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut Y

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

Digunakan tulangan D8 – 200 ($Ass = 251 \text{ mm}^2$)

5.2.2.4 Kontrol Kekuatan Pelat Lantai

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat lantai dapat dihitung sebagai berikut:

Kontrol tulangan arah X

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 95} = 0,0041$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$Mn = As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left(95 - \frac{5,15}{2} \right) = 14.165.980 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 14.165.980 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 9.248.000 \text{ Nmm (OK)}$$

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

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan arah Y

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{393}{1000 \times 85} = 0,0046$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{393 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,15$$

$$Mn = As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 393 \times 390 \left(85 - \frac{3,29}{2} \right) = 12.633.280 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 12.633.280 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 8.647.555,6 \text{ Nmm (OK)}$$

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

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} Ass \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{1}{4} \times 8^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{200} \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

5.2.2.5 Kontrol Retak

Kontrol retak pada pelat lantai dapat diketahui sebagai berikut:

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

$$f_s = 60\% \times f_y = 60\% \times 390 = 234 \text{ MPa}$$

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

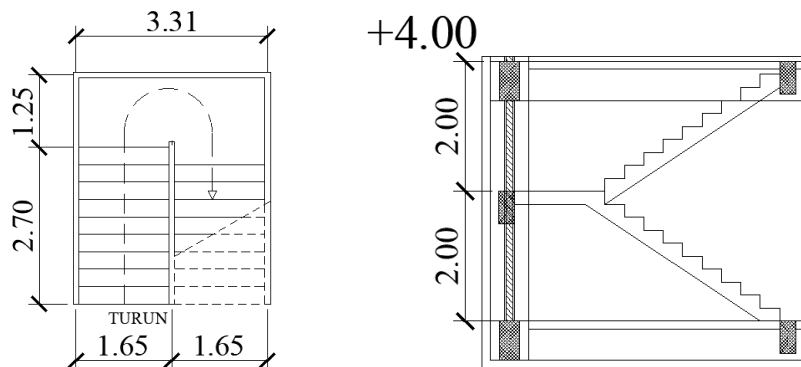
$$A = 2 \times d_c \times h = 2 \times 25 \times 120 = 5000 \text{ mm}^2$$

$$Z = 234 \times \sqrt[3]{25 \times 5000} = 11,7 \text{ MN/m} \leq 25 \text{ MN/m (OK)}$$

5.3 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga digunakan untuk menghubungkan antar lantai gedung yang memiliki perbedaan elevasi. Adapun data untuk perencanaan tangga pada gedung hotel sebagai berikut:

Beda tinggi lantai	: 400 cm
Elevasi bordes	: 200 cm
Panjang bordes	: 400 cm
Lebar bordes	: 138 cm
Mutu baja (f_y)	: 390 MPa
Mutu beton (f'_c)	: 35 MPa
Tinggi injakan	: 20 cm
Lebar injakan	: 30 cm
Jumlah injakan tangga	: $\frac{\text{elevasi bordes}}{\text{tinggi injakan}} = \frac{200}{20} = 10 \text{ buah}$
Jumlah injakan (n)	: $10 - 1 = 9 \text{ buah}$
Kemiringan pada tangga	: $\arctan\left(\frac{\text{tinggi injakan}}{\text{lebar injakan}}\right) = \arctan\left(\frac{20}{30}\right) = 33,69$
Lebar tangga	: 200 cm
Panjang miring	: $\sqrt{400^2 + 200^2} = 447,21 \text{ cm}$
R	: $\frac{1}{2} \times h \times \cos \alpha = \frac{1}{2} \times 20 \times \cos 33,69 = 8,32 \text{ cm}$



Gambar 5. 7 Perencanaan Tangga

Tebal pelat tangga

Tebal selimut beton 20 cm

Tebal pelat tangga h_{min}

$$h_{min} = \frac{H}{27} = \frac{\frac{200}{\sin 33,69}}{27} = 13,35 \text{ cm}$$

Digunakan $h = 15 \text{ cm}$

$$h' = h + \frac{t}{2} \times \cos \alpha = 15 + \frac{20}{2} \times \cos 33,69 = 23,32 \text{ cm}$$

$$E_k = 23,32 - 15 = 8,32 \text{ cm}$$

5.3.1 Pembebanan Tangga

- **Beban pelat tangga**

$$\text{Beban merata anak tangga} = \frac{0,3 \times 0,2}{2} \times 1,65 \times 2400 = 118,8 \text{ kg}$$

$$1 \text{ m ada} = \frac{100}{30} = 3,33 \text{ anak tangga}$$

$$\text{Jadi, } q \text{ anak tangga} = 118,8 \times 3,33 = 396 \text{ kg/m}$$

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat} = 0,0832 \times 2400 \times 2,00 = 399,36 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi (2 cm)} = 2 \times 21 \times 2,00 = 84 \text{ kg/m}$$

$$\text{Keramik (1 cm)} = 1 \times 24 \times 2,00 = 48 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat sandaran} = 30 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban anak tangga} = 396 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total Qd} = 957,36 \text{ kg/m}$$

Beban hidup

$$\text{Beban hidup pelat tangga} = 2,00 \times 300 = 600 \text{ kg/m}$$

Beban ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(957,36) + 1,6(600) \\ &= 2108,83 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- **Beban pelat bordes**

Beban mati

$$\text{Berat sendiri pelat} = 0,15 \times 2400 \times 2,00 = 450 \text{ kg/m}$$

Spesi (2 cm)	= 2 x 21 x 2,00	= 52,5 kg/m
Keramik (1 cm)	= 1 x 24 x 2,00	= 30 kg/m
Berat sandaran		= 30 kg/m +
Total Qd		= 732,9 kg/m

Beban hidup

Beban hidup pelat bordes = 1,65 x 300 = 495 kg/m

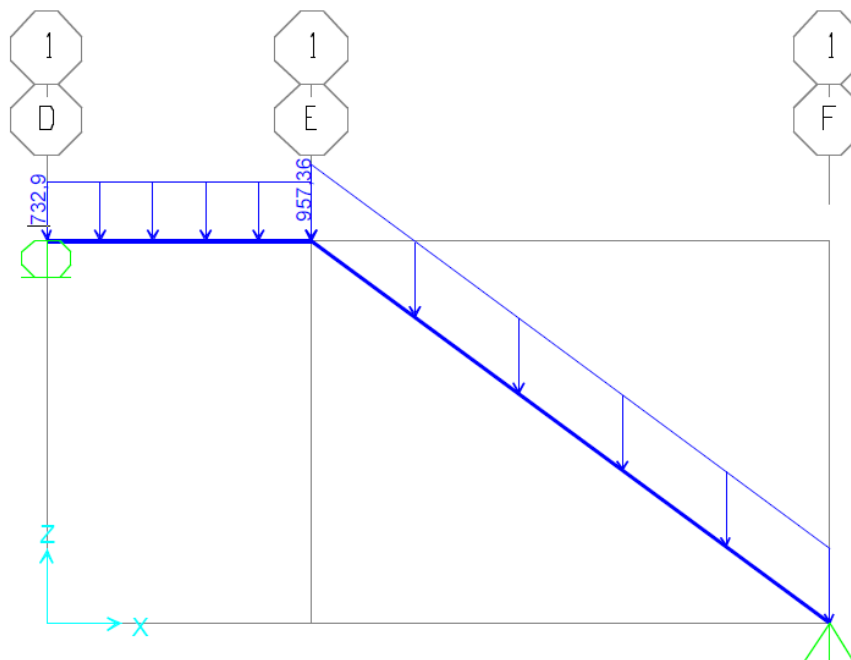
Beban ultimate

$Q_u = 1,2D + 1,6L$
 $= 1,2(732,9) + 1,6(375)$
 $= 1671,48 \text{ kg/m}$

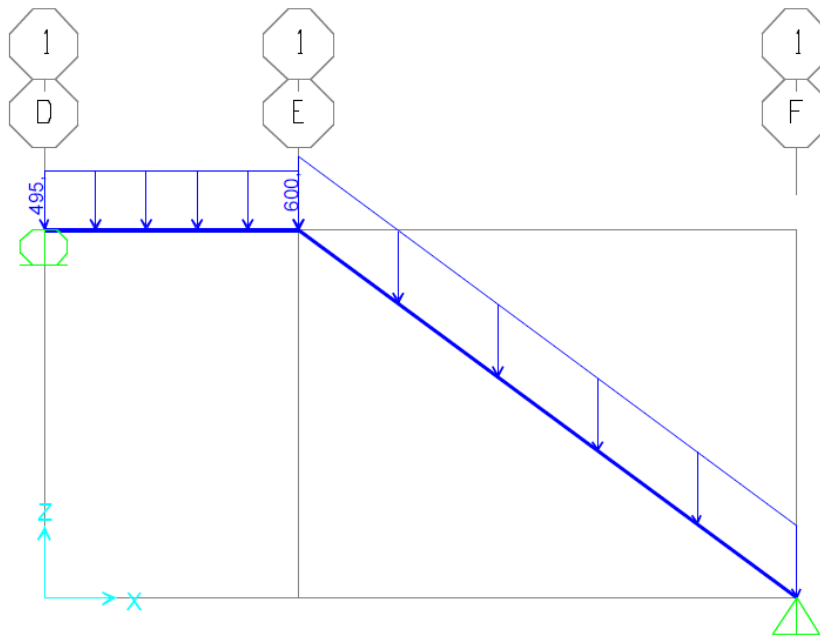
5.3.2 Analisa Statistika Tangga

Setelah pembebanan dilakukan, maka perhitungan untuk mencari momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer sehingga perhitungan statistiknya sebagai berikut:

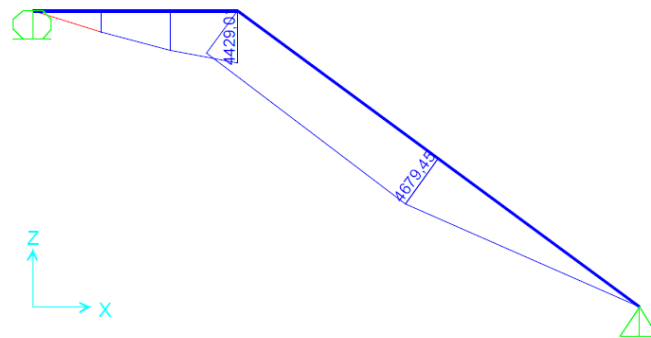
Perhitungan momen – momen yang bekerja:



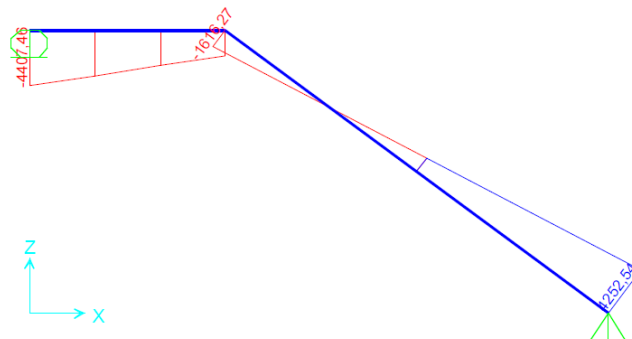
Gambar 5. 8 Input Beban Mati pada Tangga



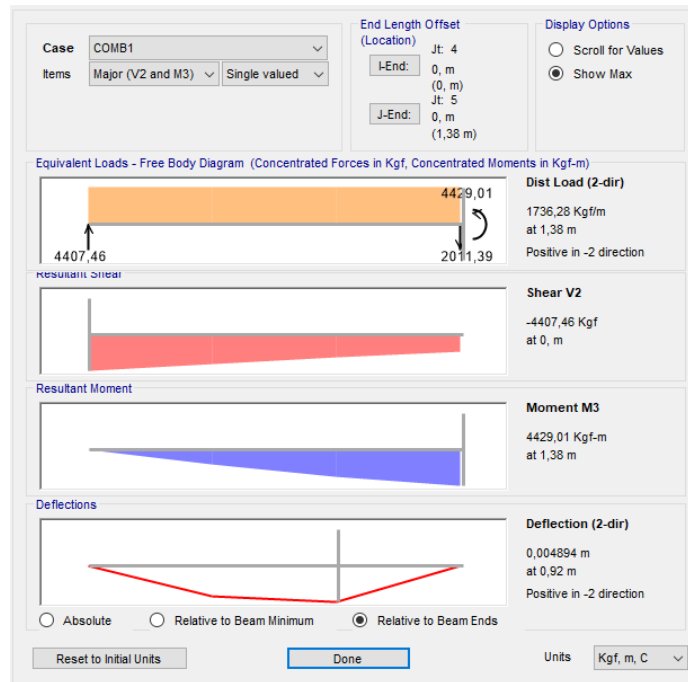
Gambar 5. 9 Input Beban Hidup pada Tangga



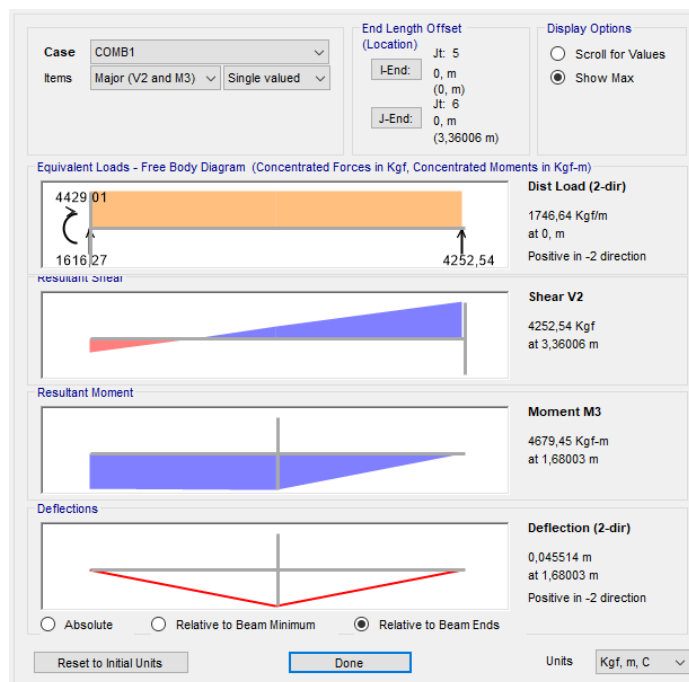
Gambar 5. 10 Gaya Momen pada Tangga



Gambar 5. 11 Gaya Geser pada Tangga



Gambar 5. 12 Gaya Dalam Bordes



Gambar 5. 13 Gaya Dalam Tangga Miring

Dari hasil perhitungan gaya – gaya dalam di atas menggunakan program bantu komputer, maka didapatkan:

$$M_{u \text{ tangga}} = 4679,45 \text{ kgm}$$

$$M_{u \text{ bordes}} = 4429,01 \text{ kgm}$$

a) Gaya Dalam pada Tangga

Momen yang terjadi: $M_u = 4679,45 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4679,45}{0,9} = 5199,39 \text{ kgm} = 51993900 \text{ Nmm}$$

b) Gaya Dalam pada Tangga Bagian Bordes

Momen yang terjadi: $M_u = 4429,01 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4429,01}{0,9} = 4921,12 \text{ kgm} = 49211200 \text{ Nmm}$$

5.3.3 Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data perencanaan:

Mutu beton (f'_c) : 35 MPa

Mutu baja (f_y) : 390 MPa

Selimut beton (s) : 20 mm

\emptyset tulangan : D12

M_n : 51993900 Nmm

• Syarat Batas Penulangan

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

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan} \\ &= 150 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{51993900}{1000 \times 124^2} = 3,38$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 3,38}{390}} \right) = 0,0092$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0098 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0098$$

Tulangan perlu

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0098 \times 1000 \times 124 = 1215,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D12 – 75 ($A_s = 1508 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut

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

Digunakan tulangan D10 – 250 ($A_{ss} = 314 \text{ mm}^2$)

• Kontrol Kekuatan

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat tangga dapat dihitung sebagai berikut:

Kontrol tulangan arah

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} = \frac{1508}{1000 \times 124} = 0,012$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1508 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 19,77$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1508 \times 390 \left(124 - \frac{19,77}{2} \right) = 67.113.314 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 67.113.314 \text{ Nmm} > M_n \text{ beban} = 51.993.900 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 75 \leq 3 \times 150 = 450 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan susut:

$$A_{ss} \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \times 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{250}$$

$$= 314 \text{ mm}^2 \geq A_{ss} \text{ perlu} = 314 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

5.3.4 Perhitungan Penulangan Pelat Bordes

Data perencanaan:

Mutu beton (f'_c) : 35 MPa

Mutu baja (f_y) : 390 MPa

Selimut beton (s) : 20 mm

Ø tulangan : D12

$$M_n \quad : 49211200 \text{ Nmm}$$

- **Syarat Batas Penulangan**

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

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi \text{ tulangan} \\ &= 150 - 20 - \frac{1}{2} \times 12 \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{49211200}{1000 \times 124^2} = 3,2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 3,2}{390}} \right) = 0,0087$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0087 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0087$$

Tulangan perlu

$$A_{S_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0087 \times 1000 \times 124 = 1078,8 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D12 – 100 ($A_s = 1131 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut

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

Digunakan tulangan D10 – 250 ($A_{ss} = 314 \text{ mm}^2$)

- **Kontrol Kekuatan**

Setelah mendapat perhitungan kebutuhan tulangan, maka kontrol kekuatan pada pelat tangga dapat dihitung sebagai berikut:

Kontrol tulangan

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{1131}{1000 \times 124} = 0,0091$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1131 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 14,83$$

$$Mn = As \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1131 \times 390 \left(124 - \frac{14,83}{2} \right) = 51.424.478 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 51.424.478 \text{ Nmm} > Mn \text{ beban} = 49.211.200 \text{ Nmm (OK)}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3 \times \text{tebal pelat} = 100 \leq 3 \times 150 = 450 \text{ mm (OK)}$$

Tulangan susut:

$$Ass \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \phi^2 \times \pi \times \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \times 10^2 \times 3,14 \times \frac{1000}{250}$$

$$= 314 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ perlu} = 314 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

5.3.5 Perencanaan Balok Bordes

Data perencanaan:

Mutu beton (f'_c) : 35 MPa

Mutu baja (f_y) : 390 MPa

Selimut beton (s) : 40 mm

Ø tulangan utama : D14

Ø tulangan sengkang : D10

• Menentukan Dimensi Balok Bordes

Sesuai dengan SNI 2847-2019 pasal 9.3.1.1 tinggi minimum balok nonprategang balok bordes

dianggap tertumpu sederhana sehingga menggunakan: $h = \frac{l}{16}$

$$h = \frac{l}{16} = \frac{400}{16} = 25 \text{ cm} \text{ maka pakai } h = 30 \text{ cm}$$

$$b = 0,3h = 0,3(30) = 9 \text{ cm} \text{ maka pakai } b = 20 \text{ cm}$$

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

• Pembebanan Balok Bordes

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,2 \times 0,2 \times 2400 = 96 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat akibat beban kerja pada pelat bordes} = 1671,48 \text{ kg/m}$$

Beban *ultimate*

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

$$= 1,2(96) + 1,6(1671,48)$$

$$= 2789,57 \text{ kg/m}$$

- **Perhitungan Momen yang Bekerja**

$$M_{tumpuan} = \frac{1}{11} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{11} \times 2789,57 \times 4^2 = 4057,55 \text{ kgm}$$

$$M_{lapangan} = \frac{1}{16} \times Q_u \times l^2 = \frac{1}{16} \times 2789,57 \times 4^2 = 2789,57 \text{ kgm}$$

$$V1 = V2 = \frac{1}{2} \times Q_u \times l = \frac{1}{2} \times 2789,57 \times 4 = 5579,14 \text{ kg}$$

- **Syarat Batas Penulangan Balok Bordes**

Syarat batas penulangan pada balok bordes rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

- **Penulangan Lentur Balok Bordes**

- **Daerah Tumpuan**

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 300 - 40 - \frac{1}{2} \times 14 - 10 \\ &= 243 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{tumpuan} = 4057,55 \text{ kgm} = 40575500 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dx^2} = \frac{40575500}{200 \times 243^2} = 3,44$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 3,44}{390}} \right) = 0,0094$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0094 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0093$$

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0094 \times 200 \times 243 = 456,84 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø14 ($A_s = 462 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 462 = 231 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø14 ($A_s = 308 \text{ mm}^2$)

- Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{\text{tulangan utama}} - \phi_{\text{tulangan sengkang}} \\ &= 300 - 40 - \frac{1}{2} \times 14 - 10 \\ &= 243 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 2789,57 \text{ kgm} = 27895700 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{27895700}{200 \times 243^2} = 2,36$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,36}{390}} \right) = 0,0063$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0020 < 0,0063 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0063$$

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0063 \times 200 \times 243 = 306,18 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø14 ($A_s = 308 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 308 = 154 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø14 ($A_s = 308 \text{ mm}^2$)

• Penulangan Geser Balok Bordes

$$\text{Beban geser } V_u = 5579,14 \text{ kg} = 55791,4 \text{ N}$$

- Kekuatan Geser Beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 200 \times 243 = 47920,25 \text{ N}$$

- Periksa Kategori Desain

$$\phi V_c = 0,75 \times 47920,25 = 35940,19 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 35940,19 = 17970,09 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b \times d = \frac{1}{3} \times 200 \times 243 = 16200 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
\phi V_s &= 0,75 \times 16200 &= 12150 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi V_s &= 35940,19 + 12150 &= 48090,19 \text{ N} \\
\min \phi V_s &= 0,6 \times 12150 &= 9720 \text{ N} \\
\phi V_c + \min \phi V_s &= 35940,19 + 9720 &= 45660,19 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d &= 35940,19 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 243 &= 93444,48 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d &= 35940,19 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 243 &= 150948,78 \text{ N} \\
V_{u1} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \times L_n - d \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} &= \frac{55791,4 \left(\frac{1}{2} \times 330 - 24,3 \right)}{\frac{1}{2} \times 330} &= 47574,8 \text{ N}
\end{aligned}$$

Untuk $V_{u1} = 47574,8 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 4

$$\phi V_c + \min \phi V_s < \phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 35940,19 \text{ N} < 47574,8 \text{ N} \leq 93444,48 \text{ N}$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

Kuat geser nominal tulangan:

$$\phi V_s = V_{u1} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{V_{u1}}{\phi} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{47574,8}{0,75} - 35940,19$$

$$V_s = 27492,9 \text{ N}$$

$$\text{Syarat: } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 27492,9 \text{ N} < \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 246 = 27492,9 \text{ N} < 57504,3 \text{ N}$$

(OK)

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

$$= S_{max} = \frac{243}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= S_{max} = 121,5 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang $s = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 390} = 17,09 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\phi 10 \text{ mm}$: $A_V = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 17,09 \text{ mm}^2$ **(OK)**

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{A_V \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 243}{100} = 148788,9 \text{ N}$$

Cek kondisi V_n

$$\text{Syarat kondisi } V_n = \phi V_n \geq V_u$$

$$\phi (V_c + V_{s \text{ perlu}}) \geq V_u$$

$$0,75(35940,19 + 148788,9) \geq 47574,8 N$$

$$138547 N \geq 47574,8 N \text{ (OK)}$$

Untuk jarak 80 cm dari muka (daerah lapangan):

$$V_{u2} = \frac{V_u(\frac{1}{2} \times Ln - 80)}{\frac{1}{2} \times Ln} = \frac{55791,4 (\frac{1}{2} \times 330 - 80)}{\frac{1}{2} \times 330} = 28741,024 N$$

Untuk $V_{u2} = 28741,024 N$, termasuk dalam kategori desain ke - 2

$$\frac{1}{2} \phi V_c < V_{u2} \leq \phi V_c = 17970,09 N < 28741,024 N \leq 35940,19 N$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Syarat spasi sengkang} &= S_{max} \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= S_{max} \leq \frac{243}{2} \leq 600 \text{ mm} \\ &= S_{max} \leq 121,5 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai sengkang $s = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas } = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 390} = 17,09 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\phi 10 \text{ mm}$: $A_V = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 17,09 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{A_V \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 243}{100} = 148788,9 N$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 148788,9 = 111592 N > \min \phi V_s = 9720 N \text{ (OK)}$$

Maka, dipakai tulangan sengkang $\phi 10 - 100 - 100 \text{ mm}$

5.4 Perencanaan Balok Lift

Balok *lift* berfungsi memikul beban *lift* baik itu akibat bandul *lift* (R1) maupun ruang *lift* (R2). Balok *lift* terletak pada *core wall* dan memiliki 2 jenis. Yang pertama berfungsi sebagai pemikul bandul *lift*, yang kedua berfungsi memikul ruang *lift*. Adapun spesifikasi *lift* pada perencanaan penampang *lift* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Spesifikasi lift

Merk	= LUXEN – HYUNDAI
Kecepatan	= 1,0 – 1,5 <i>m/sec</i>
Kapasitas	= 13 orang
Lebar pintu (<i>open width</i>)	= 1100 mm
Dimensi sangkar (<i>carsize</i>)	= 2100 x 1100 <i>mm</i> ²
Dimensi ruang luncur (<i>hoistway</i>)	= 2550 x 1750 <i>mm</i> ²

$$\begin{aligned} \text{Dimensi ruang mesin (machine)} &= 2900 \times 3550 \text{ mm}^2 \\ \text{Beban reaksi pada ruang mesin} &= R1 = 5450 \text{ kg} \\ &= R2 = 4300 \text{ kg} \end{aligned}$$

5.4.1 Beban Hidup Koefisien Kejut yang Diakibatkan oleh Keran

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

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

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

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

Dimana:

Ψ = koefisien kejut yang diakibatkan oleh keran

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

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

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

Beban yang bekerja pada balok penggantung *lift*:

$$p_{u1} = R1 \times \Psi = 5450 \times 1,78 = 9701 \text{ kg}$$

$$p_{u2} = R2 \times \Psi = 4300 \times 1,78 = 7654 \text{ kg}$$

$$p = p_{u1} + p_{u2} = 9701 + 7654 = 17355 \text{ kg}$$

5.4.2 Pembebanan Balok Penggantung Lift

1) Beban terpusat

$$\text{Beban terpusat lift} = 17355 \text{ kg}$$

$$\text{Beban kapasitas elevator} = \underline{1000 \text{ kg}} +$$

$$\text{Total} = 18355 \text{ kg}$$

2) Beban merata

Beban mati

$$\text{Beban sendiri balok} = 0,2 \times 0,15 \times 2400 = 72 \text{ kg/m}$$

Beban hidup

$$\text{Beban pekerja} = 100 \text{ kg/m}$$

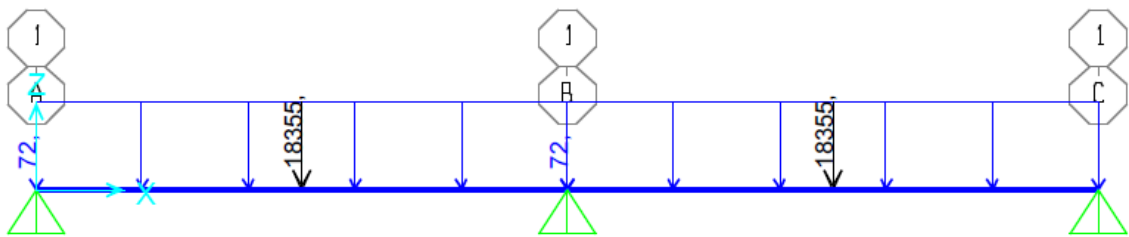
Beban ultimate

$$\begin{aligned}
 Q_u &= 1,2D + 1,6L \\
 &= 1,2(72) + 1,6(100) \\
 &= 246,4 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

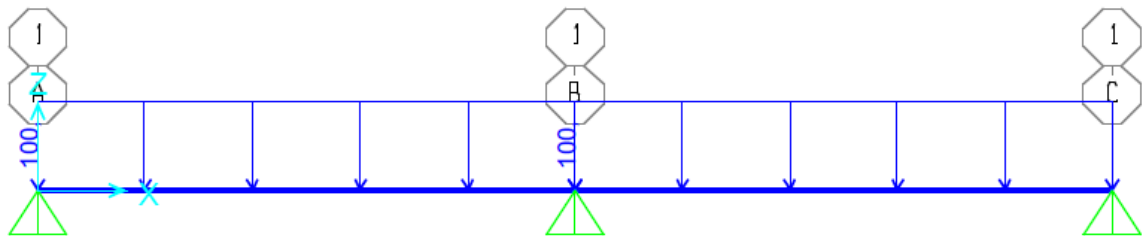
5.4.3 Analisa Statistika Balok Lift

Setelah pembebanan dilakukan, maka perhitungan untuk mencari momen (gaya – gaya dalam) dicari dengan menggunakan program bantu komputer sehingga perhitungan statistiknya sebagai berikut:

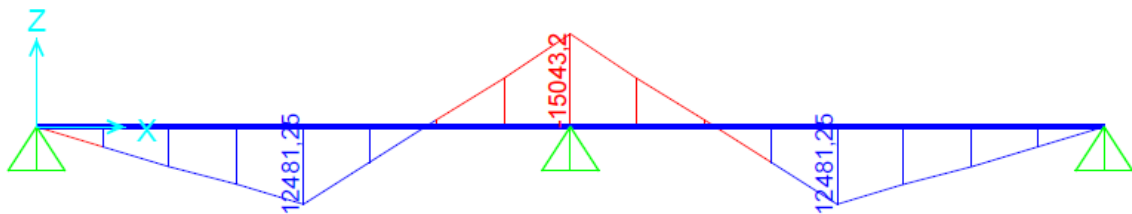
Perhitungan momen – momen yang bekerja:



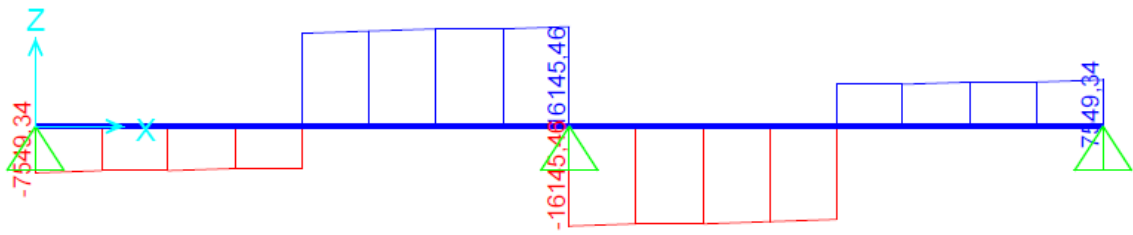
Gambar 5. 14 Input Beban Mati Balok Lift



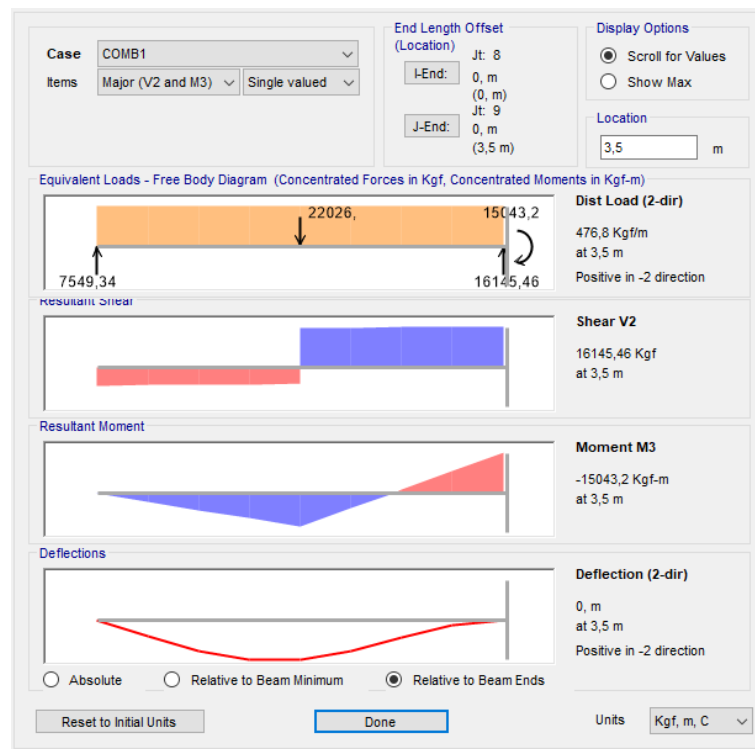
Gambar 5. 15 Input Beban Hidup Balok Lift



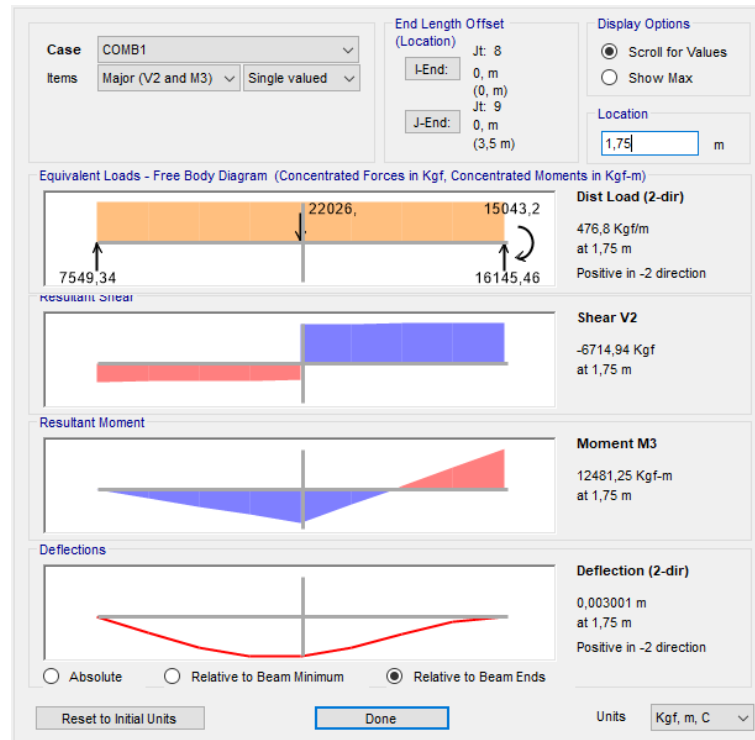
Gambar 5. 16 Gaya Momen pada Balok Lift



Gambar 5. 17 Gaya Geser pada Balok *Lift*



Gambar 5. 18 Momen Tumpuan pada Balok *Lift*



Gambar 5. 19 Momen Lapangan pada Balok *Lift*

Dari hasil perhitungan gaya – gaya dalam di atas menggunakan program bantu komputer, maka didapatkan:

$$M_u \text{ tumpuan} = 15043,2 \text{ kgm}$$

$$M_u \text{ lapangan} = 12481,25 \text{ kgm}$$

$$V_u = 16145,46 \text{ kg}$$

a) Momen Tumpuan

Momen yang terjadi: $M_u \text{ tumpuan} = 15043,2 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{15043,2}{0,9} = 16714,67 \text{ kgm} = 167146700 \text{ Nmm}$$

b) Momen Lapangan

Momen yang terjadi: $M_u \text{ lapangan} = 12481,25 \text{ kgm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{12481,25}{0,9} = 13868,06 \text{ kgm} = 138680600 \text{ Nmm}$$

5.4.4 Perhitungan Penulangan Balok *Lift*

Data perencanaan

Bentang balok = 3500 mm

Dimensi balok lift = 25/40 cm

Ø tulangan utama = D19

Ø tulangan sengkang = D10

Mutu tulangan (f_y) = 390 MPa

Selimut beton (s) = 40 mm

Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

- **Syarat Batas Penulangan Balok Lift**

Syarat batas penulangan pada pelat balok *lift* rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

- **Penulangan Lentur Balok Lift**

- Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{\text{tulangan utama}} - \phi_{\text{tulangan sengkang}} \\ &= 400 - 40 - \frac{1}{2} \times 19 - 10 \\ &= 340,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 13868,06 \text{ kgm} = 138680600 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{138680600}{250 \times 340,5^2} = 4,78$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,78}{390}} \right) = 0,0134$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0134 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0134$$

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0134 \times 250 \times 340,5 = 1140,7 \text{ mm}^2$$

Digunakan 5Ø19 ($A_s = 1418 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1418 = 709 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø19 ($A_s = 851 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan pada balok penggantung lift

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1418 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 74,356$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1418 \times 390 \left(340,5 - \frac{74,356}{2} \right) = 167.743.234,7 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 167.743.234,7 = 142.581.749,5 \text{ Nmm} > M_{lapangan} = 138.680.600 \text{ Nmm (OK)}$$

- Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 400 - 40 - \frac{1}{2} \times 19 - 10 \\ &= 340,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{tumpuan} = 14240,82 \text{ kgm} = 142408200 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{142408200}{250 \times 340,5^2} = 4,19$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,19}{390}} \right) = 0,0116$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0020 < 0,0116 < 0,028 \text{ pakai } \rho = 0,0116$$

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0116 \times 250 \times 340,5 = 987,45 \text{ mm}^2$$

Digunakan 5Ø19 ($A_s = 1418 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 1418 = 709 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø19 ($A_s = 851 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan pada balok penggantung lift

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1418 \times 390}{0,85 \times 35 \times 250} = 74,356$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1418 \times 390 \left(340,5 - \frac{74,356}{2} \right) = 167.743.234,7 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn = 0,85 \times 167.743.234,7 = 142.581.749,5 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 142.408.200 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

• **Penulangan Geser Balok Penggantung Lift**

$$\text{Beban geser } V_u = 16145,46 \text{ kg} = 161454,6 \text{ N}$$

- **Kekuatan Geser Beton**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 67147,51 \text{ N}$$

- **Periksa Kategori Desain**

$$\phi V_c = 0,75 \times 67147,51 = 50360,63 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 50360,63 = 25180,31 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b \times d = \frac{1}{3} \times 200 \times 340,5 = 22700 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 22700 = 17025 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_s = 50360,63 + 17025 = 67385,63 \text{ N}$$

$$\min \phi V_s = 0,6 \times 17025 = 13620 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \min \phi V_s = 50360,63 + 13620 = 63980,63 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 130937,6 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 211514,6 \text{ N}$$

$$V_{u1} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \times Ln - d \right)}{\frac{1}{2} \times Ln} = \frac{161454,6 \left(\frac{1}{2} \times 320 - 34,05 \right)}{\frac{1}{2} \times 320} = 127095,04 \text{ N}$$

Untuk $V_{u1} = 127095,04 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 4

$$\phi V_c + \min \phi V_s < V_{u1} \leq \phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 \text{ N} < 127095,04 \text{ N} \leq 130937,6 \text{ N}$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

Kuat geser nominal tulangan:

$$\phi V_s = V_{u1} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{V_{u1}}{\phi} - \phi V_c$$

$$V_s = \frac{127095,04}{0,75} - 50360,63$$

$$V_s = 119099 \text{ N}$$

$$\text{Syarat: } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 119099 \text{ N} < \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 119099 \text{ N} < 268590 \text{ N}$$

(OK)

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

$$= S_{max} = \frac{340,5}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= S_{max} = 170,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang $s = 100 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 100}{3 \times 390} = 17,09 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\emptyset 10 \text{ mm}$: $A_V = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 17,09 \text{ mm}^2$ **(OK)**

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{A_V \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 340,5}{100} = 208488,15 \text{ N}$$

Cek kondisi V_n

Syarat kondisi $V_n = \emptyset V_n \geq V_u$

$$\emptyset(V_c + V_{s \text{ perlu}}) \geq V_u$$

$$0,75(67147,51 + 208488,15) \geq 109093,4 \text{ N}$$

$$206726,75 \text{ N} \geq 127095,04 \text{ N} \text{ **(OK)**}$$

Untuk jarak 80 cm dari muka (daerah lapangan):

$$V_{u2} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \times L_n - 80 \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{161454,6 \left(\frac{1}{2} \times 320 - 80 \right)}{\frac{1}{2} \times 320} = 80727,3 \text{ N}$$

Untuk $V_{u2} = 80727,3 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke - 4

$$\emptyset V_c + \min \emptyset V_s < V_{u1} \leq \emptyset V_c + \emptyset \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 50360,63 \text{ N} < 127095,04 \text{ N} \leq 130937,6 \text{ N}$$

Maka, diperlukan tulangan geser dengan persyaratan di bawah ini:

Kuat geser nominal tulangan:

$$\emptyset V_s = V_{u2} - \emptyset V_c$$

$$V_s = \frac{V_{u2}}{\emptyset} - \emptyset V_c$$

$$V_s = \frac{80727,3}{0,75} - 50360,63$$

$$V_s = 57275,77 \text{ N}$$

$$\text{Syarat: } V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d = 57275,77 \text{ N} < \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 200 \times 340,5 = 57275,77 \text{ N} < 268590 \text{ N} \text{ **(OK)}**}$$

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

$$= S_{max} = \frac{340,5}{2} \leq 600 \text{ mm}$$

$$= S_{max} = 170,25 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang $s = 150 \text{ mm}$

$$\text{Maka luas} = A_{Vmin} = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{200 \times 150}{3 \times 390} = 25,64 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2 kaki $\emptyset 10$ mm: $A_V = 157 \text{ mm}^2 > A_{Vmin} = 25,64 \text{ mm}^2$ (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$$V_{s \text{ perlu}} = \frac{A_V \times f_y \times d}{s} = \frac{157 \times 390 \times 340,5}{150} = 138992,1 \text{ N}$$

Cek kondisi V_n

Syarat kondisi $V_n = \emptyset V_n \geq V_u$

$$\emptyset (V_c + V_{s \text{ perlu}}) \geq V_u$$

$$0,75(67147,51 + 138992,1) \geq 109093,4 \text{ N}$$

$$154604,71 \text{ N} \geq 127095,04 \text{ N} \text{ (OK)}$$

Maka, dipakai tulangan sengkang $\emptyset 10 - 100 - 150$ mm

5.5 Perencanaan Balok Anak

5.5.1 Perencanaan Balok Anak Atap

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1 tinggi minimum balok nonprategang balok anak atap dianggap kedua ujung menerus sehingga menggunakan:

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

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

Untuk lebar balok minimal:

$$b = 0,3h = 0,3(40) = 12 \text{ cm} \text{ maka dipakai } \mathbf{b = 30 \text{ cm}}$$

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

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

Diameter tulangan utama = D12

Diameter tulangan sengkang = D10

Mutu tulangan (f_y) = 390 MPa

Selimut beton (s) = 40 mm

Mutu beton (f'_c) = 35 MPa

5.5.1.1 Pembebanan Balok Anak Atap

Beban mati

$$\text{Berat pelat} = 0,10 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$$

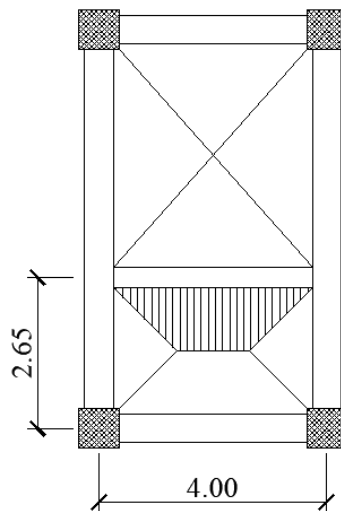
Aspal 1 cm	= 14	= 14 kg/m^2
Ducting AC	= 20	= 20 kg/m^2
Plumbing	= 10	= 10 kg/m^2
Plafond	= 18	= 18 kg/m^2
Spesi 2 cm	= 21 x 2	= 42 kg/m^2
Finishing	= 21	= 21 kg/m^2 +

$$qD = 365 \text{ kg/m}^2$$

Beban hidup (qL) = 100 kg/m^2

Beban air untuk atap (R) = 0,05 x 1000 = 50 kg/m^2

• **Pembebanan Trapesium 1 pada Balok Anak Atap**



Beban Mati

Berat sendiri balok = 0,35 x 0,4 x 2400 = 336 kg/m

Beban ekuivalen = $\frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right)$
= $\frac{1}{2} \times 365 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right)$ = 412,87 kg/m +

Total beban mati = 748,87 kg/m

Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \\ &= \frac{1}{2} \times 100 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right) = 113,12 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban Air Hujan

$$\begin{aligned}\text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times R \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \\ &= \frac{1}{2} \times 50 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right) = 56,56 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

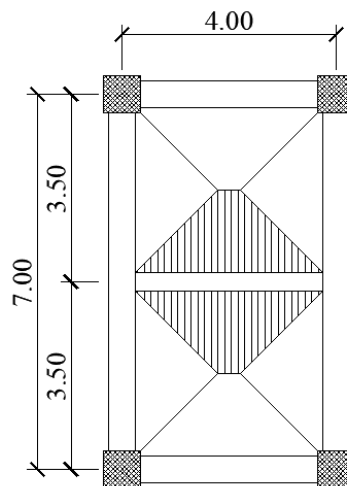
Beban *Ultimate*

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2D + 1,6L + 0,5R \\ &= 1,2 (748,87) + 1,6 (113,12) + 0,5 (56,56) \\ &= 1107,916 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Perhitungan Gaya Dalam

$$\begin{aligned}M_{Tumpuan} &= \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{1107,916 \times 3,5^2}{11} = 1233,82 \text{ kgm} \\ M_{Lapangan} &= \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{1107,916 \times 3,5^2}{16} = 848,25 \text{ kgm} \\ V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 748,87 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 113,12 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 1889,36 \text{ kg}\end{aligned}$$

• Pembebanan Trapesium 2 pada Balok Anak Atap



Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,35 \times 0,4 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 365 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 951,47 \text{ kg/m} + \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 1287,47 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 100 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 260,68 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Air Hujan

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times R \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 50 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 130,34 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L + 0,5R \\ &= 1,2 (1287,47) + 1,6 (260,68) + 0,5 (130,34) \\ &= 2027,222 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

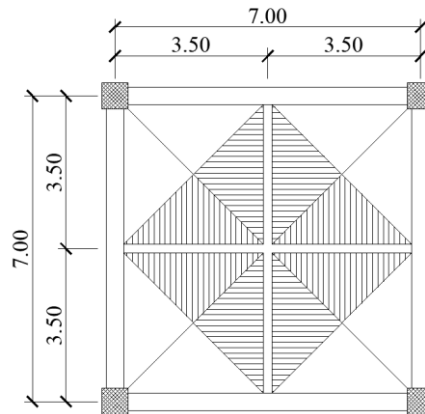
Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{2027,222 \times 3,5^2}{11} = 2257,59 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{2027,222 \times 3,5^2}{16} = 1552,09 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 1287,47 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 260,68 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 3433,59 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Pembebanan Segitiga 1 pada Balok Anak Atap**



Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok} &= 0,35 \times 0,40 \times 2400 && = 336 \text{ kg/m} \\ \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{3} \times qD \times Lx \times 2 \\ &= \frac{1}{3} \times 365 \times 3,5 \times 2 && = 851,6 \text{ kg/m} + \\ \text{Total beban mati} &&& = 1187,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{3} \times qL \times Lx \times 2 \\ &= \frac{1}{3} \times 100 \times 3,5 \times 2 && = 233,33 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Air Hujan

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{3} \times R \times Lx \times 2 \\ &= \frac{1}{3} \times 50 \times 3,5 \times 2 && = 116,67 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L + 0,5R \\ &= 1,2 (1187,6) + 1,6 (233,33) + 0,5 (116,67) \\ &= 1856,78 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{1856,78 \times 3,08^2}{11} = 1601,29 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{1856,78 \times 3,08^2}{16} = 1100,89 \text{ kgm}$$

$$V_u = \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2} \right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2} \right)$$

$$= \left(1,2 \times 1187,6 \times \frac{3,08}{2}\right) + \left(1,6 \times 233,33 \times \frac{3,08}{2}\right)$$

$$= 2769,61 \text{ kg}$$

5.5.1.2 Syarat Batas Penulangan Balok Anak Atap

Syarat batas penulangan pada balok anak atap rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

5.5.1.3 Penulangan Lentur Balok Anak Atap

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Gaya Dalam dari Balok Anak Atap

	Momen		V_u (kg)
	Tumpuan (kgm)	Lapangan (kgm)	
Trapesium 1	1233,82	848,25	1889,36
Trapesium 2	2257,59	1552,09	3433,59
Segitiga 1	1601,29	1100,89	2769,61

Digunakan gaya dalam balok anak atap dari pembebanan segitiga 3 yaitu:

$$M_{Tumpuan} = 2257,59 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = 1552,09 \text{ kgm}$$

$$V_u = 3433,59 \text{ kg}$$

Daerah Tumpuan

$$\text{Mencari tinggi efektif (dx)} = h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang}$$

$$= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 8$$

$$= 446 \text{ mm}$$

$$M_{Tumpuan} = 2257,59 \text{ kgm} = 22575900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{22575900}{0,9} = 25084333,33 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = \frac{25084333,33}{350 \times 446^2} = 0,36$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,36}{390}} \right) = 0,0009 < \rho_{min}$$

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

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 350 \times 446 = 312,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø12 ($A_s = 339 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø12 ($A_s = 226 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan pada balok anak atap

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{452 \times 390}{0,85 \times 35 \times 350} = 16,93$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 452 \times 390 \left(446 - \frac{16,93}{2} \right) = 77128700,5 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 77.128.700,5 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 25.084.333,33 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

- Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan \text{ utama}} - \phi_{tulangan \text{ sengkang}} \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 8 \\ &= 446 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{Lapangan} = 1552,09 \text{ kgm} = 15520900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{15520900}{0,9} = 17245444,44 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = \frac{17245444,44}{350 \times 446^2} = 0,25$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,25}{390}} \right) = 0,0006 > \rho_{min}$$

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

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 350 \times 446 = 312,2 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø12 ($A_s = 339 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2Ø12 ($A_s = 226 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan pada balok anak atap

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{339 \times 390}{0,85 \times 35 \times 350} = 12,7$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 339 \times 390 \left(446 - \frac{12,7}{2} \right) = 58126309 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 58.126.309 \text{ Nmm} > M_{lapangan} = 17.245.444,44 \text{ Nmm (OK)}$$

• Penulangan Geser Balok Bordes

Beban geser $V_u = 3433,59 \text{ kg} = 34335,9 \text{ N}$

- Kekuatan Geser Beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 350 \times 446 = 153916,68 \text{ N}$$

- Periksa Kategori Desain

$$\phi V_c = 0,75 \times 153916,68 = 115437,51 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 115437,51 = 57718,75 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{1}{3} \times b \times d = \frac{1}{3} \times 350 \times 446 = 52033,33 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 52033,33 = 39025 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi V_s = 115437,51 + 39025 = 154462,51 \text{ N}$$

$$\min \phi V_s = 0,6 \times 39025 = 31220 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \min \phi V_s = 115437,51 + 31220 = 146657,51 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \times b \times d = 115437,51 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 350 \times 446 = 333119,66 \text{ N}$$

$$\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \times b \times d = 115437,51 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 350 \times 446 = 517819,67 \text{ N}$$

$$V_{u1} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \times L_n - d \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{34335,9 \left(\frac{1}{2} \times 308 - 44,6 \right)}{\frac{1}{2} \times 308} = 24391,9 \text{ N}$$

Untuk $V_{u1} = 24391,9 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u1} \leq \frac{1}{2} \phi V_c = 24391,9 \text{ N} < 57718,75 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan Ø8 – 100 mm

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3f_y} = \frac{350 \times 100}{3 \times 390} = 29,91 \text{ mm}^2$$

Sengkang 2 kaki $\emptyset 8 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 29,91 \text{ mm}^2$ (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{29,91 \times 390 \times 444}{100} = 51792,156 \text{ N}$$

$\emptyset V_s = 0,75 \times 51792,156 = 38844,117 > \min \emptyset V_s = 31220 \text{ N}$ (OK)

Untuk jarak 100 cm dari muka (daerah lapangan)

$$V_{u2} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \times Ln - 100 \right)}{\frac{1}{2} \times Ln} = \frac{34335,9 \left(\frac{1}{2} \times 308 - 100 \right)}{\frac{1}{2} \times 308} = 12039,9 \text{ N}$$

Untuk $V_{u2} = 12039,9 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u2} \leq \frac{1}{2} \emptyset V_c = 12039,9 \text{ N} < 57459,92 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan $\emptyset 8 - 150 \text{ mm}$

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3f_y} = \frac{350 \times 150}{3 \times 390} = 44,87 \text{ mm}^2$$

Sengkang 2 kaki $\emptyset 10 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 44,87 \text{ mm}^2$ (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{44,87 \times 390 \times 444}{150} = 51800 \text{ N}$$

$\emptyset V_s = 0,75 \times 51800 = 38850 > \min \emptyset V_s = 31220 \text{ N}$ (OK)

Maka, dipakai tulangan sengkang $\emptyset 8 - 100 - 150 \text{ mm}$

5.5.2 Perencanaan Balok Anak Lantai

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1 tinggi minimum balok nonprategang balok anak lantai dianggap kedua ujung menerus sehingga menggunakan:

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

Tinggi balok rencana yang dipakai **h = 50 cm**

Untuk lebar balok minimal:

$$b = 0,3h = 0,3(50) = 15 \text{ cm} \text{ maka dipakai } \mathbf{b = 45 \text{ cm}}$$

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

$$b = \frac{50}{45} = 1,11 \leq 2 \text{ (OK)}$$

Diameter tulangan utama = D12

Diameter tulangan sengkang = D10

Mutu tulangan (f_y) = 390 MPa

Selimit beton (s)	= 40 mm
Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa

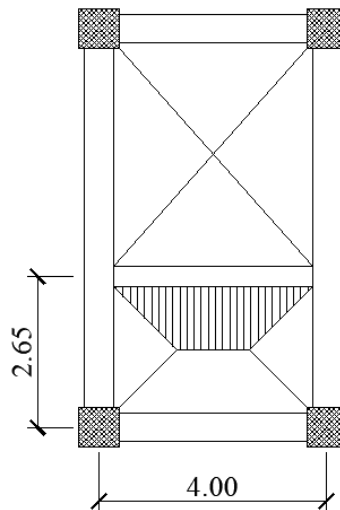
5.5.2.1 Pembebanan Balok Anak Lantai

Beban mati

Berat pelat	= 0,12 x 2400	= 288 kg/m^2
Ducting AC	= 20	= 20 kg/m^2
Plumbing	= 10	= 10 kg/m^2
Plafond	= 18	= 18 kg/m^2
Spesi 2 cm	= 21 x 2	= 42 kg/m^2
Keramik	= 24	= 24 kg/m^2 +
	qD	= 402 kg/m^2

Beban hidup (qL) = 250 kg/m^2

• Pembebanan Trapesium 1 pada Balok Anak Lantai



Beban Mati

Berat sendiri balok	= 0,45 x 0,40 x 2400	= 432 kg/m
Beban ekuivalen	= $\frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right)$	
	= $\frac{1}{2} \times 402 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right)$	= <u>454,72 kg/m</u> +

Total beban mati

$$= 886,72 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \\ &= \frac{1}{2} \times 250 \times 2,65 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2,65}{4,00}\right)^2\right) = 282,79 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (886,72) + 1,6 (282,79) \\ &= 1516,528 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

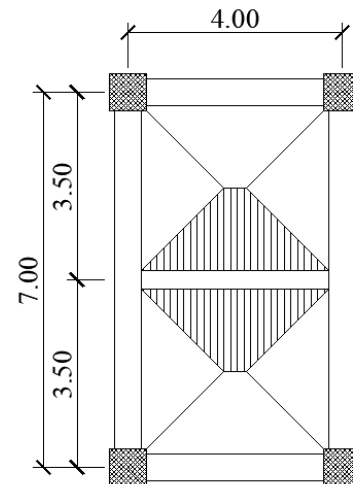
Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{1516,528 \times 3,5^2}{11} = 1688,86 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{1516,528 \times 3,5^2}{16} = 1161,09 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 886,72 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 282,79 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 2653,92 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Pembebanan Trapesium 2 pada Balok Anak Lantai**



Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,45 \times 0,40 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qD \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 402 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 1047,92 \text{ kg/m} + \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 1479,92 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{2} \times qL \times Lx \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right) \times 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 250 \times 3,5 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3,5}{4}\right)^2\right) \times 2 = 651,69 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (1479,92) + 1,6 (651,69) \\ &= 2818,608 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

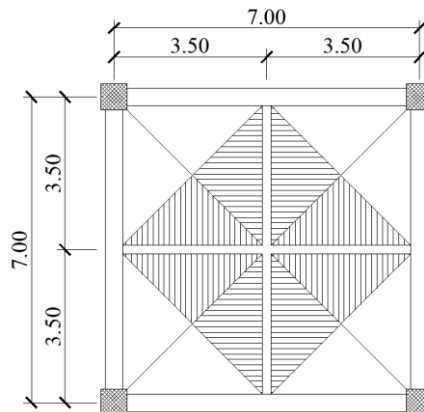
Perhitungan Gaya Dalam

$$M_{Tumpuan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{2818,608 \times 3,5^2}{11} = 3138,9 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{2818,608 \times 3,5^2}{16} = 2158 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 1479,92 \times \frac{3,5}{2}\right) + \left(1,6 \times 651,69 \times \frac{3,5}{2}\right) \\ &= 4932,56 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Pembebanan Segitiga 1 pada Balok Anak Lantai**



Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,45 \times 0,40 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{3} \times qD \times Lx \times 2 \\ &= \frac{1}{3} \times 402 \times 3,5 \times 2 = 938 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 1370 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Beban ekuivalen} &= \frac{1}{3} \times qL \times Lx \times 2 \\ &= \frac{1}{3} \times 250 \times 3,5 \times 2 \\ &= 583,3 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Beban *Ultimate*

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (1370) + 1,6 (583,3) \\ &= 2577,28 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Perhitungan Gaya Dalam

$$\begin{aligned}M_{Tumpuan} &= \frac{Q_u \times l_n^2}{11} = \frac{2577,28 \times 3,08^2}{11} = 2222,65 \text{ kgm} \\ M_{Lapangan} &= \frac{Q_u \times l_n^2}{16} = \frac{2577,28 \times 3,08^2}{16} = 1528,07 \text{ kgm} \\ V_u &= \left(1,2 \times qD \times \frac{l_n}{2}\right) + \left(1,6 \times qL \times \frac{l_n}{2}\right) \\ &= \left(1,2 \times 1370 \times \frac{3,08}{2}\right) + \left(1,6 \times 583,3 \times \frac{3,08}{2}\right) \\ &= 3969,01 \text{ kg}\end{aligned}$$

5.5.2.2 Syarat Batas Penulangan Balok Anak Lantai

Syarat batas penulangan pada balok anak lantai rencana dihitung sesuai dengan SNI 2847 – 2019.

Faktor bentuk distribusi

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 dengan nilai $f'_c = 35 \text{ MPa}$ maka menggunakan rumus $28 < f'_c < 55$ yaitu:

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

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

Sesuai SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1 dengan nilai $f_y = 390$ maka menggunakan rumus:

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

5.5.2.3 Penulangan Lentur Balok Anak Lantai

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Gaya Dalam dari Balok Anak Atap

	Momen		V_u (kg)
	Tumpuan (kgm)	Lapangan (kgm)	
Trapesium 1	1688,86	1161,09	2653,92
Trapesium 2	3138,9	2158	4932,56
Segitiga 1	2222,65	1528,07	3969,01

Digunakan gaya dalam balok anak atap dari pembebanan segitiga 3 yaitu:

$$M_{Tumpuan} = 3138,9 \text{ kgm}$$

$$M_{Lapangan} = 2158 \text{ kgm}$$

$$V_u = 4932,56 \text{ kg}$$

- Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 10 \\ &= 444 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{Tumpuan} = 3138,9 \text{ kgm} = 31389000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{31389000}{0,9} = 34876666,67 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{34876666,67}{450 \times 444^2} = 0,39$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,39}{390}} \right) = 0,001 < \rho_{min}$$

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

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 450 \times 446 = 401,4 \text{ mm}^2$$

Digunakan 4Ø12 ($A_s = 452 \text{ mm}^2$)

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

Digunakan 3Ø12 ($A_s = 339 \text{ mm}^2$)

Kontrol kekuatan pada balok anak atap

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{452 \times 390}{0,85 \times 35 \times 450} = 13,17$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 452 \times 390 \left(446 - \frac{13,17}{2} \right) = 77460295,9 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 77.460.295,9 \text{ Nmm} > M_{tumpuan} = 34.876.666,67 \text{ Nmm (OK)}$$

- Daerah Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Mencari tinggi efektif (dx)} &= h - s - \frac{1}{2} \times \phi_{tulangan\ utama} - \phi_{tulangan\ sengkang} \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 8 \\ &= 446 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{Lapangan} = 2158 \text{ kgm} = 21580000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{21580000}{0,9} = 23977777,78 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2} = \frac{23977777,78}{450 \times 446^2} = 0,27$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,11} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,27}{390}} \right) = 0,0007 < \rho_{min}$$

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

Luas tulangan tarik

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0020 \times 450 \times 446 = 401,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } 4\phi 12 \text{ (} A_s = 452 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Luas tulangan tekan

$$A_s' = \delta \times A_s = 0,5 \times 452 = 226 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } 3\phi 12 \text{ (} A_s = 339 \text{ mm}^2 \text{)}$$

Kontrol kekuatan pada balok anak atap

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{452 \times 390}{0,85 \times 35 \times 450} = 13,17$$

$$M_n = A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 452 \times 390 \left(446 - \frac{13,17}{2} \right) = 77460295,9 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 77.460.295,9 \text{ Nmm} > M_{lapangan} = 23.977.777,78 \text{ Nmm (OK)}$$

• Penulangan Geser Balok Anak Lantai

$$\text{Beban geser } V_u = 4932,56 \text{ kg} = 49325,6 \text{ N}$$

- Kekuatan Geser Beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 450 \times 446 = 197892,87 \text{ N}$$

- Periksa Kategori Desain

$$\phi V_c = 0,75 \times 197892,87 = 148419,65 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{2}\phi V_c &= \frac{1}{2} \times 148419,65 &= 74209,83 \text{ N} \\
V_s &= \frac{1}{3} \times b \times d &= \frac{1}{3} \times 450 \times 446 &= 66900 \text{ N} \\
\phi V_s &= 0,75 \times 66900 &= 50175 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi V_s &= 148419,65 + 50175 &= 198594,65 \text{ N} \\
\min \phi V_s &= 0,6 \times 50175 &= 40140 \text{ N} \\
\phi V_c + \min \phi V_s &= 148419,65 + 40140 &= 188559,65 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d &= 148419,65 + 0,6 \times \frac{1}{3} \sqrt{35} \times 450 \times 446 &= 385891,1 \text{ N} \\
\phi V_c + \phi \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \times b \times d &= 148419,65 + 0,6 \times \frac{2}{3} \sqrt{35} \times 450 \times 446 &= 623362,54 \text{ N} \\
V_{u1} &= \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \times L_n - d \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{49325,6 \left(\frac{1}{2} \times 308 - 44,6 \right)}{\frac{1}{2} \times 308} = 35040,4 \text{ N}
\end{aligned}$$

Untuk $V_{u1} = 35040,4 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u1} \leq \frac{1}{2} \phi V_c = 35040,4 \text{ N} < 74209,83 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan $\phi 8 - 100 \text{ mm}$

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3 f_y} = \frac{450 \times 100}{3 \times 390} = 38,46 \text{ mm}^2$$

Sengkang 2 kaki $\phi 8 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 38,46 \text{ mm}^2$ (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{38,46 \times 390 \times 446}{100} = 66897,3 \text{ N}$$

$\phi V_s = 0,75 \times 66897,3 = 50173 \text{ N} > \min \phi V_s = 40140 \text{ N}$ (OK)

Untuk jarak 100 cm dari muka (daerah lapangan)

$$V_{u2} = \frac{V_u \left(\frac{1}{2} \times L_n - 100 \right)}{\frac{1}{2} \times L_n} = \frac{49325,6 \left(\frac{1}{2} \times 308 - 100 \right)}{\frac{1}{2} \times 308} = 17296 \text{ N}$$

Untuk $V_{u2} = 17296 \text{ N}$, termasuk dalam kategori desain ke – 1 (tanpa syarat tulangan)

$$V_{u2} \leq \frac{1}{2} \phi V_c = 17296 \text{ N} < 74209,83 \text{ N}$$

Rencana menggunakan tulangan $\phi 8 - 100 \text{ mm}$

$$A_{v,min} = \frac{b \times s}{3 f_y} = \frac{450 \times 100}{3 \times 390} = 38,46 \text{ mm}^2$$

Sengkang 2 kaki $\phi 8 = A_v = 101 \text{ mm}^2 > A_{v,min} = 38,46 \text{ mm}^2$ (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{38,46 \times 390 \times 446}{100} = 66897,3 \text{ N}$$

$\phi V_s = 0,75 \times 66897,3 = 50173 \text{ N} > \min \phi V_s = 40140 \text{ N}$ (OK)

Maka, dipakai tulangan sengkang $\emptyset 8 - 100 - 100$ mm

5.6 Rekapitulasi Struktur Sekunder

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Penulangan Struktur Sekunder

Type	Dimensi (mm)	Tulangan	Tumpuan	Lapangan
Balok Anak Atap	350/500	Atas	3D12	2D12
		Bawah	2D12	3D12
		Sengkang	D8 – 100	D8 – 150
Balok Anak Lantai	450/500	Atas	4D12	3D12
		Bawah	3D12	4D12
		Sengkang	D8 – 100	D8 – 100
Balok Bordes	200/300	Atas	3D14	2D14
		Bawah	2D14	2D14
		Sengkang	D10 – 100	D10 – 100
Balok Penggantung <i>Lift</i>	200/400	Atas	6D19	3D19
		Bawah	3D19	6D19
		Sengkang	D10 – 100	D10 – 150