

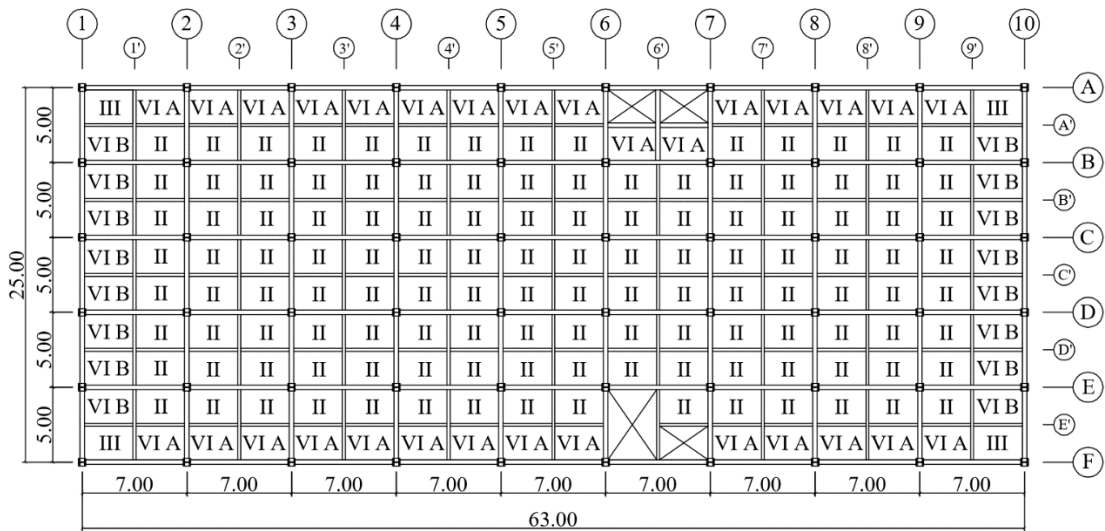
BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

Perencanaan struktur sekunder direncanakan untuk menerima beban gravitasi saja dan tidak direncanakan untuk menahan beban lateral akibat gempa karena beban gempa akan dibebankan pada elemen struktur primer. Maka dari itu, struktur sekunder diperbolehkan untuk mengalami kegagalan karena hanya berperan sebagai penahan beban yang akan diteruskan pada struktur primer. Struktur sekunder pada perencanaan gedung perkantoran ini meliputi plat atap, plat lantai, balok anak atap komposit, balok anak lantai komposit, perencanaan tangga, dan balok penggantung mesin *lift*.

5.1 Perencanaan Plat

5.1.1 Perencanaan Plat Atap



Gambar 5. 1 Denah Plat Atap dan Tipe Plat

Tebal plat atap dan mutu bahan konstruksi :

Tebal plat atap rencana (h) = 12 cm

Mutu beton (fc) = 35 MPa

Mutu baja = BJ 41, Fy = 250 MPa

Hasil pembebanan untuk plat atap yang diperoleh dari *preliminary design* adalah sebagai berikut:

$$\text{Beban mati (qD)} = 423 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup (qL)} = 470 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban air hujan (R)} = 24,5 \text{ kg/m}^2$$

Beban ultimate (qU) (SNI 2847-2019 Pasal 5.3.1)

$$qU = 1,2D + 1,6L + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$= 1,2 (423) + 1,6 (470) + 0,5 (24,5)$$

$$= 1271,85 \text{ kg/m}^2$$

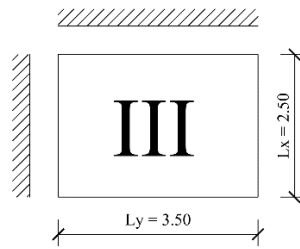
Perhitungan Momen Plat Atap

Perhitungan momen plat atap diasumsikan bahwa plat yang telah direncanakan akan mengalami pelendutan jika terbebani, maka plat direncanakan dengan perletakan jepit penuh.

Tabel 5. 1 Perhitungan Momen pada Plat Atap

Tipe Plat	Ukuran Plat (m)	ly/lx	Keterangan	Mlx (kgm)	Mly (kgm)	Mtx (kgm)	Mty (kgm)
II	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	270,2681	143,0831	-580,282	-453,097
III	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	357,7078	206,6756	-779,008	-612,078
VI A	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	317,9625	214,6247	-707,467	-588,231
VI B	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	286,1663	135,1341	-612,078	-461,046

Dari tabel 5.1 Perhitungan momen pada plat atap didapat nilai momen yang paling besar adalah pada tipe plat III yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan perencanaan plat atap.



Gambar 5. 2 Plat Atap Tipe III

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

Perhitungan nilai momen dengan rumusan berdasarkan Tabel PBI 1971 Tabel 13.3.2 untuk plat tipe III :

$$\begin{aligned} M_{lx} &= +0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1271,85 \times 2,5^2 \times 45 &= 357,71 \text{ kgm} \\ M_{ly} &= +0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1271,85 \times 2,5^2 \times 26 &= 206,68 \text{ kgm} \\ M_{tx} &= -0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1271,85 \times 2,5^2 \times 98 &= -779,01 \text{ kgm} \\ M_{ty} &= -0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1271,85 \times 2,5^2 \times 77 &= -612,08 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diambil momen terbesar:

$$\text{Arah X, } M_u = M_{tx} = 779,01 \text{ kgm}$$

$$\text{Arah Y, } M_u = M_{ty} = 612,08 \text{ kgm}$$

Syarat Batas Penulangan Plat Atap

Dikarenakan f_c yang digunakan antara 28 MPa – 55 MPa, maka nilai β (Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.2.2.4.3)

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

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c \times \beta}{F_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{250} \left(\frac{600}{600 + 250} \right) = 0,0672$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0672 = 0,0504$$

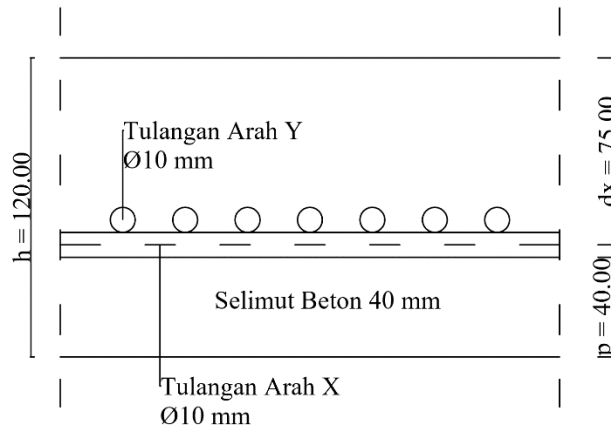
$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{250} = 0,0056$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times f_c} = \frac{250}{0,85 \times 35} = 8,40$$

Perhitungan Tulangan Arah X

Untuk konstruksi yang berhubungan dengan cuaca (atap) direncanakan :

- Selimut beton (p) = 40 mm (SNI 2847-2013 Pasal 7.7.1)
- Tulangan (Ø) = 10 mm
- Tebal plat (h) = 12 cm = 120 mm
- Dx = $h - p - \frac{1}{2} \text{Ø}_x = 120 - 40 - \frac{1}{2} (10) = 75 \text{ mm}$



Gambar 5. 3 Sket dx Tulangan Arah X Plat Atap

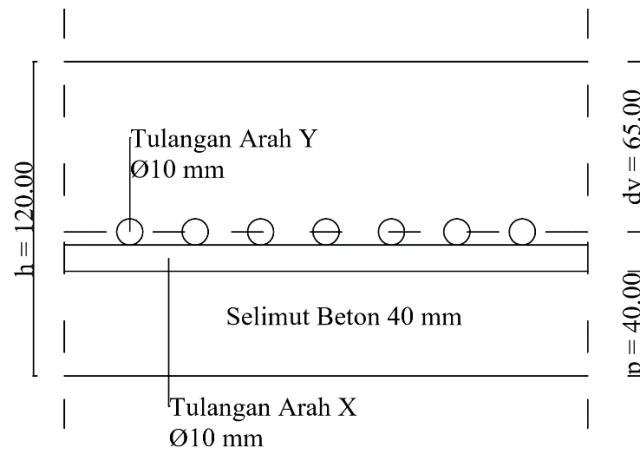
- $M_{tx} = -779,01 \text{ kgm}$
- Tahanan =
- $m = 8,40$
- $M_{nx} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{779,01}{0,8} = 973,76 \text{ kgm} = 9737600 \text{ Nmm}$
- $R_n = \frac{M_{nx}}{b \times dx^2} = \frac{9737600}{1000 \times 75^2} = 1,73 \text{ N/mm}^2$
- $\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) = \frac{1}{8,40} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,40 \times 1,73}{250}} \right)$
- $= 0,0071$
- $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0056 < 0,0071 < 0,0504$

- Tulangan yang dibutuhkan
- $A_s = \rho \times b \times dx = 0,0071 \times 1000 \times 75 = 532,5 \text{ mm}^2$
- Dipakai Ø10 mm – 125 ($A_s = 628 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 532,5 \text{ mm}^2$)
- Tulangan susut
- $A_s \text{ susut} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$
- Dipakai Ø10 mm – 250 ($A_s = 314,0 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2$)

Perhitungan Tulangan Arah Y

Untuk konstruksi yang berhubungan dengan cuaca (atap) digunakan:

- Selimut beton = 40 mm (SNI 2847-2013 Pasal 7.7.1)
- Tulangan (\emptyset) = 10 mm
- Tebal plat (h) = 12 cm = 120 mm
- D_y = $h - p - \frac{1}{2} \emptyset_y - \emptyset_x = 120 - 40 - \frac{1}{2} (10) - 10 = 65 \text{ mm}$



Gambar 5. 4 Sket d_y Tulangan Arah Y Plat Atap

- $M_{ty} = -612,08 \text{ kgm}$
- Tahanan =
 $m = 8,40$
 $M_{ny} = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{612,08}{0,8} = 765,1 \text{ kgm} = 7651000 \text{ Nmm}$
 $R_n = \frac{M_{nx}}{b \times d_x^2} = \frac{7651000}{1000 \times 65^2} = 1,81 \text{ N/mm}^2$
 $\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) = \frac{1}{8,40} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,40 \times 1,81}{250}} \right)$
 $= 0,0075$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0056 < 0,0075 < 0,0504$$

- Tulangan yang dibutuhkan
 $A_s = \rho \times b \times d_x = 0,0075 \times 1000 \times 65 = 487,5 \text{ mm}^2$
Dipakai $\emptyset 10 \text{ mm} - 125$ ($A_s = 628 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 420 \text{ mm}^2$)

- Tulangan susut

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

$$\text{Dipakai } \emptyset 10 \text{ mm} - 250 (As = 314,0 \text{ mm}^2 > As_{\text{perlu}} = 240 \text{ mm}^2)$$

Kontrol Kekuatan Pada Plat

1. Tulangan Arah X

$$\rho = \frac{As_{\text{pakai}}}{b \times dx} = \frac{628}{1000 \times 75} = 0,0084$$

$$\alpha = \frac{As \times Fy}{0,85 \times fc \times b} = \frac{628 \times 250}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,28$$

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times (dx - \frac{a}{2}) = 628 \times 250 \times (75 - \frac{5,28}{2}) \\ &= 11360520 \text{ Nmm} > Mnx = 9737600 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3x \text{ tebal plat}$$

$$125 \text{ mm} \leq 3 \times 120 \text{ mm}$$

$$125 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm}$$

OK

Tulangan susut :

$$\begin{aligned} Ass &= \frac{1}{4} \times \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \times \frac{1000}{250} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 > Ass_{\text{perlu}} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

2. Tulangan Arah Y

$$\rho = \frac{As_{\text{pakai}}}{b \times dx} = \frac{628}{1000 \times 65} = 0,0097$$

$$\alpha = \frac{As \times Fy}{0,85 \times fc \times b} = \frac{628 \times 250}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,28$$

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times (dx - \frac{a}{2}) = 628 \times 250 \times (65 - \frac{5,28}{2}) \\ &= 9790520 \text{ Nmm} > Mny = 7651000 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan} \leq 3x \text{ tebal plat}$$

$$125 \text{ mm} \leq 3 \times 120 \text{ mm}$$

$$125 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm}$$

OK

Tulangan susut :

$$\begin{aligned} \text{Ass} &= \frac{1}{4} \times \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \times \frac{1000}{250} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 > \text{Ass perlu} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Retak

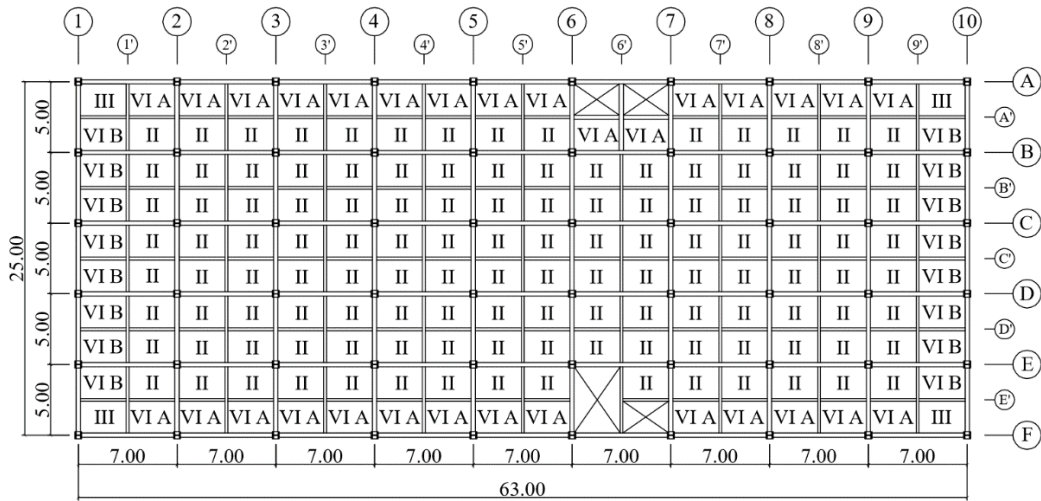
1. Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} Z &= fs \sqrt[3]{dc \times A} < 25 \text{ MN/m} \\ fs &= 60\% \times Fy = 60\% \times 250 = 150 \text{ MPa} \\ dc &= p + \frac{1}{2} \emptyset = 40 + \frac{1}{2} (10) = 45 \text{ mm} \\ A &= 2 \times dc \times s = 2 \times 45 \times 125 = 11250 \text{ mm}^2 \\ Z &= 150 \sqrt[3]{45 \times 112500} = 11954,91 \text{ Nmm} = 11,95 \text{ MN/m} \\ Z &= 11,95 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

2. Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned} Z &= fs \sqrt[3]{dc \times A} < 25 \text{ MN/m} \\ fs &= 60\% \times Fy = 60\% \times 250 = 150 \text{ MPa} \\ dc &= p + \frac{1}{2} \emptyset = 40 + \frac{1}{2} (10) = 45 \text{ mm} \\ A &= 2 \times dc \times s = 2 \times 45 \times 125 = 11250 \text{ mm}^2 \\ Z &= 150 \sqrt[3]{45 \times 112500} = 11954,91 \text{ Nmm} = 11,95 \text{ MN/m} \\ Z &= 11,95 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

5.1.2 Perencanaan Plat Lantai



Gambar 5. 5 Denah Plat Lantai dan Tipe Plat

Tebal plat lantai dan mutu bahan konstruksi :

Tebal plat lantai rencana (h) = 12 cm

Mutu beton (fc) = 35 MPa

Mutu baja = BJ 41, Fy = 250 MPa

Hasil pembebanan untuk plat atap yang diperoleh dari *preliminary design* adalah sebagai berikut:

Beban mati (qD) = 532 kg/m²

Beban hidup (qL) = 479 kg/m²

Beban ultimate (qU) (SNI 2847-2019 Pasal 5.3.1)

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

$$= 1,2 (532) + 1,6 (479)$$

$$= 1404,8 \text{ kg/m}^2$$

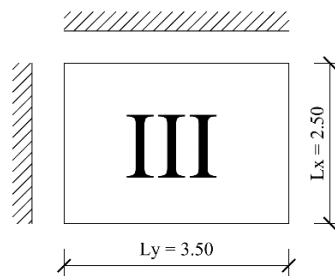
Perhitungan Momen Plat Lantai

Perhitungan momen plat lantai diasumsikan bahwa plat yang telah direncanakan akan mengalami pelendutan jika terbebani, maka plat direncanakan dengan perletakan jepit penuh.

Tabel 5. 2 Perhitungan Momen pada Plat Lantai

Tipe Plat	Ukuran Plat (m)	ly/lx	Keterangan	Mlx (kgm)	Mly (kgm)	Mtx (kgm)	Mty (kgm)
II	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	298,520	158,040	-640,940	-500,460
III	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	395,100	228,280	-860,440	-676,060
VI A	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	351,200	237,060	-781,420	-649,720
VI B	3,5 x 2,5	1,4	Two way slab	316,080	149,260	-676,060	-509,240

Dari tabel 5.2 Perhitungan momen pada plat lantai didapat nilai momen yang paling besar adalah pada tipe plat III yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan perencanaan plat lantai.



Gambar 5. 6 Plat Lantai Tipe III

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

Perhitungan nilai momen dengan rumusan berdasarkan Tabel PBI 1971 Tabel 13.3.2 untuk plat tipe III :

$$M_{lx} = +0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1560,80 \times 2,5^2 \times 45 = 395,100 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = +0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1560,80 \times 2,5^2 \times 26 = 228,280 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = -0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1560,80 \times 2,5^2 \times 98 = -860.440 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times q \times l_x^2 \times C = +0,001 \times 1560,80 \times 2,5^2 \times 77 = -676.060 \text{ kgm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diambil momen terbesar:

$$\text{Arah X, } M_u = M_{tx} = 860,440 \text{ kgm}$$

$$\text{Arah Y, } M_u = M_{ty} = 676,060 \text{ kgm}$$

Syarat Batas Penulangan Plat Lantai

Dikarenakan f_c yang digunakan antara 28 MPa – 55 MPa, maka nilai β (Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.2.2.4.3)

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

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f_c \times \beta}{F_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) = \frac{0,85 \times 35 \times 0,8}{250} \left(\frac{600}{600 + 250} \right) = 0,0672$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,75 \times 0,0672 = 0,0504$$

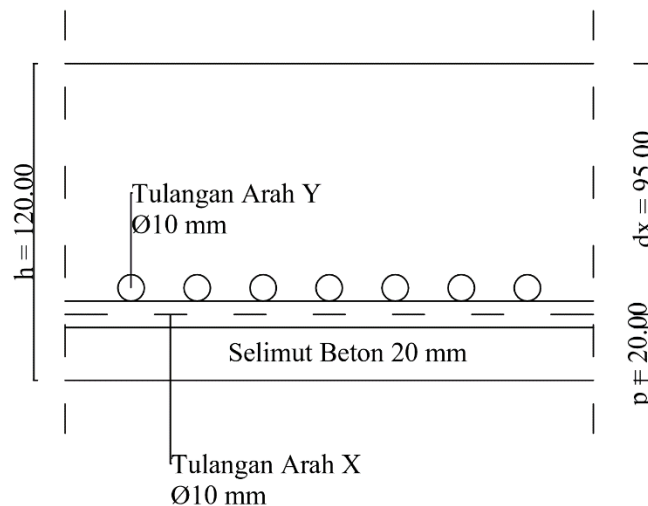
$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{250} = 0,0056$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times f_c} = \frac{250}{0,85 \times 35} = 8,40$$

Perhitungan Tulangan Arah X

Untuk konstruksi plat lantai direncanakan :

- Selimut beton (p) = 20 mm (SNI 2847-2013 Pasal 7.7.1)
- Tulangan (\emptyset) = 10 mm
- Tebal plat (h) = 12 cm = 120 mm
- D_x = $h - p - \frac{1}{2} \emptyset_x = 120 - 20 - \frac{1}{2} (10) = 95$ mm



Gambar 5. 7 Sket d_x Tulangan Arah X Plat Lantai

- M_{tx} = 860,440 kgm
- Tahanan =
- m = 8,40

$$M_{nx} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{860,440}{0,8} = 1075,55 \text{ kgm} = 10755500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_{nx}}{b \times d x^2} = \frac{10755500}{1000 \times 95^2} = 1,19 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) = \frac{1}{8,40} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,40 \times 1,19}{250}} \right) = 0,0048$$

$$\rho < \rho_{\min} = 0,0048 < 0,0056$$

Maka digunakan nilai ρ_{\min} untuk perhitungan selanjutnya

- Tulangan yang dibutuhkan

$$A_s = \rho \times b \times d x = 0,0056 \times 1000 \times 95 = 532 \text{ mm}^2$$

Dipakai $\emptyset 10 \text{ mm} - 125$ ($A_s = 628 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 532 \text{ mm}^2$)

- Tulangan susut

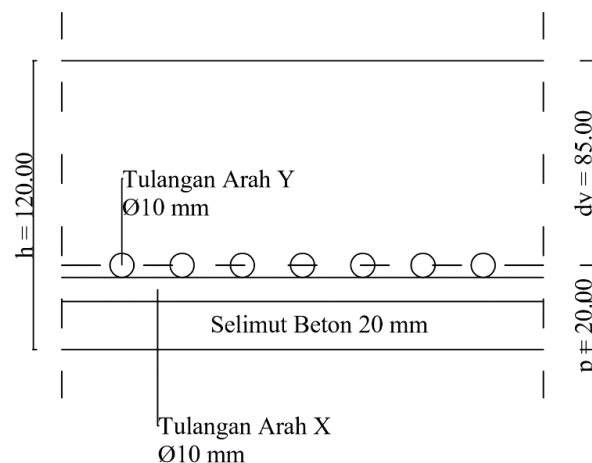
$$A_s \text{ susut} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

Dipakai $\emptyset 10 \text{ mm} - 250$ ($A_s = 314,0 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2$)

Perhitungan Tulangan Arah Y

Untuk konstruksi yang berhubungan dengan cuaca (atap) digunakan:

- Selimut beton = 20 mm (SNI 2847-2013 Pasal 7.7.1)
- Tulangan (\emptyset) = 10 mm
- Tebal plat (h) = 12 cm = 120 mm
- D_x = $h - p - \frac{1}{2} \emptyset y - \emptyset x = 120 - 20 - \frac{1}{2} (10) - 10 = 85 \text{ mm}$



Gambar 5. 8 Sket dy Tulangan Arah Y Plat Lantai

- $M_{ty} = 676,060 \text{ kgm}$
- Tahanan $m = 8,40$
- $M_{ny} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{676,060}{0,8} = 845,10 \text{ kgm} = 8451000 \text{ Nmm}$
- $R_n = \frac{M_{nx}}{b \times dx^2} = \frac{8451000}{1000 \times 85^2} = 1,17 \text{ N/mm}^2$
- $\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{F_y}} \right) = \frac{1}{8,40} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,40 \times 1,17}{250}} \right)$
- $= 0,0048$

$\rho < \rho_{\min} = 0,0048 < 0,0056$

Maka digunakan nilai ρ_{\min} untuk perhitungan selanjutnya

- Tulangan yang dibutuhkan

$A_s = \rho \times b \times dx = 0,0056 \times 1000 \times 85 = 476 \text{ mm}^2$

Dipakai $\text{Ø}10 \text{ mm} - 125 (A_s = 628 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 476 \text{ mm}^2)$

- Tulangan susut

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

Dipakai $\text{Ø}10 \text{ mm} - 250 (A_s = 314,0 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2)$

Kontrol Kekuatan Pada Plat

1. Tulangan Arah X

$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{628}{1000 \times 95} = 0,0066$

$\alpha = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{628 \times 250}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,28$

$M_n = A_s \times F_y \times \left(dx - \frac{\alpha}{2} \right) = 628 \times 250 \times \left(95 - \frac{5,28}{2} \right)$
 $= 14500520 \text{ Nmm} > M_{nx} = 10755500 \text{ Nmm (OK)}$

Jarak tulangan $\leq 3x$ tebal plat

125 mm $\leq 3 \times 120 \text{ mm}$

125 mm $\leq 360 \text{ mm}$

OK

Tulangan susut :

$$\begin{aligned} A_{ss} &= \frac{1}{4} \times \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \times \frac{1000}{250} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 > A_{ss} \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

2. Tulangan Arah Y

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times dx} = \frac{628}{1000 \times 85} = 0,0074$$

$$\alpha = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{628 \times 250}{0,85 \times 35 \times 1000} = 5,28$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(dx - \frac{a}{2}\right) = 628 \times 250 \times \left(85 - \frac{5,28}{2}\right) \\ &= 12930520 \text{ Nmm} > M_{ny} = 8451000 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

Jarak tulangan \leq 3x tebal plat

125 mm \leq 3 x 120 mm

125 mm \leq 360 mm

OK

Tulangan susut :

$$\begin{aligned} A_{ss} &= \frac{1}{4} \times \emptyset^2 \times \pi \times \frac{b}{s} = \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \times \frac{1000}{250} \\ &= 314,16 \text{ mm}^2 > A_{ss} \text{ perlu} = 240 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol Retak

1. Tulangan Arah X

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

$$f_s = 60\% \times F_y = 60\% \times 250 = 150 \text{ MPa}$$

$$dc = p + \frac{1}{2} \emptyset = 20 + \frac{1}{2} (10) = 25 \text{ mm}$$

$$A = 2 \times dc \times s = 2 \times 25 \times 125 = 6250 \text{ mm}^2$$

$$Z = 150 \sqrt[3]{25 \times 6250} = 8079,13 \text{ Nmm} = 8,08 \text{ MN/m}$$

$$Z = 8,08 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \quad \text{(OK)}$$

2. Tulangan Arah Y

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

$$\begin{aligned}
f_s &= 60\% \times F_y = 60\% \times 250 = 150 \text{ MPa} \\
d_c &= p + \frac{1}{2} \varnothing = 20 + \frac{1}{2} (10) = 25 \text{ mm} \\
A &= 2 \times d_c \times s = 2 \times 25 \times 125 = 6250 \text{ mm}^2 \\
Z &= 150 \sqrt[3]{25 \times 6250} = 8079,13 \text{ Nmm} = 8,08 \text{ MN/m} \\
Z &= 8,08 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \quad (\text{OK})
\end{aligned}$$

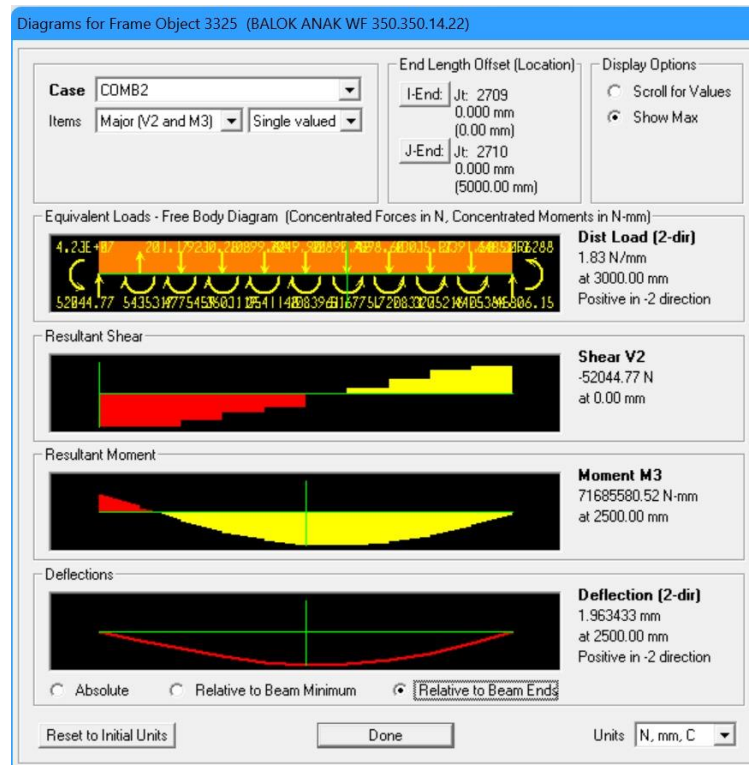
5.2 Perencanaan Balok Anak

5.2.1 Perencanaan Balok Anak Atap As 1' (A-B)

Direncanakan balok anak atap menggunakan profil WF 350.350.14.22 dengan spesifikasi berikut:

Berat Profil, W	= 159 kg/m	
Lebar Sayap, bf	= 352 mm	
Tinggi Profil, d	= 356 mm	
Momen Inersia, I _x	= 47600 cm ⁴ x 10000	= 476000000 mm ⁴
Momen Inersia, I _y	= 16000 cm ⁴ x 10000	= 160000000 mm ²
Jari-jari kelembaman arah x, r _x	= 15,3 cm x 10	= 153 mm
Jari-jari kelembaman arah y, r _y	= 8,90 cm x 10	= 89 mm
Z _x x ξ	= 2670 cm ³ x 1000 x (1,5)	= 4005000 mm ³
Z _y x ξ	= 909 cm ³ x 1000 x (1,5)	= 1363500 mm ³

Untuk mendapatkan nilai gaya dalam yang terjadi pada balok anak atap maka dilakukan analisa struktur 3D dengan menggunakan bantuan program SAP2000 v.14 dengan input beban pada struktur. Didapatkan hasil gaya dalam pada balok anak atap pada gambar



Gambar 5. 9 Output SAP2000 v.14 pada Balok Anak Atap

Berdasarkan Output SAP2000 v.14 pada balok anak atap diperoleh:

$$M_u = 71685580,52 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 52044,77 \text{ N}$$

$$\delta = 1,96 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan pada peraturan SNI 1729-2020 Tabel B4.1b

Sayap penampang :

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{352}{2 \times 22} = 8 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (penampang kompak)

Badan penampang :

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 356 - 2 \times (20 + 22) = 272 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{272}{14} = 19,43 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (Penampang kompak)

Batasan Bentang Pengaku Lateral

Rencana pasang pengaku lateral pada balok anak setiap jarak 2,5 m, $L = 2,5$ m

Batas maksimum jarak pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 89 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 4430,45 \text{ mm} = 4,4 \text{ m}$$

Karena $L = 2,5 \text{ m} < L_p = 4,4 \text{ m}$ maka termasuk bentak pendek

Periksa Kuat Lentur Nominal

Pada kontrol kelangsingan penampang, profil balok termasuk kategori penampang kompak dan pada kontrol hasil jarak pengaku lateral diperoleh hasil balok bentang pendek, maka kuat lentur nominal M_n balok anak atap adalah:

$$M_{nx} = M_{px}$$

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 4005000 \times 250 = 1001250000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = 0,9 \times 1001250000 = 901125000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} \text{ profil} = 901125000 \text{ Nmm} > M_{ux} \text{ beban} = 71685580,52 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol Geser

Berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 bab G2.1 perumusan untuk kuat geser nominal adalah:

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

Untuk semua komponen struktur profil I lain dan kanal dan balok dianggap tanpa pengaku transversal, maka $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{K_v \times \frac{E}{F_y}} \right)$$

$$\frac{272}{14} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$19,43 \leq 71,90$$

Nilai C_{v1} diperoleh = 1,0

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \\ &= 0,6 \times 250 \times (356 \times 14) \times 1,0 \\ &= 747600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\emptyset \times V_n = 0,9 \times 747600 = 672840 \text{ N}$$

$$\text{Syarat} = \emptyset \times V_n > V_{ux}$$

$$V_{ux} \text{ profil} = 672840 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 52044,77 \text{ N (OK)}$$

Maka profil WF 350.350.14.22 mampu untuk menahan momen dan geser dan dapat digunakan sebagai balok anak atap.

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar:

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{5000}{360} = 13,89 \text{ mm}$$

Nilai defleksi atau lendutan yang terjadi pada balok anak atap dengan dimensi WF 350.350.14.22 didapat 1,96 mm, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 13,89 \text{ mm} > 1,96 \text{ mm (OK)}$$

Maka lendutan yang terjadi pada profil WF 350.350.14.22 telah memenuhi persyaratan untuk defleksi sehingga profil dapat digunakan sebagai balok anak atap.

Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral penampang komposit diuraikan pada Tabel 5.3 dan terlihat seperti Gambar 5.10

Menentukan nilai rasio modulus elastis, n dengan mutu beton $f_c = 35 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} E_{\text{beton}} &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{35} \\ &= 27805,58 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200000}{27805,58} = 7,19 \sim 7$$

Menghitung lebar efektif b_e untuk balok anak interior:

$$L = 5000 \text{ mm}$$

$$b_o = \text{jarak antara balok induk} = 2500 \text{ mm}$$

$$be = \frac{1}{8} \times L = \frac{1}{8} \times 5000 = 625 \text{ mm}$$

$$be = \frac{bo}{2} = \frac{2500}{2} = 1250 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai terkecil dari lebar efektif, $be = 625 \text{ mm}$

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{be}{n} = \frac{625}{7} = 89,3 \text{ mm}$$

Tabel 5. 3 Penentuan Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Atap

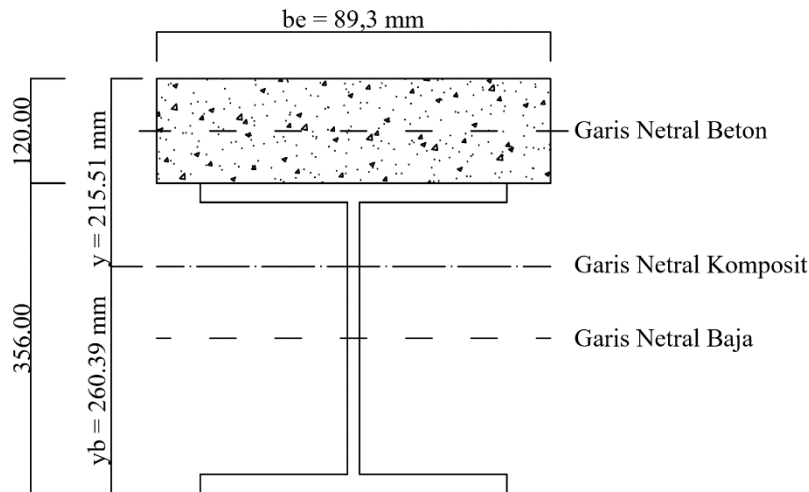
	Luas Transformasi (A mm ²)	Lengan Momen y (mm)	A x y (mm ³)
Plat Beton	$A_c = \frac{(625 \times 120)}{7} = 10714,3$	$\frac{120}{2} = 60$	642858
Pofil Baja WF	20200	$120 + \frac{356}{2} = 298$	6019600
Σ	30914,3		6662458

Maka letak garis netral penampang:

$$y = \frac{\Sigma A \times y}{\Sigma A} = \frac{6662458}{30914,3} = 215,51 \text{ mm} > \frac{tp}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm (OK) garis netral pada penampang baja}$$

Menentukan momen inersia komposit, Itr:

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_{\text{profil}} + A_{\text{profil}} \times \left(\frac{h_{\text{profil}}}{2} + tp - y \right)^2 + I_{\text{beton}} + A_{\text{beton}} \times \left(y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\ &= 476000000 + 20200 \times \left(\frac{356}{2} + 120 - 215,51 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \times 89,3 \times 120^3 \right) + 10714,3 \times \\ &\quad \left(215,51 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 885419897,14 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 5. 10 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Atap

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut:

Modulus penampang beton:

$$Wc \text{ atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{885419897,14}{215,51} = 4108486,37 \text{ mm}^3$$

$$Wc \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y - \frac{tp}{2}} = \frac{885419897,14}{215,51 - \frac{120}{2}} = 5693652,48 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja:

$$Ws \text{ atas} = Wc \text{ bawah penampang beton} = 5693652,48 \text{ mm}^3$$

$$Ws \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{885419897,14}{260,39} = 3400360,60 \text{ mm}^3$$

Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton:

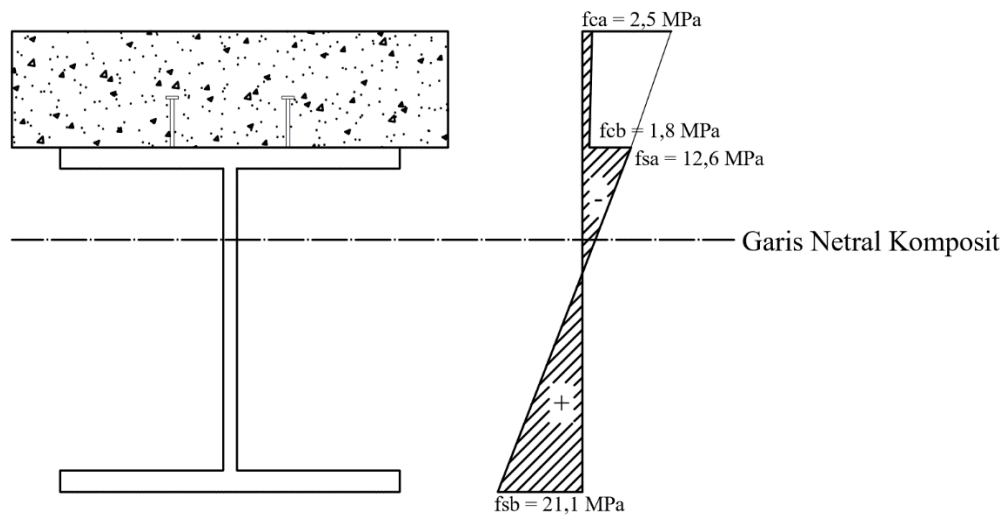
$$f_{ca} = \frac{M_{maks}}{n \times Wc \text{ atas}} = \frac{71685580,52}{7 \times 4108486,37} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$f_{cb} = \frac{M_{maks}}{n \times Wc \text{ bawah}} = \frac{71685580,52}{7 \times 5693652,48} = 1,8 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja:

$$f_{sa} = \frac{M_{maks}}{Ws \text{ atas}} = \frac{71685580,52}{5693652,48} = 12,6 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{maks}}{Ws \text{ bawah}} = \frac{71685580,52}{3400360,60} = 21,1 \text{ MPa}$$



Gambar 5. 11 Diagram Tegangan Komposit Balok Anak Atap

Periksa Kekuatan Lentur Nominal (M_n)

Menentukan gaya tekan beton C:

Keseimbangan gaya $C = T$

$$T = A_s \times F_y$$

$$\text{Maka, } C = T = A_s \times F_y = 20200 \times 250 = 7070000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \times A_c \times f_c = 0,85 \times (625 \times 120) \times 35 = 2231250 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang terkecil, $C = 2231250 \text{ N}$

Menentukan sumbu netral a:

Asumsi a berada di plat beton, sehingga:

$$a = \frac{C}{0,85 \times f_c \times b_e} = \frac{2231250}{0,85 \times 35 \times 625} = 120 \text{ mm} = t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada plat beton

Lengan momen dikopel C (gaya tekan resultan beton) dan T (gaya tarik resultan baja)

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{356}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 238 \text{ mm}$$

Kuat lentur nominal:

$$M_n = C \times y = T \times y = 2231250 \times 238 = 531037500 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,85 \times 531037500 = 451381875 \text{ Nmm}$$

Syarat : $M_u = 451381875 \text{ Nmm} > M_u \text{ beban bekerja} = 71685580,52 \text{ Nmm (OK)}$

Menentukan *Shear Connector*

Rencana menggunakan *shear connector* dengan tipe stud ½" x 5 cm dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton $f_c = 35$ MPa

Luas stud:

$$A_{sc} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2 = 126,68 \text{ mm}^2$$

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah stud:

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \times A_{sc} \sqrt{f_c \times E_c} \\ &= 0,5 \times 126,68 \sqrt{35 \times 27805,58} \\ &= 62485,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= A_{sc} \times F_u \\ &= 126,68 \times 410 \\ &= 51938,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Q_n = 62485,33 \text{ N} > Q_n = 51938,8 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai Q_n terkecil, didapat: 51938,8 N

Perhitungan jumlah stud yang dibutuhkan

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \times f_c \times a \times b_e = 0,85 \times 35 \times 120 \times 625 = 2231250 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{2231250}{51938,8} = 42,96 \sim 43 \text{ buah pada } \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

$$\text{Jarak longitudinal minimum, } S_{min} = 6d = 6 \times 12,7 = 76,2 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak longitudinal maksimum, } S_{maks} = 8t_p = 8 \times 120 = 960 \text{ mm}$$

$$\text{Arah transversal minimum} = 4d = 4 \times 12,7 = 50,8 \text{ mm}$$

Jumlah stud yang akan dipasang dalam 1 bentang adalah:

$$n = 43 \times 2 = 86 \text{ buah}$$

dengan jarak antar stud:

$$S = \frac{5000}{43} = 116,28 \text{ mm} \sim 117 \text{ mm}$$

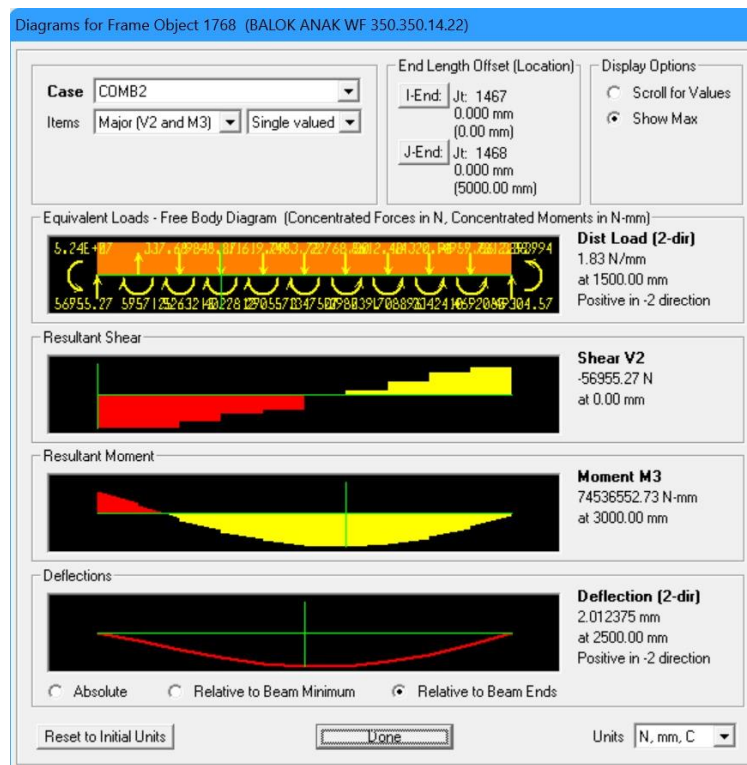
$$\text{Syarat : } S_{min} < S < S_{maks} = 76,2 < 117 \text{ mm} < 960 \text{ mm (OK)}$$

5.2.2 Perencanaan Balok Anak Lantai As 1' (A-B)

Direncanakan balok anak atap menggunakan profil WF 350.350.14.22 dengan spesifikasi berikut:

Berat Profil, W	= 159 kg/m	
Lebar Sayap, bf	= 352 mm	
Tinggi Profil, d	= 356 mm	
Momen Inersia, Ix	= 47600 cm ⁴ x 10000	= 476000000 mm ⁴
Momen Inersia, Iy	= 16000 cm ⁴ x 10000	= 160000000 mm ²
Jari-jari kelembaman arah x, rx	= 15,3 cm x 10	= 153 mm
Jari-jari kelembaman arah y, ry	= 8,90 cm x 10	= 89 mm
Zx x ξ	= 2670 cm ³ x 1000 x (1,5)	= 4005000 mm ³
Zy x ξ	= 909 cm ³ x 1000 x (1,5)	= 1363500 mm ³

Untuk mendapatkan nilai gaya dalam yang terjadi pada balok anak lantai maka dilakukan analisa struktur 3D dengan menggunakan bantuan program SAP2000 v.14 dengan input beban pada struktur. Didapatkan hasil gaya dalam pada balok anak lantai pada gambar



Gambar 5. 12 Output SAP2000 v.14 pada Balok Anak Lantai

Berdasarkan Output SAP2000 v.14 pada balok anak lantai diperoleh:

$$M_u = 74536552,73 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 56955,27 \text{ N}$$

$$\delta = 2,01 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan pada peraturan SNI 1729-2020 Tabel B4.1b

Sayap penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2 \times tf} = \frac{352}{2 \times 22} = 8 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (penampang kompak)

Badan penampang :

$$h = d - 2 \times (r + tf) = 356 - 2 \times (20 + 22) = 272 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{272}{14} = 19,43 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (Penampang kompak)

Batasan Bentang Pengaku Lateral

Rencana pasang pengaku lateral pada balok anak setiap jarak 2,5 m, $L = 2,5 \text{ m}$

Batas maksimum jarak pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 89 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 4430,45 \text{ mm} = 4,4 \text{ m}$$

Karena $L = 2,5 \text{ m} < L_p = 4,4 \text{ m}$ maka termasuk bentang pendek

Periksa Kuat Lentur Nominal

Pada kontrol kelangsingan penampang, profil balok termasuk kategori penampang kompak dan pada kontrol hasil jarak pengaku lateral diperoleh hasil balok bentang pendek, maka kuat lentur nominal M_n balok anak lantai adalah:

$$M_{nx} = M_{px}$$

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 4005000 \times 250 = 1001250000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = 0,9 \times 1001250000 = 901125000 \text{ Nmm}$$

Mux profil = 901125000 Nmm > Mux beban = 74536552,73 Nmm (OK)

Kontrol Geser

Berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 bab G2.1 perumusan untuk kuat geser nominal adalah:

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

Untuk semua komponen struktur profil I lain dan kanal dan balok dianggap tanpa pengaku transversal, maka $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{K_v \times \frac{E}{F_y}} \right)$$

$$\frac{272}{14} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$19,43 \leq 71,90$$

Nilai C_{v1} diperoleh = 1,0

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \\ &= 0,6 \times 250 \times (356 \times 14) \times 1,0 \\ &= 747600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi \times V_n = 0,9 \times 747600 = 672840 \text{ N}$$

$$\text{Syarat} = \phi \times V_n > V_{ux}$$

$$V_{ux} \text{ profil} = 672840 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 56955,27 \text{ N (OK)}$$

Maka profil WF 350.350.14.22 mampu untuk menahan momen dan geser dan dapat digunakan sebagai balok anak lantai.

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar:

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{5000}{360} = 13,89 \text{ mm}$$

Nilai defleksi atau lendutan yang terjadi pada balok anak lantai dengan dimensi WF 350.350.14.22 didapat 2,01 mm, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 13,89 \text{ mm} > 2,01 \text{ mm (OK)}$$

Maka lendutan yang terjadi pada profil WF 350.350.14.22 telah memenuhi persyaratan untuk defleksi sehingga profil dapat digunakan sebagai balok anak lantai.

Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral penampang komposit diuraikan pada Tabel 5.3 dan terlihat seperti Gambar 5.10

Menentukan nilai rasio modulus elastis, n dengan mutu beton $f_c = 35$ MPa

$$\begin{aligned} E_{\text{beton}} &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{35} \\ &= 27805,58 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E_{\text{baja}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{200000}{27805,58} = 7,19 \sim 7$$

Menghitung lebar efektif b_e untuk balok anak interior:

$$L = 5000 \text{ mm}$$

$$b_o = \text{jarak antara balok induk} = 2500 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{1}{8} \times L = \frac{1}{8} \times 5000 = 625 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{b_o}{2} = \frac{2500}{2} = 1250 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai terkecil dari lebar efektif, $b_e = 625$ mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{b_e}{n} = \frac{625}{7} = 89,3 \text{ mm}$$

Tabel 5. 4 Penentuan Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Lantai

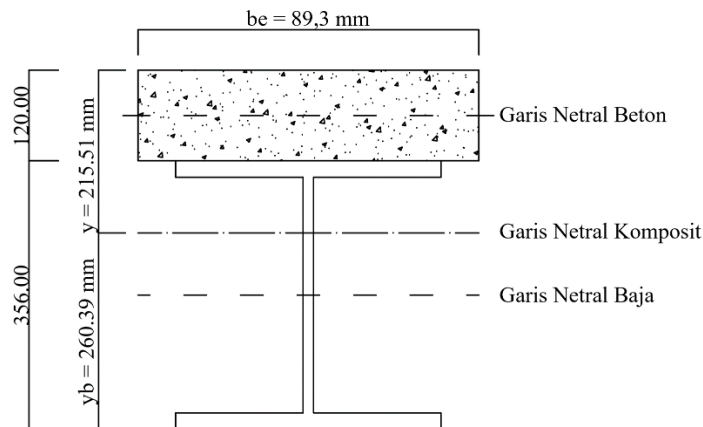
	Luas Transformasi ($A \text{ mm}^2$)	Lengan Momen y (mm)	$A \times y$ (mm^3)
Plat Beton	$A_c = \frac{(625 \times 120)}{7} = 10714,3$	$\frac{120}{2} = 60$	642858
Pofil Baja WF	20200	$120 + \frac{356}{2} = 298$	6019600
Σ	30914,3		6662458

Maka letak garis netral penampang:

$$y = \frac{\Sigma A \times y}{\Sigma A} = \frac{6662458}{30914,3} = 215,51 \text{ mm} > \frac{tp}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm (OK) garis netral pada penampang baja}$$

Menentukan momen inersia komposit, Itr:

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_{\text{profil}} + A_{\text{profil}} \times \left(\frac{h_{\text{profil}}}{2} + tp - y \right)^2 + I_{\text{beton}} + A_{\text{beton}} \times \left(y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\ &= 476000000 + 20200 \times \left(\frac{356}{2} + 120 - 215,51 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \times 89,3 \times 120^3 \right) + 10714,3 \times \\ &\quad \left(215,51 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 885419897,14 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 5. 13 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Lantai

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut:

Modulus penampang beton:

$$W_c \text{ atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{885419897,14}{215,51} = 4108486,37 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y - \frac{tp}{2}} = \frac{885419897,14}{215,51 - \frac{120}{2}} = 5693652,48 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja:

$$W_s \text{ atas} = W_c \text{ bawah penampang beton} = 5693652,48 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{885419897,14}{260,39} = 3400360,60 \text{ mm}^3$$

Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton:

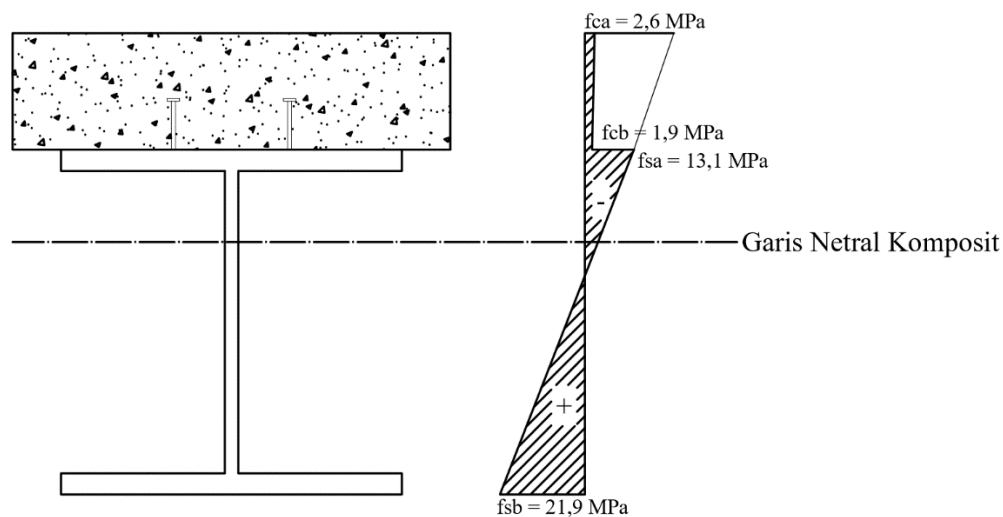
$$f_{ca} = \frac{M_{maks}}{n \times W_c \text{ atas}} = \frac{74536552,73}{7 \times 4108486,37} = 2,6 \text{ MPa}$$

$$f_{cb} = \frac{M_{maks}}{n \times W_c \text{ bawah}} = \frac{74536552,73}{7 \times 5693652,48} = 1,9 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja:

$$f_{sa} = \frac{M_{maks}}{W_s \text{ atas}} = \frac{74536552,73}{5693652,48} = 13,1 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{maks}}{W_s \text{ bawah}} = \frac{74536552,73}{3400360,60} = 21,9 \text{ MPa}$$



Gambar 5. 14 Diagram Tegangan Komposit Balok Anak Lantai

Periksa Kekuatan Lentur Nominal (M_n)

Menentukan gaya tekan beton C:

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \times F_y$$

$$\text{Maka, } C = T = A_s \times F_y = 20200 \times 250 = 7070000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \times A_c \times f_c = 0,85 \times (625 \times 120) \times 35 = 2231250 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang terkecil, C = 2231250 N

Menentukan sumbu netral a:

Asumsi a berada di plat beton, sehingga:

$$a = \frac{C}{0,85 \times f_c \times b_e} = \frac{2231250}{0,85 \times 35 \times 625} = 120 \text{ mm} = t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada plat beton

Lengan momen dikopel C (gaya tekan resultan beton) dan T (gaya tarik resultan baja)

$$y = \frac{d}{2} + tp - \frac{a}{2} = \frac{356}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 238 \text{ mm}$$

Kuat lentur nominal:

$$M_n = C \times y = T \times y = 2231250 \times 238 = 531037500 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,85 \times 531037500 = 451381875 \text{ Nmm}$$

Syarat : $M_u = 451381875 \text{ Nmm} > M_u \text{ beban bekerja} = 74536552,73 \text{ Nmm (OK)}$

Menentukan *Shear Connector*

Rencana menggunakan *shear connector* dengan tipe stud ½" x 5 cm dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton $f_c = 35 \text{ MPa}$

Luas stud:

$$A_{sc} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12,7^2 = 126,68 \text{ mm}^2$$

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah stud:

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \times A_{sc} \sqrt{f_c \times E_c} \\ &= 0,5 \times 126,68 \sqrt{35 \times 27805,58} \\ &= 62485,33 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= A_{sc} \times F_u \\ &= 126,68 \times 410 \\ &= 51938,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Q_n = 62485,33 \text{ N} > Q_n = 51938,8 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai Q_n terkecil, didapat: 51938,8 N

Perhitungan jumlah stud yang dibutuhkan

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \times f_c \times a \times b_e = 0,85 \times 35 \times 120 \times 625 = 2231250 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{2231250}{51938,8} = 42,96 \sim 43 \text{ buah pada } \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

$$\text{Jarak longitudinal minimum, } S_{min} = 6d = 6 \times 12,7 = 76,2 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak longitudinal maksimum, } S_{maks} = 8tp = 8 \times 120 = 960 \text{ mm}$$

$$\text{Arah transversal minimum} = 4d = 4 \times 12,7 = 50,8 \text{ mm}$$

Jumlah stud yang akan dipasang dalam 1 bentang adalah:

$$n = 43 \times 2 = 86 \text{ buah}$$

dengan jarak antar stud:

$$S = \frac{5000}{43} = 116,28 \text{ mm} \sim 117 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } S_{\min} < S < S_{\max} = 76,2 < 117 \text{ mm} < 960 \text{ mm (OK)}$$

5.3 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga menggunakan struktur baja, dan denah tangga dapat dilihat pada gambar 5.15 dan gambar potongan tangga pada gambar 5.16

Data perencanaan tangga:

$$\text{Tinggi tangga} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Bordes} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Injakan} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi injakan} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Jumlah injakan} = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{tinggi injakan}} = \frac{200}{20} = 10 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah injakan (n)} = 10 - 1 = 9 \text{ buah}$$

$$\text{Kemiringan tangga } \alpha = \arctan\left(\frac{20}{30}\right) = 33,69^\circ < 40^\circ \text{ (OK)}$$

$$\text{Panjang miring} = \sqrt{200^2 + 300^2} = 360,55 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang bordes} = 1,5 \text{ m}$$

Perencanaan Balok Utama Tangga dan Balok Bordes

Direncanakan menggunakan profil WF 200.200.12.12 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil, W	= 56,2 kg/m
Luas Penampang, A	= 7153 mm ²
Momen Inersia, I _x	= 49800000 mm ⁴
Momen Inersia, I _y	= 17000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, r _x	= 83,5 mm
Jari-jari kelembaman, r _y	= 48,8 mm
Z _x	= 498000 mm ³
Z _y	= 167000 mm ³

Pembebanan Balok Utama Tangga

- Beban Balok Tangga Miring (Beban merata)

Berat sendiri profil WF 200.200.12.12 / cos (33,69°)	= 67,5 kg/m	
Berat siku L 60.60.6	= 5,42 kg/m	
<hr/>		
Total q _{U1}	= 72,92 kg/m	+

- Beban 1 Anak Tangga

Beban Mati		
Berat plat baja P = 0,004 x 1,6 x 0,3 x 7850	= 15,07 kg	
Berat alat penyambung (10%)	= 1,51 kg	
<hr/>		
Total beban mati terpusat (PD)	= 16,58 kg	+

Beban Hidup

Berdasarkan peraturan SNI 1727-2020 pasal 4.5.4 untuk tangga tetap harus direncanakan agar dapat menahan beban terpusat tunggal sebesar 133 kg.

Beban kombinasi (PU) untuk 1 anak tangga:

$$\begin{aligned} \text{PU} &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (16,58) + 1,6 (133) \\ &= 232,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pembebanan Bordes

Beban Mati

Berat plat baja P = 0,006 x 1,5 x 7850	= 70,65 kg/m	
Berat sendiri profil WF 200.200.12.12	= 56,2 kg/m	
<hr/>		+
Total beban mati (qD)	= 126,85 kg/m	

Beban Hidup

Berdasarkan peraturan SNI 1727-2020 pada tabel 4.3.1 untuk tangga dan jalan keluar harus direncanakan agar dapat menahan beban hidup merata sebesar 479 kg/m²

Beban Kombinasi (qU) Bordes:

$$\begin{aligned}qU_2 &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2 (126,85) + 1,6(479) \\ &= 918,62 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Perencanaan Balok Penumpu Tangga

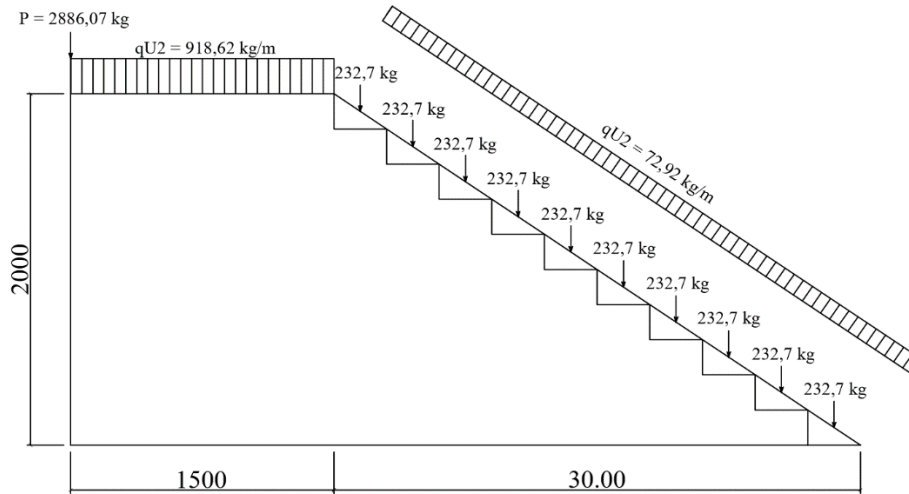
Direncanakan menggunakan profil WF 200.200.10.16 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil, W	= 65,7 kg/m
Luas Penampang, A	= 8369 mm ²
Momen Inersia, I _x	= 65300000 mm ⁴
Momen Inersia, I _y	= 22000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, r _x	= 88,3 mm
Jari-jari kelembaman, r _y	= 51,3 mm
Z _x	= 628000 mm ³
Z _y	= 218000 mm ³

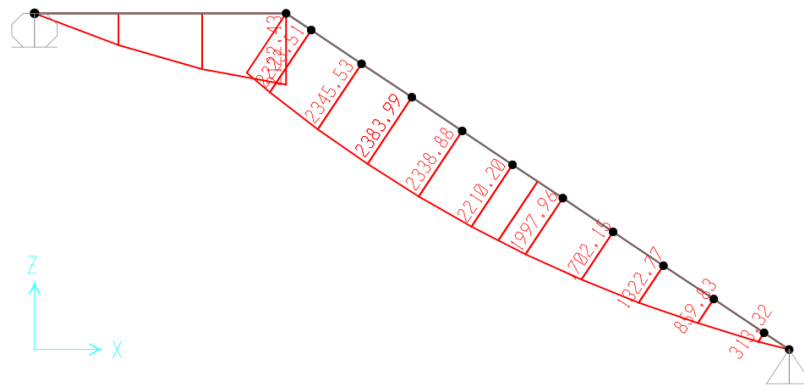
Pembebanan Balok Penumpu Tangga

Berat sendiri profil WF 200.200.10.16 x 1,75 m	= 114,98 kg	
Beban balok tangga miring 5 (1/2 tangga miring) x 232,7	= 1163,50 kg	
Beban bordes = qU ₂ x 1,75 m	= 1607,59 kg	
<hr/>		+
Total Beban (Pu)	= 2886,07 kg	

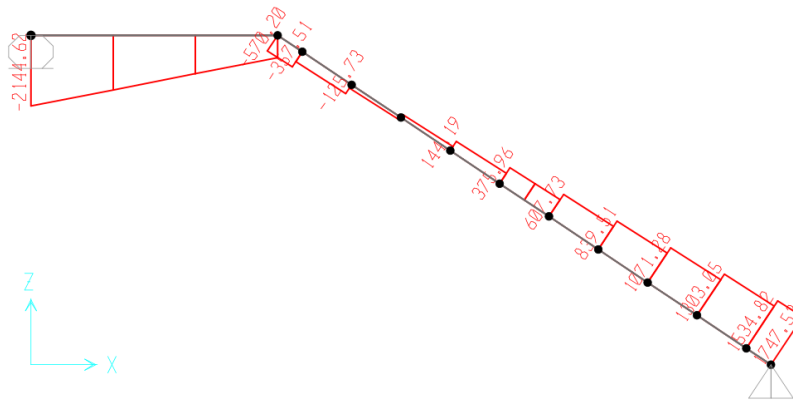
Pada gambar 5.17 diuraikan statika pembebanan yang terjadi pada tangga. Dilakukan analisa gaya-gaya dalam dengan menggunakan program SAP2000 v.14 dan output yang didapatkan akan digunakan untuk pembebanan balok utama tangga dan pembebanan bordes.



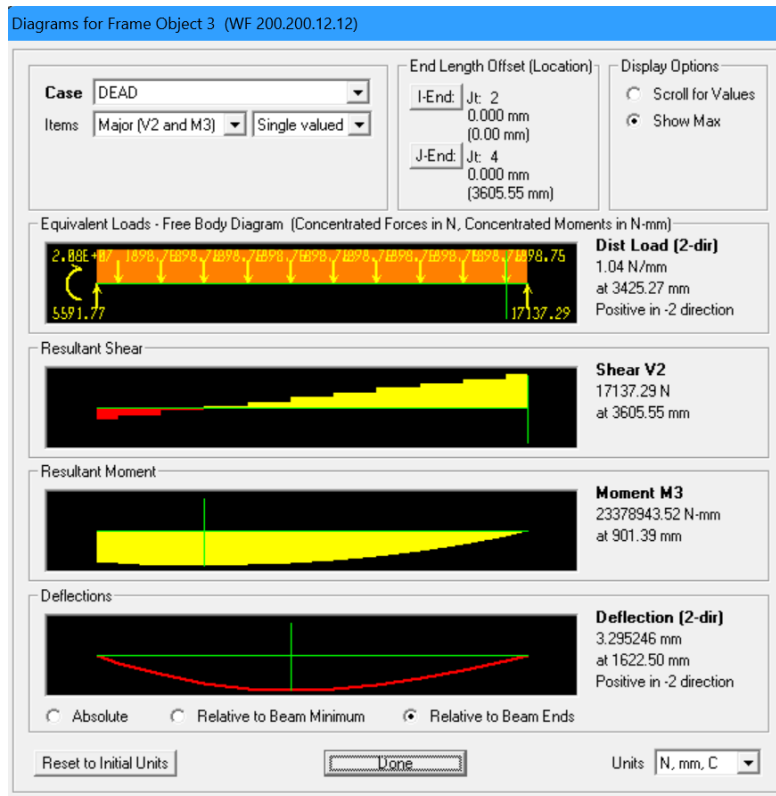
Gambar 5. 17 Sket Pembebanan Tangga



Gambar 5. 18 Diagram Momen Lentur pada Tangga



Gambar 5. 19 Diagram Gaya Geser pada Tangga



Gambar 5. 20 Output SAP2000 v.14 Gaya Dalam pada Pembebanan Balok Utama Tangga

Berdasarkan Gambar 5.20 diketahui hasil analisa gaya-gaya dalam pada balok utama tangga:

$$M_u = 23378943,52 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 17137,29 \text{ N}$$

$$\delta = 3,3 \text{ mm}$$

5.3.1 Analisa Balok Utama Tangga

Diasumsikan profil WF 200.200.12.12 merupakan penampang kompak dengan syarat:

$$M_{ux} < \emptyset M_{nx}$$

$$M_{ux} < \emptyset \times Z_x \times F_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{23378943,52}{0,9 \times 250} = 103906,42 \text{ mm}^3$$

Diperoleh, $Z_x \text{ profil} = 498000 \text{ mm}^3 > Z_x \text{ perlu} = 103906,42 \text{ mm}^3$ (OK)

Maka, untuk balok utama tangga akan direncanakan menggunakan profil WF 200.200.12.12

Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 Tabel B4.1b

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{204}{2 \times 12} = 8,5 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 200 - 2 \times (13 + 12) = 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{150}{12} = 12,5 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = \frac{30}{\cos(33,69^\circ)} = 36,06 \text{ cm}$$

Rencana pasang pengaku lateral pada balok utama tangga setiap jarak 1,5 m $L = 1,5 \text{ m}$

Batas maksimum jika pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 48,8 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2429,28 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

Maka, karena $L = 1,5 \text{ m} < L_p = 2,4 \text{ m}$ (bentang pendek)

Berdasarkan hasil kontrol kelangsingan didapatkan profil merupakan penampang kompak dan pada kontrol tekuk lateral didapatkan hasil balok dengan bentang pendek, maka kuat lentur nominal M_n dapat ditentukan dengan:

$$M_{nx} = M_{px}$$

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 498000 \times 250 = 124500000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = \phi \times M_{nx} = 0,9 \times 124500000 = 112050000 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$M_{ux} \text{ profil} > M_{ux} \text{ beban}$

$$112050000 \text{ Nmm} > 23378943,52 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol Geser

Berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 bab G2.1 perumusan kuat geser nominal adalah sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

Untuk semua komponen struktur profil I lain dan kanal dan balok dianggap tanpa pengaku transversal, maka $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{K_v \times \frac{E}{F_y}} \right)$$

$$\frac{150}{12} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$12,5 \leq 71,90$$

Nilai C_{v1} diperoleh = 1,0

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \\ &= 0,6 \times 250 \times (200 \times 12) \times 1,0 \\ &= 360000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi \times V_n = 0,9 \times 360000 = 324000 \text{ N}$$

Syarat = $\phi \times V_n > V_{ux}$

$$V_{ux} \text{ profil} = 324000 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 17137,29 \text{ N (OK)}$$

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan sebesar:

$$L = \frac{30}{\cos(33,69^\circ)} = 36,06 \text{ cm} = 3606 \text{ mm}$$

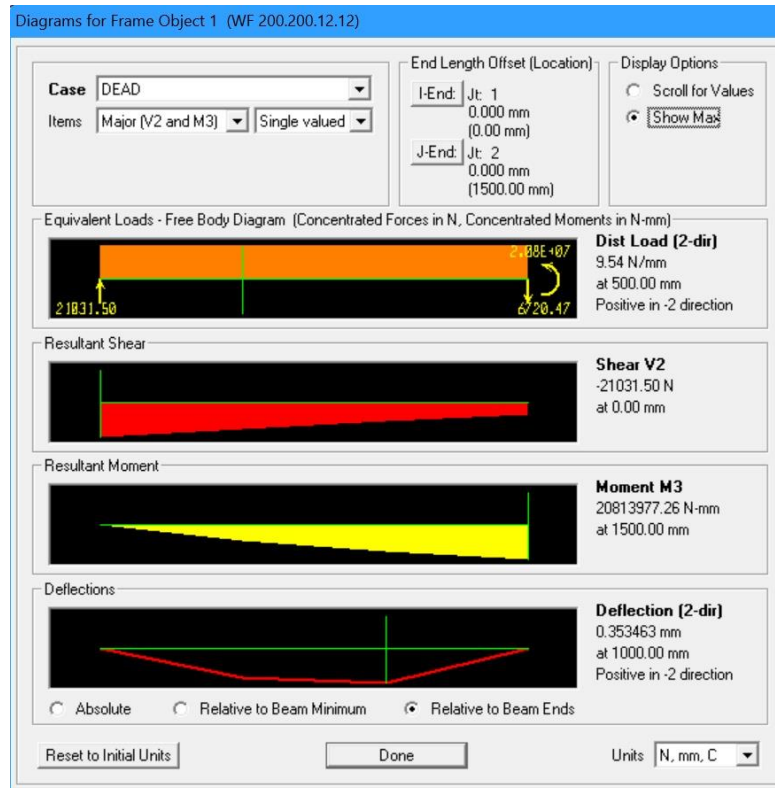
$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{3606}{360} = 10,01 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 v.14 didapatkan nilai defleksi yaitu sebesar 3,3 mm untuk balok utama tangga dengan profil WF 200.200.12.12, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 10,01 \text{ mm} > 3,3 \text{ mm (OK)}$$

Lendutan yang terjadi pada profil WF 200.200.12.12 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi sehingga dapat digunakan sebagai balok utama tangga.

5.3.2 Analisa Balok Bordes



Gambar 5. 21 Output SAP2000 v.14 Gaya Dalam pada Balok Bordes

Dari hasil analisis SAP2000 v.14 didapatkan hasil gaya-gaya dalam pada balok bordes dengan nilai:

$$M_u = 20813977,26 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 21031,50 \text{ N}$$

$$\delta = 0,35 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa profil WF 200.200.12.12 merupakan profil dengan penampang kompak, dengan syarat:

$$M_{ux} < \phi M_{nx}$$

$$M_{ux} < \phi \times Z_x \times F_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{20813977,26}{0,9 \times 250} = 92506,57 \text{ mm}^3$$

Syarat:

$Z_x \text{ perlu} < Z_x \text{ profil}$

$$92506,57 \text{ mm}^3 < 498000 \text{ mm}^3 \text{ (OK)}$$

Maka balok bordes akan direncanakan menggunakan profil WF 200.200.12.12

Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 Tabel B4.1b

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{bf}{2 \times t_f} = \frac{204}{2 \times 12} = 8,5 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 200 - 2 \times (13 + 12) = 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{150}{12} = 12,5 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 0 \text{ cm}$$

Rencana dipasang pengaku lateral setiap jarak 1,5 m $L = 1,5 \text{ m}$

Batas maksimum jika pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 48,8 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2429,28 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

Maka, karena $L = 1,5 \text{ m} < L_p = 2,4 \text{ m}$ (bentang pendek)

Berdasarkan hasil kontrol kelangsingan didapatkan profil merupakan penampang kompak dan pada kontrol tekuk lateral didapatkan hasil balok dengan bentang pendek, maka kuat lentur nominal M_n dapat ditentukan dengan:

$$M_{nx} = M_{px}$$

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 498000 \times 250 = 124500000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = \phi \times M_{nx} = 0,9 \times 124500000 = 112050000 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$M_{ux} \text{ profil} > M_{ux} \text{ beban}$

$$112050000 \text{ Nmm} > 20813977,26 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol Geser

Berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 bab G2.1 perumusan kuat geser nominal adalah sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

Untuk semua komponen struktur profil I lain dan kanal dan balok dianggap tanpa pengaku transversal, maka $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{K_v \times \frac{E}{F_y}} \right)$$

$$\frac{150}{12} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$12,5 \leq 71,90$$

Nilai C_{v1} diperoleh = 1,0

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \\ &= 0,6 \times 250 \times (200 \times 12) \times 1,0 \\ &= 360000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi \times V_n = 0,9 \times 360000 = 324000 \text{ N}$$

$$\text{Syarat} = \phi \times V_n > V_{ux}$$

$$V_{ux} \text{ profil} = 324000 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 21031,50 \text{ N (OK)}$$

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan sebesar:

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{1500}{360} = 4,17 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 v.14 didapatkan nilai defleksi yaitu sebesar 0,35 mm untuk balok bordes dengan profil WF 200.200.12.12, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 4,17 \text{ mm} > 0,35 \text{ mm (OK)}$$

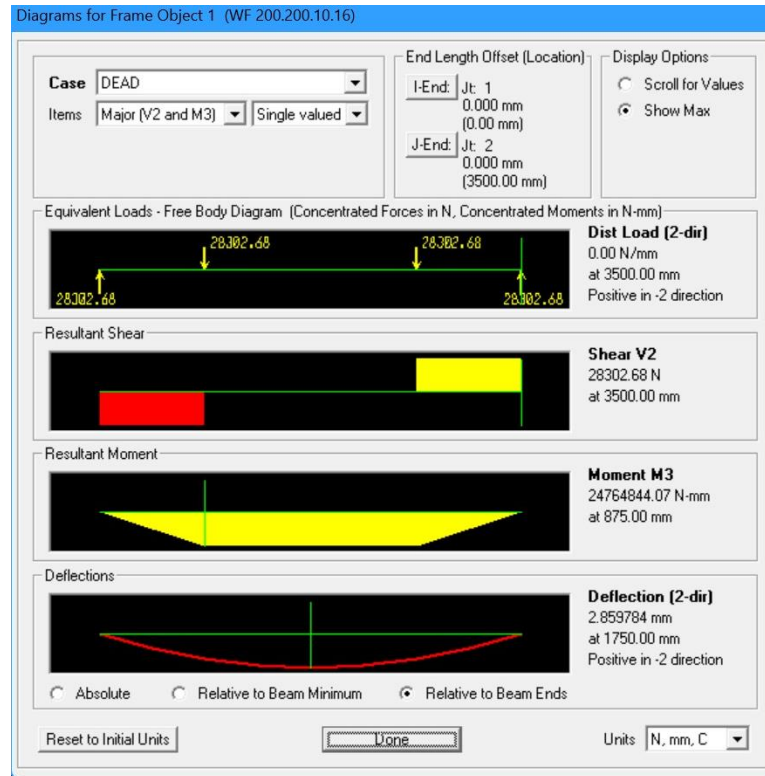
Lendutan yang terjadi pada profil WF 200.200.12.12 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi sehingga dapat digunakan sebagai balok bordes.

5.3.3 Analisa Balok Penumpu Tangga

Pembebanan balok penumpu tangga diketahui:

$$P_u = 2886,07 \text{ kg}$$

$$q_U \text{ (berat sendiri profil)} = 65,7 \text{ kg/m}$$



Gambar 5. 22 Output SAP2000 v.14 Gaya Dalam Pembebanan Balok Penumpu Tangga

Didapat hasil analisa gaya-gaya dalam pada balok penumpu tangga dengan nilai:

$$M_u = 24764844,07 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 28302,68 \text{ N}$$

$$\delta = 2,86 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa profil WF 200.200.12.12 merupakan profil dengan penampang kompak, dengan syarat:

$$M_{ux} < \phi M_{nx}$$

$$M_{ux} < \phi \times Z_x \times F_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{24764844,07}{0,9 \times 250} = 110065,97 \text{ mm}^3$$

Syarat:

$$Z_x \text{ perlu} < Z_x \text{ profil}$$

$$110065,97 \text{ mm}^3 < 628000 \text{ mm}^3 \text{ (OK)}$$

Maka balok penumpu tangga akan direncanakan menggunakan profil WF 200.200.10.16

Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 Tabel B4.1b

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{202}{2 \times 16} = 6,3 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 208 - 2 \times (13 + 16) = 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{150}{10} = 15 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 0 \text{ cm}$$

Rencana dipasang pengaku lateral setiap jarak 1,5 m $L = 1,5 \text{ m}$

Batas maksimum jika pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 48,8 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2429,28 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

Maka, karena $L = 1,5 \text{ m} < L_p = 2,4 \text{ m}$ (bentang pendek)

Berdasarkan hasil kontrol kelangsingan didapatkan profil merupakan penampang kompak dan pada kontrol tekuk lateral didapatkan hasil balok dengan bentang pendek, maka kuat lentur nominal M_n dapat ditentukan dengan:

$$M_n = M_p$$

$$M_n = Z_x \times F_y = 628000 \times 250 = 157000000 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,9 \times 157000000 = 141300000 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$$M_u \text{ profil} > M_u \text{ beban}$$

$$141300000 \text{ Nmm} > 24764844,07 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol Geser

Berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 bab G2.1 perumusan kuat geser nominal adalah sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

Untuk semua komponen struktur profil I lain dan kanal dan balok dianggap tanpa pengaku transversal, maka $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{K_v \times \frac{E}{F_y}} \right)$$

$$\frac{150}{12} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$12,5 \leq 71,90$$

Nilai C_{v1} diperoleh = 1,0

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \\ &= 0,6 \times 250 \times (208 \times 10) \times 1,0 \\ &= 312000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi \times V_n = 0,9 \times 312000 = 280800 \text{ N}$$

$$\text{Syarat} = \phi \times V_n > V_{ux}$$

$$V_{ux} \text{ profil} = 280800 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 28302,68 \text{ N (OK)}$$

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan sebesar:

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{3500}{360} = 9,72 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 v.14 didapatkan nilai defleksi yaitu sebesar 2,86 mm untuk balok penumpu tangga dengan profil WF 200.200.10.16, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 9,72 \text{ mm} > 2,86 \text{ mm (OK)}$$

Lendutan yang terjadi pada profil WF 200.200.10.16 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi sehingga dapat digunakan sebagai balok penumpu tangga.

5.4 Perencanaan Balok Penggantung Mesin Lift

Balok penggantung lift merupakan balok yang direncanakan untuk memikul beban dari ruangan mesin lift. Lift yang akan digunakan pada gedung perkantoran ini merupakan lift yang diproduksi oleh *Sigma Mid Rise Elevator* dengan data-data yang didapat:

$$\text{Merek lift} = \text{Sigma Elevator (ACRA)}$$

$$\text{Kapasitas} = 12 \text{ orang (900 kg)}$$

$$\text{Kecepatan} = 1,5 \text{ m/s}$$

Lebar pintu (<i>opening width</i>)	= 900 mm
Dimensi sangkar (<i>carsize</i>)	= 1600 x 1350 mm ²
Dimensi ruang luncur (<i>hoist way</i>)	= 4500 x 2050 mm ²
Dimensi ruang mesin (<i>machine room</i>)	= 4500 x 2050 mm ²
Beban reaksi ruang mesin	= R1 = 50000 N = 5000 kg R2 = 28000 N = 2800 kg

Beban Bekerja pada Balok Penggantung Lift

Beban yang akan bekerja pada balok penggantung lift adalah beban mesin penggerak lift, beban kereta luncur, dan beban akibat bandul serta perlengkapan.

Koefisien Kejut Beban Hidup oleh Kereta Luncur

Berdasarkan PPIUG 1983 pasal 3.3.3 disebutkan bahwa beban kereta luncur yang membebani struktur terdiri dari berat sendiri kereta luncur ditambah dengan beban muatan yang diangkatnya. Sebagai beban rencana harus diambil beban tersebut dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan oleh rumus berikut:

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

Dimana:

Ψ = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil $\leq 1,15$

k_1 = koefisien yang tergantung pada kekakuan struktur keran induk, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

k_2 = koefisien yang bergantung pada sifat-sifat mesin angkat dari keran angkatnya diambil 1,4/3

V = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum nilainya tidak perlu diambil ≥ 1 m/det

Maka, beban yang bekerja pada balok penggantung adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= \Sigma R \times \psi \\
 &= (5000 + 2800) \times (1,1 + 0,6 \times 1,4 \times 1) \\
 &= 14352 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan tersebut akan digunakan untuk perhitungan beban terpusat lift.

Direncanakan menggunakan profil WF 200.200.10.16 dengan spesifikasi:

Berat Profil, W	= 65,7 kg/m
Luas Penampang, A	= 8369 mm ²
Momen Inersia, I _x	= 65300000 mm ⁴
Momen Inersia, I _y	= 22000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, r _x	= 88,3 mm
Jari-jari kelembaman, r _y	= 51,3 mm
Z _x	= 628000 mm ³
Z _y	= 218000 mm ³
L (panjang balok)	= 7000 mm (untuk 2 lift)

Pembebanan Balok Penggantung Lift

- Beban Merata (qU)

Berat sendiri profil WF 200.200.10.16 = 65,7 kg/m

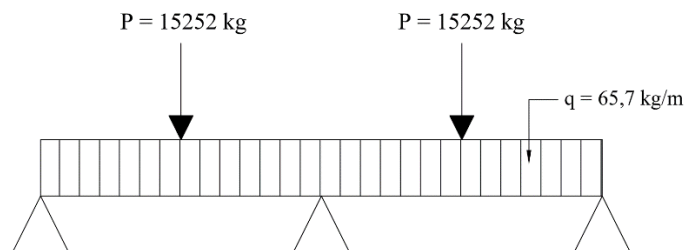
- Beban Terpusat (P)

Beban terpusat lift = 14352 kg

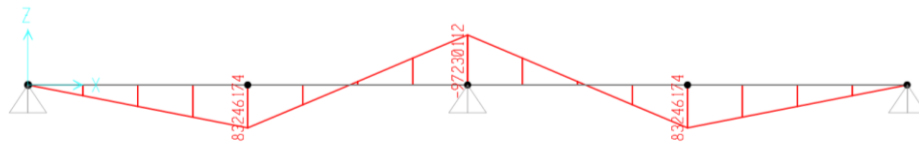
Berat total kapasitas lift = 900 kg

Total beban terpusat (P) = 15252 kg

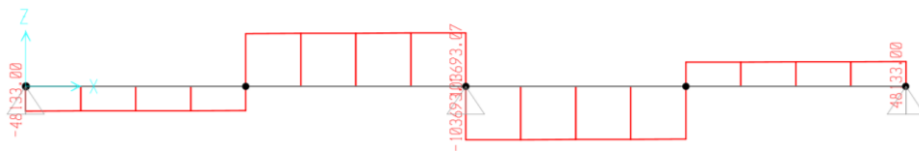
Statika pembebanan pada balok penggantung lift digambarkan pada Gambar 5.23. Dilakukan analisa untuk mendapatkan gaya-gaya dalam pada balok penggantung lift dengan menggunakan program analisa struktur SAP2000 v.14



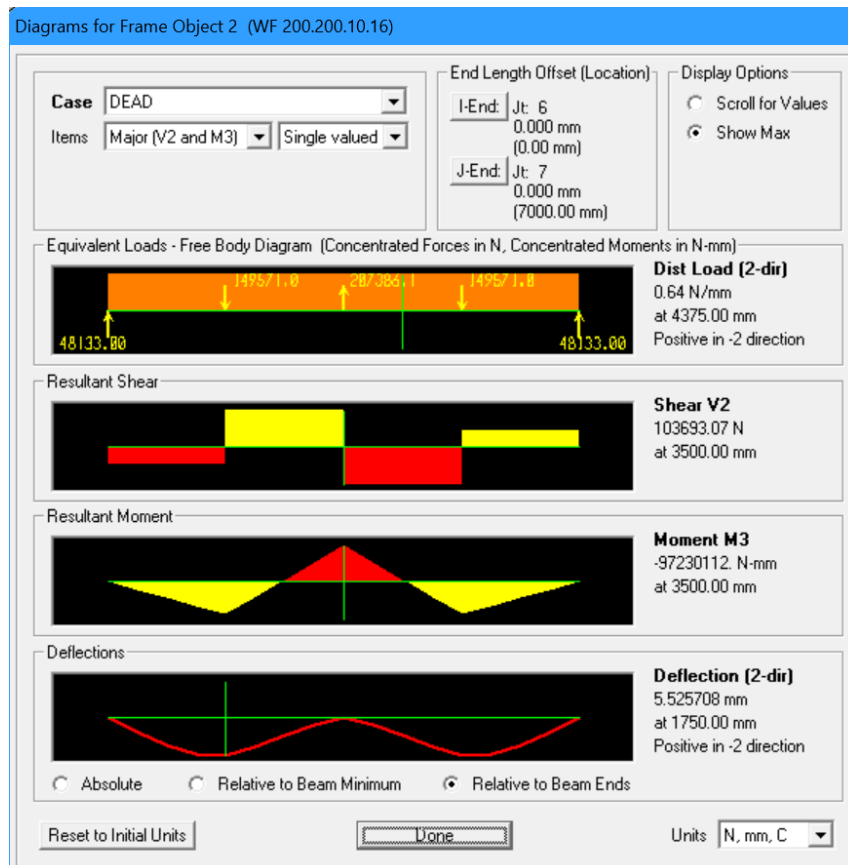
Gambar 5. 23 Pembebanan Balok Penggantung Lift



Gambar 5. 24 Momen Lentur (M_u) Balok Penggantung Lift



Gambar 5. 25 Gaya Geser (V_u) Balok Penggantung Lift



Gambar 5. 26 Output SAP2000 v.14 Gaya Dalam Balok Penggantung Lift

Diketahui hasil analisa gaya-gaya dalam pada balok penggantung lift:

$$M_u = 97230112 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 103693,07 \text{ N}$$

$$\delta = 5,53 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa profil WF 200.200.12.12 merupakan profil dengan penampang kompak, dengan syarat:

$$M_{ux} < \phi M_{nx}$$

$$M_{ux} < \phi \times Z_x \times F_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{97230112}{0,9 \times 250} = 432133,83 \text{ mm}^3$$

Syarat:

$$Z_x \text{ perlu} < Z_x \text{ profil}$$

$$432133,83 \text{ mm}^3 < 628000 \text{ mm}^3 \text{ (OK)}$$

Maka balok penggantung *lift* akan direncanakan menggunakan profil WF 200.200.10.16

Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 Tabel B4.1b

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{202}{2 \times 16} = 6,3 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 208 - 2 \times (13 + 16) = 150 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{150}{10} = 15 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh, $\lambda_f < \lambda_p$ (OK, penampang kompak)

Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 0 \text{ cm}$$

Rencana dipasang pengaku lateral setiap jarak 1,5 m $L = 1,5 \text{ m}$

Batas maksimum jika pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 48,8 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2429,28 \text{ mm} = 2,4 \text{ m}$$

Maka, karena $L = 1,5 \text{ m} < L_p = 2,4 \text{ m}$ (bentang pendek)

Berdasarkan hasil kontrol kelangsingan didapatkan profil merupakan penampang kompak dan pada kontrol tekuk lateral didapatkan hasil balok dengan bentang pendek, maka kuat lentur nominal M_n dapat ditentukan dengan:

$$M_{nx} = M_{px}$$

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 628000 \times 250 = 157000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = \phi \times M_{nx} = 0,9 \times 157000000 = 141300000 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$$M_{ux} \text{ profil} > M_{ux} \text{ beban}$$

$$141300000 \text{ Nmm} > 97230112 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

Kontrol Geser

Berdasarkan peraturan SNI 1729-2020 bab G2.1 perumusan kuat geser nominal adalah sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

Untuk semua komponen struktur profil I lain dan kanal dan balok dianggap tanpa pengaku transversal, maka $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{K_v \times \frac{E}{F_y}} \right)$$

$$\frac{150}{12} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$12,5 \leq 71,90$$

Nilai C_{v1} diperoleh = 1,0

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1}$$

$$= 0,6 \times 250 \times (208 \times 10) \times 1,0$$

$$= 312000 \text{ N}$$

$$\phi \times V_n = 0,9 \times 312000 = 280800 \text{ N}$$

$$\text{Syarat} = \phi \times V_n > V_{ux}$$

$$V_{ux} \text{ profil} = 280800 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 103693,07 \text{ N} \text{ (OK)}$$

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan sebesar:

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{7000}{360} = 19,44 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 v.14 didapatkan nilai defleksi yaitu sebesar 5,53 mm untuk balok penggantung *lift* dengan profil WF 200.200.10.16, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 19,44 \text{ mm} > 5,53 \text{ mm (OK)}$$

Lendutan yang terjadi pada profil WF 200.200.10.16 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi sehingga dapat digunakan sebagai balok penggantung *lift*.