BAB V
STRUKTUR SEKUNDER

5.1 Struktur Sekunder

Struktur sekunder tidak dirancang untuk menahan gaya gempa, melainkan hanya dirancang untuk menerima beban lentur saja. Walaupun demikian, struktur sekunder tetap menjadi beban yang mempengaruhi struktur utama. Adapun yang termasuk ke dalam struktur sekunder antara lain yaitu pelat atap, pelat lantai, tangga, balok penggantung *lift* dan balok anak.

5.2 Perencanaan Pelat Atap

5.2.1 Pembebanan Pelat Atap

- **Akibat Beban Mati**

Berat pelat	= 0,10 × 2400	=	240 Kg/m²
Aspal 1 cm	= 14	=	14 Kg/m²
Ducting AC	= 20	=	20 Kg/m²
Plumbing	= 10	=	10 Kg/m²
Plafond	= 18	=	18 Kg/m²
Spesi 2 cm	= 21 × 2	=	42 Kg/m²
Finishing (rabatan kedap air)	= 21	=	21 Kg/m² +
Jumlah beban mati pada atap (Qd)		=	365 Kg/m²

- **Akibat Beban Hidup**

  Beban hidup pelat atap (Ql) = 100 Kg/m²

- **Akibat Air Hujan**

  Beban air hujan (Qr) = 0,05 × 1000 = 50 Kg/m²

- **Kombinasi Pembebanan Pelat Atap**

  Qu = 1,2D + 1,6L + 0,5R

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

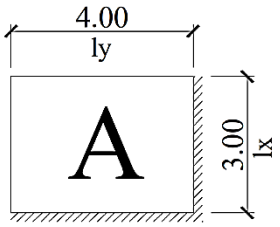
  = 623 Kg/m²

5.2.2 Perhitungan Momen Pelat Atap

Untuk perhitungan momen pada pelat atap, digunakan pelat A (Gambar 5.1) sebagai contoh perhitungan.

Jenis pelat : Jepit di kedua sisinya

Tebal pelat : 100 mm



Gambar 5. 1 Tipe Pelat Atap

$\frac{ly}{lx} = \frac{4}{3}$ = 1,3 < 2,5 (Pelat dua arah/*Two way slab*)

Momen pelat atap berdasar dari PBI'71 Tabel 13.3.1 dengan jenis pelat III:

M_{lx} = +0,001 . q . l_x^2 . C = +0,001 . 623 . 3^2 . 42 = 235,49 Kgm

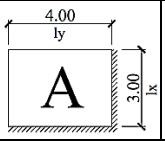
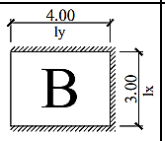
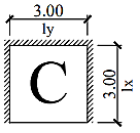
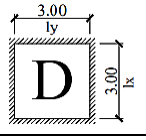
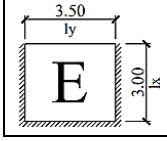
M_{ly} = +0,001 . q . l_x^2 . C = +0,001 . 623 . 3^2 . 27 = 151,39 Kgm

M_{tx} = –0,001 . q . l_x^2 . C = –0,001 . 623 . 3^2 . 92 = –515,84 Kgm

M_{ty} = –0,001 . q . l_x^2 . C = –0,001 . 623 . 3^2 . 76 = –426,13 Kgm

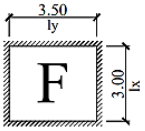
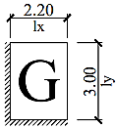
Diambil momen terbesar arah X yaitu Mtx = –515,84 Kgm dan momen terbesar arah Y yaitu Mty = –426,13 Kgm

Tabel 5. 1 Momen Pelat Atap

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	l_y/l_x	Keterangan	C	Momen	Mu (Kgm)	Tulangan
	4,0 × 3,0	1,30	*Two way slab*	42	M_{lx}	235,49	Arah X = Ø10–200 Arah Y = Ø10–200
				27	M_{ly}	151,39	
				92	M_{tx}	-515,84	
				76	M_{ty}	-426,13	
	4,0 × 3,0	1,30	*Two way slab*	35	M_{lx}	196,25	Arah X = Ø10–200 Arah Y = Ø10–200
				18	M_{ly}	100,93	
				74	M_{tx}	-414,92	
				57	M_{ty}	-319,60	
	3,0 × 3,0	1,00	*Two way slab*	21	M_{lx}	117,75	Arah X = Ø10–200 Arah Y = Ø10–200
				26	M_{ly}	145,78	
				55	M_{tx}	-308,39	
				60	M_{ty}	-336,42	
	3,0 × 3,0	1,00	*Two way slab*	21	M_{lx}	117,75	Arah X = Ø10–200 Arah Y = Ø10–200
				21	M_{ly}	117,75	
				52	M_{tx}	-291,56	
				52	M_{ty}	-291,56	
	3,5 × 3,0	1,17	*Two way slab*	31	M_{lx}	173,82	Arah X = Ø10–200 Arah Y = Ø10–200
				28	M_{ly}	157,00	
				74	M_{tx}	-414,92	
				69	M_{ty}	-386,88	

Tabel 5. 1 Momen Pelat Atap

(lanjutan)

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	l_y/l_x	Keterangan	C	Momen	Mu (Kgm)	Tulangan
	3,5 × 3,0	1,17	*Two way slab*	28	M_{lx}	157,00	Arah X = Ø10–200 Arah Y = Ø10–200
				20	M_{ly}	112,14	
				64	M_{tx}	-358,85	
				56	M_{ty}	-313,99	
	3,0 × 2,2	1,36	*Two way slab*	36	M_{lx}	135,69	Arah X = Ø10–200 Arah Y = Ø10–200
				17	M_{ly}	78,40	
				77	M_{tx}	-292,50	
				58	M_{ty}	-232,18	

5.2.3 Perhitungan Penulangan Pelat Atap

- **Syarat Batas**

β = 0,85 – $\left(\frac{fc'-30}{7}\right)$(0,05) = 0,85 – $\left(\frac{40-30}{7}\right)$(0,05) = 0,78

$\rho_b = \frac{0,85\,.\,fc'.\,\beta}{fy}\left(\frac{600}{600+fy}\right) = \frac{0,85\,.\,40\,.\,0,78}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right)$ = 0,039

ρ_{max} = 0,75 . ρ_b = 0,75 . 0,039 = 0,029

$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400}$ = 0,0035

$m = \frac{fy}{0,85\,.\,fc'} = \frac{400}{0,85\,.\,40}$ = 11,76

- **Penulangan Pelat Atap Arah X**

Tebal pelat atap (h) = 100 mm

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

Faktor reduksi kekuatan = 0,9 (SNI 2847-2019 Pasal 9.3.2.1)

Direncanakan menggunakan tulangan dengan diameter Ø10 mm

Maka, jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (d_x) yaitu:

d_x = h – s – (½ Ø) = 100 – 20 – (½ . 10) = 75 mm

$M_u = M_{tx}$ = –515,84 Kgm = –5158400 Nmm

$M_{n\ diminta} = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{5158400}{0,9}$ = 5731555,56 Nmm

$R_n = \frac{Mn\ diminta}{b\,.\,dx^2} = \frac{5731555,56}{1000\,.\,75^2}$ = 1,02 N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,m\,.\,Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11,76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,11,76\,.\,1,02}{400}}\right)$ = 0,0026

ρ_{perlu} = 0,0026 < ρ_{min} = 0,0035 (dipakai ρ_{min})

Tulangan perlu arah X:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min} . b . d_x$ = 0,0035 . 1000 . 75 = 262,5 mm²

Dipakai ∅**10–200** mm (A_S = 393 mm²)

Tulangan susut arah X:

$A_{SS\ perlu}$ = 0,002 . b . h = 0,002 . 1000 . 100 = 200 mm²

Dipakai ∅**10–200** mm (A_S = 393 mm²)

- **Penulangan Pelat Atap Arah Y**

d_y = h – s – $\emptyset_{tul.\ arah\ x}$ – (½ $\emptyset_{tul.\ arah\ x}$) = 100 – 20 – 10 – (½ . 10) = 65 mm

$M_u = M_{ty}$ = –426,13 Kgm = –4261300 Nmm

$M_{n\ diminta} = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{4261300}{0,9}$ = 4734777,78 Nmm

$R_n = \frac{Mn\ diminta}{b\ .\ dy^2} = \frac{4734777,78}{1000\ .\ 65^2}$ = 1,12 N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11,76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11,76\ .\ 1,12}{400}}\right)$ = 0,0028

ρ_{perlu} = 0,0028 < ρ_{min} = 0,0035 (dipakai ρ_{min})

Tulangan perlu arah Y:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min} . b . d_y$ = 0,0035 . 1000 . 65 = 227,5 mm²

Dipakai ∅**10–200** mm (A_S = 393 mm²)

Tulangan susut arah Y:

$A_{SS\ perlu}$ = 0,002 . b . h = 0,002 . 1000 . 100 = 200 mm²

Dipakai ∅**10–200** mm (A_S = 393 mm²)

5.2.4 Kontrol Kekuatan Pelat Atap

- **Tulangan Arah X**

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

$a = \frac{As\ .\ fy}{0,85\ .\ fc'\ .\ b} = \frac{393\ .\ 400}{0,85\ .\ 40\ .\ 1000}$ = 4,62 mm

$M_n = As\ .\ fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 393\ .\ 400\left(75 - \frac{4,62}{2}\right)$ = 11426868 Nmm

M_n = 11426868 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 5731555,56 Nmm (OK)

Jarak tulangan ≤ 3 × tebal pelat

Jarak tulangan ≤ 3 × 100 mm

200 mm ≤ 300 mm (OK)

Tulangan susut:

$A_{SS\ pakai} = \frac{1}{4} . \emptyset^2 . \pi . \frac{b}{s} = \frac{1}{4} . 10^2 . 3{,}14 . \frac{1000}{200}$ = 391,5 mm² > $A_{ss\ perlu}$ = 200 mm² (OK)

- **Tulangan Arah Y**

$\rho = \frac{As\ pakai}{b . dy} = \frac{393}{1000 . 65}$ = 0,0060

$a = \frac{As . fy}{0{,}85 . fc' . b} = \frac{393 . 400}{0{,}85 . 40 . 1000}$ = 4,62 mm

$M_n = As . fy \left(d - \frac{a}{2}\right) = 393 . 400 \left(65 - \frac{4{,}62}{2}\right)$ = 9854868 Nmm

M_n = 9854868 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 4734777,78 Nmm (OK)

Jarak tulangan ≤ 3 × tebal pelat

Jarak tulangan ≤ 3 × 100 mm

200 ≤ 300 mm (OK)

Tulangan susut:

$A_{SS\ pakai} = \frac{1}{4} . \emptyset^2 . \pi . \frac{b}{s} = \frac{1}{4} . 10^2 . 3{,}14 . \frac{1000}{200}$ = 392,5 mm² > $A_{ss\ perlu}$ = 200 mm² (OK)

5.3 Perencanaan Pelat Lantai

5.3.1 Pembebanan Pelat Lantai

- **Akibat Beban Mati**

Berat pelat	= 0,12 × 2400	= 288 Kg/m²
Ducting AC	= 20	= 20 Kg/m²
Plumbing	= 10	= 10 Kg/m²
Plafond	= 18	= 18 Kg/m²
Spesi 2 cm	= 21 × 2	= 42 Kg/m²
Keramik	= 24	= 24 Kg/m² +
Jumlah beban mati pada lantai (Qd)		= 402 Kg/m²

- **Akibat Beban Hidup**

Beban hidup pelat lantai (Ql) = 250 Kg/m²

- **Kombinasi Pembebanan Pelat Lantai**

Qu = 1,2D + 1,6L

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

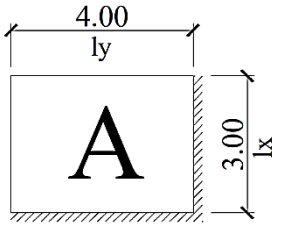
= 882,4 Kg/m²

5.3.2 Perhitungan Momen Pelat Lantai

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

Jenis pelat : Jepit di kedua sisinya

Tebal pelat : 120 mm



Gambar 5. 2 Tipe Pelat Lantai

$\frac{ly}{lx} = \frac{4}{3}$ = 1,3 < 2,5 (Pelat dua arah/*Two way slab*)

Momen pelat atap berdasar dari PBI'71 Tabel 13.3.1 dengan jenis pelat III:

M_{lx} = +0,001 . q . l_x^2 . C = +0,001 . 882,4 . 3² . 42 = 333,55 Kgm

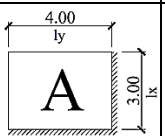
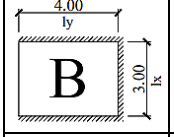
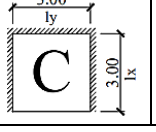
M_{ly} = +0,001 . q . l_x^2 . C = +0,001 . 882,4 . 3² . 27 = 214,42 Kgm

M_{tx} = –0,001 . q . l_x^2 . C = –0,001 . 882,4 . 3² . 92 = –730,63 Kgm

M_{ty} = –0,001 . q . l_x^2 . C = –0,001 . 882,4 . 3² . 76 = –603,56 Kgm

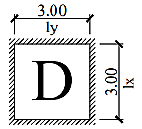
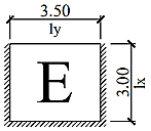
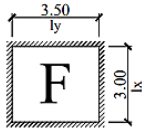
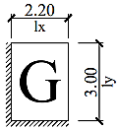
Diambil momen terbesar arah X yaitu Mtx = –730,63 Kgm dan momen terbesar arah Y yaitu Mty = –603,56 Kgm

Tabel 5. 2 Momen Pelat Lantai

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	l_y/l_x	Keterangan	C	Momen	Mu (Kgm)	Tulangan
	4,0 × 3,0	1,30	*Two way slab*	42	M_{lx}	333,55	Arah X = Ø12–200 Arah Y = Ø12–200
				27	M_{ly}	214,42	
				92	M_{tx}	-730,63	
				76	M_{ty}	-603,56	
	4,0 × 3,0	1,30	*Two way slab*	35	M_{lx}	277,96	Arah X = Ø12–200 Arah Y = Ø12–200
				18	M_{ly}	142,95	
				74	M_{tx}	-587,68	
				57	M_{ty}	-452,67	
	3,0 × 3,0	1,00	*Two way slab*	21	M_{lx}	166,77	Arah X = Ø12–200 Arah Y = Ø12–200
				26	M_{ly}	206,48	
				55	M_{tx}	-436,79	
				60	M_{ty}	-476,50	

Tabel 5. 2 Momen Pelat Lantai

(lanjutan)

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	l_y/l_x	Keterangan	C	Momen	Mu (Kgm)	Tulangan
	3,0 × 3,0	1,00	*Two way slab*	21	M_{lx}	166,77	Arah X = Ø12–200 Arah Y = Ø12–200
				21	M_{ly}	166,77	
				52	M_{tx}	-412,96	
				52	M_{ty}	-412,96	
	3,5 × 3,0	1,17	*Two way slab*	31	M_{lx}	246,19	Arah X = Ø12–200 Arah Y = Ø12–200
				28	M_{ly}	222,36	
				74	M_{tx}	-587,68	
				69	M_{ty}	-547,97	
	3,5 × 3,0	1,17	*Two way slab*	28	M_{lx}	222,36	Arah X = Ø12–200 Arah Y = Ø12–200
				20	M_{ly}	158,83	
				64	M_{tx}	-508,26	
				56	M_{ty}	-444,73	
	3,0 × 2,2	1,36	*Two way slab*	45	M_{lx}	192,19	Arah X = Ø12–200 Arah Y = Ø12–200
				26	M_{ly}	111,04	
				98	M_{tx}	-418,54	
				77	M_{ty}	-328,85	

5.3.3 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

- **Syarat Batas**

$\beta = 0{,}85 - \left(\frac{fc' - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}85 - \left(\frac{40 - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}78$

$\rho_b = \frac{0{,}85 \,.\, fc' .\, \beta}{fy}\left(\frac{600}{600 + fy}\right) = \frac{0{,}85 \,.\, 40 \,.\, 0{,}78}{400}\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}039$

$\rho_{max} = 0{,}75 \,.\, \rho_b = 0{,}75 \,.\, 0{,}039 = 0{,}029$

$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

$m = \frac{fy}{0{,}85 \,.\, fc'} = \frac{400}{0{,}85 \,.\, 40} = 11{,}76$

- **Penulangan Pelat Lantai Arah X**

Tebal pelat lantai (h) = 120 mm

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

Faktor reduksi kekuatan = 0,9 (SNI 2847-2019 Tabel 21.2.1)

Direncanakan menggunakan tulangan dengan diameter Ø12 mm

Maka, jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (d_x) yaitu:

$d_x = h - s - (½\ Ø) = 120 - 20 - (½ \,.\, 12) = 94$ mm

$M_u = M_{tx}$ = –730,63 Kgm = –7306300 Nmm

$M_{n\ diminta} = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{7306300}{0,9}$ = 8118111,11 Nmm

$R_n = \frac{Mn\ diminta}{b\ .\ dx^2} = \frac{8118111,11}{1000\ .\ 94^2}$ = 0,91 N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11,76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11,76\ .\ 0,91}{400}}\right)$ = 0,0023

ρ_{perlu} = 0,0023 < ρ_{min} = 0,0035 (dipakai ρ_{min})

Tulangan perlu arah X:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min}\ .\ b\ .\ d_x$ = 0,0035 . 1000 . 94 = 329 mm²

Dipakai **Ø12–200** mm (A_S = 565 mm²)

Tulangan susut arah X:

$A_{SS\ perlu}$ = 0,002 . b . h = 0,002 . 1000 . 120 = 240 mm²

Dipakai **Ø12–200** mm (A_S = 565 mm²)

- **Penulangan Pelat Lantai Arah Y**

$d_y = h - s - \emptyset_{tul.\ arah\ x} - (½\ \emptyset_{tul.\ arah\ x})$ = 120 – 20 – 12 – (½ . 12) = 82 mm

$M_u = M_{ty}$ = –603,56 Kgm = –6035600 Nmm

$M_{n\ diminta} = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{6035600}{0,9}$ = 6706222,22 Nmm

$R_n = \frac{Mn\ diminta}{b\ .\ dy^2} = \frac{6706222,22}{1000\ .\ 82^2}$ = 0,99 N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11,76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11,76\ .\ 0,99}{400}}\right)$ = 0,0025

ρ_{perlu} = 0,0025 < ρ_{min} = 0,0035 (dipakai ρ_{min})

Tulangan perlu arah Y:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min}\ .\ b\ .\ d_y$ = 0,0035 . 1000 . 82 = 287 mm²

Dipakai **Ø12–200** mm (A_S = 565 mm²)

Tulangan susut arah Y:

$A_{SS\ perlu}$ = 0,002 . b . h = 0,002 . 1000 . 120 = 240 mm²

Dipakai **Ø12–200** mm (A_S = 565 mm²)

5.3.4 Kontrol Kekuatan Pelat Lantai

- **Tulangan Arah X**

ρ = $\frac{As\ pakai}{b\ .\ dx}$ = $\frac{565}{1000\ .\ 94}$ = 0,0060

a = $\frac{As\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'\ .\ b}$ = $\frac{565\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 40\ .\ 1000}$ = 6,65 mm

M_n = As . $fy\left(d - \frac{a}{2}\right)$ = 565 . 400 $\left(94 - \frac{6{,}65}{2}\right)$ = 20492550 Nmm

M_n = 20492550 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 8118111,11 Nmm (OK)

Jarak tulangan ≤ 3 × tebal pelat

Jarak tulangan ≤ 3 × 120 mm

200 mm ≤ 360 mm (OK)

Tulangan susut:

$A_{SS\ pakai}$ = $\frac{1}{4}$. $\emptyset^2$. π . $\frac{b}{s}$ = $\frac{1}{4}$. 12^2 . 3,14 . $\frac{1000}{200}$ = 565,2 mm² > $A_{ss\ perlu}$ = 240 mm² (OK)

- **Tulangan Arah Y**

ρ = $\frac{As\ pakai}{b\ .\ dy}$ = $\frac{565}{1000\ .\ 82}$ = 0,0069

a = $\frac{As\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'\ .\ b}$ = $\frac{565\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 40\ .\ 1000}$ = 6,65 mm

M_n = As . $fy\left(d - \frac{a}{2}\right)$ = 565 . 400 $\left(82 - \frac{6{,}65}{2}\right)$ = 17780550 Nmm

M_n = 17780550 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 6706222,22 Nmm (OK)

Jarak tulangan ≤ 3 × tebal pelat

Jarak tulangan ≤ 3 × 120 mm

200 ≤ 360 mm (OK)

Tulangan susut:

$A_{SS\ pakai}$ = $\frac{1}{4}$. $\emptyset^2$. π . $\frac{b}{s}$ = $\frac{1}{4}$. 12^2 . 3,14 . $\frac{1000}{200}$ = 565,2 mm² > $A_{ss\ perlu}$ = 240 mm² (OK)

5.4 Kontrol Retak Pelat

5.4.1 Kontrol Retak Pelat Atap

Z = fs $\sqrt[3]{dc\ .\ A}$

fs = 60% × fy = 0,6 × 400 = 240 MPa

dc = P + $\left(\frac{1}{2}\emptyset\right)$ = 20 + $\left(\frac{1}{2}\ .10\right)$ = 25 mm

$s = 380\left(\frac{280}{fs}\right) - 2{,}5c_c = 380\left(\frac{280}{240}\right) - 2{,}5 \times 20 = 393{,}33$ mm

$A = 2 \times dc \times s = 2 \times 25 \times 393{,}33 = 19666{,}5$ mm²

$Z = 240\sqrt[3]{25\ .\ 19666{,}5} = 18942 = 18{,}94$ MN/m < 30 MN/m (OK)

5.4.2 Kontrol Retak Pelat Lantai

$Z = fs\sqrt[3]{dc\ .\ A}$

$fs = 60\% \times fy = 0{,}6 \times 400 = 240$ MPa

$dc = P + \left(\frac{1}{2}\emptyset\right) = 20 + \left(\frac{1}{2}\ .12\right) = 26$ mm

$s = 380\left(\frac{280}{fs}\right) - 2{,}5c_c = 380\left(\frac{280}{240}\right) - 2{,}5 \times 20 = 393{,}33$ mm

$A = 2 \times dc \times s = 2 \times 26 \times 393{,}33 = 20453{,}16$ mm²

$Z = 240\sqrt[3]{26\ .\ 20453{,}16} = 19444{,}16 = 19{,}44$ MN/m < 25 MN/m (OK)

5.5 Perencanaan Tangga

Adapun data perencanaan tangga adalah sebagai berikut:

Selisih tinggi lantai = 4,00 m

Panjang tangga = 4,70 m

Lebar tangga = 3,00 m

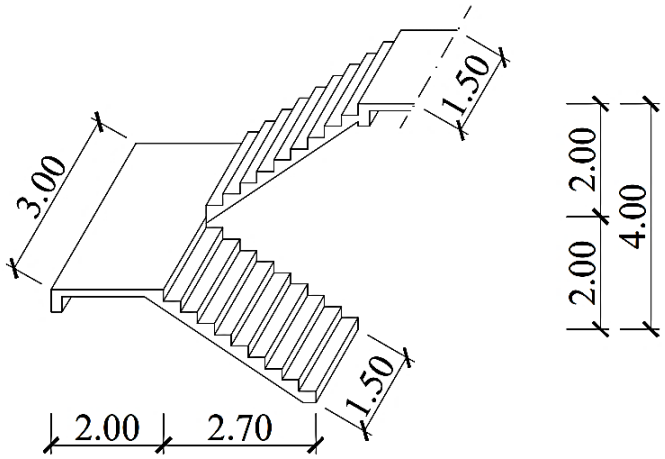
Lebar bordes = 2,00 m

Panjang bordes = 3,00 m

Elevasi bordes = 2,00 m

Mutu beton (*fc'*) = 40 MPa

Mutu baja (*fy*) = 400 MPa



Gambar 5. 3 Perencanaan Tangga

- **Hitungan tangga**

  Lebar anak tangga (*Antrade*) = 30 cm, Syarat : 26 cm ≤ A ≤ 30 cm (OK)

  Tinggi anak tangga (*Optrade*) = 20 cm, Syarat : 16 cm ≤ O ≤ 20 cm (OK)

  Jumlah tanjakan = $\frac{200}{20}$ = 10 anak tangga

  Jumlah injakan = 10 – 1 = 9 anak tangga

  Syarat kemiringan tangga = 25º ≤ α ≤ 40º

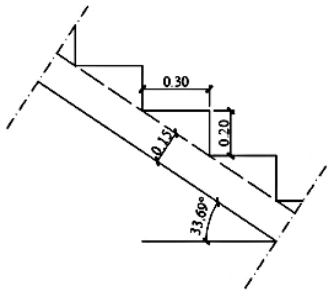
  Sudut kemiringan tangga (α) = Arc. Tan $\frac{O}{A}$ = Arc. Tan $\frac{20}{30}$ = 33,69º ≤ 40º (OK)

- **Menghitung tebal pelat tangga**

  Tebal selimut beton = 20 mm

  Tebal pelat tangga (h_{min}) = $\frac{H}{27}$ = $\frac{(200/\sin 33{,}69)}{27}$ = 13,35 cm

  Digunakan tebal pelat tangga = 15 cm



Gambar 5. 4 Tebal Pelat Tangga

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

Maka, tebal equivalen pelat tangga = 23,32 – 15 = 8,32 cm = 0,0832 m

5.5.1 Pembebanan Tangga

- **Beban Pelat Tangga**

  Beban Mati

Berat sendiri	= (0,15 × 2400 × (1/cos 33,69º)) × 1,5	=	648,54 Kg/m
Berat anak tangga	= 0,0832 × 1,5 × 2400	=	299,52 Kg/m
Spesi (2 cm)	= 2 × 21 × 1,5	=	63 Kg/m
Keramik (1 cm)	= 1 × 24 × 1,5	=	36 Kg/m
Berat sandaran	= 30	=	30 Kg/m +
		Jumlah beban mati (Qd)	= 1077,06 Kg/m

Beban Hidup

Beban hidup pelat tangga (Ql) = 300 Kg/m² × 1,5 m = 450 Kg/m

Kombinasi Pembebanan

Q_u = 1,2D + 1,6L = 1,2(1077,06) + 1,6(450) = 2012,47 Kg/m

- **Beban Pelat Bordes**

Beban Mati

Berat sendiri	= 0,15 × 1,5 × 2400	= 540 Kg/m
Spesi (2 cm)	= 2 × 21 × 1,5	= 63 Kg/m
Keramik (1 cm)	= 1 × 24 × 1,5	= 36 Kg/m
Berat sandaran	= 30	= 30 Kg/m +
	Jumlah beban mati (Qd) = 669 Kg/m	

Beban Hidup

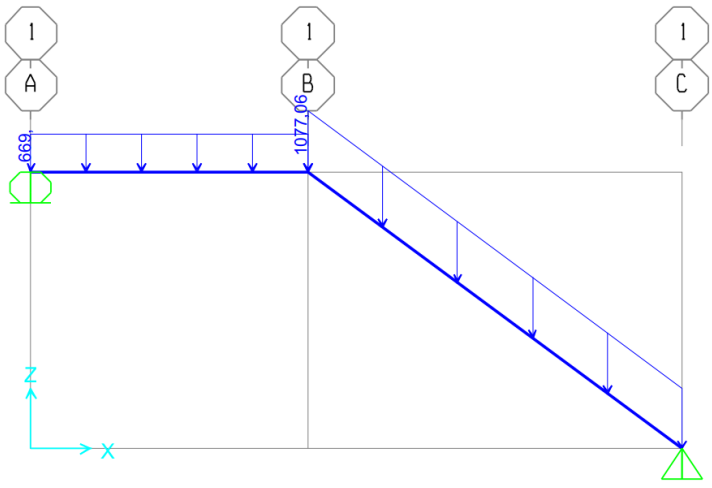
Beban hidup pelat bordes (Ql) = 300 Kg/m² × 1,5 m = 450 Kg/m

Kombinasi Pembebanan

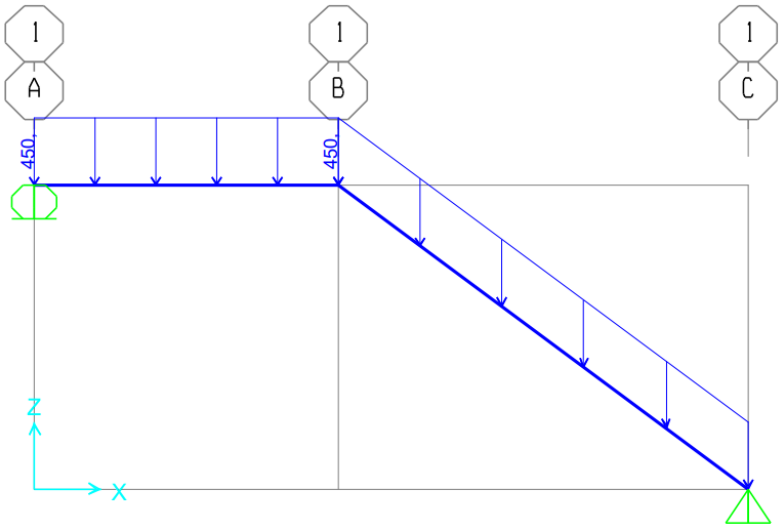
Q_u = 1,2D + 1,6L = 1,2(669) + 1,6(450) = 1552,8 Kg/m

5.5.2 Analisa Statika Tangga

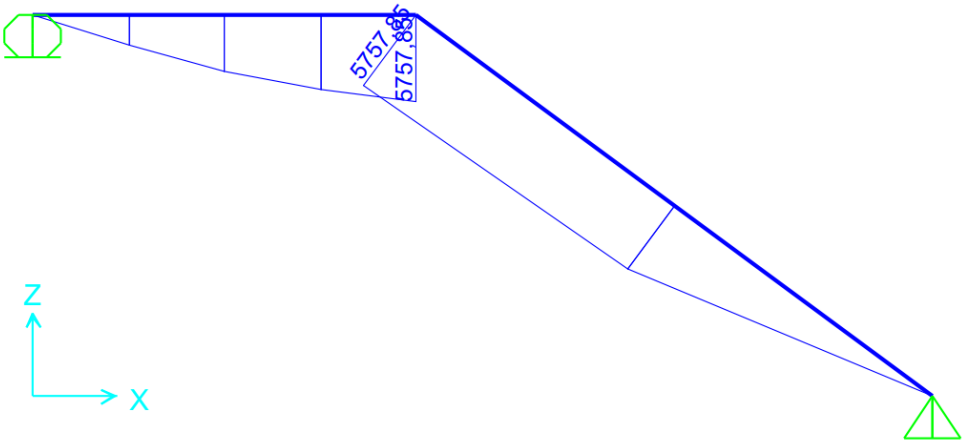
Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk mencari gaya-gaya dalam dari tangga dengan menggunakan program bantu struktur. Tangga dianggap sebagai konstruksi statis tertentu yang memiliki tumpuan sendi dan rol, dengan metode kesetimbangan gaya dalam (M, D, N), maka analisa tangga dilakukan sesuai dengan pembebanan seperti pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut:



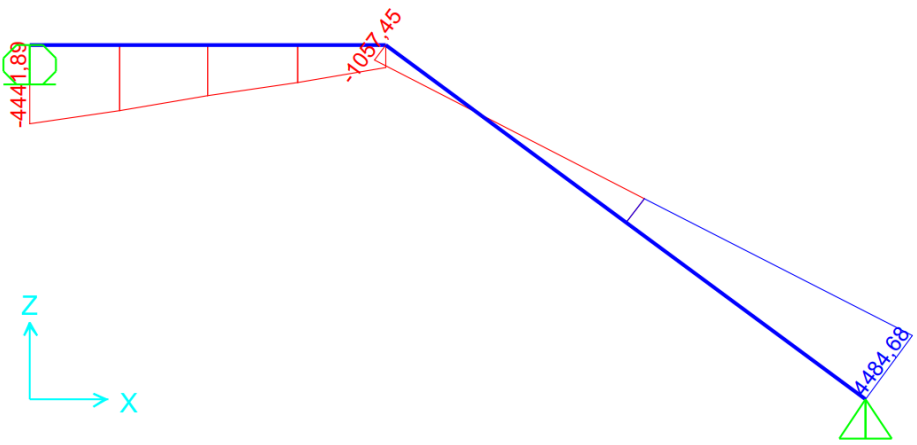
Gambar 5. 5 Beban Mati pada Tangga dan Bordes



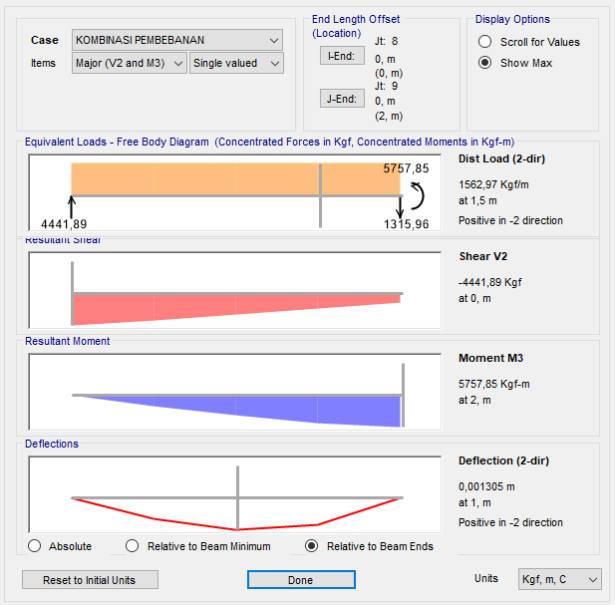
Gambar 5. 6 Beban Hidup pada Tangga dan Bordes



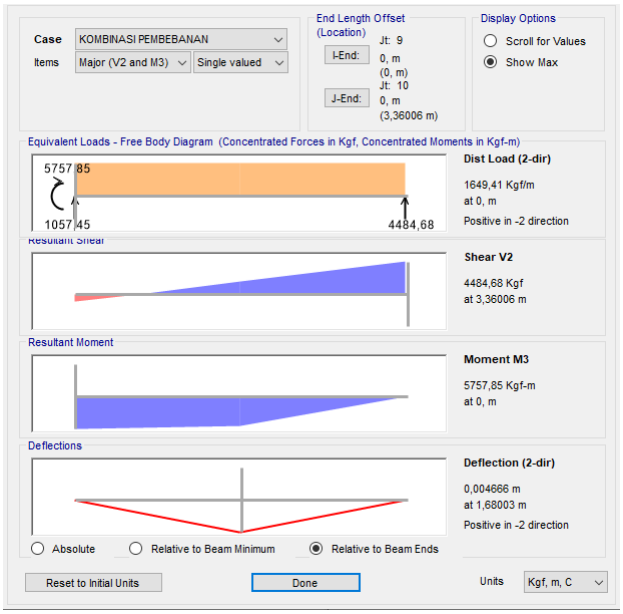
Gambar 5. 7 Gaya Momen pada Tangga



Gambar 5. 8 Gaya Geser pada Tangga



Gambar 5. 9 Gaya Dalam Bordes



Gambar 5. 10 Gaya Dalam Tangga

Dari analisa perhitungan menggunakan program struktur yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil $M_{u\ tangga}$ = 5757,85 Kgm dan $M_{u\ bordes}$ = 5757,85 Kgm

- **Gaya dalam pada tangga**

  Momen yang terjadi (M_u) = 5757,85 Kgm

  $M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{5757,85}{0,9}$ = 6397,61 Kgm = 63976100 Nmm

- **Gaya dalam pada bordes**

  Momen yang terjadi (M_u) = 5757,85 Kgm

  $M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{5757,85}{0,9}$ = 6397,61 Kgm = 63976100 Nmm

5.5.3 Penulangan Pelat Tangga

- **Data perencanaan**

  Mutu beton (*fc'*) = 40 MPa

  Mutu baja (*fy*) = 400 MPa

  Tebal selimut beton = 20 mm

  Diameter tulangan = ∅13 mm

  M_n = 63976100 Nmm

- **Syarat Batas**

  $\beta = 0,85 - \left(\frac{fc' - 30}{7}\right)(0,05) = 0,85 - \left(\frac{40 - 30}{7}\right)(0,05) = 0,78$

  $\rho_b = \frac{0,85 \,.\, fc' .\, \beta}{fy}\left(\frac{600}{600 + fy}\right) = \frac{0,85 \,.\, 40 \,.\, 0,78}{400}\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0,039$

  $\rho_{max} = 0,75 \,.\, \rho_b = 0,75 \,.\, 0,039 = 0,029$

  $\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

  $m = \frac{fy}{0,85 \,.\, fc'} = \frac{400}{0,85 \,.\, 40} = 11,76$

  $d_x = h - s - (½ \emptyset) = 150 - 20 - (½ \,.\, 13) = 123,5$ mm

  $R_n = \frac{Mn}{b \,.\, dx^2} = \frac{63976100}{1000 \,.\, 123,5^2} = 4,19$ N/mm³

  $\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.\, m \,.\, Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11,76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \,.\, 11,76 \,.\, 4,19}{400}}\right) = 0,0112$

  $\rho_{min} = 0,0035 < \rho_{perlu} = 0,0112 < \rho_{max} = 0,029$ (dipakai $\rho_{perlu} = 0,0112$)

- **Tulangan Perlu**

  $A_{S\ perlu} = \rho_{perlu} \,.\, b \,.\, d_x = 0,0112 \,.\, 1000 \,.\, 123,5 = 1386,60$ mm²

  Dipakai D**13–75** mm (A_S = 1770 mm²)

- **Tulangan Susut**

  $A_{SS\ perlu}$ = 0,002 . b . h = 0,002 . 1000 . 150 = 300 mm²

  Dipakai **∅12–200** mm (A_S = 565 mm²)

- **Kontrol Kekuatan Pelat Tangga**

  $a = \frac{As\ pakai\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'\ .\ b} = \frac{1770\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 40\ .\ 1000} = 52{,}06$

  $M_n = A_{S\ pakai}\ .\ fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 1770\ .\ 400\left(123{,}5 - \frac{52{,}06}{2}\right) = 69009176{,}47$ Nmm

  M_n = 69009176,47 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 63976100 Nmm (OK)

  Jarak tulangan ≤ 3 × tebal pelat

  75 ≤ 3 × 150

  75 mm ≤ 450 mm (OK)

  Tulangan susut:

  $A_{SS\ pakai} = \frac{1}{4}\ .\ \emptyset^2\ .\ \pi\ .\ \frac{b}{s} = \frac{1}{4}\ .\ 12^2\ .\ 3{,}14\ .\ \frac{1000}{200}$ = 565,20 mm² > $A_{ss\ perlu}$ = 300 mm² (OK)

5.5.4 Penulangan Pelat Bordes

- **Data perencanaan**

  Mutu beton (*fc'*) = 40 Mpa

  Mutu baja (*fy*) = 400 MPa

  Tebal selimut beton = 20 mm

  Diameter tulangan = ∅13 mm

  M_n = 63976100 Nmm

- **Syarat Batas**

  $\beta = 0{,}85 - \left(\frac{fc' - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}85 - \left(\frac{40 - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}78$

  $\rho_b = \frac{0{,}85\ .\ fc'.\ \beta}{fy}\left(\frac{600}{600 + fy}\right) = \frac{0{,}85\ .\ 40\ .\ 0{,}78}{400}\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}039$

  $\rho_{max} = 0{,}75\ .\ \rho_b = 0{,}75\ .\ 0{,}039 = 0{,}029$

  $\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

  $m = \frac{fy}{0{,}85\ .\ fc'} = \frac{400}{0{,}85\ .\ 40} = 11{,}76$

d_x = h – s – (½ ∅) = 150 – 20 – (½ . 13) = 123,5 mm

$R_n = \frac{Mn}{b\,.\,dx^2} = \frac{63976100}{1000\,.\,123{,}5^2}$ = 4,19 N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,m\,.\,Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,11{,}76\,.\,4{,}19}{400}}\right)$ = 0,0112

ρ_{min} = 0,0035 < ρ_{perlu} = 0,0112 < ρ_{max} = 0,029 (dipakai ρ_{perlu} = 0,0112)

- **Tulangan Perlu**

  $A_{S\ perlu} = \rho_{perlu}$. b . d_x = 0,0112 . 1000 . 123,5 = 1386,60 mm²

  Dipakai ∅**13–75** mm (A_S = 1770 mm²)

- **Tulangan Susut**

  $A_{SS\ perlu}$ = 0,002 . b . h = 0,002 . 1000 . 150 = 300 mm²

  Dipakai ∅**12–200** mm (A_S = 565 mm²)

- **Kontrol Kekuatan Pelat Bordes**

  $a = \frac{As\ pakai\,.\,fy}{0{,}85\,.\,fc'\,.\,b} = \frac{1770\,.\,400}{0{,}85\,.\,40\,.\,1000}$ = 52,06

  $M_n = A_{S\ pakai}\,.\,fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 1770\,.\,400\left(123{,}5 - \frac{52{,}06}{2}\right)$ = 69009176,47 Nmm

  M_n = 69009176,47 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 63976100 Nmm (OK)

  Jarak tulangan ≤ 3 × tebal pelat

  75 ≤ 3 × 150

  75 mm ≤ 450 mm (OK)

  Tulangan susut:

  $A_{SS\ pakai} = \frac{1}{4}\,.\,\emptyset^2\,.\,\pi\,.\,\frac{b}{s} = \frac{1}{4}\,.\,12^2\,.\,3{,}14\,.\,\frac{1000}{200}$ = 565,20 mm² > $A_{ss\ perlu}$ = 300 mm² (OK)

5.5.5 Perencanaan Balok Bordes

- **Dimensi Balok Bordes**

  $h = \frac{\ell}{16} = \frac{300}{16}$ = 18,75 cm

  b_w = 0,3h = 0,3 . 18,75 = 5,63 cm

  Dipakai dimensi balok bordes sebesar 20/25 cm

- **Pembebanan Balok Bordes**

  Berat sendiri balok = 0,20 × 0,25 × 2400 = 120 Kg/m

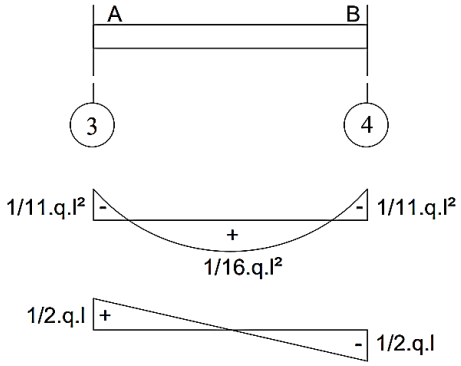
  Beban bekerja pada pelat bordes = 1552,8 = 1552,8 Kg/m

  Kombinasi pembebanan:

  Q_u = 1,2 D + 1,6 L = 1,2(120) + 1,6(1552,8) = 2628,48 Kg/m

- **Analisa Statika Balok Bordes**

  Adapun momen yang bekerja pada balok dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Gaya yang Bekerja pada Balok Bordes

$M_{tumpuan}$ = $\frac{1}{11}$ × Q_u × L^2 = $\frac{1}{11}$ × 2628,48 × 3^2 = 2150,57 Kgm

$M_{lapangan}$ = $\frac{1}{16}$ × Q_u × L^2 = $\frac{1}{16}$ × 2628,48 × 3^2 = 1478,51 Kgm

$V_u = V_1 = V_2$ = $\frac{1}{2}$ × Q_u × L = $\frac{1}{2}$ × 2628,48 × 3 = 3942,72 Kg

- **Penulangan Lentur Balok Bordes**

  Data perencanaan

  Mutu beton (*fc'*) = 40 MPa

  Mutu baja (*fy*) = 400 MPa

  Tebal selimut beton (s) = 40 mm

  Tulangan utama = D12 mm

  Tulangan sengkang = Ø10 mm

  Syarat Batas

  β = 0,85 – $\left(\frac{fc'-30}{7}\right)$(0,05) = 0,85 – $\left(\frac{40-30}{7}\right)$(0,05) = 0,78

$\rho_b = \frac{0{,}85\ .\ fc'.\ \beta}{fy}\left(\frac{600}{600+fy}\right) = \frac{0{,}85\ .\ 40\ .\ 0{,}78}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right) = 0{,}039$

$\rho_{max} = 0{,}75\ .\ \rho_b = 0{,}75\ .\ 0{,}039 = 0{,}029$

$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

$m = \frac{fy}{0{,}85\ .\ fc'} = \frac{400}{0{,}85\ .\ 40} = 11{,}76$

Daerah Tumpuan

$d = h - s - \emptyset_{tul.\ utama} - (\frac{1}{2}\ \emptyset_{tul.\ sengkang}) = 250 - 40 - 12 - (\frac{1}{2}\ .\ 10) = 193$ mm

$M_u = 2150{,}57$ Kgm = 21505700 Nmm

$M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{21505700}{0{,}9} = 23895222{,}22$ Nmm

$R_n = \frac{Mn}{b\ .\ d^2} = \frac{23895222{,}22}{200\ .\ 193^2} = 3{,}2$ N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11{,}76\ .\ 3{,}2}{400}}\right) = 0{,}0084$

$\rho_{min} = 0{,}0035 < \rho_{perlu} = 0{,}0084 < \rho_{max} = 0{,}029$ (dipakai $\rho_{perlu} = 0{,}0084$)

Tulangan tumpuan atas:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min}\ .\ b\ .\ d = 0{,}0084\ .\ 200\ .\ 193 = 324{,}24$ mm²

Dipakai **3D12** ($A_S = 339$ mm²)

Tulangan tumpuan bawah:

$A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai} = 0{,}5 \times 339 = 169{,}5$ mm²

Dipakai **2D12** ($A_S = 226$ mm²)

Daerah Lapangan

$d = h - s - \emptyset_{tul.\ utama} - (\frac{1}{2}\ \emptyset_{tul.\ sengkang}) = 250 - 40 - 12 - (\frac{1}{2}\ .\ 10) = 193$ mm

$M_u = 1478{,}51$ Kgm = 14785100 Nmm

$M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{14785100}{0{,}9} = 16427888{,}89$ Nmm

$R_n = \frac{Mn}{b\ .\ d^2} = \frac{16427888{,}89}{200\ .\ 193^2} = 2{,}2$ N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11{,}76\ .\ 2{,}2}{400}}\right) = 0{,}0057$

$\rho_{min} = 0{,}0035 < \rho_{perlu} = 0{,}0057 < \rho_{max} = 0{,}029$ (dipakai $\rho_{perlu} = 0{,}0057$)

Tulangan lapangan atas:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min} . b . d = 0{,}0057 . 200 . 193 = 220{,}02\ mm^2$

Dipakai **2D12** ($A_S = 226\ mm^2$)

Tulangan lapangan bawah:

$A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai} = 0{,}5 \times 226 = 113\ mm^2$

Dipakai **2D12** ($A_S = 226\ mm^2$)

- **Penulangan Geser Balok Bordes**

Beban geser terfaktor (V_u) = 3942,72 Kg = 39427,2 N

Kekuatan geser beton (V_C) = $\frac{1}{6} . \sqrt{fc'} . b_w . d = \frac{1}{6} . \sqrt{40} . 200 . 193 = 40687{,}97$ N

Periksa kategori desain:

$\emptyset V_C$	= 0,75 × 40687,97	=	30515,98 N
½ . $\emptyset V_C$	= ½ × 30515,98	=	15258 N
V_S = ⅓ . b_w . d	= ⅓ × 200 × 193	=	12866,67 N
$\emptyset V_S$	= 0,75 × 12866,67	=	9650 N
$\emptyset V_C + \emptyset V_S$	= 30515,98 + 9650	=	40165,98 N
min.$\emptyset$ V_S	= 0,6 × 12866,67	=	7720 N
$\emptyset V_C$ + min.$\emptyset$ V_S	= 30515,98 + 7720	=	38235,98 N
$\emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 0,6 × ⅓ $\sqrt{40}$ × 200 × 193	=	48825,57 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 30515,98 + 48825,57	=	79341,55 N
$\emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 0,6 × ⅔ $\sqrt{40}$ × 200 × 193	=	97651,13 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 30515,98 + 97651,13	=	128167,11 N

Kategori desain:

$V_{u1} = \frac{Vu\ (½\ Ln - d)}{½\ Ln} = \frac{39427{,}2\ (½ .\ (300 - 35 - 10) - 19{,}3)}{½ .\ (300 - 35 - 10)} = 33459$ N

Untuk V_u = 33459 N, termasuk ke dalam kategori desain ke-3, dimana

($\emptyset V_C$) < Vu ≤ ($\emptyset V_C$ + min.$\emptyset$ V_S) = 30515,98 N < 33459 N ≤ 38235,98 N

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

Max. s ≤ $\frac{d}{2}$ ≤ 600 mm

Max. s ≤ $\frac{193}{2}$ ≤ 600 mm

Max. s ≤ 96,5 mm ≤ 600 mm

Dipakai sengkang dengan jarak s = 95 mm

Maka luas $Av_{min} = \frac{bw \,.\, s}{3 \,.\, fy} = \frac{200 \,.\, 95}{3 \,.\, 400} = 15{,}83$ mm²

Dipakai sengkang 2 kaki Ø10 mm dengan Av = 157 mm² > Av_{min} = 15,83 mm² (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$Vs = \frac{Av \,.\, fy \,.\, d}{s} = \frac{157 \,.\, 400 \,.\, 193}{95} = 127583{,}16$ N

$ØV_S = 0{,}75 \times 127583{,}16 = 95687{,}37$ N

Untuk jarak 80 cm dari muka (daerah lapangan):

$V_{u2} = \frac{Vu\ (½\ Ln - 80)}{½\ Ln} = \frac{39427{,}2\ (½ \,.\, (300 - 35 - 10) - 80)}{½ \,.\, (300 - 35 - 10)} = 14688{,}56$ N

$V_{u2} \leq ½ \,.\, ØV_C = 14688{,}56$ N ≤ 15258 N, Maka termasuk ke dalam kategori desain ke-1 (tanpa syarat tulangan)

Rencana menggunakan tulangan Ø10 – 200 mm

$Av_{min} = \frac{bw \,.\, s}{3 \,.\, fy} = \frac{200 \,.\, 200}{3 \,.\, 400} = 33{,}33$ mm²

Dipakai sengkang 2 kaki Ø10 mm dengan Av = 157 mm² > Av_{min} = 33,33 mm² (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$Vs = \frac{Av \,.\, fy \,.\, d}{s} = \frac{157 \,.\, 400 \,.\, 193}{200} = 60602$ N

$ØV_S = 0{,}75 \times 60602 = 45451{,}5$ N > min.Ø V_S = 7720 N (OK)

Maka, dipakai tulangan sengkang **Ø10 – 95 – 200** mm.

5.6 Perencanaan Balok *Lift*

Perencanaan balok *lift* meliputi balok-balok yang berkaitan dengan ruang mesin *lift*, yaitu balok penggantung *lift*. *Lift* yang digunakan untuk bangunan gedung Hotel Delmare menggunakan merk dari *Abtech Elevator* dengan data-data sebagai berikut:

Tipe *lift*	= P17(15) – CO
Merek	= *Abtech Elevator*
Kapasitas	= 15 orang (1150 Kg)
Kecepatan	= 105 m/menit
Lebar pintu (*open width*)	= 1000 mm
Dimensi sangkar (*car size*): *Outside*	= 1000 mm × 2100 mm

Inside = 1800 mm × 1500 mm

Dimensi ruang luncur (*hoistway*) = 2350 mm × 2250 mm

Dimensi ruang mesin = 3000 mm × 4200 mm

Beban reaksi ruang mesin: R1 = 7000 Kg

R2 = 5500 Kg

Dimensi balok *lift* = 30/40 cm

5.6.1 Koefisien Kejut Beban Hidup Oleh *Crane*

Beban keran yang dipikul oleh balok penggantung *lift* terdiri dari berat sendiri keran ditambah dengan berat muatan yang diangkatnya. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dan dikalikan dengan suatu koefisien yang ditentukan menurut rumus berikut:

$\psi = (1 + k_1 \times k_2 \times V) \geq 1{,}15$

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

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

Dimana:

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

k_1 = Koefisien yang tergantung pada kekuatan keran induk. Untuk keran induk dengan struktur rangka pada umumnya nilai k_1 diambil sebesar 0,6.

k_2 = Koefisien yang tergantung pada sifat-sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dapat diambil sebesar 1,3.

V = Kecepatan angkat maksimum (m/dt) pada pengangkatan muatan maksimum dalam keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau dan nilai V tidak perlu lebih dari 1,00 m/dt.

Jadi, balok yang bekerja pada balok penggantung adalah:

$P_{u1} = R1 \times \psi = 7000 \times 1{,}78 = 12460$ Kg

$P_{u2} = R2 \times \psi = 5500 \times 1{,}78 = 9790$ Kg

P = 12460 + 9790 = 22250 Kg

5.6.2 Pembebanan Balok Penggantung *Lift*

Adapun pembebanan untuk balok penggantung *lift* terdiri dari beban merata dan beban terpusat sebagai berikut:

Beban Mati

Berat sendiri balok = 0,3 × 0,4 × 2400 = 288 Kg/m

Beban Hidup

Beban bekerja = 100 = 100 Kg/m

Beban Ultimate

Q_u = 1,2D + 1,6L = 1,2(288) + 1,6(100) = 505,6 Kg/m

Beban Terpusat

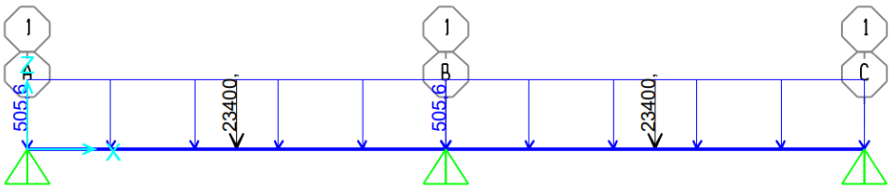
Beban terpusat *lift* = 22250 = 22250 Kg

Beban kapasitas *lift* = 1150 = 1150 Kg +

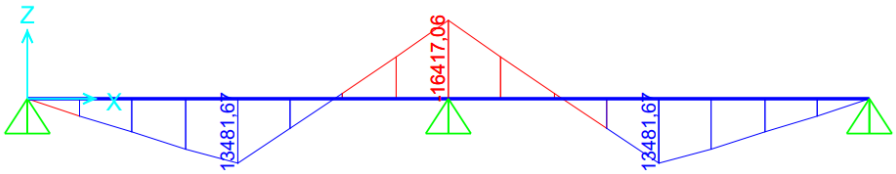
Total beban terpusat = 23400 Kg

5.6.3 Analisa Statika Balok Penggantung *Lift*

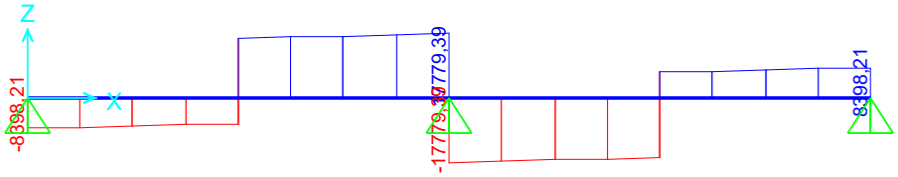
Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk mencari gaya-gaya dalam dari balok penggantung *lift* dengan menggunakan program bantu struktur. Tangga dianggap sebagai konstruksi statis tertentu yang memiliki tumpuan sendi, dengan metode kesetimbangan gaya dalam (M, D, N), maka analisa balok penggantung *lift* dilakukan sesuai dengan pembebanan seperti pada Gambar 5.12 berikut:



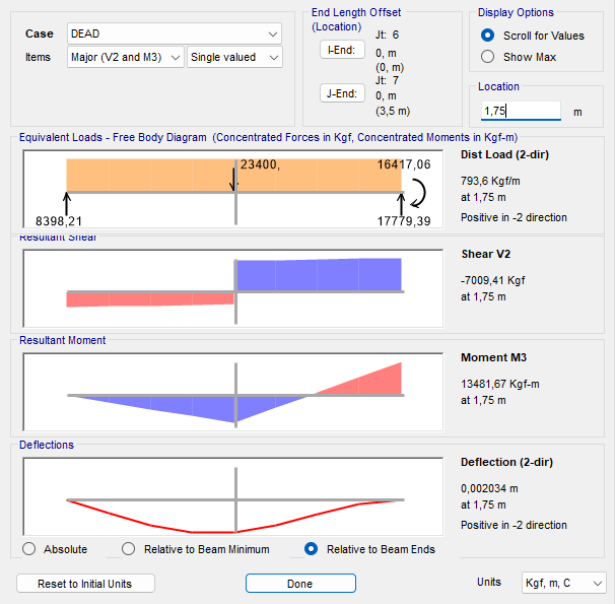
Gambar 5. 12 Pembebanan Balok Penggantung *Lift*



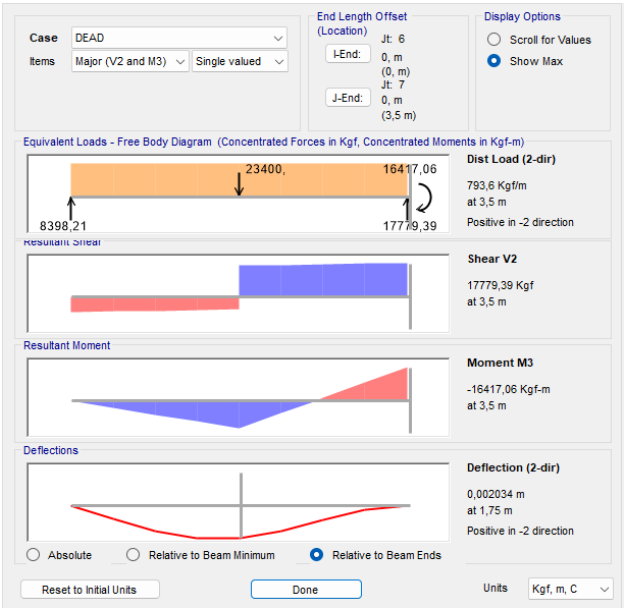
Gambar 5. 13 Gaya Momen pada Balok Penggantung *Lift*



Gambar 5. 14 Gaya Geser pada Balok Penggantung *Lift*



Gambar 5. 15 Gaya Dalam Lapangan Balok Penggantung *Lift*



Gambar 5. 16 Gaya Dalam Tumpuan Balok Penggantung Lift

Dari analisa perhitungan menggunakan program bantu yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

- $M_{u\ tumpuan}$ = 16417,06 Kgm
- $M_{u\ lapangan}$ = 13481,67 Kgm
- V = 17779,39 Kg

5.6.4 Penulangan Balok Penggantung Lift

- **Penulangan Lentur Balok Penggantung *Lift***

Data perencanaan

Mutu beton (*fc'*) = 40 MPa

Mutu baja (*fy*) = 400 MPa

Dimensi balok = 30/40 cm

Tebal selimut beton (s) = 40 mm

Tulangan utama = D19 mm

Tulangan sengkang = Ø10 mm

Lebar efektif balok penggantung *lift*:

d = h – s – (½ $Ø_{tul.\ utama}$) – $Ø_{tul.\ sengkang}$ = 400 – 40 – (½ . 19) – 10 = 340,5 mm

d' = s + (½ $Ø_{tul.\ utama}$) + $Ø_{tul.\ sengkang}$ = 40 + (½ . 19) + 10 = 59,5 mm

Syarat Batas

$\beta = 0{,}85 - \left(\frac{fc' - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}85 - \left(\frac{40 - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}78$

$\rho_b = \frac{0{,}85\ .\ fc'.\ \beta}{fy}\left(\frac{600}{600 + fy}\right) = \frac{0{,}85\ .\ 40\ .\ 0{,}78}{400}\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}039$

$\rho_{max} = 0{,}75\ .\ \rho_b = 0{,}75\ .\ 0{,}039 = 0{,}029$

$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

$m = \frac{fy}{0{,}85\ .\ fc'} = \frac{400}{0{,}85\ .\ 40} = 11{,}76$

Daerah Tumpuan

M_u = 16417,06 Kgm = 164170600 Nmm

$M_n = \frac{Mu}{Ø} = \frac{164170600}{0{,}9} = 182411777{,}78$ Nmm

$R_n = \frac{Mn}{b\ .\ d^2} = \frac{182411777{,}78}{300\ .\ 340{,}5^2} = 5{,}24$ N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11{,}76\ .\ 5{,}17}{400}}\right) = 0{,}014$

$\rho_{min} = 0{,}0035 < \rho_{perlu} = 0{,}014 < \rho_{max} = 0{,}029$ (dipakai $\rho_{perlu} = 0{,}014$)

Tulangan tumpuan atas:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min}\ .\ b\ .\ d = 0{,}014\ .\ 300\ .\ 340{,}5 = 1462{,}40$ mm²

Dipakai **6D19** (A_S = 1701 mm²)

Tulangan tumpuan bawah:

$A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai} = 0{,}5 \times 1701 = 850{,}5$ mm²

Dipakai **3D19** (A_S = 851 mm²)

Kontrol tulangan:

$$a = \frac{As\ pakai\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'\ .\ b} = \frac{1701\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 40\ .\ 300} = 66{,}71$$

$$M_n = A_{S\ pakai}\ .\ fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 1701\ .\ 400\left(340{,}5 - \frac{60{,}71}{2}\right) = 208982858{,}82 \text{ Nmm}$$

$\emptyset M_n = 0{,}9 \times 208982858{,}82 = 188084572{,}94$ Nmm

$\emptyset M_n = 188084572{,}94$ Nmm > $M_{n\ awal} = 182411777{,}78$ Nmm (OK)

Daerah Lapangan

$M_u = 13481{,}67$ Kgm = 134816700 Nmm

$$M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{134816700}{0{,}9} = 149796333{,}33 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b\ .\ d^2} = \frac{149796333{,}3}{300\ .\ 340{,}5^2} = 4{,}31 \text{ N/mm}^3$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11{,}76\ .\ 4{,}31}{400}}\right) = 0{,}011$$

$\rho_{min} = 0{,}0035 < \rho_{perlu} = 0{,}011 < \rho_{max} = 0{,}029$ (dipakai $\rho_{perlu} = 0{,}011$)

Tulangan lapangan bawah:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min}$. b . d = 0,011 . 300 . 340,5 = 1179,97 mm²

Dipakai **5D19** (A_S = 1418 mm²)

Tulangan lapangan atas:

$A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai} = 0{,}5 \times 1418 = 709$ mm²

Dipakai **3D19** (A_S = 851 mm²)

Kontrol tulangan:

$$a = \frac{As\ pakai\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'\ .\ b} = \frac{1418\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 40\ .\ 300} = 55{,}61$$

$$M_n = A_{S\ pakai}\ .\ fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 1418\ .\ 400\left(340{,}5 - \frac{55{,}61}{2}\right) = 177361215{,}69 \text{ Nmm}$$

$\emptyset M_n = 0{,}9 \times 177361215{,}69 = 159625094{,}12$ Nmm

$\emptyset M_n = 159625094{,}12$ Nmm > $M_{n\ awal} = 149796333{,}33$ Nmm (OK)

- **Penulangan Geser Balok Penggantung *Lift***

  Beban geser terfaktor (V_u) = 17779,39 Kg = 177793,9 N

  Kekuatan geser beton (V_C) = $\frac{1}{6}$. $\sqrt{fc'}$. b_w . d = $\frac{1}{6}$. $\sqrt{40}$. 300 . 340,5 = 107675,55 N

  Periksa kategori desain:

$\emptyset V_C$	= 0,75 × 107675,55	= 80756,67 N
½ . $\emptyset V_C$	= ½ × 80756,67	= 40378,33 N
V_S = ⅓ . b_w . d	= ⅓ × 300 × 340,5	= 34050,00 N
$\emptyset V_S$	= 0,75 × 34050	= 25537,50 N
$\emptyset V_C + \emptyset V_S$	= 80756,67 + 25537,50	= 106294,17 N
min.$\emptyset$ V_S	= 0,6 × 34050	= 20430,00 N
$\emptyset V_C$ + min.$\emptyset$ V_S	= 80756,67 + 20430	= 101186,67 N
$\emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 0,6 × ⅓ $\sqrt{40}$ × 300 × 340,5	= 129210,67 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 80756,67 + 129210,67	= 209967,33 N
$\emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 0,6 × ⅔ $\sqrt{40}$ × 300 × 340,5	= 258421,33 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 80756,67 + 258421,33	= 339178,00 N

  Kategori desain:

  $V_{u1} = \frac{Vu\ (½\ Ln - d)}{½\ Ln} = \frac{177793{,}9\ (½\ .\ (350 - 20 - 15) - 34{,}1)}{½\ .\ (350 - 20 - 15)}$ = 139300,11 N

  Untuk V_u = 139300,11 N, termasuk ke dalam kategori desain ke-4, dimana

  ($\emptyset V_C$ + min.$\emptyset$ V_S) < Vu ≤ ($\emptyset V_C + \emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d)

  101186,67 N < 139300,11 N ≤ 209967,33 N

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

  Kuat geser nominal tulangan:

  $\emptyset V_S = V_U - \emptyset V_C$

  $V_S = \frac{VU}{\emptyset} - V_C = \frac{139300{,}11}{0{,}75} - 107675{,}55 = 78057{,}93$ N

  Syarat: V_S < ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d = 78057,93 N < ⅓ $\sqrt{40}$. 300 . 340,5 = 78057,93 N < 215351 N

  Cek Max. s:

  Max. s ≤ $\frac{d}{2}$ ≤ 600 mm

  Max. s ≤ $\frac{340{,}5}{2}$ ≤ 600 mm

Max. s ≤ 170,25 mm ≤ 600 mm

Dipakai sengkang dengan jarak s = 100 mm

Maka, Av min = $\frac{b\ .\ s}{3\ .\ fy} = \frac{300\ .\ 100}{3\ .\ 400}$ = 25 mm²

Dipakai sengkang 2 kaki Ø10 mm, Av = 157 mm² > Av min = 25 mm² (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$Vs = \frac{Av\ .\ fy\ .\ d}{s}$

$A_V = \frac{Vs\ .\ s}{fy\ .\ d} = \frac{78057{,}93\ .\ 100}{400\ .\ 340{,}5}$ = 57,31 mm²

$Vs_{perlu} = \frac{57{,}31\ .\ 400\ .\ 340{,}5}{100}$ = 78056,22 N

Cek kondisi V_n:

Syarat: $\emptyset V_n \geq V_U$

$\emptyset(V_C + V_{S\ perlu}) \geq V_U$

0,75(107675,55 + 78056,22) ≥ 139300,11 N

139298,83 N ≥ 139300,11 N (OK)

Untuk daerah lapangan:

$V_{u2} = \frac{Vu\ (½\ Ln - 80)}{½\ Ln} = \frac{177793{,}90\ .\ (½\ .\ 315 - 80)}{½\ .\ 315}$ = 87485,89 N

Untuk V_u = 87485,89 N, termasuk ke dalam kategori desain ke-3, dimana

$\emptyset V_C < Vu \leq (\emptyset V_C + min.\emptyset Vs)$

80756,67 N < 87485,89 N ≤ 101186,67 N

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

Max. s ≤ $\frac{d}{2}$ ≤ 600 mm

Max. s ≤ $\frac{340{,}5}{2}$ ≤ 600 mm

Max. s ≤ 170,25 mm ≤ 600 mm

Dipakai sengkang dengan jarak s = 150 mm

Maka luas $Av_{min} = \frac{bw\ .\ s}{3\ .\ fy} = \frac{300\ .\ 150}{3\ .\ 400}$ = 37,5 mm²

Dipakai sengkang 2 kaki Ø10 mm dengan Av = 157 mm² > Av_{min} = 37,5 mm² (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$V_{S\ perlu} = \frac{Av\ .\ fy\ .\ d}{s} = \frac{157\ .\ 400\ .\ 340{,}5}{150}$ = 142556 N

Cek kondisi V_n:

Syarat: $\emptyset V_n \geq V_U$

$\emptyset(V_C + V_{S\ perlu}) \geq V_U$

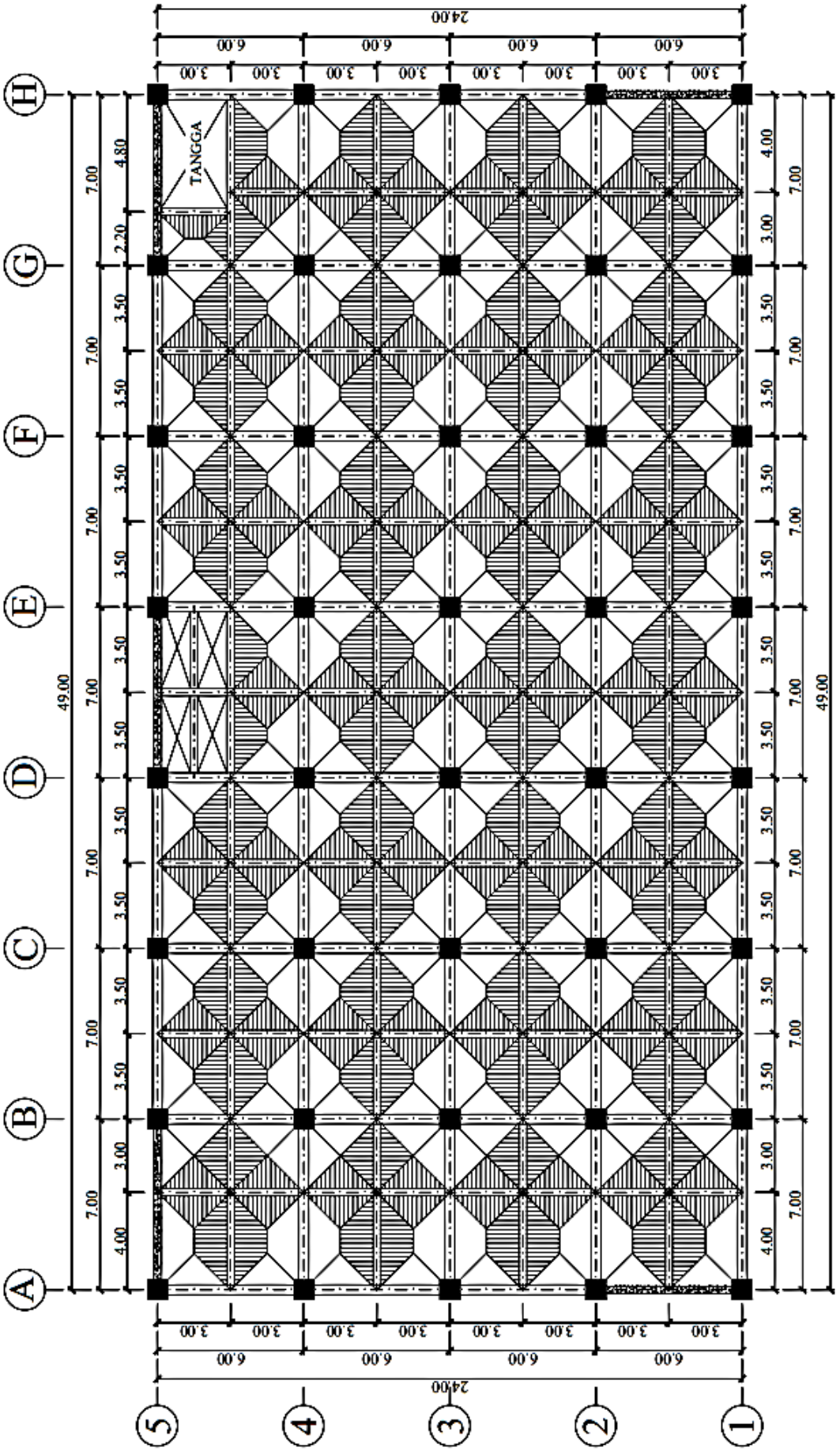
$0{,}75(107675{,}55 + 142556) \geq 87485{,}89$ N

$187673{,}66$ N $\geq 87485{,}89$ N (OK)

Digunakan tulangan sengkang **Ø10 – 100 – 150** mm.

5.7 Perencanaan Balok Anak Atap

Pada subbab ini akan direncanakan stuktur sekunder berupa balok anak atap, dimana perhitungannya meliputi perhitungan beban, momen hingga perhitungan penulangan yang dibutuhkan. Balok anak merupakan elemen struktur sekunder yang tidak berfungsi untuk menerima beban lateral. Melainkan, balok anak berfungsi untuk pengaku yang dapat membantu memperkecil lendutan yang terjadi pada pelat. Berdasarkan Gambar 5.17 di bawah, diketahui bahwa terdapat tujuh jenis pembebanan yaitu beban T1, T2, T3, S1 dan S2.



Gambar 5. 17 *Tributary Area* Pembebanan Balok Anak Atap

5.7.1 Pembebanan Balok Anak Atap

Pembebanan balok anak atap meliputi berat sendiri, berat perlengkapan dan berat *finishing*. Beban-beban tersebut harus dihitung guna memperoleh hasil penulangan yang tepat dan sesuai kebutuhan balok anak.

- **Pembebanan Pelat Atap**

  Dari data pembebanan pelat atap didapat:

  Qd = 365 Kg/m²

  Ql = 100 Kg/m²

  Qr = 50 Kg/m²

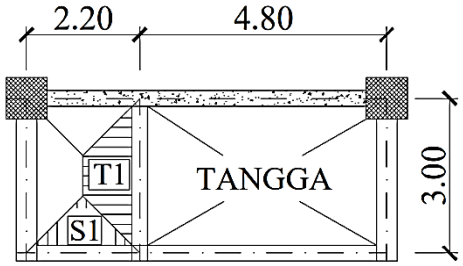
- **Pembebanan untuk Beban Trapezium**

  $q = \frac{1}{2} \times Q \times L_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right)$

- **Pembebanan untuk Beban Segitiga**

  $q = \frac{1}{3} \times Q \times L_x$

Balok Anak Atap dengan Pembebanan Trapezium T1



Gambar 5. 18 Pembebanan Trapezium T1 pada Balok Anak Atap

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,10) × 2400 = 288 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{2} \times 365 \times 2{,}2 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2{,}2}{3{,}0}\right)^2\right)$ = 329,53 Kg/m +

  Qd = 617,53 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{2} \times 100 \times 2{,}2 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2{,}2}{3{,}0}\right)^2\right)$ = 90,28 Kg/m

- Beban Hujan

  Beban air hujan $= \frac{1}{2} \times 50 \times 2{,}2 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2{,}2}{3{,}0}\right)^2\right)$ = 45,14 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L + 0,5R = 1,2(617,53) + 1,6(90,28) + 0,5(45,14) = 908,05 Kg/m

$M_{tumpuan}$ $= \frac{Qu\,.\,ln^2}{11} = \frac{908{,}05\,.\,2{,}7^2}{11}$ = 601,79 Kgm

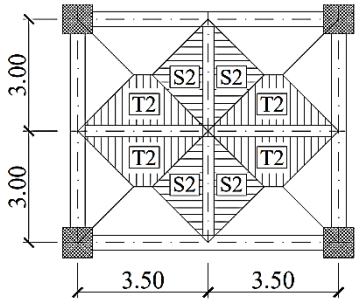
$M_{lapangan}$ $= \frac{Qu\,.\,ln^2}{16} = \frac{908{,}05\,.\,2{,}7^2}{16}$ = 413,73 Kgm

Vu $= \left(1{,}2 \times Qd \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times Ql \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 617{,}53 \times \frac{2{,}7}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 90{,}28 \times \frac{2{,}7}{2}\right)$

= 1195,40 Kg

Balok Anak Atap dengan Pembebanan Trapezium T2



Gambar 5. 19 Pembebanan Trapezium T2 pada Balok Anak Atap

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,10) × 2400 = 288 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{2} \times 365 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{3{,}5}\right)^2\right) \times 2$ = 826,84 Kg/m +

  Qd = 1114,84 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{2} \times 100 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{3{,}5}\right)^2\right) \times 2$ = 226,53 Kg/m

- Beban Hujan

  Beban air hujan $= \frac{1}{2} \times 50 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{3{,}5}\right)^2\right) \times 2$ = 113,27 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L + 0,5R = 1,2(1114,84) + 1,6(226,53) + 0,5(113,27) = 1756,89 Kg/m

$M_{tumpuan}$ $= \frac{Qu\,.\,ln^2}{11} = \frac{1756{,}89\,.\,3{,}15^2}{11}$ = 1584,79 Kgm

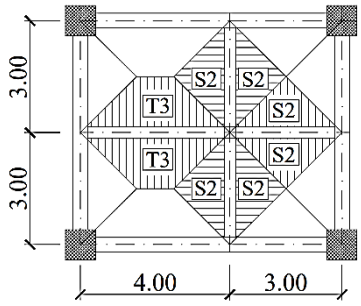
$M_{lapangan} = \frac{Qu\ .\ ln^2}{16} = \frac{1756{,}89\ .\ 3{,}15^2}{16}$ = 1089,54 Kgm

Vu $= \left(1{,}2\ \times\ Qd\ \times\ \frac{l}{2}\right) + \left(1{,}6\ \times\ Ql\ \times\ \frac{l}{2}\right)$

$= \left(1{,}2\ \times\ 1114{,}84\ \times\ \frac{3{,}15}{2}\right) + \left(1{,}6\ \times\ 226{,}53 \times\ \frac{3{,}15}{2}\right)$

= 2677,899 Kg

Balok Anak Atap dengan Pembebanan Trapezium T3



Gambar 5. 20 Pembebanan Trapezium T3 pada Balok Anak Atap

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,10) × 2400 = 288 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{2} \times 365 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{4{,}0}\right)^2\right) \times 2$ = 889,70 Kg/m +

  Qd = 1177,69 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{2} \times 100 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{4{,}0}\right)^2\right) \times 2$ = 243,75 Kg/m

- Beban Hujan

  Beban air hujan $= \frac{1}{2} \times 50 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{4{,}0}\right)^2\right) \times 2$ = 121,88 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L + 0,5R = 1,2(1177,69) + 1,6(243,75) + 0,5(121,88) = 1864,16 Kg/m

$M_{tumpuan} = \frac{Qu\ .\ ln^2}{11} = \frac{1864{,}16\ .\ 3{,}65^2}{11}$ = 2257,75 Kgm

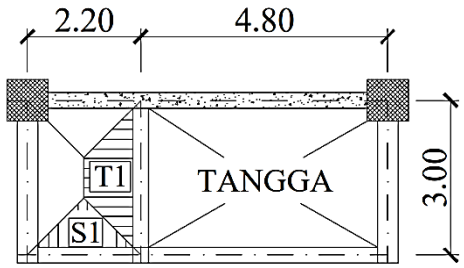
$M_{lapangan} = \frac{Qu\ .\ ln^2}{16} = \frac{1864{,}16\ .\ 3{,}65^2}{16}$ = 1552,21 Kgm

Vu $= \left(1{,}2\ \times\ Qd\ \times\ \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6\ \times\ Ql\ \times\ \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 1177{,}69 \times \frac{3{,}65}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 243{,}75 \times \frac{3{,}65}{2}\right)$

= 3290,89 Kg

Balok Anak Atap dengan Pembebanan Segitiga S1



Gambar 5. 21 Pembebanan Segitiga S1 pada Balok Anak Atap

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,10) × 2400 = 288 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{3} \times 365 \times 2{,}2$ = 267,67 Kg/m

  Qd = 555,67 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{3} \times 100 \times 2{,}2$ = 73,33 Kg/m

- Beban Hujan

  Beban air hujan $= \frac{1}{3} \times 50 \times 2{,}2$ = 36,67 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L + 0,5R = 1,2(555,67) + 1,6(73,33) + 0,5(36,67) = 802,47 Kg/m

$M_{tumpuan} = \frac{Qu \,.\, ln^2}{11} = \frac{802{,}47 \,.\, 1{,}85^2}{11}$ = 249,68 Kgm

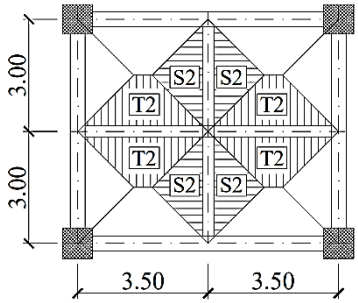
$M_{lapangan} = \frac{Qu \,.\, ln^2}{16} = \frac{802{,}47 \,.\, 1{,}85^2}{16}$ = 171,65 Kgm

$Vu = \left(1{,}2 \times Qd \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times Ql \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 555{,}67 \times \frac{1{,}85}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 73{,}33 \times \frac{1{,}85}{2}\right)$

= 725,32 Kg

Balok Anak Atap dengan Pembebanan Segitiga S2



Gambar 5. 22 Pembebanan Segitiga S2 pada Balok Anak Atap

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,10) × 2400 = 288 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{3} \times 365 \times 3{,}0 \times 2$ = 730 Kg/m +

  Qd = 1018 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{3} \times 100 \times 3{,}0 \times 2$ = 200 Kg/m

- Beban Hujan

  Beban air hujan $= \frac{1}{3} \times 50 \times 3{,}0 \times 2$ = 100 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L + 0,5R = 1,2(1018) + 1,6(200) + 0,5(100) = 1591,60 Kg/m

$M_{tumpuan} = \frac{Qu\,.\,ln^2}{11} = \frac{1591{,}60\,.\,2{,}65^2}{11}$ = 1016,09 Kgm

$M_{lapangan} = \frac{Qu\,.\,ln^2}{16} = \frac{1591{,}60\,.\,2{,}65^2}{16}$ = 698,56 Kgm

$Vu = \left(1{,}2 \times Qd \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times Ql \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 1018 \times \frac{2{,}65}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 200 \times \frac{2{,}65}{2}\right)$

= 2042,62 Kg

Dari semua pembebanan untuk balok anak atap di atas, maka diambil beban yang paling besar yaitu pada pembebanan balok anak atap dengan jenis pembebanan trapezium T3.

$M_{tumpuan}$ = 2257,75 Kgm

$M_{lapangan}$ = 1552,21 Kgm

V_u = 3290,89 Kg

5.7.2 Penulangan Lentur Balok Anak Atap

- **Data perencanaan**

  Mutu beton (*fc'*) = 40 MPa

  Mutu baja (*fy*) = 400 MPa

  Dimensi balok = 30/50 cm

  Tebal selimut beton (s) = 40 mm

  Tulangan utama = D10 mm

  Tulangan sengkang = Ø8 mm

  Lebar efektif balok anak atap:

  $d = h - s - (½\ Ø_{tul.\ utama}) - Ø_{tul.\ sengkang} = 400 - 40 - (½ \cdot 10) - 8 = 347$ mm

  $d' = s + (½\ Ø_{tul.\ utama}) + Ø_{tul.\ sengkang} = 40 + (½ \cdot 10) + 8 = 53$ mm

- **Syarat Batas**

  $\beta = 0{,}85 - \left(\frac{fc' - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}85 - \left(\frac{40 - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}78$

  $\rho_b = \frac{0{,}85 \cdot fc' \cdot \beta}{fy}\left(\frac{600}{600 + fy}\right) = \frac{0{,}85 \cdot 40 \cdot 0{,}78}{400}\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}039$

  $\rho_{max} = 0{,}75 \cdot \rho_b = 0{,}75 \cdot 0{,}039 = 0{,}029$

  $\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

  $m = \frac{fy}{0{,}85 \cdot fc'} = \frac{400}{0{,}85 \cdot 40} = 11{,}76$

- **Daerah Tumpuan**

  $M_u = 2257{,}75$ Kgm = 22577500 Nmm

  $M_n = \frac{Mu}{Ø} = \frac{22577500}{0{,}9} = 25086111{,}11$ Nmm

  $x_{max} = 0{,}75\ \frac{600 \cdot d}{600 + fy} = 0{,}75\ \frac{600 \cdot 347}{600 + fy} = 156{,}15$ mm

  Jarak $x \leq x_{max}$, maka diambil nilai x = 120 mm

  $A_{sc} = \frac{0{,}85 \cdot fc' \cdot \beta \cdot b \cdot x}{fy} = \frac{0{,}85 \cdot 40 \cdot 0{,}78 \cdot 300 \cdot 120}{400} = 2386{,}80$ mm²

  $M_{nc} = A_{sc} \cdot fy \cdot \left(d - \frac{\beta \cdot x}{2}\right) = 2386{,}80 \cdot 400 \cdot \left(347 - \frac{0{,}78 \cdot 120}{2}\right) = 286606944$ Nmm

  $M_{ns} = M_n - M_{nc} = 25086111{,}11 - 286606944 = -261520832{,}89$ Nmm

  $M_{ns} \leq 0$ maka tidak perlu tulangan tekan dan hanya didesain dengan tulangan tunggal.

$R_n = \frac{Mn}{b\,.\,d^2} = \frac{25086111{,}11}{300\,.\,347^2} = 0{,}69$ N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,m\,.\,Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,11{,}76\,.\,0{,}69}{400}}\right) = 0{,}0018$

$\rho_{perlu} = 0{,}0018 < \rho_{min} = 0{,}0035$ (dipakai $\rho_{min} = 0{,}0035$)

Tulangan tumpuan atas:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min}$. b . d = 0,0035 . 300 . 347 = 364,35 mm²

Dipakai **5D10** (A_S = 393 mm²)

Tulangan tumpuan bawah:

$A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai} = 0{,}5 \times 393 = 196{,}5$ mm²

Dipakai **3D10** (A_S = 236 mm²)

Kontrol tulangan:

$a = \frac{As\ pakai\,.\,fy}{0{,}85\,.\,fc'\,.\,b} = \frac{393\,.\,400}{0{,}85\,.\,40\,.\,300} = 15{,}41$

$M_n = A_{S\ pakai}\,.\,fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 393\,.\,400\left(347 - \frac{15{,}41}{2}\right) = 53337035{,}29$ Nmm

$M_n = 53337035{,}29$ Nmm > $M_{n\ awal} = 25086111{,}11$ Nmm (OK)

- **Daerah Lapangan**

  $M_u = 1552{,}21$ Kgm = 15522100 Nmm

  $M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{15522100}{0{,}9} = 17246777{,}78$ Nmm

  $x_{max} = 0{,}75\,\frac{600\,.\,d}{600 + fy} = 0{,}75\,\frac{600\,.\,347}{600 + fy} = 156{,}15$ mm

  Jarak $x \leq x_{max}$, maka diambil nilai x = 120 mm

  $A_{sc} = \frac{0{,}85\,.\,fc'\,.\,\beta\,.\,b\,.\,x}{fy} = \frac{0{,}85\,.\,40\,.\,0{,}78\,.\,300\,.\,120}{400} = 2386{,}80$ mm²

  $M_{nc} = A_{sc}\,.\,fy\,.\left(d - \frac{\beta\,.\,x}{2}\right) = 2386{,}80\,.\,400\,.\left(347 - \frac{0{,}78\,.\,120}{2}\right) = 286606944$ Nmm

  $M_{ns} = M_n - M_{nc} = 17246777{,}78 - 286606944 = -269360166{,}22$ Nmm

  $M_{ns} \leq 0$ maka tidak perlu tulangan tekan dan hanya didesain dengan tulangan tunggal.

  $R_n = \frac{Mn}{b\,.\,d^2} = \frac{17246777{,}78}{300\,.\,347^2} = 0{,}48$ N/mm³

  $\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,m\,.\,Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,.\,11{,}76\,.\,0{,}48}{400}}\right) = 0{,}0012$

  $\rho_{perlu} = 0{,}0012 < \rho_{min} = 0{,}0035$ (dipakai $\rho_{min} = 0{,}0035$)

Tulangan lapangan bawah:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min} . b . d = 0{,}0035 . 300 . 347 = 364{,}35\ mm^2$

Dipakai **5D10** ($A_S = 393\ mm^2$)

Tulangan lapangan atas:

$A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai} = 0{,}5 \times 393 = 196{,}5\ mm^2$

Dipakai **3D10** ($A_S = 236\ mm^2$)

Kontrol tulangan:

$$a = \frac{As\ pakai\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'\ .\ b} = \frac{393\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 40\ .\ 300} = 15{,}41$$

$$M_n = A_{S\ pakai}\ .\ fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 393\ .\ 400\left(347 - \frac{15{,}41}{2}\right) = 53337035{,}29\ Nmm$$

$M_n = 53337035{,}29\ Nmm > M_{n\ awal} = 17246777{,}78\ Nmm$ (OK)

5.7.3 Penulangan Geser Balok Anak Atap

Beban geser terfaktor (V_u) = 3290,89 Kg = 32908,90 N

Sengkang pertama harus dipasang pada jarak 120 mm di muka tumpuan.

$$V_{ul} = V_u\ .\ \frac{x - x1}{x} = 32908{,}90\ .\ \frac{4000 - 120}{4000} = 31921{,}63\ N$$

Kekuatan geser beton (V_C) = $\frac{1}{6}\ .\ \sqrt{fc'}\ .\ b_w\ .\ d = \frac{1}{6}\ .\ \sqrt{40}\ .\ 300\ .\ 347 = 109731{,}03$ N

Periksa kategori desain:

$\emptyset V_C$	= 0,75 × 109731,03	= 82298,28 N
½ . $\emptyset V_C$	= ½ × 82298,28	= 41149,14 N
V_S = ⅓ . b_w . d	= ⅓ × 300 × 347	= 34700,00 N
$\emptyset V_S$	= 0,75 × 23133,33	= 26025,00 N
$\emptyset V_C + \emptyset V_S$	= 82298,28 + 26025,00	= 108323,28 N
min.$\emptyset$ V_S	= 0,6 × 34700,00	= 20820,00 N
$\emptyset V_C$ + min.$\emptyset$ V_S	= 82298,28 + 20820,00	= 103118,28 N
$\emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. B_w . d	= 0,6 × ⅓ $\sqrt{40}$ × 300 × 347	= 131677,24 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. B_w . d	= 82298,28 + 131677,24	= 213975,52 N
$\emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. B_w . d	= 0,6 × ⅔ $\sqrt{40}$ × 300 × 347	= 263354,48 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. B_w . d	= 82298,28 + 263354,48	= 345652,76 N

Kategori desain:

Untuk V_u = 31921,63 N, termasuk ke dalam kategori desain ke-1 (tanpa syarat tulangan)

$Vu \leq (½ \, \emptyset V_C) = 31921{,}63 \text{ N} \leq 41149{,}14 \text{ N}$

Rencana menggunakan tulangan Ø8 – 100 mm

Maka luas $Av_{min} = \frac{bw \, . \, s}{3 \, . \, fy} = \frac{300 \, . \, 100}{3 \, . \, 400} = 25 \text{ mm}^2$

Dipakai sengkang 2 kaki Ø8 mm dengan $Av = 100{,}50 \text{ mm}^2 > Av_{min} = 25 \text{ mm}^2$ (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$Vs = \frac{Av \, . \, fy \, . \, d}{s} = \frac{100{,}50 \, . \, 400 \, . \, 347}{100} = 139494 \text{ N}$

$\emptyset V_S = 0{,}75 \times 139494 = 104620{,}50 \text{ N}$

Untuk jarak 100 cm dari muka (daerah lapangan):

$V_{u2} = \frac{Vu \, (½ \, Ln - 100)}{½ \, Ln} = \frac{31921{,}63 \, (½ \, . \, (400 - 20 - 15) - 100)}{½ \, . \, (400 - 20 - 15)} = 14430{,}32 \text{ N}$

$V_{u2} \leq ½ \, . \, \emptyset V_C = 14430{,}32 \text{ N} \leq 82298{,}28 \text{ N}$, Maka termasuk ke dalam kategori desain ke-1 (tanpa syarat tulangan)

Rencana menggunakan tulangan Ø8 – 200 mm

$Av_{min} = \frac{bw \, . \, s}{3 \, . \, fy} = \frac{300 \, . \, 200}{3 \, . \, 400} = 50 \text{ mm}^2$

Dipakai sengkang 2 kaki Ø8 mm dengan $Av = 100{,}50 \text{ mm}^2 > Av_{min} = 50 \text{ mm}^2$ (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

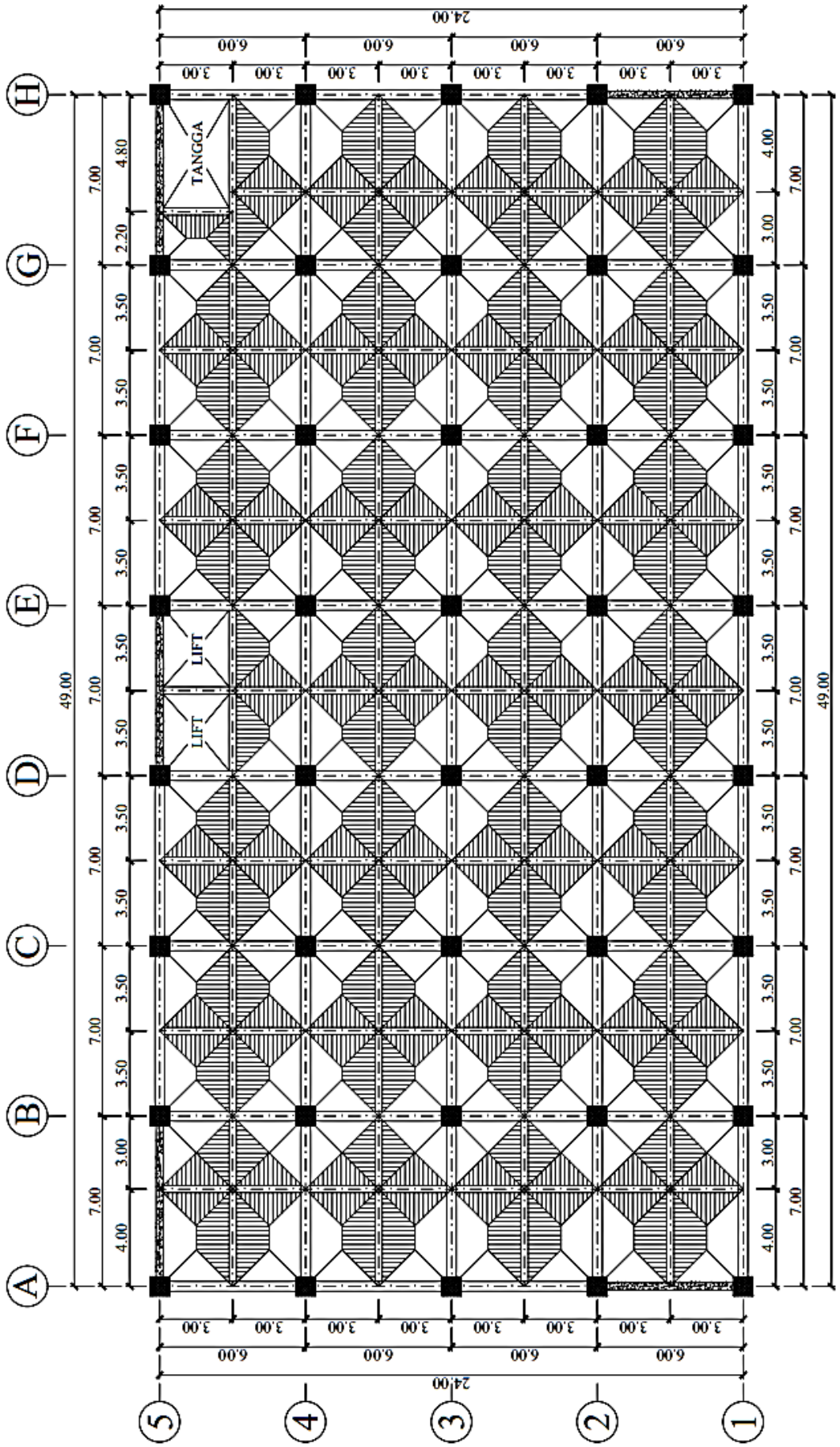
$Vs = \frac{Av \, . \, fy \, . \, d}{s} = \frac{100{,}50 \, . \, 400 \, . \, 347}{200} = 69747 \text{ N}$

$\emptyset V_S = 0{,}75 \times 69747 = 52310{,}25 \text{ N} > \text{min.}\emptyset \, V_S = 20820{,}00 \text{ N}$ (OK)

Maka, dipakai tulangan sengkang **Ø8 – 100 – 200** mm.

5.8 Perencanaan Balok Anak Lantai

Pada subbab ini akan direncanakan stuktur sekunder berupa balok anak lantai, dimana perhitungannya meliputi perhitungan beban, momen hingga perhitungan penulangan yang dibutuhkan. Balok anak merupakan elemen struktur sekunder yang tidak berfungsi untuk menerima beban lateral. Melainkan, balok anak berfungsi untuk pengaku yang dapat membantu memperkecil lendutan yang terjadi pada pelat. Berdasarkan Gambar 5.25, diketahui bahwa terdapat lima jenis pembebanan yaitu beban T1, T2, T3, S1dan S2.



Gambar 5. 23 *Tributary Area* Pembebanan Balok Anak Lantai

5.8.1 Pembebanan Balok Anak Lantai

Pembebanan balok anak lantai meliputi berat sendiri, berat perlengkapan dan berat *finishing*. Beban-beban tersebut harus dihitung guna memperoleh hasil penulangan yang tepat dan sesuai kebutuhan balok anak.

- Pembebanan Pelat Lantai

  Dari data pembebanan pelat lantai didapat:

  Qd = 412 Kg/m²

  Ql = 250 Kg/m²

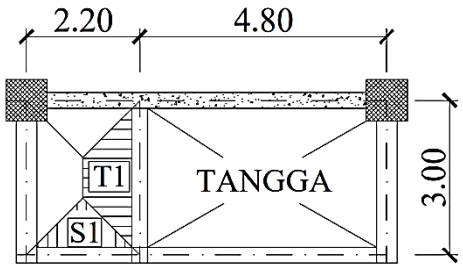
- Pembebanan untuk Beban Trapezium

  $q = \frac{1}{2} \times Q \times L_x \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{Lx}{Ly}\right)^2\right)$

- Pembebanan untuk Beban Segitiga

  $q = \frac{1}{3} \times Q \times L_x$

Balok Anak Lantai dengan Pembebanan Trapezium T1



Gambar 5. 24 Pembebanan Trapezium T1 pada Balok Anak Lantai

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,12) × 2400 = 273,60 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{2} \times 402 \times 2{,}2 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2{,}2}{3{,}0}\right)^2\right)$ = 362,93 Kg/m +

  Qd = 636,53 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{2} \times 250 \times 2{,}2 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{2{,}2}{3{,}0}\right)^2\right)$ = 225,70 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L = 1,2(636,53) + 1,6(225,70) = 1124,96 Kg/m

$M_{tumpuan} = \frac{Qu \,.\, ln^2}{11} = \frac{1124{,}96 \,.\, 2{,}7^2}{11}$ = 745,54 Kgm

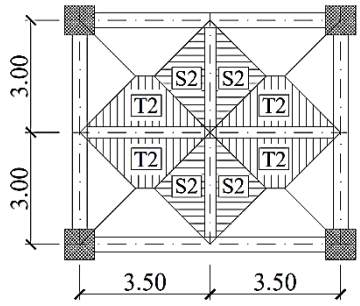
$M_{lapangan}$ $= \frac{Qu\,.\,ln^2}{16} = \frac{1124{,}96\,.\,2{,}7^2}{16}$ = 512,56 Kgm

Vu $= \left(1{,}2 \times \text{Qd} \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times \text{Ql} \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 636{,}53 \times \frac{2{,}7}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 225{,}70 \times \frac{2{,}7}{2}\right)$

= 1518,70 Kg

Balok Anak Lantai dengan Pembebanan Trapezium T2



Gambar 5. 25 Pembebanan Trapezium T2 pada Balok Anak Lantai

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,12) × 2400 = 273,60 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{2} \times 402 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{3{,}5}\right)^2\right) \times 2$ = 910,65 Kg/m +

  Qd = 1184,25 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{2} \times 250 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{3{,}5}\right)^2\right) \times 2$ = 566,33 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L = 1,2(1184,25) + 1,6(566,33) = 2327,23 Kg/m

$M_{tumpuan}$ $= \frac{Qu\,.\,ln^2}{11} = \frac{2327{,}23\,.\,3{,}15^2}{11}$ = 2099,26 Kgm

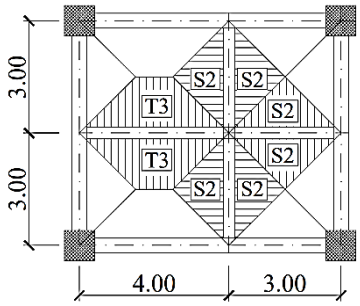
$M_{lapangan}$ $= \frac{Qu\,.\,ln^2}{16} = \frac{2327{,}23\,.\,3{,}15^2}{16}$ = 1443,24 Kgm

Vu $= \left(1{,}2 \times \text{Qd} \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times \text{Ql} \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 1184{,}25 \times \frac{3{,}15}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 566{,}33 \times \frac{3{,}15}{2}\right)$

= 3665,38 Kg

Balok Anak Lantai dengan Pembebanan Trapezium T3



Gambar 5. 26 Pembebanan Trapezium T3 pada Balok Anak Lantai

Dimensi balok anak lantai 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,12) × 2400 = 273,60 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{2} \times 402 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{4{,}0}\right)^2\right) \times 2$ = 979,88 Kg/m +

  Qd = 1253,48 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{2} \times 250 \times 3{,}0 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{3{,}0}{4{,}0}\right)^2\right) \times 2$ = 609,38 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L = 1,2(1253,48) + 1,6(609,38) = 2479,17 Kg/m

$M_{tumpuan} = \frac{Qu \,.\, ln^2}{11} = \frac{2479{,}17 \,.\, 3{,}65^2}{11}$ = 3002,61 Kgm

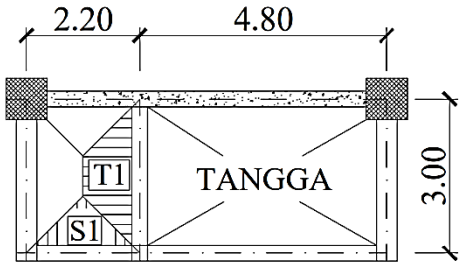
$M_{lapangan} = \frac{Qu \,.\, ln^2}{16} = \frac{2479{,}17 \,.\, 3{,}65^2}{16}$ = 2064,30 Kgm

$Vu = \left(1{,}2 \times Qd \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times Ql \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 1253{,}48 \times \frac{3{,}65}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 609{,}38 \times \frac{3{,}65}{2}\right)$

= 4524,49 Kg

Balok Anak Lantai dengan Pembebanan Segitiga S1



Gambar 5. 27 Pembebanan Segitiga S1 pada Balok Anak Lantai

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,12) × 2400 = 273,60 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{3} \times 402 \times 2{,}2$ = 294,80 Kg/m

  Qd = 568,40 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{3} \times 250 \times 2{,}2$ = 183,33 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L = 1,2(568,40) + 1,6(183,33) = 975,41 Kg/m

$M_{tumpuan} = \frac{Qu\,.\,ln^2}{11} = \frac{975{,}41\,.\,1{,}85^2}{11}$ = 303,49 Kgm

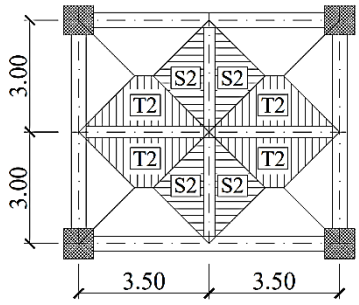
$M_{lapangan} = \frac{Qu\,.\,ln^2}{16} = \frac{975{,}41\,.\,1{,}85^2}{16}$ = 208,65 Kgm

$Vu = \left(1{,}2 \times Qd \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times Ql \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 568{,}40 \times \frac{1{,}85}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 183{,}33 \times \frac{1{,}85}{2}\right)$

= 902,26 Kg

Balok Anak Lantai dengan Pembebanan Segitiga S2



Gambar 5. 28 Pembebanan Segitiga S2 pada Balok Anak Lantai

Dimensi balok anak atap 30/50 cm

- Beban Mati

  Berat sendiri balok = 0,30 × (0,50 – 0,12) × 2400 = 273,60 Kg/m

  Beban mati pelat $= \frac{1}{3} \times 402 \times 3{,}0 \times 2$ = 804,00 Kg/m

  Qd = 1077,60 Kg/m

- Beban Hidup

  Beban hidup pelat $= \frac{1}{3} \times 250 \times 3{,}0 \times 2$ = 500 Kg/m

- Beban Ultimate

  Qu = 1,2D + 1,6L = 1,2(1077,60) + 1,6(500) = 2093,12 Kg/m

$M_{tumpuan} = \frac{Qu\,.\,ln^2}{11} = \frac{2093{,}12\,.\,2{,}65^2}{11}$ = 1336,27 Kgm

$M_{lapangan} = \frac{Qu\,.\,ln^2}{16} = \frac{2093{,}12\,.\,2{,}65^2}{16}$ = 918,68 Kgm

$Vu = \left(1{,}2 \times Qd \times \frac{ln}{2}\right) + \left(1{,}6 \times Ql \times \frac{ln}{2}\right)$

$= \left(1{,}2 \times 1077{,}60 \times \frac{2{,}65}{2}\right) + \left(1{,}6 \times 500 \times \frac{2{,}65}{2}\right)$

= 2773,38 Kg

Dari semua pembebanan untuk balok anak lantai di atas, maka diambil beban yang paling besar yaitu pada pembebanan balok anak atap dengan jenis pembebanan trapezium T3.

$M_{tumpuan}$ = 3002,61 Kgm

$M_{lapangan}$ = 2064,30 Kgm

Vu = 4524,49 Kg

5.8.2 Penulangan Lentur Balok Anak Lantai

- **Data perencanaan**

  Mutu beton (*fc'*) = 40 MPa

  Mutu baja (*fy*) = 400 MPa

  Dimensi balok = 30/50 cm

  Tebal selimut beton (s) = 40 mm

  Tulangan utama = D10 mm

  Tulangan sengkang = Ø8 mm

  Lebar efektif balok anak lantai:

  d = h – s – (½ $Ø_{tul.\ utama}$) – $Ø_{tul.\ sengkang}$ = 400 – 40 – (½ . 10) – 8 = 347 mm

  d' = s + (½ $Ø_{tul.\ utama}$) + $Ø_{tul.\ sengkang}$ = 40 + (½ . 10) + 8 = 53 mm

- **Syarat Batas**

  $\beta = 0{,}85 - \left(\frac{fc' - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}85 - \left(\frac{40 - 30}{7}\right)(0{,}05) = 0{,}78$

$\rho_b = \frac{0{,}85\ .\ fc'.\ \beta}{fy}\left(\frac{600}{600+fy}\right) = \frac{0{,}85\ .\ 40\ .\ 0{,}78}{400}\left(\frac{600}{600+400}\right) = 0{,}039$

$\rho_{max} = 0{,}75\ .\ \rho_b = 0{,}75\ .\ 0{,}039 = 0{,}029$

$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} = \frac{1{,}4}{400} = 0{,}0035$

$m = \frac{fy}{0{,}85\ .\ fc'} = \frac{400}{0{,}85\ .\ 40} = 11{,}76$

- **Daerah Tumpuan**

  M_u = 3002,61 Kgm = 30026100 Nmm

  $M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{30026100}{0{,}9} = 33362333{,}33$ Nmm

  $x_{max} = 0{,}75\ \frac{600\ .\ d}{600+fy} = 0{,}75\ \frac{600\ .\ 347}{600+fy} = 156{,}15$ mm

  Jarak $x \leq x_{max}$, maka diambil nilai x = 120 mm

  $A_{sc} = \frac{0{,}85\ .\ fc'\ .\ \beta\ .\ b\ .\ x}{fy} = \frac{0{,}85\ .\ 40\ .\ 0{,}78\ .\ 300\ .\ 120}{400} = 2386{,}80$ mm²

  $M_{nc} = A_{sc}\ .\ fy\ .\left(d - \frac{\beta\ .\ x}{2}\right) = 2386{,}80\ .\ 400\ .\left(347 - \frac{0{,}78\ .\ 120}{2}\right) = 286606944$ Nmm

  $M_{ns} = M_n - M_{nc} = 33362333{,}33 - 286606944 = -253244610{,}67$ Nmm

  $M_{ns} \leq 0$ maka tidak perlu tulangan tekan dan hanya didesain dengan tulangan tunggal.

  $R_n = \frac{Mn}{b\ .\ d^2} = \frac{33362333{,}33}{300\ .\ 347^2} = 0{,}92$ N/mm³

  $\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11{,}76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11{,}76\ .\ 0{,}92}{400}}\right) = 0{,}0023$

  $\rho_{perlu} = 0{,}0023 < \rho_{min} = 0{,}0035$ (dipakai $\rho_{min} = 0{,}0035$)

  Tulangan tumpuan atas:

  $A_{S\ perlu} = \rho_{min}\ .\ b\ .\ d = 0{,}0035\ .\ 300\ .\ 347 = 364{,}35$ mm²

  Dipakai **5D10** (A_S = 393 mm²)

  Tulangan tumpuan bawah:

  $A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai} = 0{,}5 \times 393 = 196{,}5$ mm²

  Dipakai **3D10** (A_S = 236 mm²)

  Kontrol tulangan:

  $a = \frac{As\ pakai\ .\ fy}{0{,}85\ .\ fc'\ .\ b} = \frac{393\ .\ 400}{0{,}85\ .\ 40\ .\ 300} = 15{,}41$

  $M_n = A_{S\ pakai}\ .\ fy\left(d - \frac{a}{2}\right) = 393\ .\ 400\left(347 - \frac{15{,}41}{2}\right) = 53337035{,}29$ Nmm

M_n = 53337035,29 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 33362333,33 Nmm (OK)

- **Daerah Lapangan**

M_u = 2064,30 Kgm = 26043000 Nmm

$M_n = \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{26043000}{0,9}$ = 28936666,67 Nmm

$x_{max} = 0,75\ \frac{600\ .\ d}{600 + fy} = 0,75\ \frac{600\ .\ 347}{600 + fy}$ = 156,15 mm

Jarak $x \leq x_{max}$, maka diambil nilai x = 120 mm

$A_{sc} = \frac{0,85\ .\ fc'\ .\ \beta\ .\ b\ .\ x}{fy} = \frac{0,85\ .\ 40\ .\ 0,78\ .\ 300\ .\ 120}{400}$ = 2386,80 mm²

$M_{nc} = A_{sc}\ .\ fy\ .\ \left(d - \frac{\beta\ .\ x}{2}\right)$ = 2386,80 . 400 . $\left(347 - \frac{0,78\ .\ 120}{2}\right)$ = 286606944 Nmm

$M_{ns} = M_n - M_{nc}$ = 28936666,67 – 286606944 = –257670277,33 Nmm

$M_{ns} \leq 0$ maka tidak perlu tulangan tekan dan hanya didesain dengan tulangan tunggal.

$R_n = \frac{Mn}{b\ .\ d^2} = \frac{28936666,67}{300\ .\ 347^2}$ = 0,80 N/mm³

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ m\ .\ Rn}{fy}}\right) = \frac{1}{11,76}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\ .\ 11,76\ .\ 0,80}{400}}\right)$ = 0,0020

ρ_{perlu} = 0,0020 < ρ_{min} = 0,0035 (dipakai ρ_{min} = 0,0035)

Tulangan lapangan bawah:

$A_{S\ perlu} = \rho_{min}$. b . d = 0,0035 . 300 . 347 = 364,35 mm²

Dipakai **5D10** (A_S = 393 mm²)

Tulangan lapangan atas:

$A_{S'} = \delta \times A_{s\ pakai}$ = 0,5 × 393 = 196,5 mm²

Dipakai **3D10** (A_S = 236 mm²)

Kontrol tulangan:

$a = \frac{As\ pakai\ .\ fy}{0,85\ .\ fc'\ .\ b} = \frac{393\ .\ 400}{0,85\ .\ 40\ .\ 300}$ = 15,41

$M_n = A_{S\ pakai}\ .\ fy\left(d - \frac{a}{2}\right)$ = 393 . 400 $\left(347 - \frac{15,41}{2}\right)$ = 53337035,29 Nmm

M_n = 53337035,29 Nmm > $M_{n\ awal}$ = 28936666,67 Nmm (OK)

5.8.3 Penulangan Geser Balok Anak Lantai

Beban geser terfaktor (V_u) = 4524,49 Kg = 45244,9 N

Sengkang pertama harus dipasang pada jarak 120 mm di muka tumpuan.

$V_{ul} = V_u \cdot \frac{x - x1}{x} = 45244{,}9 \cdot \frac{4000 - 120}{4000} = 43887{,}55$ N

Kekuatan geser beton (V_C) = $\frac{1}{6} \cdot \sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{40} \cdot 300 \cdot 347 = 109731{,}03$ N

Periksa kategori desain:

$\emptyset V_C$	= 0,75 × 109731,03	= 82298,28 N
½ . $\emptyset V_C$	= ½ × 82298,28	= 41149,14 N
V_S = ⅓ . b_w . d	= ⅓ × 300 × 347	= 34700,00 N
$\emptyset V_S$	= 0,75 × 34700,00	= 26025,00 N
$\emptyset V_C + \emptyset V_S$	= 82298,28 + 26025,00	= 108323,28 N
min.$\emptyset$ V_S	= 0,6 × 34700,00	= 20820,00 N
$\emptyset V_C$ + min.$\emptyset$ V_S	= 82298,28 + 20820,00	= 103118,28 N
$\emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 0,6 × ⅓ $\sqrt{40}$ × 300 × 347	= 131677,24 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅓ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 82298,28 + 131677,24	= 213975,52 N
$\emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 0,6 × ⅔ $\sqrt{40}$ × 300 × 347	= 263354,48 N
$\emptyset V_C + \emptyset$. ⅔ $\sqrt{fc'}$. b_w . d	= 82298,28 + 263354,48	= 345652,76 N

Kategori desain:

Untuk V_u = 43887,55 N, termasuk ke dalam kategori desain ke-2, dimana

(½ . $\emptyset V_C$) < Vu ≤ $\emptyset V_C$ = 41149,14 N < 43887,55 N ≤ 82298,28 N

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

Max. s ≤ $\frac{d}{2}$ ≤ 600 mm

Max. s ≤ $\frac{347}{2}$ ≤ 600 mm

Max. s ≤ 173,5 mm ≤ 600 mm

Dipakai sengkang dengan jarak s = 100 mm

Maka luas $Av_{min} = \frac{bw \cdot s}{3 \cdot fy} = \frac{300 \cdot 100}{3 \cdot 400} = 25$ mm²

Dipakai sengkang 2 kaki Ø8 mm dengan Av = 100,50 mm² > Av_{min} = 25 mm² (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$V_S = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{s} = \frac{100{,}50 \cdot 400 \cdot 347}{100} = 139494$ N

$\emptyset V_S$ = 0,75 × 139494 = 104620,5 N

Untuk jarak 100 cm dari muka (daerah lapangan):

$V_{u2} = \frac{Vu\ (½\ Ln - 100)}{½\ Ln} = \frac{43887{,}55\ (½\ .\ (400 - 20 - 15) - 100)}{½\ .\ (400 - 20 - 15)} = 31863{,}57$ N

$V_{u2} \leq ½\ .\ \emptyset V_C = 31863{,}57$ N $\leq 41149{,}14$ N, Maka termasuk ke dalam kategori desain ke-1 (tanpa syarat tulangan)

Rencana menggunakan tulangan Ø8 – 200 mm

$Av_{\ min} = \frac{bw\ .\ s}{3\ .\ fy} = \frac{300\ .\ 200}{3\ .\ 400} = 50$ mm²

Dipakai sengkang 2 kaki Ø8 mm dengan Av = 100,50 mm² > $Av_{\ min}$ = 50 mm² (OK)

Gaya geser perlawanan sengkang:

$V_S = \frac{Av\ .\ fy\ .\ d}{s} = \frac{100{,}50\ .\ 400\ .\ 347}{200} = 69747$ N

$\emptyset V_S = 0{,}75 \times 69747 = 52310{,}25$ N > min.Ø $V_S = 20820$ N (OK)

Maka, dipakai tulangan sengkang **Ø8 – 100 – 200** mm.