

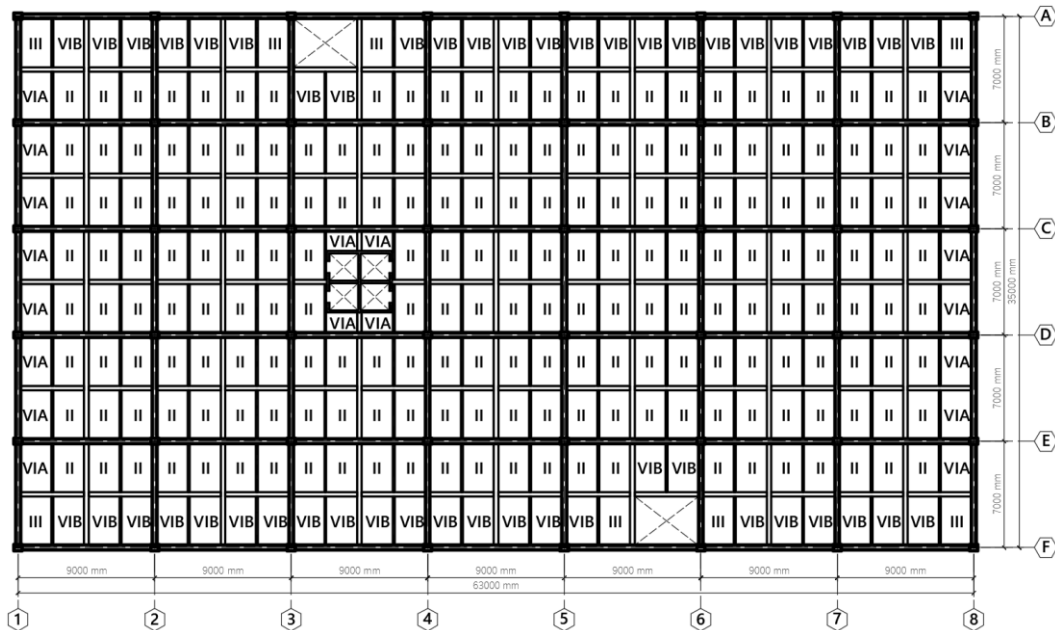
## BAB V

### PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

Struktur sekunder merupakan sebuah elemen struktur yang direncanakan untuk menerima beban gravitasi saja. Pada saat terjadi gempa, struktur sekunder diijinkan untuk mengalami kegagalan karena hanya berperan sebagai penahan beban yang akan disalurkan ke struktur primer. Sehingga tidak memiliki pengaruh besar dan memikul beban gempa pada gedung. Struktur sekunder pada perencanaan ini meliputi Pelat Atap, Pelat Lantai, Balok Anak Atap Komposit, Balok Anak Lantai Komposit, Tangga, dan Balok Penggantung Mesin Lift.

#### 5.1 Perencanaan Pelat

##### 5.1.1 Perencanaan Pelat Atap



**Gambar 5. 1** Denah Pelat dan Tipe Pelat Atap

Tebal Pelat Atap dan Mutu Bahan Konstruksi :

Tebal Pelat Atap = 120 mm

Mutu Beton ( $f^c$ ) = 30 MPa

Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ) = 250 MPa

Hasil pembebanan untuk pelat atap yang diperoleh dari *preliminary design* pada sub bab 4.1 sebagai berikut :

Beban Mati (qD) = 423 kg/m<sup>2</sup>

Beban Hidup (qL) = 480 kg/m<sup>2</sup>

Beban Air Hujan (R) = 24,5 kg/m<sup>2</sup>

Beban Ultimate (qUlt) berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 5.3.1 :

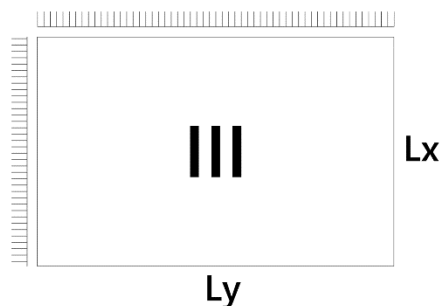
$$\begin{aligned}q_{Ult} &= 1,2D + 1,6L + 0,5 (A \text{ atau } R) \\ &= (1,2 \times 423) + (1,6 \times 480) + (0,5 \times 24,5) \\ &= 1287,85 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

### ➤ Perhitungan Momen Pelat Atap

Perhitungan momen pelat atap akan diasumsikan bahwa pelat yang telah direncanakan nantinya akan mengalami lendutan jika terbebani. Oleh karena itu pelat atap akan direncanakan dengan perletakan jepit penuh. Perhitungan momen pelat atap akan digunakan Pelat Tipe III yang memiliki nilai momen paling besar diantara tipe pelat yang lainnya. Hasil perhitungan tiap tipe pelat atap dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5. 1** Perhitungan Momen Pelat Atap

Type Pelat	Ukuran Pelat (m)	ly/lx	Keterangan	Mlx (kgm)	Mly (kgm)	Mtx (kgm)	Mty (kgm)	Tulangan (mm)
II	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	241,23	104,32	515,06	371,63	Ø10-125
III	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	332,51	149,95	697,61	508,54	Ø10-125
VI A	1,55 x 2,25	1,45	Two Way Slab	133,04	80,45	290,84	235,15	Ø10-125
	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	299,91	162,99	645,45	502,02	Ø10-125
VI B	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	254,27	91,28	521,58	371,63	Ø10-125



**Gambar 5. 2** Sket Pelat Atap Tipe III

Diketahui :

Pelat bentang pendek (Lx) = 2,25 m

Pelat bentang panjang (Ly) = 3,50 m

$$\text{Maka, } \frac{L_y}{L_x} = \frac{3,50}{2,25} = 1,56 < 2,5 \text{ (Two Way Slab)}$$

Perhitungan nilai momen pelat dengan koefisien nilai C yang diperoleh dari PBI 1971 Tabel 13.3.1 untuk jenis pelat tipe III sebagai berikut :

$$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1287,85 \cdot 2,25^2 \cdot 51 = +332,51 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1287,85 \cdot 2,25^2 \cdot 23 = +149,95 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1287,85 \cdot 2,25^2 \cdot 107 = -697,61 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = -0,001 \cdot q \cdot l_x^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1287,85 \cdot 2,25^2 \cdot 78 = -508,54 \text{ kgm}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diambil nilai momen terbesar :

$$\text{Arah X, } \mu_x = M_{tx} = 697,61 \text{ kgm}$$

$$\text{Arah Y, } \mu_y = M_{ty} = 508,54 \text{ kgm}$$

#### ➤ Syarat Batas Penulangan Pelat Atap

Mutu beton ( $f'_c$ ) yang digunakan dalam perencanaan ini adalah 30 MPa. Berdasarkan peraturan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2 apabila  $f'_c \leq 28$  MPa, Nilai faktor  $\beta_1$  yang dipakai adalah 0,85. Apabila  $f'_c \geq 28$  MPa, digunakan persamaan sebagai berikut untuk menentukan faktor reduksi  $\beta_1$  :

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} \right) = 0,85 - \left( \frac{0,05(30 - 28)}{7} \right) = 0,835$$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,835}{250} \left( \frac{600}{600 + 250} \right) = 0,06$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,06 = 0,045$$

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

#### ➤ Perhitungan Penulangan Pelat Atap

Pelat atap merupakan struktur beton cor setempat yang berhubungan dengan cuaca, maka direncanakan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 20.6.1.3 sebagai berikut :

1. Diameter Tulangan (D) = D10 mm

2. Tebal Selimut Beton (P) = 20 mm

##### ▪ Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - P - 0,5D \\ &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{rc}} = \frac{250}{0,85 \cdot 30} = 9,80$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{0,8} = \frac{697,61}{0,8} = 872,01 \text{ kgm} = 8720100 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{8720100}{1000 \cdot 95^2} = 0,97 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{9,80} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,80 \cdot 0,97}{250}} \right) = 0,004$$

$$\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max} = 0,004 < \mathbf{0,0056} < 0,045$$

Karena  $\rho < \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho_{\min} = 0,0056$

▪ **Tulangan perlu arah X :**

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0056 \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 532 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10 – 125 mm (As pakai = 628 mm<sup>2</sup> > As perlu = 532 mm<sup>2</sup>)

**Tulangan Susut arah X :**

$$\begin{aligned} \text{As Susut} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø8 – 200 mm (As Pakai = 251 mm<sup>2</sup> > As perlu = 240 mm<sup>2</sup>)

▪ **Tulangan Arah Y**

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (d}_y) &= h - P - D - 0,5D \\ &= 120 - 20 - 10 - (0,5 \times 10) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{rc}} = \frac{250}{0,85 \cdot 30} = 9,80$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{0,8} = \frac{508,54}{0,8} = 635,675 \text{ kgm} = 6356750 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2} = \frac{6356750}{1000 \cdot 85^2} = 0,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{9,80} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,80 \cdot 0,88}{250}} \right) = 0,004$$

$$\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max} = 0,004 < \mathbf{0,0056} < 0,045$$

**Tulangan perlu arah Y :**

$$\text{As perlu} = \rho \cdot b \cdot d_y$$

$$= 0,0056 \cdot 1000 \cdot 85$$

$$= 476 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D10 – 125 mm (As pakai = 628 mm<sup>2</sup> > As perlu = 476 mm<sup>2</sup>)

#### **Tulangan Susut arah Y :**

$$\text{As Susut} = 0,002 \cdot b \cdot h$$

$$= 0,002 \cdot 1000 \cdot 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø8 – 200 mm (As Pakai = 251 mm<sup>2</sup> > As perlu = 240 mm<sup>2</sup>)

### ➤ **Kontrol Kekuatan Pelat Atap**

Kontrol kekuatan pada pelat dilakukan untuk mengetahui kuat lentur Mn dari pelat. Setelah menentukan kebutuhan tulangan dilakukan pengecekan terhadap tulangan arah x dan arah y, kontrol jarak tulangan, kontrol tulangan susut, dan kontrol retak.

#### ▪ **Kontrol Tulangan Arah X**

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

$$a = \frac{As \text{ pakai} \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{628 \cdot 250}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 6,157 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(dx - \frac{a}{2}\right) = 628 \cdot 250 \cdot \left(95 - \frac{6,157}{2}\right) = 14431675,5 \text{ Nmm}$$

Mn = 14431675,5 Nmm > Mn perlu = 8720100 Nmm (OK)

#### **Kontrol Jarak Tulangan**

Jarak Tulangan ≤ 3 x Tebal Pelat

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

$$125 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm (OK)}$$

#### **Kontrol Tulangan Susut**

$$Ass = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot \pi \cdot \frac{1000}{200}$$

$$= 251,33 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ pakai} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

#### ▪ **Kontrol Tulangan Arah Y**

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \cdot dy} = \frac{628}{1000 \cdot 85} = 0,0073$$

$$a = \frac{As \text{ pakai} \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{628 \cdot 250}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 6,157 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left( d_y - \frac{a}{2} \right) = 628 \cdot 250 \cdot \left( 85 - \frac{6,157}{2} \right) = 12861675,5 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 12861675,5 \text{ Nmm} > M_n \text{ perlu} = 6356750 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

### **Kontrol Jarak Tulangan**

Jarak Tulangan  $\leq 3 \times$  Tebal Pelat

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

$$125 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

### **Kontrol Tulangan Susut**

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

$$= \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot \pi \cdot \frac{1000}{200}$$

$$= 251,33 \text{ mm}^2 \geq A_{ss} \text{ pakai} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

### ➤ **Kontrol Retak Pelat Atap**

Perhitungan kontrol retak berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 12.6.4 untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar sebagai berikut :

$$f_s = 60\% f_y = 0,6 \times 250 = 150 \text{ MPa}$$

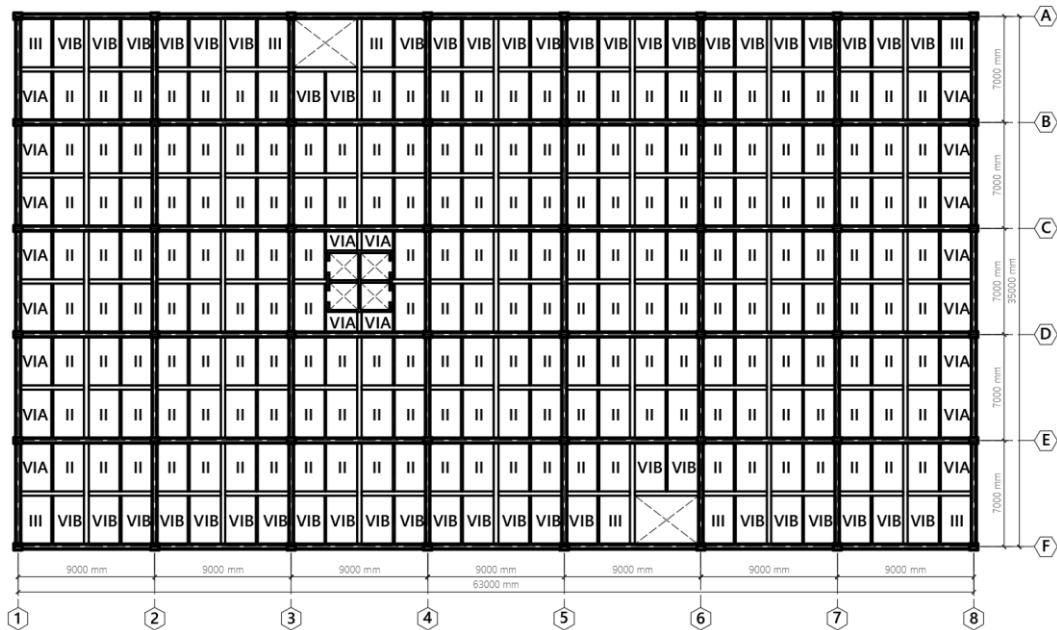
$$d_c = P + (0,5 \times \phi) = 20 + (0,5 \times 10) = 25 \text{ mm}$$

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

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A} = 150 \sqrt[3]{25 \cdot 6000} = 7969,94 \text{ Nmm} = 7,969 \text{ MN/m}$$

$$= 7,969 \text{ MN/m} < 25 \text{ MN/m} \text{ (OK)}$$

### 5.1.2 Perencanaan Pelat Lantai



**Gambar 5. 3** Denah Pelat dan Tipe Pelat Lantai

Tebal Pelat Lantai dan Mutu Bahan Konstruksi :

Tebal Pelat Lantai = 120 mm

Mutu Beton ( $f^c$ ) = 30 MPa

Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ) = 250 MPa

Hasil pembebanan untuk pelat lantai diambil dari *preliminary design* yang diperoleh pada subbab 4.2 sebagai berikut :

Beban Mati (qD) = 662 kg/m<sup>2</sup>

Beban Hidup (qL) = 192 kg/m<sup>2</sup>

Beban Ultimate (qUlt) berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 5.3.1 :

$$\begin{aligned}
 q_{Ult} &= 1,2D + 1,6L \\
 &= (1,2 \times 662) + (1,6 \times 192) \\
 &= 1101,6 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

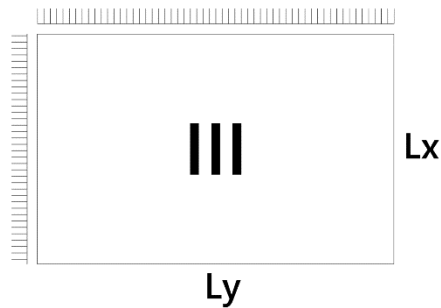
#### ➤ Perhitungan Momen Pelat Lantai

Perhitungan momen pelat lantai akan diasumsikan bahwa pelat yang telah direncanakan nantinya akan mengalami lendutan jika terbebani. Oleh karena itu pelat lantai akan direncanakan dengan perletakan jepit penuh. Perhitungan momen pelat lantai akan

digunakan Pelat Tipe III yang memiliki nilai momen paling besar diantara tipe pelat yang lainnya. Hasil perhitungan tiap tipe pelat lantai dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5. 2** Perhitungan Momen Pelat Lantai

Tipe Pelat	Ukuran Pelat (m)	ly/lx	Keterangan	Mlx (kgm)	Mly (kgm)	Mtx (kgm)	Mty (kgm)	Tulangan (mm)
II	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	206,34	89,23	440,57	317,88	Ø10-125
III	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	284,42	128,27	596,72	434,99	Ø10-125
VI A	1,55 x 2,25	1,45	Two Way Slab	113,80	68,81	248,78	201,14	Ø10-125
	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	256,54	139,42	552,11	429,42	Ø10-125
VI B	2,25 x 3,50	1,56	Two Way Slab	217,50	78,08	446,15	317,88	Ø10-125



**Gambar 5. 4** Sket Pelat Lantai Tipe III

Diketahui :

Pelat bentang pendek (Lx) = 2,25 m

Pelat bentang panjang (Ly) = 3,50 m

Maka,  $\frac{Ly}{Lx} = \frac{3,50}{2,25} = 1,56 < 2,5$  (Two Way Slab)

Perhitungan nilai momen pelat dengan koefisien nilai C yang diperoleh dari PBI 1971 Tabel 13.3.1 untuk jenis pelat tipe III sebagai berikut :

$$Mlx = +0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1101,6 \cdot 2,25^2 \cdot 51 = +284,42 \text{ kgm}$$

$$Mly = +0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1101,6 \cdot 2,25^2 \cdot 23 = +128,27 \text{ kgm}$$

$$Mtx = -0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1101,6 \cdot 2,25^2 \cdot 107 = -596,72 \text{ kgm}$$

$$Mty = -0,001 \cdot q \cdot lx^2 \cdot C = +0,001 \cdot 1101,6 \cdot 2,25^2 \cdot 78 = -434,99 \text{ kgm}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diambil nilai momen terbesar :

Arah X, Mu = Mtx = 596,72 kgm

Arah Y, Mu = Mty = 434,99 kgm



### ➤ Syarat Batas Penulangan Pelat Lantai

Mutu beton ( $f'c$ ) yang digunakan dalam perencanaan ini adalah 30 MPa. Berdasarkan peraturan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2 apabila  $f'c \leq 28$  MPa, nilai faktor  $\beta_1$  yang dipakai adalah 0,85. Apabila  $f'c \geq 28$  MPa, digunakan persamaan sebagai berikut untuk menentukan faktor reduksi  $\beta_1$  :

$$\beta_1 = 0,85 - \left( \frac{0,05(f'c-28)}{7} \right) = 0,85 - \left( \frac{0,05(30-28)}{7} \right) = 0,835$$

Maka, syarat batas untuk perencanaan diperoleh :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600+f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,835}{250} \left( \frac{600}{600+250} \right) = 0,06$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,06 = 0,045$$

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

### ➤ Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan struktur beton cor setempat yang berhubungan dengan cuaca, maka direncanakan berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 20.6.1.3 sebagai berikut :

1. Diameter Tulangan (D) = D10 mm
2. Tebal Selimut Beton (P) = 20 mm

#### ▪ Tulangan Arah X

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dx)} &= h - P - 0,5D \\ &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{250}{0,85 \cdot 30} = 9,80$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{0,8} = \frac{596,72}{0,8} = 745,9 \text{ kgm} = 7459000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot dx^2} = \frac{7459000}{1000 \cdot 95^2} = 0,826 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{9,80} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,80 \cdot 0,826}{250}} \right) = 0,0034$$

$$\rho < \rho_{min} < \rho_{max} = 0,0034 < \mathbf{0,0056} < 0,045$$

#### Tulangan perlu arah X :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot dx \\ &= 0,0056 \cdot 1000 \cdot 95 \\ &= 532 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10 – 125 mm (As pakai = 628 mm<sup>2</sup> > As perlu = 532 mm<sup>2</sup>)

**Tulangan Susut arah X :**

$$\begin{aligned} \text{As Susut} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø8 – 200 mm (As Pakai = 251 mm<sup>2</sup> > As perlu = 240 mm<sup>2</sup>)

**▪ Tulangan Arah Y**

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif (dy)} &= h - P - D - 0,5D \\ &= 120 - 20 - 10 - (0,5 \times 10) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{250}{0,85 \cdot 30} = 9,80$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{0,8} = \frac{434,99}{0,8} = 543,738 \text{ kgm} = 5437380 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot dy^2} = \frac{5437380}{1000 \cdot 85^2} = 0,753 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{fy}} \right) = \frac{1}{9,80} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 9,80 \cdot 0,753}{250}} \right) = 0,0031$$

$$\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max} = 0,0031 < \mathbf{0,0056} < 0,045$$

Karena  $\rho < \rho_{\min}$ , maka digunakan  $\rho_{\min} = 0,0056$

**Tulangan perlu arah Y :**

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot dy \\ &= 0,0056 \cdot 1000 \cdot 85 \\ &= 476 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D10 – 125 mm (As pakai = 628 mm<sup>2</sup> > As perlu = 476 mm<sup>2</sup>)

**Tulangan Susut arah Y :**

$$\begin{aligned} \text{As Susut} &= 0,002 \cdot b \cdot h \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø8 – 200 mm (As Pakai = 251 mm<sup>2</sup> > As perlu = 240 mm<sup>2</sup>)

**➤ Kontrol Kekuatan Pelat Lantai**

Kontrol kekuatan pada pelat dilakukan untuk mengetahui kuat lentur Mn dari pelat. Setelah menentukan kebutuhan tulangan dilakukan pengecekan terhadap tulangan arah x dan arah y, kontrol jarak tulangan, kontrol tulangan susut, dan kontrol retak.

▪ **Kontrol Tulangan Arah X**

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

$$a = \frac{As \text{ pakai} \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{628 \cdot 250}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 6,157 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(dx - \frac{a}{2}\right) = 628 \cdot 250 \cdot \left(95 - \frac{6,157}{2}\right) = 14431675,5 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 14431675,5 \text{ Nmm} > Mn \text{ perlu} = 7459000 \text{ Nmm (OK)}$$

**Kontrol Jarak Tulangan**

Jarak Tulangan  $\leq 3$  x Tebal Pelat

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

$$125 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm (OK)}$$

**Kontrol Tulangan Susut**

$$Ass = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot \pi \cdot \frac{1000}{200}$$

$$= 251,33 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ pakai} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

▪ **Kontrol Tulangan Arah Y**

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \cdot dy} = \frac{628}{1000 \cdot 85} = 0,0073$$

$$a = \frac{As \text{ pakai} \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} = \frac{628 \cdot 250}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 6,157 \text{ mm}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(dy - \frac{a}{2}\right) = 628 \cdot 250 \cdot \left(85 - \frac{6,157}{2}\right) = 12861675,5 \text{ Nmm}$$

$$Mn = 12861675,5 \text{ Nmm} > Mn \text{ perlu} = 5437380 \text{ Nmm (OK)}$$

**Kontrol Jarak Tulangan**

Jarak Tulangan  $\leq 3$  x Tebal Pelat

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

$$125 \text{ mm} \leq 360 \text{ mm (OK)}$$

**Kontrol Tulangan Susut**

$$Ass = \frac{1}{4} \cdot \phi^2 \cdot \pi \cdot \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 8^2 \cdot \pi \cdot \frac{1000}{200}$$

$$= 251,33 \text{ mm}^2 \geq Ass \text{ pakai} = 251 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

➤ **Kontrol Retak Pelat Lantai**

Perhitungan kontrol retak berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 12.6.4 untuk penampang yang tidak dipengaruhi cuaca luar sebagai berikut :

$$f_s = 60\%f_y = 0,6 \times 250 = 150 \text{ MPa}$$

$$d_c = P + (0,5 \times \emptyset) = 20 + (0,5 \times 10) = 25 \text{ mm}$$

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

$$Z = f_s^3 \sqrt{d_c \cdot A} = 150^3 \sqrt{25 \cdot 6000} = 7969,94 \text{ Nmm} = 7,969 \text{ MN/m}$$

$$= 7,969 \text{ MN/m} < 30 \text{ MN/m (OK)}$$

## 5.2. Perencanaan Balok Anak

Pada perencanaan struktur Gedung Hotel Hashira, balok anak direncanakan sebagai struktur komposit dengan menggunakan balok baja profil WF dan pelat beton bertulang. Metode pelaksanaan untuk struktur komposit digunakan metode *Shored Construction*, dimana beban yang terjadi pada balok komposit akan dibebankan ke penopang sementara sampai usia beton mampu menahan berat sendiri beton tersebut. Pada perencanaan balok anak, beban yang diperhitungkan adalah beban – beban yang terjadi setelah komposit.

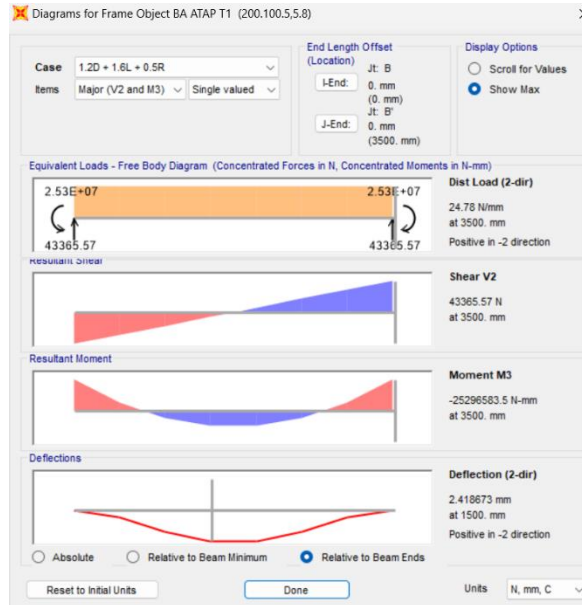
Besaran beban yang diterima oleh balok anak merupakan beban pelat ekuivalen yang ditransfer ke balok anak. Beban pelat ekuivalen sebelumnya telah diperhitungkan dalam bab *Preliminary Design* yang memperhitungkan perkiraan dimensi profil yang akan digunakan komponen struktur agar mampu menahan beban yang diterima. Agar mendapatkan nilai momen lentur yang bekerja pada balok anak, perhitungan dari *Preliminary Design* dimodelkan menggunakan bantuan program struktur SAP2000.

### 5.2.1 Perencanaan Balok Anak Atap Tipe 1

Direncanakan balok anak atap tipe 1 menggunakan Profil Baja WF 200.100.5,5.8 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W)	= 21,3 kg/m <sup>1</sup>
Lebar Sayap (b)	= 100 mm
Tinggi Profil (d)	= 200 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 1840 cm <sup>4</sup> . 10000 = 18400000 mm <sup>4</sup>
Momen Inersia, (Iy)	= 134 cm <sup>4</sup> . 10000 = 1340000 mm <sup>4</sup>
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 8,24 cm = 82,4 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 2,22 cm = 22,2 mm
Zx . ξ	= 184 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 276000 mm <sup>3</sup>
Zy . ξ	= 26,8 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 40200 mm <sup>3</sup>

Hasil analisa gaya – gaya dalam yang terjadi pada balok anak atap tipe 1 ditampilkan pada Gambar 5.5, merupakan *output* menggunakan program SAP2000. Hasil tersebut didapat setelah memasukkan pembebanan pelat ekivalen yang telah diperhitungkan pada bab *Preliminary Design* (Gambar 4.3).



**Gambar 5. 5** Output SAP2000 Pembebanan Balok Anak Atap Tipe 1

Diperoleh gaya – gaya dalam sebagai berikut :

$$M_u = 25296583,5 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 43365,57 \text{ N}$$

$$\delta (\text{Deflection}) = 2,42 \text{ mm}$$

### ➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{100}{2 \cdot 8} = 6,25 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 200 - 2(11 + 8) = 162 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{162}{5,5} = 29,45 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok anak atap tipe 1 setiap jarak 1 meter,  $L = 1000$  mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 22,2 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 1105,12 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 1000$  mm  $<$   $L_p = 1105,12$  mm (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak dan berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 276000 \cdot 250 = 69000000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 69000000 = 62100000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\emptyset M_{nx} > M_u$$

$$62100000 \text{ Nmm} > 25296583,5 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

Berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Bab G2.1 perumusan kuat geser nominal adalah sebagai beriku :

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v_1}$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{162}{5,5} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 29,45 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v_1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v_1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (200 \cdot 5,5) \cdot 1,0 \\ &= 165000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset V_n &= 0,9 \cdot 165000 \text{ N} \\ &= 148500 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\emptyset V_n > V_{ux}$$

$$148500 \text{ N} > 43365,57 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ **Kontrol Defleksi**

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

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

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.5) untuk balok anak atap tipe 1 diketahui sebesar 2,46 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 9,72 \text{ mm} > 2,42 \text{ mm (OK)}$$

➤ **Periksa Tegangan Komposit**

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit teruraikan pada Tabel 5.3 dan terlihat seperti pada Gambar 5.6.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas,  $n$  dengan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

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

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{Beton}}} = \frac{200000}{25742,96} = 7,77 \approx 8$$

Menghitung lebar efektif ( $b_e$ ) untuk balok anak interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 3500 \text{ mm}$$

$$b_0 = \text{Jarak antar balok} = 2250 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{1}{8}L = \frac{1}{8} \cdot 3500 = 437,5 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{b_0}{2} = \frac{2250}{2} = 1125 \text{ mm}$$

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif ( $b_e$ ) = 437,5 mm

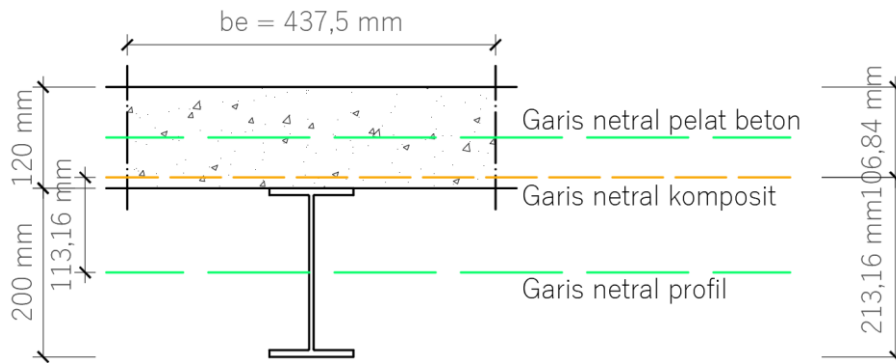
$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{b_e}{n} = \frac{437,5}{8} = 54,69 \text{ mm}$$

**Tabel 5. 3** Tegangan Komposit Balok Anak Atap Tipe 1

	Luas Transformasi A (mm <sup>2</sup> )	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm <sup>3</sup> )
<b>Pelat Beton</b>	$A_c = \frac{437,5 \cdot 120}{8} = 6562,5$	$\frac{120}{2} = 60$	393750
<b>Profil Baja WF</b>	2716	$\frac{200}{2} + 120 = 220$	597520
<b>Σ</b>	9278,5		991270

$$\text{Menentukan letak garis netral profil, } y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{991270}{9278,5} = 106,84 \text{ mm} > \frac{tp}{2} = 60 \text{ mm}$$

(**OK**, Garis netral terletak di penampang beton).



**Gambar 5. 6** Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Atap Tipe 1

Menentukan momen inersia komposit,  $I_{tr}$  :

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left( \frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left( y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\
 &= 18400000 + 2716 \left( \frac{200}{2} + 120 - 106,84 \right)^2 + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{437,5}{8} \cdot 120^3 \right) + \\
 &\quad 6562,5 \left( 106,84 - \frac{120}{2} \right)^2 \\
 &= 75451914,37 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{75451914,37}{106,84} = 706217,47 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{tp-y} = \frac{75451914,37}{120-106,84} = 5731318,77 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang beton :

$$W_s \text{ atas} = 5731318,77 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{yb} = \frac{75451914,37}{213,16} = 353960,41 \text{ mm}^3$$

### ➤ Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{25296583,5}{8 \cdot 706217,47} = 4,48 \text{ MPa}$$

$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{25296583,5}{8 \cdot 5731318,77} = 0,55 \text{ MPa}$$

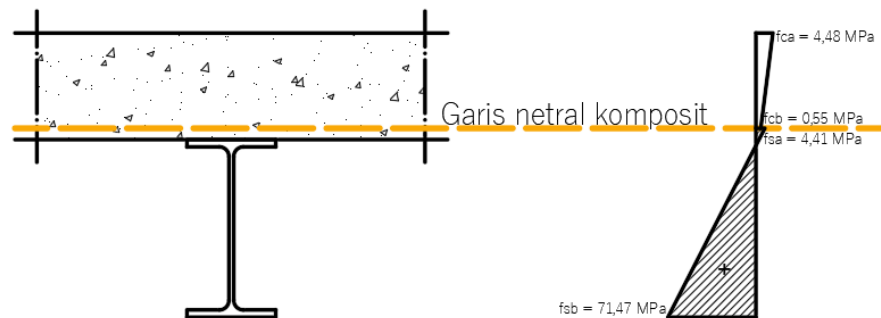
Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{25296583,5}{5731318,77} = 4,41 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{25296583,5}{353960,41} = 71,47 \text{ MPa}$$



Diagram tegangan komposit dapat terlihat pada Gambar 5.7 berikut :



**Gambar 5. 7** Diagram Tegangan Balok Anak Atap Tipe 1 Komposit

➤ **Periksa Kekuatan Lentur Nominal (Mn)**

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 2716 \cdot 250 = 679000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (437,5 \cdot 120) \cdot 30 = 1338750 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, C = 679000 N

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{679000}{0,85 \cdot 30 \cdot 437,5} = 60,86 \text{ mm} < t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{200}{2} + 120 - \frac{60,86}{2} = 189,57 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal (Mn) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 1721250 \cdot 189,57 = 128717098 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 128717098 = 109409533,3 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_u > M_u$  beban yang bekerja

$$109409533,3 \text{ Nmm} > 25296583,5 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Menentukan Shear Connector**

Direncanakan menggunakan *Shear Connector* dengan tipe *Stud* ½” x 2½”, dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$ .

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\ &= 0,5 \cdot 126,68 \cdot \sqrt{30 \cdot 25742,96} = 55663,17 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,68 \cdot 410 = 51938,8 \text{ N} < Q_n = 55663,17 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 60,86 \cdot 437,5 = 679000 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{679000}{51938,8} = 13,07 \approx 14 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

$$\text{Jarak longitudinal maksimum} = 8t_p = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 28 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{3500}{14} = 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm}$$

Syarat :

$$S_{min} < S < S_{max}$$

$$7,62 \text{ cm} < 25 \text{ cm} < 96 \text{ cm (OK)}$$

## 5.2.2 Perencanaan Balok Anak Atap Tipe 2

Direncanakan balok anak atap tipe 2 menggunakan Profil Baja WF 350.175.7.11 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe 2 :

$$\text{Berat Profil (W)} = 49,6 \text{ kg/m}^1$$

$$\text{Lebar Sayap (b)} = 175 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Profil (d)} = 350 \text{ mm}$$

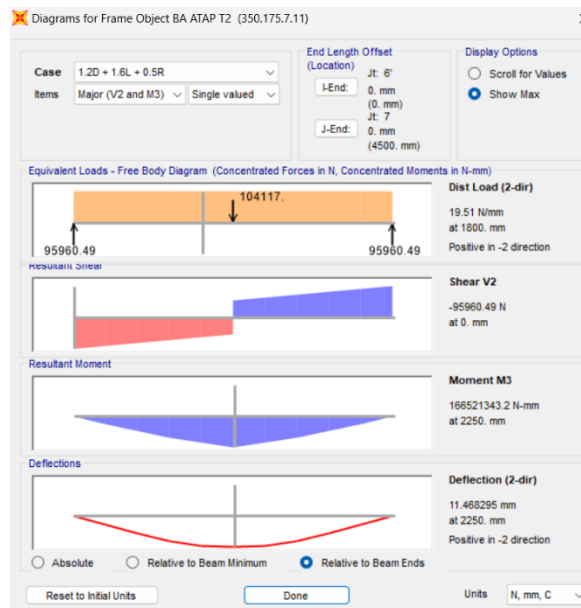
$$\text{Momen Inersia, (Ix)} = 13600 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 136000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momen Inersia, (Iy)} = 984 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 9840000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Jari – jari kelembaman arah X, (rx)} = 14,7 \text{ cm} = 147 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari – jari kelembaman arah Y, } (r_y) &= 3,95 \text{ cm} = 39,5 \text{ mm} \\ Z_x \cdot \xi &= 775 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 1162500 \text{ mm}^3 \\ Z_y \cdot \xi &= 112 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 168000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Hasil analisa gaya – gaya dalam yang terjadi pada balok anak atap tipe 2 yang ditampilkan pada Gambar 5.8 merupakan *output* menggunakan program SAP2000. Hasil tersebut didapat setelah memasukkan pembebanan pelat ekuivalen yang telah diperhitungkan pada bab *Preliminary Design* (Gambar 4.5).



**Gambar 5. 8** *Output* SAP2000 Pembebanan Balok Anak Atap Tipe 2

Diperoleh gaya – gaya dalam sebagai berikut :

$$M_u = 166521343,2 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 95960,49 \text{ N}$$

$$\delta \text{ (Deflection)} = 11,47 \text{ mm}$$

➤ **Kontrol Kelangsingan Penampang**

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{175}{2 \cdot 11} = 7,95 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + t_f) = 350 - 2(14 + 11) = 300 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{300}{7} = 42,86 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

#### ➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok anak atap tipe 2 setiap jarak 1,5 meter,  $L = 1500$  mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 39,5 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 1966,32 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 1500$  mm  $< L_p = 1966,32$  mm (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

$$M_{n_x} = M_{p_x}$$

$$M_{n_x} = Z_x \cdot f_y = 1162500 \cdot 250 = 290625000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

$$M_{u_x} = \phi M_{n_x}$$

$$M_{u_x} = 0,9 \cdot 290625000 = 261562500 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{n_x} > M_u$$

$$261562500 \text{ Nmm} > 166521343,20 \text{ Nmm (OK)}$$

#### ➤ **Kontrol Geser**

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v_1}$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{300}{7} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 42,86 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v_1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v_1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (350 \cdot 7) \cdot 1,0 \end{aligned}$$

$$= 367500 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 367500 \text{ N}$$

$$= 330750 \text{ N}$$

Syarat :

$$\phi V_n > V_{ux}$$

$$330750 \text{ N} > 95960,49 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ **Kontrol Defleksi**

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{4500}{360} = 12,5 \text{ mm}$$

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.8) untuk balok anak atap tipe 2 diketahui sebesar 11,47 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 12,5 \text{ mm} > 11,47 \text{ mm (OK)}$$

➤ **Periksa Tegangan Komposit**

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit teruraikan pada Tabel 5.4 dan terlihat seperti pada Gambar 5.9.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas,  $n$  dengan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

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

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{Beton}}} = \frac{200000}{25742,96} = 7,77 \approx 8$$

Menghitung lebar efektif ( $b_e$ ) untuk balok anak interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 4500 \text{ mm}$$

$$b_0 = \text{Jarak antar balok} = 3500 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{1}{8}L = \frac{1}{8} \cdot 4500 = 562,5 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{b_0}{2} = \frac{3500}{2} = 1750 \text{ mm}$$

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif ( $b_e$ ) = 562,5 mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{b_e}{n} = \frac{562,5}{8} = 70,31 \text{ mm}$$

**Tabel 5. 4** Tegangan Komposit Balok Anak Atap Tipe 2

	Luas Transformasi A (mm <sup>2</sup> )	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm <sup>3</sup> )
<b>Pelat Beton</b>	$A_c = \frac{562,5 \cdot 120}{8} = 8437,5$	$\frac{120}{2} = 60$	506250

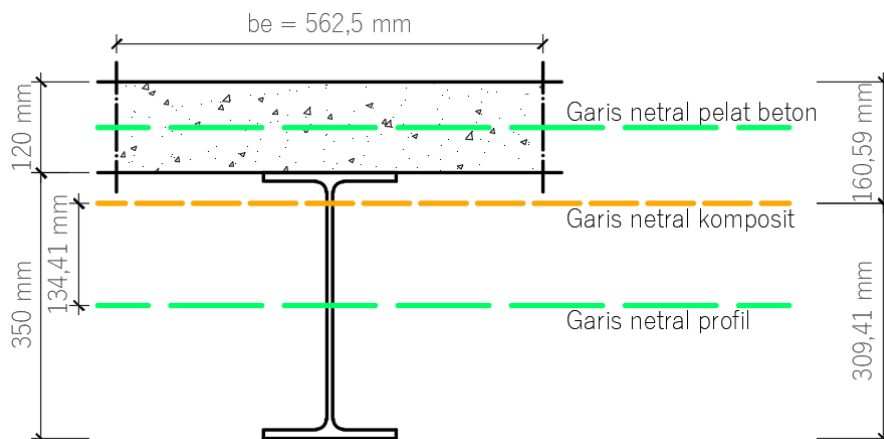
<b>Profil Baja WF</b>	6314	$\frac{350}{2} + 120 = 295$	1862630
<b>Σ</b>	14751,5		2368880

Menentukan letak garis netral profil,  $y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{2368880}{14751,5} = 160,59 \text{ mm} > tp = 120 \text{ mm}$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit,  $I_{tr}$  :

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= Ix \text{ profil} + A_{profil} \left( \frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + Ix \text{ beton} + A_c \left( y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\
 &= 133000000 + 6314 \left( \frac{350}{2} + 120 - 160,59 \right)^2 + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{562,5}{8} \cdot 120^3 \right) + \\
 &\quad 8347,5 \left( 160,59 - \frac{120}{2} \right)^2 \\
 &= 345567589,52 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$



**Gambar 5. 9** Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Atap Tipe 2

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$Wc \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{345567589,52}{160,59} = 2151920,02 \text{ mm}^3$$

$$Wc \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y-tp} = \frac{345567589,52}{160,59-120} = 8514515,28 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$Ws \text{ Atas} = 8514515,28 \text{ mm}^3$$

$$Ws \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{yb} = \frac{345567589,52}{309,41} = 1116844,29 \text{ mm}^3$$

➤ **Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit**

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{170265835}{8 \cdot 1985218,4} = 9,67 \text{ MPa}$$

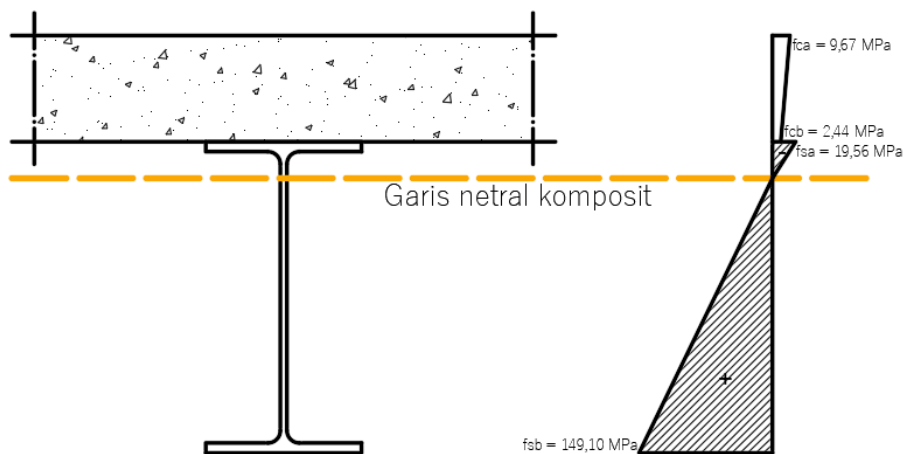
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{170265835}{8 \cdot 7415494,38} = 2,44 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{170265835}{7415494,38} = 19,56 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{170265835}{1280123,32} = 149,10 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat terlihat pada Gambar 5.10 berikut :



**Gambar 5. 10** Diagram Tegangan Balok Anak Atap Tipe 2 Komposit

➤ **Periksa Kekuatan Lentur Nominal (Mn)**

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 6314 \cdot 250 = 1578500 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (562,5 \cdot 120) \cdot 30 = 1721250 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, C = 1578500 N

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{1578500}{0,85 \cdot 30 \cdot 562,5} = 110,05 \text{ mm} < t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

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

$$y = \frac{d}{2} + tp - \frac{a}{2} = \frac{350}{2} + 120 - \frac{110,05}{2} = 239,98 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal ( $M_n$ ) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 1578500 \cdot 239,98 = 378802171 \text{ Nmm}$$

$$\mu_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 378802171 = 321981845,4 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$\mu_u > \mu_u$  beban yang bekerja

$$321981845,4 \text{ Nmm} > 166521343,20 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

### ➤ Menentukan *Shear Connector*

Direncanakan menggunakan *Shear Connector* dengan tipe *Stud* ½” x 2½”, dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$ .

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\ &= 0,5 \cdot 126,68 \cdot \sqrt{30 \cdot 25742,96} = 55663,17 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,68 \cdot 410 = 51938,8 \text{ N} < Q_n = 55663,17 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 110,5 \cdot 562,5 = 1578500 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{1578500}{51938,8} = 30,39 \approx 32 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

$$\text{Jarak longitudinal maksimum} = 8tp = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 64 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{4500}{32} = 140,63 \text{ mm} = 14,063 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

Syarat :

$$S_{min} < S < S_{max}$$

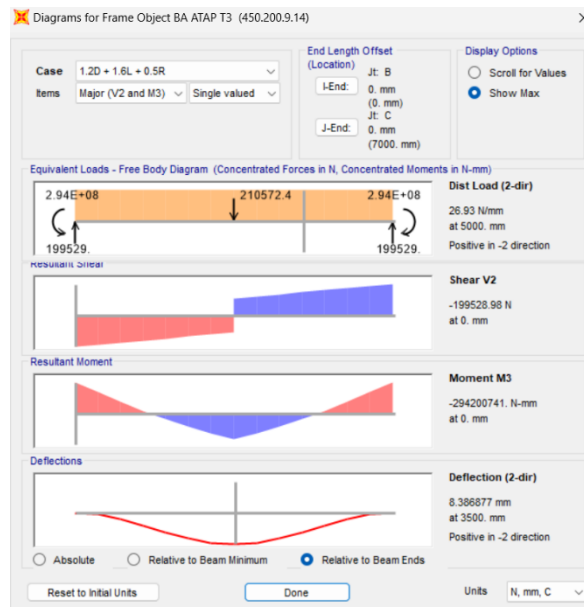
$$7,62 \text{ cm} < 14 \text{ cm} < 96 \text{ cm} \text{ (OK)}$$



### 5.2.3 Perencanaan Balok Anak Atap Tipe 3

Direncanakan balok anak atap tipe 3 menggunakan Profil Baja WF 450.200.9.14 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W)	= 76 kg/m <sup>1</sup>
Lebar Sayap (b)	= 200 mm
Tinggi Profil (d)	= 450 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 33500 cm <sup>4</sup> . 10000 = 335000000 mm <sup>4</sup>
Momen Inersia, (Iy)	= 1870 cm <sup>4</sup> . 10000 = 18700000 mm <sup>4</sup>
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 18,6 cm = 186 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 4,40 cm = 44 mm
Zx . ξ	= 1490 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 2235000 mm <sup>3</sup>
Zy . ξ	= 187 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 280500 mm <sup>3</sup>



**Gambar 5. 11** Output SAP2000 Pembebanan Balok Anak Atap Tipe 3

Hasil analisa gaya – gaya dalam yang terjadi pada balok anak atap tipe 3 yang ditampilkan pada Gambar 5.11 merupakan *output* menggunakan program SAP2000. Hasil tersebut didapat setelah memasukkan pembebanan pelat ekivalen yang telah diperhitungkan pada bab *Preliminary Design* (Gambar 4.7).

Diperoleh gaya – gaya dalam sebagai berikut :

$$M_u = 294100741 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 199528,98 \text{ N}$$

$$\delta (\text{Deflection}) = 8,39 \text{ m}$$

➤ **Kontrol Kelangsingan Penampang**

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{200}{2 \cdot 14} = 7,14 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 450 - 2(18 + 14) = 386 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{386}{9} = 42,89 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok anak atap tipe 3 setiap jarak 2 meter,  $L = 2000 \text{ mm}$ .

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 44 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2190,33 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 2000 \text{ mm} < L_p = 2190,33 \text{ mm}$  (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 2235000 \cdot 250 = 558750000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 558750000 = 502875000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{nx} > M_u$$

$$502875000 \text{ Nmm} > 294100741 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v_1$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{386}{9} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 42,89 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (450 \cdot 9) \cdot 1,0 \\ &= 607500 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 607500 \text{ N} \\ &= 546750 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi V_n > V_{ux}$$

$$546750 \text{ N} > 199528,98 \text{ N} \text{ (Profil aman terhadap geser)}$$

#### ➤ Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

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

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.11) untuk balok anak atap tipe 3 diketahui sebesar 8,39 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 19,44 \text{ mm} > 8,39 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

#### ➤ Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit teruraikan pada Tabel 5.5 dan terlihat seperti pada Gambar 5.12.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas,  $n$  dengan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

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

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{Beton}}} = \frac{200000}{25742,96} = 7,77 \approx 8$$

Menghitung lebar efektif ( $b_e$ ) untuk balok anak interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 7000 \text{ mm}$$

$$b_0 = \text{Jarak antar balok} = 4500 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{1}{8} L = \frac{1}{8} \cdot 7000 = 875 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{b_0}{2} = \frac{4500}{2} = 2250 \text{ mm}$$

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif ( $b_e$ ) = 875 mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{be}{n} = \frac{875}{8} = 109,38 \text{ mm}$$

**Tabel 5. 5** Tegangan Komposit Balok Anak Atap Tipe 3

	<b>Luas Transformasi A (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Lengan Momen y (mm)</b>	<b>A . y (mm<sup>3</sup>)</b>
<b>Pelat Beton</b>	$A_c = \frac{875 \cdot 120}{8} = 13125$	$\frac{120}{2} = 60$	787500
<b>Profil Baja WF</b>	9676	$\frac{450}{2} + 120 = 345$	3338220
<b>Σ</b>	22801		4125720

Menentukan letak garis netral profil,  $y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{4125720}{22801} = 180,94 \text{ mm} > t_p = 120 \text{ mm}$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit,  $I_{tr}$  :

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left( \frac{h_{profil}}{2} + t_p - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left( y - \frac{t_p}{2} \right)^2 \\ &= 335000000 + 9676 \left( \frac{450}{2} + 120 - 180,94 \right)^2 + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{875}{8} \cdot 120^3 \right) + \\ &\quad 13125 \left( 180,94 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 803158751,26 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

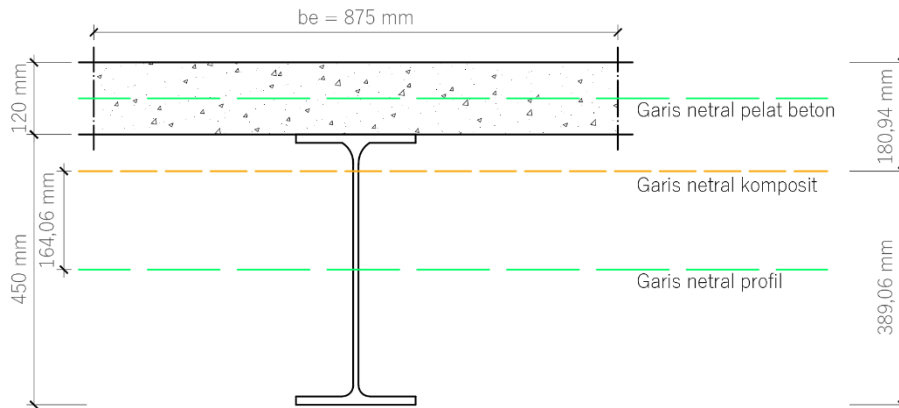
$$W_c \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{803158751,26}{180,94} = 4438697,41 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y - t_p} = \frac{803158751,26}{180,94 - 120} = 13178484,95 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$W_s \text{ Atas} = 13178484,95 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{803158751,26}{389,06} = 2064381,96 \text{ mm}^3$$



**Gambar 5. 12** Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Atap Tipe 3

➤ **Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit**

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{294100741}{8 \cdot 4438697,41} = 8,29 \text{ MPa}$$

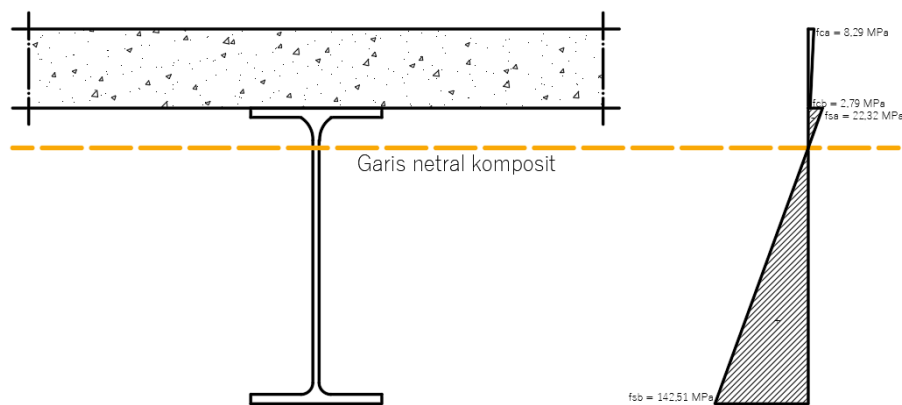
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{294100741}{8 \cdot 13178484,95} = 2,79 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{294100741}{13178484,95} = 22,32 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{294100741}{2064381,96} = 142,51 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat terlihat pada Gambar 5.13 berikut :



**Gambar 5. 13** Diagram Tegangan Balok Anak Atap Tipe 3 Komposit

➤ **Periksa Kekuatan Lentur Nominal (Mn)**

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 9676 \cdot 250 = 2419000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (875 \cdot 120) \cdot 30 = 2677500 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil,  $C = 2419000 \text{ N}$

Menentukan sumbu netral,  $a$  :

Asumsi  $a$  berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{2419000}{0,85 \cdot 30 \cdot 875} = 108,41 \text{ mm} < t_p = 120 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{450}{2} + 120 - \frac{108,41}{2} = 290,79 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal ( $M_n$ ) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 2419000 \cdot 290,79 = 703427582,6 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 703427582,6 = 597913445,2 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_u > M_u$  beban yang bekerja

$$597913445,2 \text{ Nmm} > 294100741 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

#### ➤ Menentukan *Shear Connector*

Direncanakan menggunakan *Shear Connector* dengan tipe *Stud* ½" x 2½", dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$ .

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\ &= 0,5 \cdot 126,68 \cdot \sqrt{30 \cdot 25742,96} = 55663,17 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,68 \cdot 410 = 51938,8 \text{ N} < Q_n = 55663,17 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 108,41 \cdot 875 = 2419000 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{2419000}{51938,8} = 46,57 \approx 48 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

Jarak longitudinal maksimum =  $8tp = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 96 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{7000}{48} = 145,83 \text{ mm} = 14,583 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

Syarat :

$$S_{\min} < S < S_{\max}$$

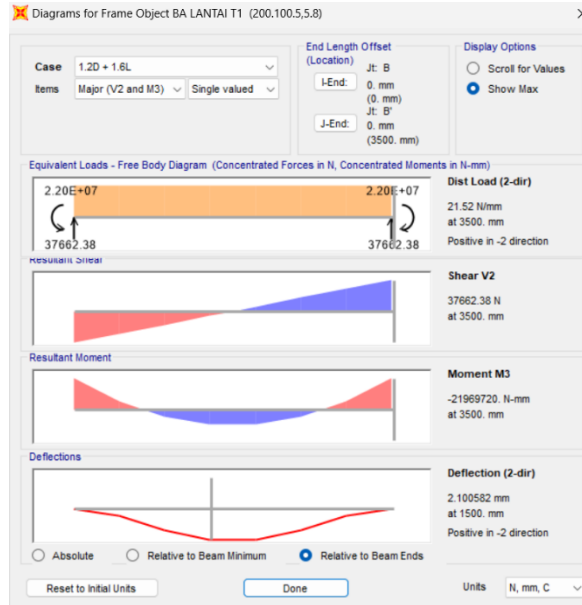
$$7,62 \text{ cm} < 14 \text{ cm} < 96 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

#### 5.2.4 Perencanaan Balok Anak Lantai Tipe 1

Direncanakan balok anak lantai tipe 1 menggunakan Profil Baja WF 200.100.5,5.8 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W)	= 21,3 kg/m <sup>1</sup>
Lebar Sayap (b)	= 100 mm
Tinggi Profil (d)	= 200 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 1840 cm <sup>4</sup> . 10000 = 18400000 mm <sup>4</sup>
Momen Inersia, (Iy)	= 134 cm <sup>4</sup> . 10000 = 1340000 mm <sup>4</sup>
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 8,24 cm = 82,4 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 2,22 cm = 22,2 mm
Zx . ξ	= 184 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 276000 mm <sup>3</sup>
Zy . ξ	= 26,8 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 40200 mm <sup>3</sup>

Hasil analisa gaya – gaya dalam yang terjadi pada balok anak lantai tipe 1 yang ditampilkan pada Gambar 5.14 merupakan *output* menggunakan program SAP2000. Hasil tersebut didapat setelah memasukkan pembebanan pelat ekuivalen yang telah diperhitungkan pada bab *Preliminary Design* (Gambar 4.9).



**Gambar 5. 14 Output SAP2000 Pembebanan Balok Anak Lantai Tipe 1**

Diperoleh gaya – gaya dalam sebagai berikut :

$$M_u = 21969720 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 37662,38 \text{ N}$$

$$\delta (\text{Deflection}) = 2,1 \text{ mm}$$

#### ➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{100}{2 \cdot 8} = 6,25 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 200 - 2(11 + 8) = 162 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{162}{5,5} = 29,45 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

#### ➤ Batas Bentang Pengaku Lateral

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok anak lantai tipe 1 setiap jarak 1 meter,  $L = 1000 \text{ mm}$ .

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :



$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 22,2 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 1105,12 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 1000 \text{ mm} < L_p = 1105,12 \text{ mm}$  (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 276000 \cdot 250 = 69000000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 69000000 = 62100000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{nx} > M_u$$

$$62100000 \text{ Nmm} > 21969720 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

#### ➤ Kontrol Geser

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1}$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{162}{5,5} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 29,45 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (200 \cdot 5,5) \cdot 1,0 \\ &= 165000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 165000 \text{ N} \\ &= 148500 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi V_n > V_{ux}$$

$$148500 \text{ N} > 37662,38 \text{ N} \text{ (Profil aman terhadap geser)}$$

#### ➤ Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

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

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.14) untuk balok anak lantai tipe 1 diketahui sebesar 2,1 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 9,72 \text{ mm} > 2,1 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

➤ **Periksa Tegangan Komposit**

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit teruraikan pada Tabel 5.6 dan terlihat seperti pada Gambar 5.15.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas,  $n$  dengan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

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

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{Beton}}} = \frac{200000}{25742,96} = 7,77 \approx 8$$

Menghitung lebar efektif ( $be$ ) untuk balok anak interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 3500 \text{ mm}$$

$$b_0 = \text{Jarak antar balok} = 2250 \text{ mm}$$

$$be = \frac{1}{8}L = \frac{1}{8} \cdot 3500 = 437,5 \text{ mm}$$

$$be = \frac{b_0}{2} = \frac{2250}{2} = 1125 \text{ mm}$$

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif ( $be$ ) = 437,5 mm

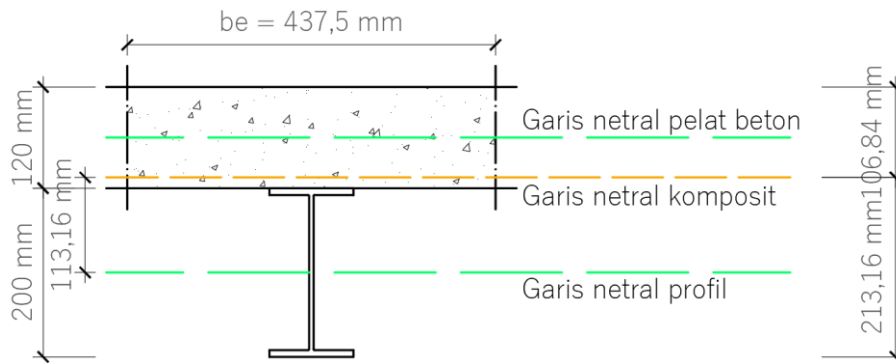
$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{be}{n} = \frac{437,5}{8} = 54,69 \text{ mm}$$

**Tabel 5. 6** Tegangan Komposit Balok Anak Lantai Tipe 1

	Luas Transformasi A (mm <sup>2</sup> )	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm <sup>3</sup> )
<b>Pelat Beton</b>	$A_c = \frac{437,5 \cdot 120}{8} = 6562,5$	$\frac{120}{2} = 60$	393750
<b>Profil Baja WF</b>	2716	$\frac{200}{2} + 120 = 220$	597520
<b>Σ</b>	9278,5		991270

$$\text{Menentukan letak garis netral profil, } y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{991270}{9278,5} = 106,84 \text{ mm} > \frac{tp}{2} = 60 \text{ mm}$$

(OK, Garis netral terletak di penampang beton).



**Gambar 5. 15** Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Lantai Tipe 1

Menentukan momen inersia komposit,  $I_{tr}$  :

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left( \frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left( y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\
 &= 18400000 + 2716 \left( \frac{200}{2} + 120 - 106,84 \right)^2 + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{437,5}{8} \cdot 120^3 \right) + \\
 &\quad 6562,5 \left( 106,84 - \frac{120}{2} \right)^2 \\
 &= 75451914,37 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Menentukan modulus penampang ( $W$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{75451914,37}{106,84} = 706246,12 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{tp-y} = \frac{75451914,37}{120-106,84} = 5731318,77 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang beton :

$$W_s \text{ atas} = 5731318,77 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{yb} = \frac{75451914,37}{213,16} = 353960,41 \text{ mm}^3$$

#### ➤ Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{25296583,5}{8 \cdot 706217,47} = 3,89 \text{ MPa}$$

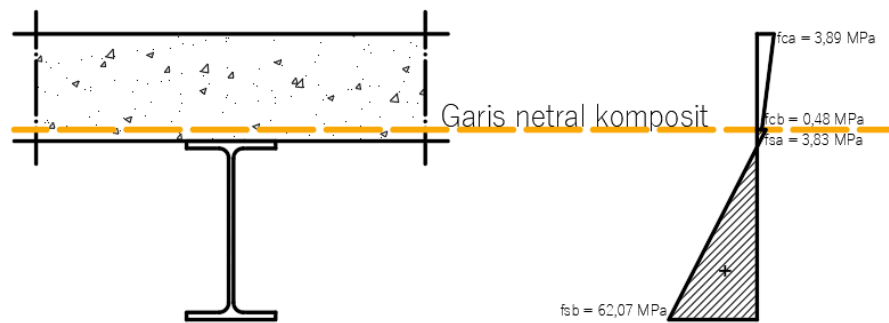
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{25296583,5}{8 \cdot 5731318,77} = 0,48 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{25296583,5}{5731318,77} = 3,83 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{25296583,5}{353960,41} = 62,07 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat terlihat pada Gambar 5.16 berikut :



**Gambar 5. 16** Diagram Tegangan Balok Anak Lantai Tipe 1 Komposit

➤ **Periksa Kekuatan Lentur Nominal (Mn)**

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 2716 \cdot 250 = 679000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (437,5 \cdot 120) \cdot 30 = 1338750 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, C = 679000 N

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{679000}{0,85 \cdot 30 \cdot 437,5} = 60,86 \text{ mm} < t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{200}{2} + 120 - \frac{60,86}{2} = 189,57 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal (Mn) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 1721250 \cdot 189,57 = 128717098 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 128717098 = 109409533,3 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_u > M_u$  beban yang bekerja

$$109409533,3 \text{ Nmm} > 25296583,5 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Menentukan Shear Connector**

Direncanakan menggunakan *Shear Connector* dengan tipe *Stud* ½” x 2½”, dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$ .

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'c \cdot Ec}$$
$$= 0,5 \cdot 126,68 \cdot \sqrt{30 \cdot 25742,96} = 55663,17 \text{ N}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,68 \cdot 410 = 51938,8 \text{ N} < Q_n = 55663,17 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 60,86 \cdot 437,5 = 679000 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{679000}{51938,8} = 13,07 \approx 14 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

$$\text{Jarak longitudinal maksimum} = 8t_p = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 28 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{3500}{14} = 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm}$$

Syarat :

$$S_{\min} < S < S_{\max}$$

$$7,62 \text{ cm} < 25 \text{ cm} < 96 \text{ cm (OK)}$$

### 5.2.5 Perencanaan Balok Anak Lantai Tipe 2

Direncanakan balok anak lantai tipe 2 menggunakan Profil Baja WF 350.175.7.11 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe 2 :

$$\text{Berat Profil (W)} = 49,6 \text{ kg/m}^1$$

$$\text{Lebar Sayap (b)} = 175 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Profil (d)} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Momen Inersia, (Ix)} = 13600 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 136000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momen Inersia, (Iy)} = 984 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 9840000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Jari – jari kelembaman arah X, (rx)} = 14,7 \text{ cm} = 147 \text{ mm}$$

$$\text{Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)} = 3,95 \text{ cm} = 39,5 \text{ mm}$$

$$Z_x \cdot \xi = 775 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 1162500 \text{ mm}^3$$

$$Z_y \cdot \xi = 112 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 168000 \text{ mm}^3$$

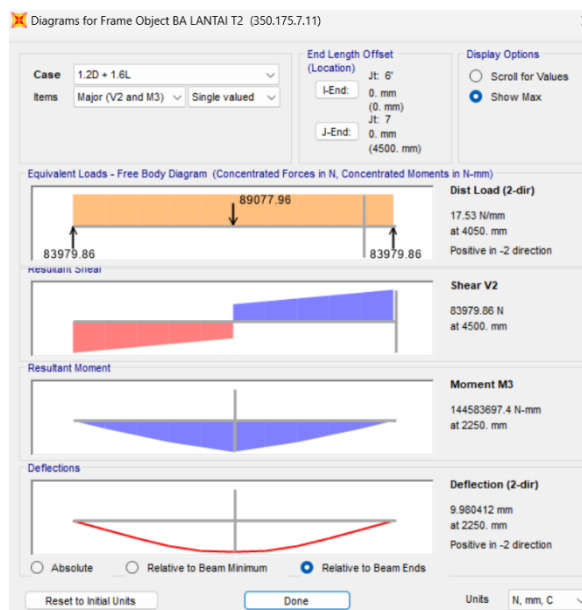
Hasil analisa gaya – gaya dalam yang terjadi pada balok anak lantai tipe 2 yang ditampilkan pada Gambar 5.17 merupakan *output* menggunakan program SAP2000. Hasil tersebut didapat setelah memasukkan pembebanan pelat ekivalen yang telah diperhitungkan pada bab *Preliminary Design* (Gambar 4.16).

Diperoleh gaya – gaya dalam sebagai berikut :

$$M_u = 145626906,3 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 84907,16 \text{ N}$$

$$\delta (\text{Deflection}) = 10,29 \text{ mm}$$



**Gambar 5. 17** Output SAP2000 Pembebanan Balok Anak Lantai Tipe 2

### ➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{175}{2 \cdot 11} = 7,95 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 298 - 2(11 + 14) = 248 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{300}{7} = 42,86 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok anak lantai tipe 2 setiap jarak 1,5 meter,  $L = 1500$  mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 \cdot 39,5 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 1966,32 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 1500$  mm  $<$   $L_p = 1966,32$  mm (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

$$M_n = M_{px}$$

$$M_n = Z_x \cdot fy = 1162500 \cdot 250 = 290625000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

$$M_u = \phi M_n$$

$$M_u = 0,9 \cdot 290625000 = 261562500 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_n > M_u$$

$$261562500 \text{ Nmm} > 144583697,40 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

$$V_n = 0,6 \cdot fy \cdot A_w \cdot C_{v1}$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{fy}} \right) = \frac{300}{7} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 42,86 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot fy \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (350 \cdot 7) \cdot 1,0 \\ &= 367500 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 367500 \text{ N} \\ &= 330750 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\emptyset V_n > V_{ux}$$

$$330750 \text{ N} > 83979,86 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ **Kontrol Defleksi**

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{4500}{360} = 12,5 \text{ mm}$$

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.17) untuk balok anak lantai tipe 2 diketahui sebesar 9,98 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 12,5 \text{ mm} > 9,98 \text{ mm (OK)}$$

➤ **Periksa Tegangan Komposit**

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit teruraikan pada Tabel 5.7 dan terlihat seperti pada Gambar 5.18.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas,  $n$  dengan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

$$E_{\text{beton}} = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

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

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{Beton}}} = \frac{200000}{25742,96} = 7,77 \approx 8$$

Menghitung lebar efektif ( $b_e$ ) untuk balok anak interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 4500 \text{ mm}$$

$$b_0 = \text{Jarak antar balok} = 3500 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{1}{8}L = \frac{1}{8} \cdot 4500 = 562,5 \text{ mm}$$

$$b_e = \frac{b_0}{2} = \frac{3500}{2} = 1750 \text{ mm}$$

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif ( $b_e$ ) = 562,5 mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{b_e}{n} = \frac{562,5}{8} = 70,31 \text{ mm}$$

**Tabel 5. 7** Tegangan Komposit Balok Anak Lantai Tipe 2

	Luas Transformasi A (mm <sup>2</sup> )	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm <sup>3</sup> )
<b>Pelat Beton</b>	$A_c = \frac{562,5 \cdot 120}{8} = 8437,5$	$\frac{120}{2} = 60$	506250
<b>Profil Baja WF</b>	6314	$\frac{350}{2} + 120 = 295$	1862630
<b>Σ</b>	14751,5		2368880

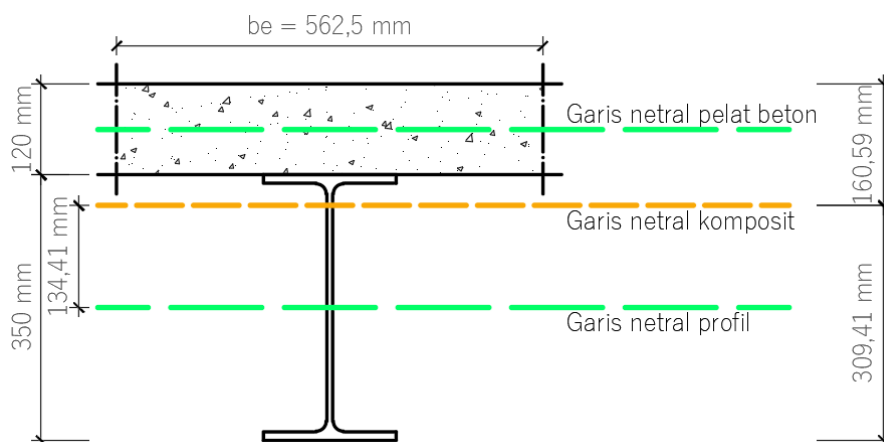


Menentukan letak garis netral profil,  $y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{2368880}{14751,5} = 160,59 \text{ mm} > tp = 120 \text{ mm}$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit,  $I_{tr}$  :

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left( \frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left( y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\ &= 133000000 + 6314 \left( \frac{350}{2} + 120 - 160,59 \right)^2 + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{562,5}{8} \cdot 120^3 \right) + \\ &\quad 8347,5 \left( 160,59 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 345567589,52 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



**Gambar 5. 18** Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Lantai Tipe 2

Menentukan modulus penampang ( $W$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{345567589,52}{160,59} = 2151920,02 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y-tp} = \frac{345567589,52}{160,59-120} = 8514515,28 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$W_s \text{ Atas} = 8514515,28 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{yb} = \frac{345567589,52}{309,41} = 1116844,29 \text{ mm}^3$$

#### ➤ Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{144583697,4}{8 \cdot 2151920,02} = 8,40 \text{ MPa}$$

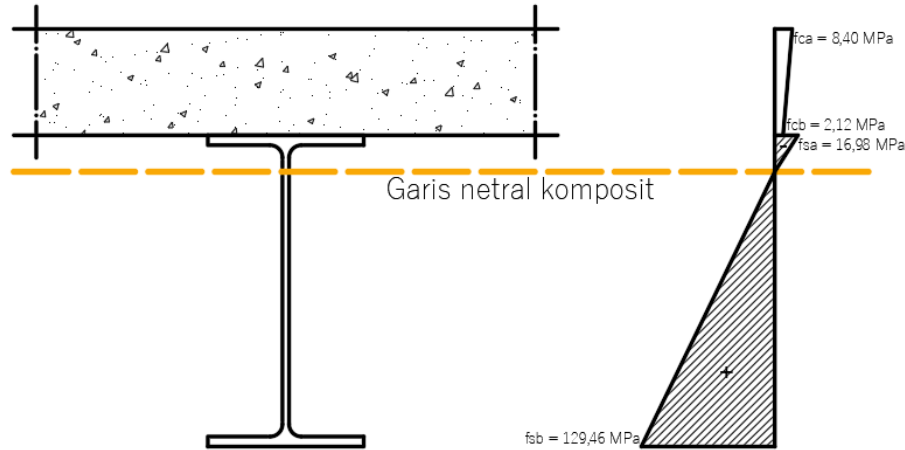
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{144583697,4}{8 \cdot 8514515,28} = 2,12 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{144583697,4}{8514515,28} = 16,98 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{144583697,4}{1116844,29} = 129,46 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat terlihat pada Gambar 5.19 berikut :



**Gambar 5. 19** Diagram Tegangan Balok Anak Lantai Tipe 2 Komposit

➤ **Periksa Kekuatan Lentur Nominal (Mn)**

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 6314 \cdot 250 = 1578500 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (562,5 \cdot 120) \cdot 30 = 1721250 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, C = 1578500 N

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{1578500}{0,85 \cdot 30 \cdot 562,5} = 110,05 \text{ mm} < t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{350}{2} + 120 - \frac{110,05}{2} = 239,98 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal (Mn) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 1578500 \cdot 239,98 = 378802171 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 378802171 = 32981845,4 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_u > M_u$  beban yang bekerja

32981845,4 Nmm > 144583697,4 Nmm (**OK**)

➤ **Menentukan *Shear Connector***

Direncanakan menggunakan *Shear Connector* dengan tipe *Stud* ½” x 2½”, dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton  $f'_c = 30$  MPa.

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\ &= 0,5 \cdot 126,68 \cdot \sqrt{30 \cdot 25742,96} = 55663,17 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,68 \cdot 410 = 51938,8 \text{ N} < Q_n = 55663,17 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 110,05 \cdot 562,5 = 1578500 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{1721250}{51938,8} = 30,39 \approx 32 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

$$\text{Jarak longitudinal maksimum} = 8t_p = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 64 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{4500}{32} = 140,63 \text{ mm} = 14,063 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

Syarat :

$$S_{min} < S < S_{max}$$

$$7,62 \text{ cm} < 14 \text{ cm} < 96 \text{ cm} (\mathbf{OK})$$

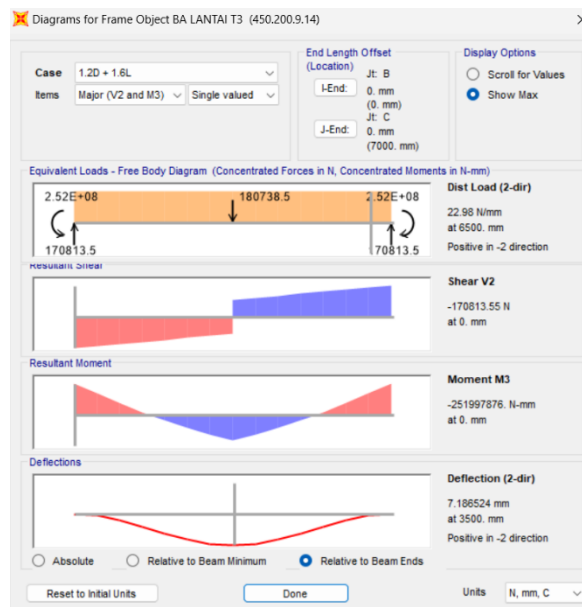
### 5.2.6 Perencanaan Balok Anak Lantai Tipe 3

Direncanakan balok anak lantai tipe 3 menggunakan Profil Baja WF 450.200.9.14 dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Berat Profil (W)} = 76 \text{ kg/m}^1$$

Lebar Sayap (b)	= 200 mm
Tinggi Profil (d)	= 450 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 33500 cm <sup>4</sup> . 10000 = 335000000 mm <sup>4</sup>
Momen Inersia, (Iy)	= 1870 cm <sup>4</sup> . 10000 = 18700000 mm <sup>4</sup>
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 18,6 cm = 186 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 4,40 cm = 44 mm
Zx . ξ	= 1490 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 2235000 mm <sup>3</sup>
Zy . ξ	= 187 cm <sup>3</sup> . 1000 . 1,5 = 280500 mm <sup>3</sup>

Hasil analisa gaya – gaya dalam yang terjadi pada balok anak lantai tipe 3 yang ditampilkan pada Gambar 5.20 merupakan *output* menggunakan program SAP2000. Hasil tersebut didapat setelah memasukkan pembebanan pelat ekivalen yang telah diperhitungkan pada bab *Preliminary Design* (Gambar 4.18).



**Gambar 5. 20** Output SAP2000 Pembebanan Balok Anak Lantai Tipe 3

Diperoleh gaya – gaya dalam sebagai berikut :

$$M_u = 251997876 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 170813,55 \text{ N}$$

$$\delta (\text{Deflection}) = 7,19 \text{ mm}$$

#### ➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{200}{2 \cdot 14} = 7,14 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 450 - 2(18 + 14) = 386 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{386}{9} = 42,89 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

#### ➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok anak lantai tipe 3 setiap jarak 2 meter,  $L = 2000 \text{ mm}$ .

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 44 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2190,33 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 2000 \text{ mm} < L_p = 2190,33 \text{ mm}$  (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 2235000 \cdot 250 = 558750000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 558750000 = 502875000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{nx} > M_u$$

$$502875000 \text{ Nmm} > 251997876 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

#### ➤ **Kontrol Geser**

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v_1$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{386}{9} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 42,89 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v_1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\
 &= 0,6 \cdot 250 \cdot (450 \cdot 9) \cdot 1,0 \\
 &= 607500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \cdot 607500 \text{ N} \\
 &= 546750 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi V_n > V_{ux}$$

546750 N > 170813,55 N (Profil aman terhadap geser)

#### ➤ **Kontrol Defleksi**

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

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

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.19) untuk balok anak lantai tipe 3 diketahui sebesar 7,19 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 19,44 \text{ mm} > 7,19 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

#### ➤ **Periksa Tegangan Komposit**

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit teruraikan pada Tabel 5.8 dan terlihat seperti pada Gambar 5.21.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas,  $n$  dengan mutu beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

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

$$n = \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{Beton}}} = \frac{200000}{25742,96} = 7,77 \approx 8$$

Menghitung lebar efektif ( $be$ ) untuk balok anak interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 7000 \text{ mm}$$

$$b_0 = \text{Jarak antar balok} = 4500 \text{ mm}$$

$$be = \frac{1}{8} L = \frac{1}{8} \cdot 7000 = 875 \text{ mm}$$

$$be = \frac{b_0}{2} = \frac{4500}{2} = 2250 \text{ mm}$$

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif ( $be$ ) = 875 mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{be}{n} = \frac{875}{8} = 109,38 \text{ mm}$$

**Tabel 5. 8** Tegangan Komposit Balok Anak Lantai Tipe 3

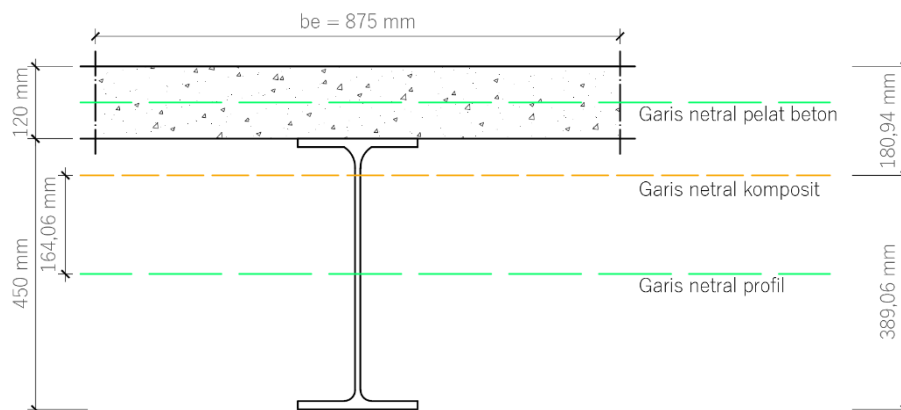
	Luas Transformasi A (mm <sup>2</sup> )	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm <sup>3</sup> )
<b>Pelat Beton</b>	$A_c = \frac{875 \cdot 120}{8} = 13125$	$\frac{120}{2} = 60$	787500
<b>Profil Baja WF</b>	9676	$\frac{450}{2} + 120 = 345$	3338220
<b>Σ</b>	22801		4125720

Menentukan letak garis netral profil,  $y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{4125720}{22801} = 180,94 \text{ mm} > \frac{tp}{2} = 60 \text{ mm}$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit,  $I_{tr}$  :

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left( \frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left( y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\
 &= 335000000 + 9676 \left( \frac{450}{2} + 120 - 180,94 \right)^2 + \left( \frac{1}{12} \cdot \frac{875}{8} \cdot 120^3 \right) + \\
 &\quad 13125 \left( 180,94 - \frac{120}{2} \right)^2 \\
 &= 803158751,26 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$



**Gambar 5. 21** Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Anak Lantai Tipe 3

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{803158751,26}{180,94} = 4438697,41 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y-tp} = \frac{803158751,26}{180,94-120} = 13178484,95 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$W_s \text{ Atas} = 13178484,95 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{803158751,26}{389,06} = 2064381,96 \text{ mm}^3$$

➤ **Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit**

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{251997876}{8 \cdot 4438697,41} = 7,1 \text{ MPa}$$

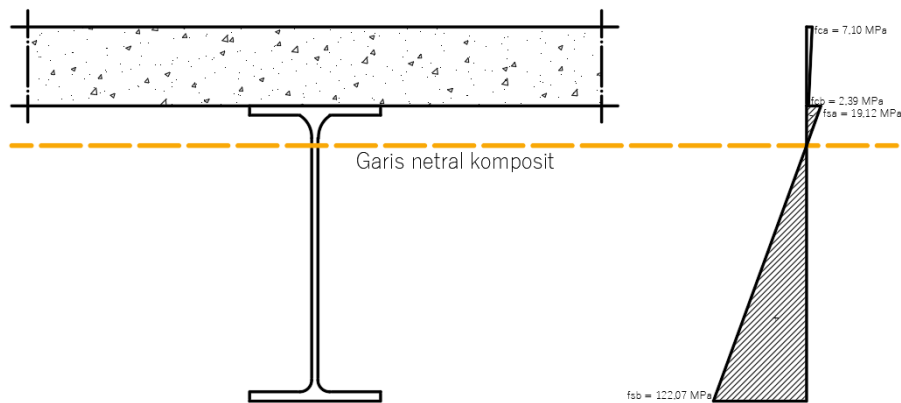
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{251997876}{8 \cdot 13178484,95} = 2,39 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{251997876}{13178484,95} = 19,12 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{251997876}{2064381,96} = 122,07 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat terlihat pada Gambar 5.22 berikut :



**Gambar 5. 22** Diagram Tegangan Balok Anak Lantai Tipe 3 Komposit

➤ **Periksa Kekuatan Lentur Nominal (Mn)**

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 9676 \cdot 250 = 2419000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (875 \cdot 120) \cdot 30 = 2677500 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, C = 2419000 N

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{2419000}{0,85 \cdot 30 \cdot 875} = 108,41 \text{ mm} < t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

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



$$y = \frac{d}{2} + tp - \frac{a}{2} = \frac{450}{2} + 120 - \frac{108,41}{2} = 290,79 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal ( $M_n$ ) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 2419000 \cdot 290,79 = 703427582,6 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 703427582,6 = 597913445,2 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_u > M_u$  beban yang bekerja

$$597913445,2 \text{ Nmm} > 251997876 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

### ➤ Menentukan *Shear Connector*

Direncanakan menggunakan *Shear Connector* dengan tipe *Stud* ½” x 2½”, dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton  $f'c = 30 \text{ MPa}$ .

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'c \cdot E_c} \\ &= 0,5 \cdot 126,68 \cdot \sqrt{30 \cdot 25742,96} = 55663,17 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_{sc} \cdot f_u = 126,68 \cdot 410 = 51938,8 \text{ N} < Q_n = 55663,17 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 108,41 \cdot 875 = 2419000 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{2491000}{51938,8} = 46,57 \approx 48 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

$$\text{Jarak longitudinal maksimum} = 8tp = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}$$

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 96 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{7000}{48} = 145,83 \text{ mm} = 14,583 \text{ cm} \approx 14 \text{ cm}$$

Syarat :

$$S_{min} < S < S_{max}$$

$$7,62 \text{ cm} < 14 \text{ cm} < 96 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

## 5.2 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan gedung Hotel Hashira ini tangga direncanakan menggunakan struktur baja.

Denah tangga seperti pada Gambar 5.23 dan potongan tangga pada gambar 5.24.

Data perencanaan tangga :

Tinggi tangga = 4 m

Elevasi bordes = 2 m

Lebar pijakan = 30 cm

Tinggi pijakan = 20 cm

Jumlah pijakan =  $\frac{\text{Elevasi Bordes}}{\text{Tinggi Pijakan}} = \frac{200}{20} = 10 \text{ buah}$

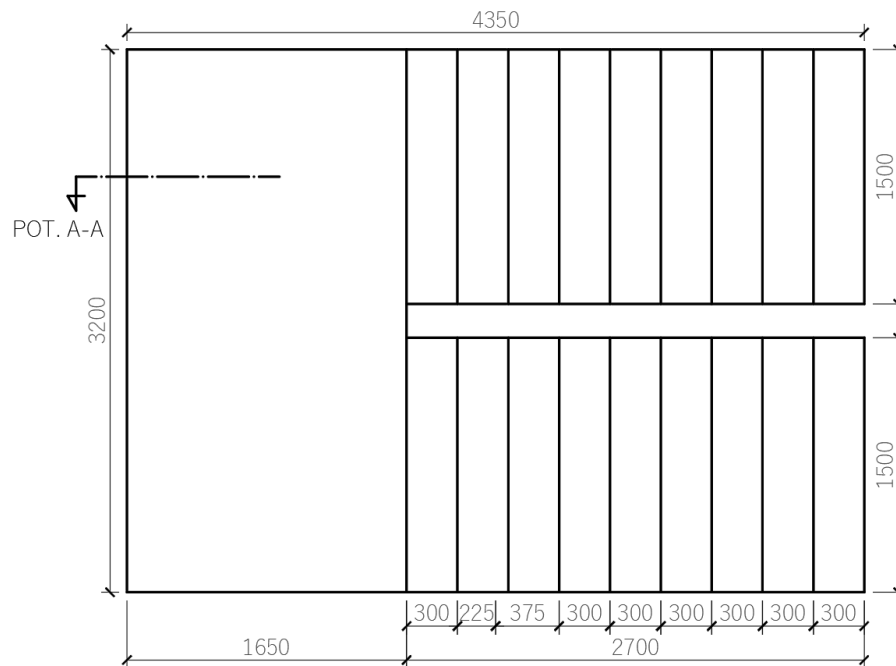
Jumlah anak tangga (n) = 10 – 1 = 9 buah

Kemiringan tangga ( $\alpha$ ) =  $\arctan\left(\frac{200}{270}\right) = 36,53^\circ < 40^\circ$  (OK)

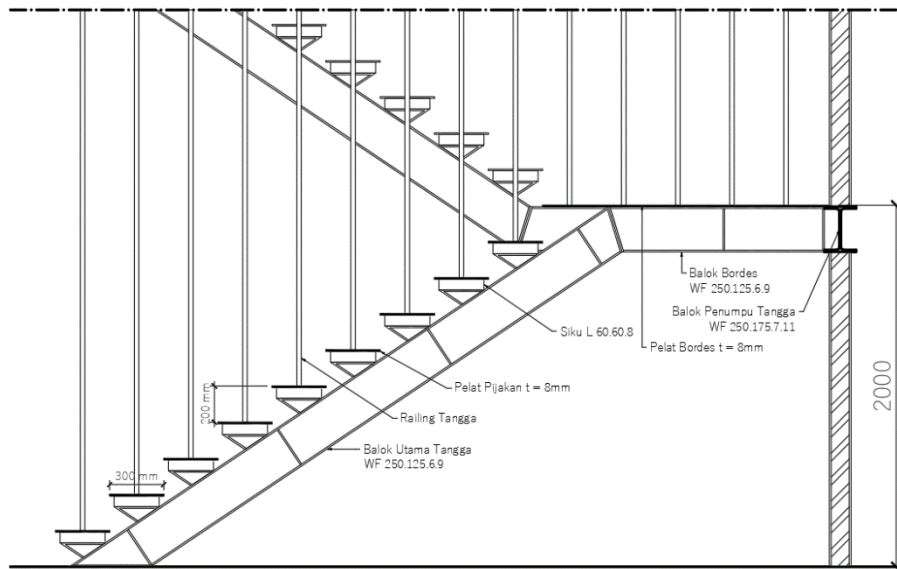
Panjang miring tangga =  $\sqrt{200^2 + 270^2} = 336,01 \text{ cm}$

Panjang bordes arah X = 1,65 m

Lebar bordes arah Y = 3,2 m



Gambar 5. 23 Denah Tangga



**Gambar 5. 24** Potongan A-A Tangga

➤ **Perencanaan Balok Utama Tangga dan Balok Bordes**

Direncanakan menggunakan Profil Baja WF 250.125.6.9 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil (W)	= 29,6 kg/m <sup>1</sup>
Lebar Sayap (b)	= 125 mm
Tinggi Profil (d)	= 250 mm
Luas Penampang (A)	= 37,66 cm <sup>2</sup> = 3766 mm <sup>2</sup>
Momen Inersia, (Ix)	= 4050 cm <sup>4</sup> . 10000 = 40500000 mm <sup>4</sup>
Momen Inersia, (Iy)	= 294 cm <sup>4</sup> . 10000 = 2940000 mm <sup>4</sup>
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 10,4 cm = 104 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 2,79 cm = 27,9 mm
Zx	= 324 cm <sup>3</sup> . 1000 = 324000 mm <sup>3</sup>
Zy	= 47 cm <sup>3</sup> . 1000 = 47000 mm <sup>3</sup>

Pembebanan Balok Utama Tangga

- Beban balok tangga miring (beban merata)

$$\text{Berat sendiri profil WF} = \frac{29,6}{\cos 36,53} = 36,84 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat profil siku L 60.60.8} = 7,09 \text{ kg/m}$$

$$\text{qU}_1 = 43,93 \text{ kg/m} +$$

### Beban tiap 1 Anak Tangga

- Beban mati 1 anak tangga :

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat pelat baja P} & = & 0,008 \times 1,5 \times 0,3 \times 7850 = 28,26 \text{ kg} \\ \text{Berat alat penyambung (asumsi 10\%)} & = & 2,83 \text{ kg} \\ \hline \text{PD} & = & 31,09 \text{ kg} \end{array} +$$

- Beban hidup 1 anak tangga :

Berdasarkan peraturan SNI 1727:2020 Pasal 4.5.4 untuk tangga tetap harus direncanakan agar dapat menahan beban terpusat tunggal sebesar 135 kg.

- Beban Kombinasi (PU) untuk 1 anak tangga didapat :

$$\begin{aligned} \text{PU} &= 1,2D + 1,6L \\ &= (1,2 \times 31,09) + (1,6 \times 135) \\ &= 253,31 \text{ kg} \end{aligned}$$

### Pembebanan Bordes

- Beban Mati

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat pelat baja P} & = & 0,008 \times 1,65 \times 7850 = 103,62 \text{ kg/m} \\ \text{Berat sendiri profil WF 250.125.6.9} & = & 29,60 \text{ kg/m} \\ \hline \text{qD} & = & 133,22 \text{ kg/m} \end{array} +$$

- 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 480 kg/m<sup>2</sup>.

- Beban Kombinasi

$$\begin{aligned} \text{qU}_2 &= 1,2D + 1,6L \\ &= (1,2 \times 133,22) + (1,6 \times 480) \\ &= 927,86 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

### ➤ **Perencanaan Balok Penumpu Tangga**

Direncanakan menggunakan profil WF 250.175.7.11 dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat Profil (W)} & = & 44,1 \text{ kg/m}^1 \\ \text{Lebar Sayap (b)} & = & 175 \text{ mm} \\ \text{Tinggi Profil (d)} & = & 244 \text{ mm} \\ \text{Luas Penampang (A)} & = & 56,24 \text{ cm}^2 = 5624 \text{ mm}^2 \\ \text{Momen Inersia, (Ix)} & = & 6120 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 61200000 \text{ mm}^4 \\ \text{Momen Inersia, (Iy)} & = & 984 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 9840000 \text{ mm}^4 \end{array}$$

Jari – jari kelembaman arah X, ( $r_x$ ) = 10,4 cm = 104 mm

Jari – jari kelembaman arah Y, ( $r_y$ ) = 4,18 cm = 41,8 mm

$Z_x$  = 502 cm<sup>3</sup> . 1000 = 502000 mm<sup>3</sup>

$Z_y$  = 113 cm<sup>3</sup> . 1000 = 113000 mm<sup>3</sup>

### Pembebanan Balok Penumpu Tangga

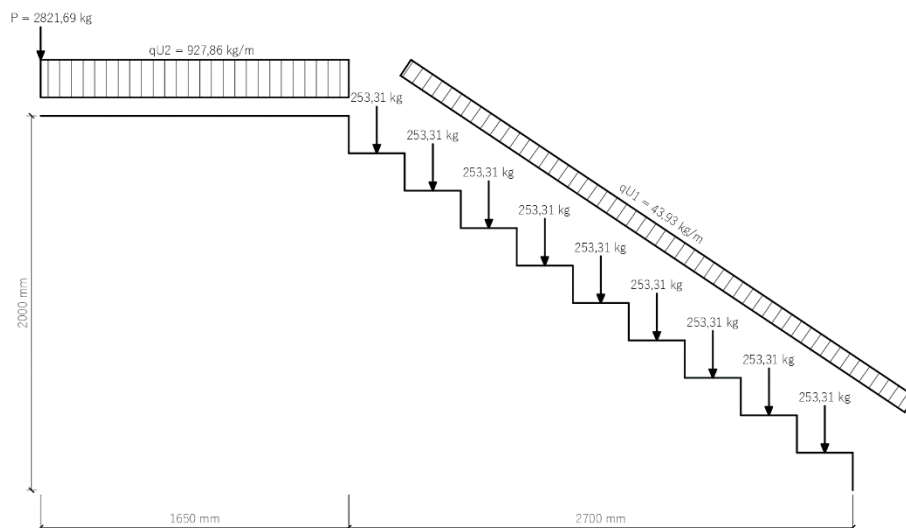
Berat sendiri profil WF 250.175.7.11 x 1,6 m = 70,56 kg

Beban balok tangga miring 5 (1/2 bentang miring) x 253,31 = 1266,55 kg

Beban bordes  $qU_2$  x 1,6 = 1484,58 kg

+  
Total beban ( $P_u$ ) = 2821,69 kg

Statika pembebanan tangga dilihat pada Gambar 5.25. Analisa gaya – gaya dalam menggunakan program SAP2000 dan didapat gaya momen lentur ( $M_u$ ) seperti pada Gambar 5.26 dan gaya geser ( $V_u$ ) seperti pada Gambar 5.27. *Output* yang didapat dari SAP2000 untuk pembebanan balok utama tangga ditampilkan pada Gambar 5.28, pembebanan balok bordes akan ditampilkan pada Gambar 5.29, dan pembebanan balok penumpu tangga ditampilkan pada Gambar 5.30.



**Gambar 5. 25** Sket Pembebanan Tangga



Dari Gambar 5.28 didapatkan nilai gaya – gaya dalam pada tangga sebagai berikut :

$$M_u = 22785385,08 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 16213,64 \text{ N}$$

$$\delta \text{ (Deflection)} = 3,29 \text{ mm}$$

### 5.3.1 Analisa Balok Utama Tangga

Diasumsikan bahwa profil WF 250.125.6.9 merupakan penampang kompak dengan syarat :

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

$$M_{ux} < \phi \cdot Z_x \cdot f_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{22785385,08}{0,9 \cdot 250} = 101268,38 \text{ mm}^3$$

$$\text{Diperoleh, } Z_x \text{ profil} = 324000 \text{ mm}^3 > 101268,38 \text{ mm}^3 \text{ (OK)}$$

Maka, balok utama tangga akan direncanakan menggunakan profil baja WF 250.125.6.9.

#### ➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{125}{2 \cdot 9} = 6,94 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 250 - 2(12 + 9) = 208 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{208}{6} = 34,67 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

#### ➤ Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = \frac{30}{\cos(36,53)} = 37,33 \text{ cm}$$

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok utama tangga setiap jarak 1 meter,  $L = 1000$  mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 27,9 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 1388 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 1000 \text{ mm} < L_p = 1388 \text{ mm}$  (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 324000 \cdot 250 = 81000000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 81000000 = 72900000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{nx} > M_u$$

$$72900000 \text{ Nmm} > 22785385,08 \text{ Nmm (OK)}$$

#### ➤ Kontrol Geser

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1}$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{208}{6} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 34,67 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (250 \cdot 6) \cdot 1,0 \\ &= 225000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 225000 \text{ N} \\ &= 202500 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi V_n > V_{ux}$$

$$202500 \text{ N} > 16213,64 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

#### ➤ Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{3360}{360} = 9,33 \text{ mm}$$

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.28) untuk balok utama tangga diketahui sebesar 3,29 mm. Sehingga :



$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 9,33 \text{ mm} > 3,29 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Lendutan yang terjadi pada profil baja WF 250.125.6.9 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi. Maka, profil dapat digunakan sebagai balok utama tangga.

### 5.3.1 Analisa Balok Bordes



**Gambar 5. 29** Output SAP2000 Gaya Dalam Pembebanan Balok Bordes

Diketahui hasil analisa gaya – gaya dalam pada balok bordes terlihat pada Gambar 5.29 dengan hasil sebagai berikut :

$$M_u = 21392012,33 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 20832,01 \text{ N}$$

$$\delta \text{ (Deflection)} = 0,58 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa profil WF 250.125.6.9 merupakan penampang kompak dengan syarat :

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

$$M_{ux} < \phi \cdot Z_x \cdot f_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{22785385,08}{0,9 \cdot 250} = 101268,38 \text{ mm}^3$$

$$\text{Diperoleh, } Z_x \text{ profil} = 324000 \text{ mm}^3 > 101268,38 \text{ mm}^3 \text{ (OK)}$$

Maka, balok utama tangga akan direncanakan menggunakan profil baja WF 250.125.6.9.

#### ➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{125}{2 \cdot 9} = 6,94 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 250 - 2(12 + 9) = 208 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{208}{6} = 34,67 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

#### ➤ Kontrol Tekuk Lateral

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

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok utama tangga setiap jarak 1 meter,  $L = 1000$  mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 27,9 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 1388 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 1000 \text{ mm} < L_p = 1388 \text{ mm}$  (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 324000 \cdot 250 = 81000000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 81000000 = 72900000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{nx} > M_u$$

$$72900000 \text{ Nmm} > 21392012,33 \text{ Nmm (OK)}$$

#### ➤ Kontrol Geser

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v_1$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \left( \sqrt{Kv \frac{E}{fy}} \right) = \frac{208}{6} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 34,67 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $Cv_1 = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot fy \cdot Aw \cdot Cv_1 \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (250 \cdot 6) \cdot 1,0 \\ &= 225000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 225000 \text{ N} \\ &= 202500 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi V_n > V_{ux}$$

202500 N > 20832,01 N (Profil aman terhadap geser)

#### ➤ Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{1650}{360} = 4,58 \text{ mm}$$

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.29) untuk balok utama tangga diketahui sebesar 0,58 mm. Sehingga :

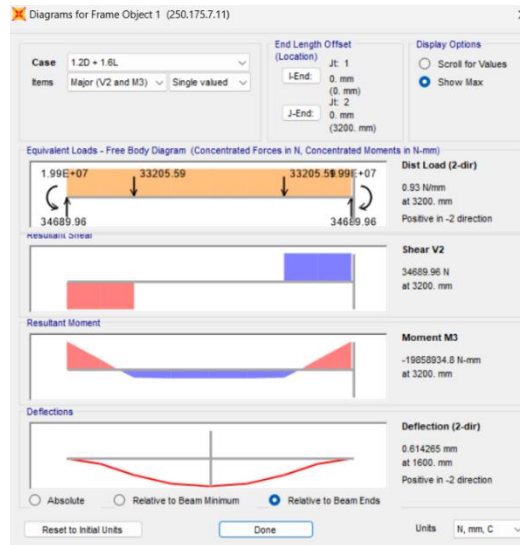
$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 4,58 \text{ mm} > 0,58 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Lendutan yang terjadi pada profil baja WF 250.125.6.9 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi. Maka, profil dapat digunakan sebagai balok bordes.

### 5.3.2 Analisa Balok Penumpu Tangga

Diketahui pembebanan balok penumpu tangga sebagai berikut :

$$P_u = 2821,69 \text{ kg}$$



**Gambar 5. 30** Output SAP2000 Gaya Dalam Pembebanan Balok Penumpu Tangga

Diketahui hasil analisa gaya – gaya dalam pada balok penumpu tangga terlihat pada Gambar 5.30 dengan nilai sebagai berikut :

$$M_u = 19858934,8 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 34689,96 \text{ N}$$

$$\delta (\text{Deflection}) = 0,61 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa profil WF 250.175.7.11 merupakan penampang kompak dengan syarat :

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

$$M_{ux} < \phi \cdot Z_x \cdot f_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{19858934,8}{0,9 \cdot 250} = 88261,93 \text{ mm}^3$$

$$\text{Diperoleh, } Z_x \text{ profil} = 502000 \text{ mm}^3 > 88261,93 \text{ mm}^3 \text{ (OK)}$$

Maka, balok utama tangga akan direncanakan menggunakan profil baja WF 250.175.7.11.

#### ➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{175}{2 \cdot 11} = 7,95 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75b$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + t_f) = 244 - 2(16 + 11) = 190 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{190}{7} = 27,14 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

➤ **Kontrol Tekuk Lateral**

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

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok utama tangga setiap jarak 1,5 meter,  $L = 1500 \text{ mm}$ .

Batas maksimum jarak pengaku lateral ( $L_p$ ) :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 41,8 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2080,82 \text{ mm}$$

Maka, karena  $L = 1500 \text{ mm} < L_p = 2080,82 \text{ mm}$  (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal  $M_n$  adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 502000 \cdot 250 = 125500000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 125500000 = 112950000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{nx} > M_u$$

$$112950000 \text{ Nmm} > 19858934,8 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1}$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{190}{7} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 27,14 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (244 \cdot 7) \cdot 1,0 \\ &= 256200 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 256200 \text{ N} \\ &= 230580 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\emptyset V_n > V_{ux}$$

$$230580 \text{ N} > 34689,96 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ **Kontrol Defleksi**

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{3200}{360} = 8,89 \text{ mm}$$

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.30) untuk balok penumpu tangga diketahui sebesar 0,61 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 8,89 \text{ mm} > 0,61 \text{ mm (OK)}$$

Lendutan yang terjadi pada profil baja WF 250.175.7.11 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi. Maka, profil dapat digunakan sebagai balok penumpu tangga.

### 5.3.3 Perencanaan Balok Penggantung Lift

Balok penggantung *lift* merupakan balok yang direncanakan untuk memikul beban dari ruangan mesin *lift*. *Lift* yang akan digunakan pada gedung Hotel Hashira ini merupakan *lift* yang diproduksi oleh *SIGMA ELEVATOR*, dengan data – data spesifikasi sebagai berikut :

Merk / Brand Lift	= Sigma Elevator (ACRA)
Kapasitas	= 9 Orang (680 kg)
Kecepatan	= 1,5 m/s
Lebar Pintu ( <i>Opening Width</i> )	= 800 mm
Dimensi Sangkar ( <i>Car Size</i> )	= 1400 mm x 1250 mm
Dimensi Ruang Luncur ( <i>Hoist Way</i> )	= 4100 mm x 1950 mm ( <i>Duplex</i> )
Dimensi Ruang Mesin ( <i>Machine Room</i> )	= 4100 mm x 1950 mm ( <i>Duplex</i> )
Beban Reaksi Ruang Mesin	= R1 = 3950 kg
	= R2 = 2300 kg

#### Beban pada balok penumpu

Beban yang akan bekerja pada balok penggantung *lift* meliputi beban mesin penggerak *lift*, berat kereta luncur, serta beban akibat bandul dan 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 :

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

Dimana :

$\Psi$  = 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 sebesar 1,4/3

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

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

$$\begin{aligned} P &= \Sigma R \cdot \Psi \\ &= (4900 + 3400) \cdot (1 + 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1) \\ &= 14774 \text{ kg} \end{aligned}$$

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

Direncanakan menggunakan profil baja WF 250.175.7.11 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil (W)	= 44,1 kg/m <sup>1</sup>
Lebar Sayap (b)	= 175 mm
Tinggi Profil (d)	= 244 mm
Luas Penampang (A)	= 56,24 cm <sup>2</sup> = 5624 mm <sup>2</sup>
Momen Inersia, (Ix)	= 6120 cm <sup>4</sup> . 10000 = 61200000 mm <sup>4</sup>
Momen Inersia, (Iy)	= 984 cm <sup>4</sup> . 10000 = 9840000 mm <sup>4</sup>
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 10,4 cm = 104 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 4,18 cm = 41,8 mm
Zx	= 502 cm <sup>3</sup> . 1000 = 502000 mm <sup>3</sup>
Zy	= 113 cm <sup>3</sup> . 1000 = 113000 mm <sup>3</sup>
L (Panjang Balok)	= 7000 mm (untuk 2 <i>lift</i> )

#### ➤ **Pembebanan Balok Penggantung *Lift***

- Beban Merata (qU)

Berat sendiri profil WF 250.175.7.11 = 44,1 kg/m

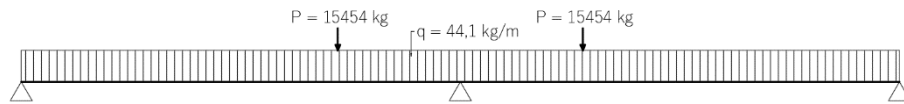
- Beban Terpusat (P)

Beban terpusat *lift* = 14774 kg

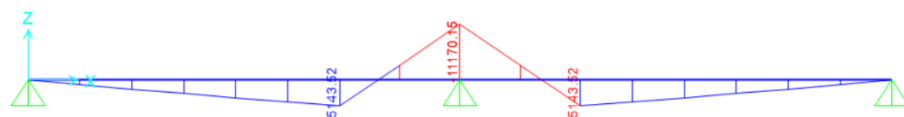
Berat total kapasitas penumpang = 680 kg

Total beban terpusat (P) = 15454 kg

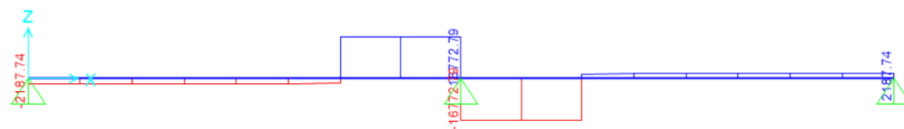
Statika pembebanan pada balok penggantung *lift* digambarkan pada Gambar 5.31. Analisa gaya – gaya dalam akan menggunakan program SAP2000 dan didapatkan gaya momen lentur (Mu) seperti pada Gambar 5.32 serta gaya geser (Vu) pada Gambar 5.33. *Output* yang didapatkan dari SAP2000 untuk pembebanan balok penggantung *lift* ditampilkan pada Gambar 5.34.



**Gambar 5. 31** Pembebanan Balok Penggantung Lift



**Gambar 5. 32** Momen Lentur (Mu) pada Balok Penggantung Lift



**Gambar 5. 33** Gaya Geser (Vu) pada Balok Penggantung Lift



**Gambar 5. 34** Output SAP2000 Gaya Dalam Pembebanan Balok Penggantung Lift



Diketahui hasil analisa gaya – gaya dalam pada balok penumpu tangga terlihat pada Gambar 5.34 dengan nilai sebagai berikut :

$$M_u = 109541745 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 164484,85 \text{ N}$$

$$\delta \text{ (Deflection)} = 3,41 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa profil WF 250.175.7.11 merupakan penampang kompak dengan syarat:

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

$$M_{ux} < \phi \cdot Z_x \cdot f_y$$

$$Z_x \text{ perlu} > \frac{19858934,8}{0,9 \cdot 250} = 88261,93 \text{ mm}^3$$

$$\text{Diperoleh, } Z_x \text{ profil} = 502000 \text{ mm}^3 > 88261,93 \text{ mm}^3 \text{ (OK)}$$

Maka, balok utama tangga akan direncanakan menggunakan profil baja WF 250.175.7.11.

#### ➤ **Kontrol Kelangsingan Penampang**

Periksa kelangsingan penampang berdasarkan peraturan SNI 1729:2020 Tabel B4.1a.

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{175}{2 \cdot 11} = 7,95 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 244 - 2(16 + 11) = 190 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{190}{7} = 27,14 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

Diperoleh  $\lambda_f < \lambda_p$  (Profil adalah Penampang Kompak)

#### ➤ **Kontrol Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok utama tangga setiap jarak 1,5 meter, L = 1500 mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral (Lp) :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 41,8 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 2080,82 \text{ mm}$$

Maka, karena L = 1500 mm < Lp = 2080,82 mm (Bentang Pendek)

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Berdasarkan hasil cek jarak pengaku lateral, diperoleh bahwa balok dengan bentang pendek. Maka, kuat lentur nominal Mn adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 502000 \cdot 250 = 125500000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 125500000 = 112950000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_{nx} > M_u$$

$$112950000 \text{ Nmm} > 109541745 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

#### ➤ **Kontrol Geser**

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

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1}$$

Balok dianggap tanpa pengaku, maka  $K_v = 5,34$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left( \sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{190}{7} \leq 1,1 \left( \sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 27,14 \leq 71,90$$

Didapat nilai  $C_{v1} = 1,0$ . Maka :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (244 \cdot 7) \cdot 1,0 \\ &= 256200 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 256200 \text{ N} \\ &= 230580 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi V_n > V_{ux}$$

$$230580 \text{ N} > 164484,85 \text{ N} \text{ (Profil aman terhadap geser)}$$

#### ➤ **Kontrol Defleksi**

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar :

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

Nilai defleksi atau lendutan yang didapat dari hasil *Output* SAP2000 (Gambar 5.34) untuk balok penggantung *lift* diketahui sebesar 3,41 mm. Sehingga :

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 9,72 \text{ mm} > 3,41 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Lendutan yang terjadi pada profil baja WF 250.175.7.11 telah memenuhi persyaratan untuk kontrol defleksi. Maka, profil dapat digunakan sebagai balok penggantung *lift*.