

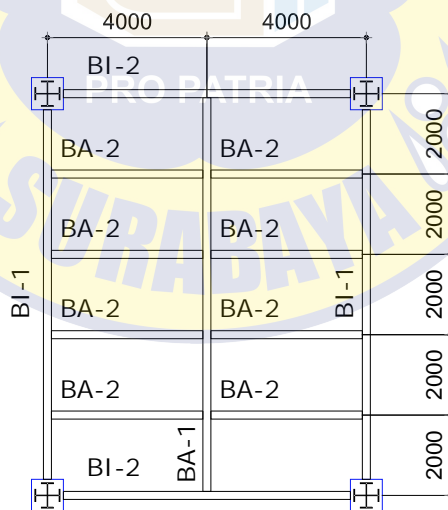
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Struktur Lantai

Perencanaan pelat lantai pada gedung yang direncanakan menggunakan Bondek dengan tabel perencanaan praktis dari SUPER FLOOR DECK. Struktur lantai direncanakan tanpa penyangga selama proses pengerasan, pelat beton dengan tebal bondek 0.75 mm, mutu baja $f'c$ 25 MPa, dan mutu baja tulangan $f_y = 480$ MPa. Untuk pembebanan meliputi beban finishing dan beban hidup (beban berguna). Beban mati (berat sendiri Super Deck dan pelat beton) sudah diperhitungkan. Beban berguna dalam tabel praktis adalah jumlah beban hidup dan beban beban finishing.

4.1.1 Pelat Atap



Gambar 4. 1 Pelat Atap (Lantai 10)

a. Pembebanan

Beban Super Imposed (Berguna)

Beban Finishing

) Aspal (1cm)	= 14 kg/m ²	
) Penggantung plafond	= 7 kg/m ²	
) Plafond	= 11 kg/m ²	
) MEP	= 25 kg/m ² +	
	<hr/>	
	= 57 kg/m ²	0.558 kN/m ²

Beban hidup

) Atap (SNI 1727:2020 tabel 4.3-1) = 0,95 kN/m²

Beban Super imposed (Berguna)

= Beban Finishing + Beban Hidup

= 57 kg/m² + 100 kg/m²

= 157 kg/m², dibulatkan = 200 kg/m² 1.96 kN/m²

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif dengan satu baris penyangga didapatkan data-data sebagai berikut:

) Bentang (Span)	= 2 m
) Beban berguna	= 200 kg/m ²
) Tebal pelat beton	= 9 cm
) Tulangan negative	= 1.07 cm ² /m

b. Perencanaan Tulangan Negatif

Direncanakan memakai tulangan dengan Ø10mm,

$f_y = 400$ MPa

($A_s = 0.785$ cm²)

) Banyaknya tulangan yang diperlukan tiap 1 m

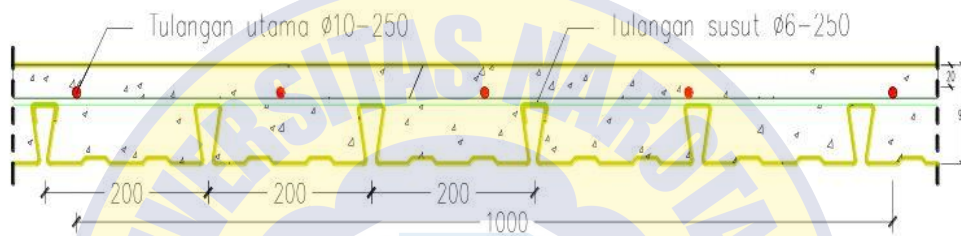
$$\frac{A}{A} = \frac{1.07}{0.785} = 1.36 \quad b \quad h \approx 2 \quad b \quad h$$

) Jarak antar tulangan (s)

$$\frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Jadi, dipasang tulangan negatif Ø10 - 250mm

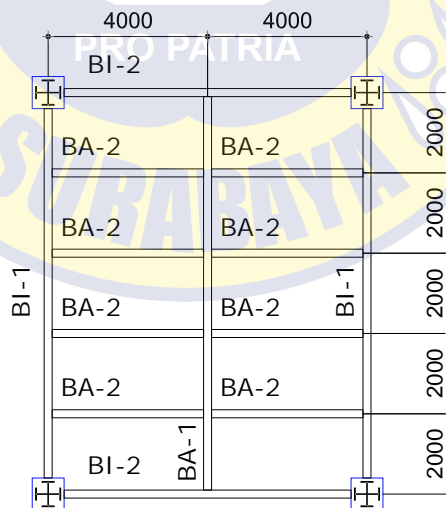
Dipasang tulangan susut Ø6 - 250mm



Gambar 4. 2 Penulangan Pelat Atap (Lantai 10)

4.1.2 Pelat Lantai 1-9 Tipikal

Digunakan pelat bondek dengan tebal = 0.75 mm



Gambar 4. 3 Pelat Lantai 1-9 Tipikal

a. Pembebanan

Beban Super Imposed (Berguna)

) Keramik (1cm)	= 24 kg/m ²
) Adukan Semen	= 21 kg/m ²
) Penggantung plafond	= 7 kg/m ²
) Plafond	= 11 kg/m ²
) MEP	= 25 kg/m ²
	<hr/>
	= 88 kg/m ²

Beban finishing

Beban Hidup

) Pelat lantai (SNI 1727:2013 tabel 4-1)	= 1,92 kN/m ²
	= 200 kg/m ²

Beban super imposed (berguna)

= Beban finishing + beban hidup

$$= 88 \text{ kg/m}^2 + 200 \text{ kg/m}^2$$

$$= 288 \text{ kg/m}^2 \quad 300 \text{ kg/m}^2$$

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif tanpa penyangga didapatkan data-data sebagai berikut:

) Bentang (Span)	= 2 m
) Tebal pelat beton	= 9 cm
) Tulangan negatif	= 1.31 cm ² /m

b. Perencanaan Tulangan Negatif

Direncanakan memakai tulangan dengan Ø10mm,

$f_y = 400 \text{ MPa}$

($A_s = 0.785 \text{ cm}^2$)

) Banyaknya tulangan yang diperlukan tiap 1 m

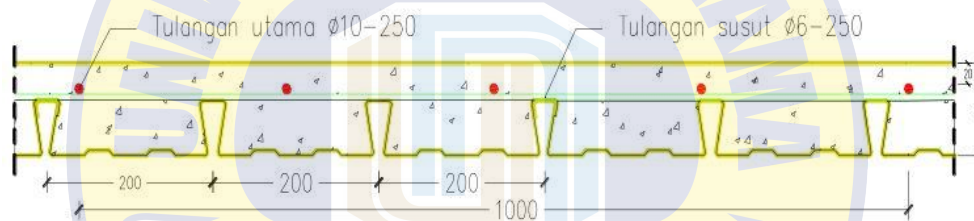
$$\frac{A}{A_s} = \frac{1.31}{0.785} = 1.67 \quad b \quad h \approx 2 \quad b \quad h$$

) Jarak antar tulangan (s)

$$\frac{1000}{2} = 500 \text{ mm}$$

Jadi, dipasang tulangan negatif $\varnothing 10 - 250 \text{ mm}$

Dipasang tulangan susut $\varnothing 6 - 250 \text{ mm}$



Gambar 4. 4 Penulangan Pelat Lantai 1-9 Tipikal

4.2 Perencanaan Balok Anak

4.2.1 Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA-1)

Direncanakan memakai WF 600x200x11x17, dengan data

sebagai berikut:

$W = 106 \text{ kg/m}$ $r = 22 \text{ mm}$ $S_y = 222 \text{ cm}^3$

$A = 134.4 \text{ cm}$ $i_x = 24 \text{ cm}$ $Z_x = 2590 \text{ cm}^3$

$b = 200 \text{ mm}$ $i_y = 4.12 \text{ cm}$ $Z_y = 228 \text{ cm}^3$

$d = 600 \text{ mm}$ $I_x = 77600 \text{ cm}$ $h = 544 \text{ mm}$

$t_f = 17 \text{ mm}$ $I_y = 2280 \text{ cm}$

$t_w = 11 \text{ mm}$ $S_x = 1088 \text{ cm}^3$

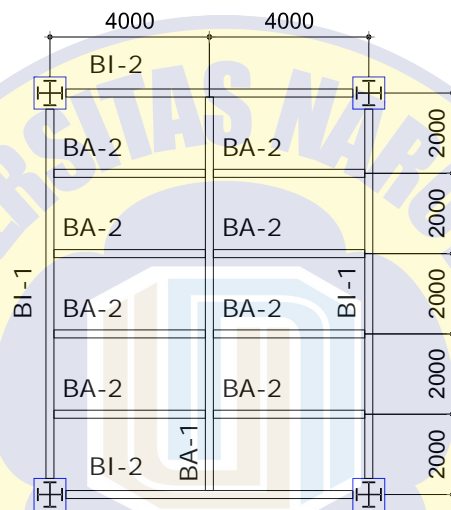
BJ 55 : $f_y = 4100 \text{ kg/cm}^2$ $f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$

$f_u = 5500 \text{ kg/cm}^2$

Beton : $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ tebal pelat = 9 cm

hr = 5.3 cm $t_b = 3.7 \text{ cm}$

Panjang Balok Anak (L) = 1000 cm



Gambar 4. 5 Denah Balok Anak Atap (BA-1)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

Pelat bondek = 10.1×2 = 20.20 kg/m

Pelat beton = $0.09 \times 2 \times 2400$ = 432 kg/m

Balok anak = = 106 kg/m +

= 558 kg/m

Sambungan = $10\% \times 509$ = 55.82 kg/m+

= 614.02 kg/m

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned}q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= (1.2 \times 614.02) + (1.6 \times 0) \\ &= 736.824 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 736.824 \times 10.00^2 \\ &= 9210.30 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 1/2 q_u L \\ &= 1/2 \times 736.82 \times 10.00^2 \\ &= 3684.12 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

) kontrol sayap

$$\frac{b}{2} = \frac{2}{3} = 5.882$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f_r}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 10.752$$

$$\frac{b}{2} \quad \rho = \frac{1}{\sqrt{f_r}} \text{ (Ok)}$$

) Kontrol badan

$$\frac{h}{t} = \frac{5}{1} = 49$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f_r}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 106$$

$$\frac{h}{t} \quad \rho = \frac{1}{\sqrt{f_r}} \text{ (Ok)}$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$\begin{aligned} M_n &= 4100 \times 2590 \\ &= 10619000 \text{ kgcm} \\ &= 106190 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$b \frac{M_n}{M_u} = 0.90$$

$$95571 \text{ kgm} < 9210.30 \text{ kgm (Ok)}$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$\begin{aligned} L_p &= 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{f_c}} \\ &= 1.76 i_y \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{4}} \\ &= 160.152 \text{ cm} \end{aligned}$$

$L_b < L_p$ Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times 4100 \times 66.00 \times 1 \\ &= 41580 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$v \frac{V_n}{V_u} = 1$$

$$v \frac{V_n}{V_u}$$

$$162360 \text{ kg} < 3684.12 \text{ kg (Ok)}$$

f. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{2}$$

$$= \frac{1}{2}$$

$$= 4.167 \text{ cm}$$

$$\text{Lendutan yang terjadi (f°)} = \frac{5}{3} \frac{q^4}{E_x}$$

$$= \frac{5}{3} \frac{(q + q) L^4}{E_x}$$

$$= \frac{5}{3} \frac{(6.1 + 0) 1^4}{2 \times 7}$$

$$= 0.515 \text{ cm}$$

$$\text{Lendutan yang terjadi (f°)} = 0.515 \text{ cm} + 4.167 \text{ cm (Ok)}$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2 = 20.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 2 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = 106 \text{ kg/m}$$

$$\text{Perpipaan} = 25 \times 2 = 50 \text{ kg/m}$$

$$\text{Rangka+ plafond} = 7 \times 11 = 77 \text{ kg/m+}$$

$$= 685 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 685 = 68.52 \text{ kg/m+}$$

$$= 753.72 \text{ kg/m}$$

2. Beban hidup:

Atap (SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1)

$$= 0.96 \text{ kN/m}^2$$

$$= 97.89 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$$

$$= 195.784 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= 1.2 \times 753.72 + 1.6 \times 195.78 \\ &= 1217.72 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 1217.72 \times 10.00^2 \\ &= 15221.48 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1/8 q_u L \\ &= 1/8 \times 1217.72 \times 10.00 \\ &= 6088.59 \text{ kg} \end{aligned}$$

h. Menghitung Momen Nominal

) Lebar efektif

$$\begin{aligned} B_{eff} &= 1/4L = 250 \text{ cm} \\ B_{eff} &= S = 300 \text{ cm} \end{aligned}$$

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.1a

$$h/t_w = 49.45$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{4}} = 83.71$$

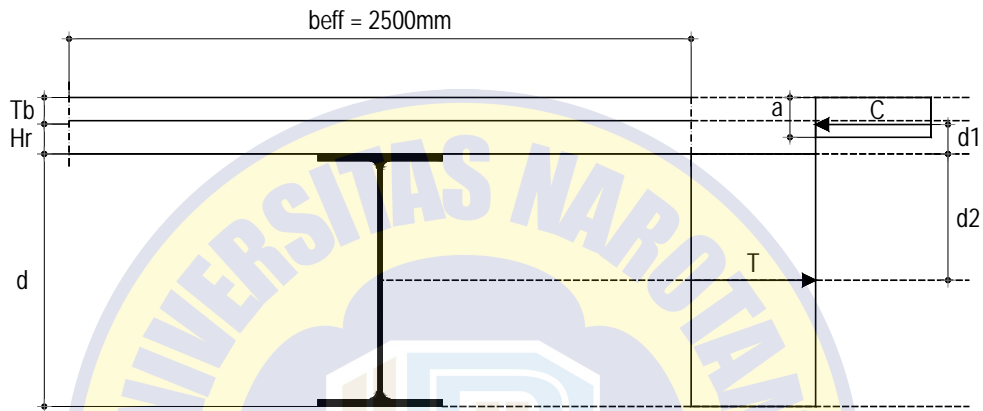
Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.2a

$$\begin{aligned} C &= 0.85 f_c t_p B_e \\ &= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 250 \\ &= 235875 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot F_y \\
 &= 134.4 \times 4100 \\
 &= 551040 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 6 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.8 \cdot f' \cdot B_e} \\
 &= \frac{5}{0.8 \times 3 \times 2} \\
 &= \frac{5}{6}
 \end{aligned}$$

$$= 8.644 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= \frac{T - C}{b \cdot 2 \cdot f'} \\
 &= \frac{5 - 2}{2 \times 2 \times 4}
 \end{aligned}$$

$$= 1.92 \text{ cm}$$

$$M_n = T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + \left(\frac{t_b}{2} + H_r + d_2 \right)$$

$$\begin{aligned}
&= 551040.00 \left(\frac{4.7}{2} - 1.92 \right) + \left(\frac{9}{2} + 5.3 + 1.92 \right) \\
&= 11830195 + 11.72 \\
&= 11830207 \text{ kgcm} \\
&= 118302 \text{ kgm}
\end{aligned}$$

$$M_n \quad \mu \rightarrow = 0.9$$

$$0.9 \times 118302 \text{ kgm} = 106472 \text{ kgm}$$

$$106472 \text{ kgm} = 15221.48 \text{ kgm (Ok)}$$

i. Kontrol Lendutan

Tansformasi beton ke baja

$$\begin{aligned}
E_c &= 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\
&= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
&= 26403.491 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$E_s = 200000$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= \frac{200000}{26403.491}$$

$$= 7.575$$

$$b_{eff} = 250 \text{ cm}$$

$$b_{t1} = \frac{b}{n}$$

$$= \frac{250}{7.575}$$

$$= 33.004 \text{ cm}$$

$$A_{t_i} = b_{t_i} \times t_p$$

$$= 33.004 \times 3.7$$

$$= 122.116 \text{ cm}^2$$

) Menentukan garis netral

$$Y_{na} = \frac{[A \times \frac{t_p}{2}] + [A (t_p + h + \frac{d}{2})]}{(A + A)}$$

$$= \frac{[1 \cdot 1 \times \frac{3.7}{2}] + [1 \cdot 1 \cdot 4 (3.7 + 5.3 + \frac{6}{2})]}{(1 \cdot 1 + 1 \cdot 3)}$$

$$= \frac{2 \cdot 9 \times 5 \cdot 6}{2 \cdot 5}$$

$$= 21.315 \text{ cm (dari atas)}$$

) Menentukan Nilai Momen Inersia

$$I_{t_i} = \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{t_i} \times t_p^3 \right) + A_{t_i} \left(Y_{na} - \frac{t_p}{2} \right)^2 \right] + \left[I_x + A_s \left(\left(t_p + h + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right]$$

$$= 139.314 + 46265.78 + 119637.19$$

$$= 166042.279$$

$$f_{ijin} = \frac{L}{2}$$

$$= \frac{1}{2}$$

$$= 4.167 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{5 \times (q + q) \times L^4}{3 \times E \times L}$$

$$= \frac{5 \times (8+1.9) \times 1^4}{3 \times 2 \times 1^6 \times 1^2}$$

$$= 0.411 \text{ cm}$$

f ijin f^p

$$4.167 \text{ cm} > 0.411 \text{ cm (Ok)}$$

j. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$V_n = 0.6 \times 410 \times 60 \times 1.1 \times 1$$

$$= 162360 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{t} = \frac{544}{11}$$

$$= 49.455$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.24 \sqrt{\frac{2}{4}}$$

$$= 63.357$$

$$v \frac{V_n}{V_u} \rightarrow = 1$$

$$v \frac{V_n}{V_u}$$

$$162360 \text{ kg} > 6088.59 \text{ kg (Ok)}$$

4.2.2 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kg/mm}^2$$

$$E_c = 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c}$$

$$= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30}$$

$$= 26403.491 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} R_g R_p A_{sc} F_u \\ &= 0.5 \cdot 201.06 \sqrt{30} \times 26403.491 \\ &= 8947.283 \text{ kg/stud} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 40 \\ &= 6031.858 \text{ kg/stud (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser :

$$\begin{aligned} N &= \frac{V_u}{Q} = \frac{2 \cdot 0}{6 \cdot 8} \\ &= 39.105 \approx 40 \text{ buah} \end{aligned}$$

maka kebutuhan total adalah 80 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{1}{(8 + 4) \times 0.5} = 23.810 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 23 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.2.3 Perencanaan Balok Anak Lantai Atap (BA-2)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x17, dengan data sebagai berikut:

$$W = 56.6 \text{ kg/m} \quad r = 16 \text{ mm} \quad S_y = 222 \text{ cm}^3$$

$$A = 72.16 \text{ cm} \quad i_x = 16.7 \text{ cm} \quad Z_x = 1010 \text{ cm}^3$$

$$b = 199 \text{ mm} \quad i_y = 4.48 \text{ cm} \quad Z_y = 145 \text{ cm}^3$$

$$d = 396 \text{ mm} \quad I_x = 16.7 \text{ cm} \quad h = 342 \text{ mm}$$

$$t_f = 11 \text{ mm} \quad I_y = 4.48 \text{ cm}$$

$$t_w = 7 \text{ mm} \quad S_x = 1088 \text{ cm}^3$$

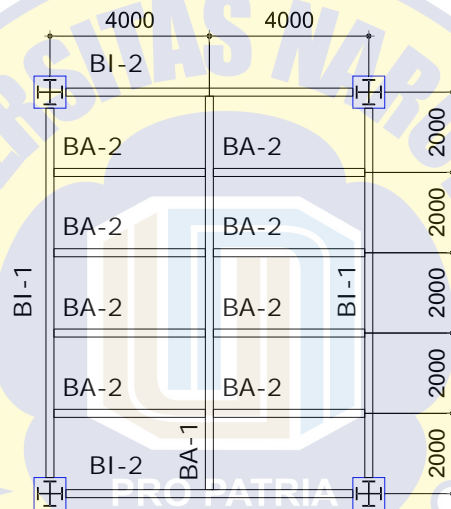
$$\text{BJ 41 : } f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 \quad f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{tebal pelat} = 9 \text{ cm}$$

$$h_r = 5.3 \text{ cm} \quad t_b = 3.7 \text{ cm}$$

Panjang Balok Anak (L) = 400 cm



Gambar 4. 7 Denah Balok Anak Atap (BA-2)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2 = 20.20 \quad \text{kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 2 \times 2400 = 432 \quad \text{kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = \quad = 56.6 \quad \text{kg/m} +$$

$$= 509 \quad \text{kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 509 = 50.88 \quad \text{kg/m} +$$

$$= 559.68 \quad \text{kg/m}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned}q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= (1.2 \times 559.68) + (1.6 \times 0) \\ &= 671.616 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 671.62 \times 4.00^2 \\ &= 1343.23 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 1/2 q_u L \\ &= 1/2 \times 671.62 \times 4.00 \\ &= 1343.23 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

) kontrol sayap

$$\frac{b}{2} = \frac{1}{2} = 9.045$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 10.752$$

$$\frac{b}{2} \quad \rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} \quad (\text{Ok})$$

) Kontrol badan

$$\frac{h}{t} = \frac{3}{7} = 49$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 106$$

$$\frac{h}{t} \quad \rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 2590$$

$$= 2525000 \text{ kgcm}$$

$$= 25250 \text{ kgm}$$

$$b \frac{M_n}{M_u} = 0.90$$

$$22725 \text{ kgm} < 1343.23 \text{ kgm (Ok)}$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

$$= 1.76 i_y \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2}}$$

$$= 223.016 \text{ cm}$$

$L_b < L_p$ Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$v \frac{V_n}{V_u} = 1$$

$$v \frac{V_n}{V_u}$$

$$41580 \text{ kg} > 1343.23 \text{ kg (Ok)}$$

f. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} \text{Lendutan ijin (f)} &= \frac{L}{2} \\ &= \frac{4}{2} \\ &= 1.667 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan yang terjadi (f')} &= \frac{5}{3} \frac{q^4}{E_x} \\ &= \frac{5}{3} \frac{(q + q) L^4}{E_x} \\ &= \frac{5}{3} \frac{(5.6 + 0) 4^4}{2 \times 2} \\ &= 0.047 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan yang terjadi (f')} = 0.047 \text{ cm} - 1.667 \text{ cm (Ok)}$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

Pelat bondek = 10.1×2	= 20.20	kg/m
Pelat beton = $0.09 \times 2 \times 2400$	= 432	kg/m
Balok anak =	= 56.60	kg/m
Perpipaan = 25×2	= 50	kg/m
Rangka+ plafond = 7×11	= 77	kg/m+
	<hr/>	
	= 636	kg/m
Sambungan = $10\% \times 685$	= 63.58	kg/m+
	<hr/>	
	= 699.4	kg/m

2. Beban hidup:

Atap (SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1)

$$= 0.96 \text{ kN/m}^2$$

$$= 97.89 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$$

$$= 195.784 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 1.2q_d + 1.6q_l$$

$$= 1.2 \times 699.38 + 1.6 \times 195.78$$

$$= 1152.51 \text{ kg/m}$$

$$M_u = 1/8 q_u L^2$$

$$= 1/8 \times 1152.51 \times 4.00^2$$

$$= 2305.02 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1/8 q_u L$$

$$= 1/8 \times 1152.51 \times 4.00$$

$$= 2305.02 \text{ kg}$$

h. Menghitung Momen Nominal

) Lebar efektif

$$B_{eff} \quad 1/4L = 100 \text{ cm}$$

$$B_{eff} \quad S = 300 \text{ cm} \quad \left. \vphantom{B_{eff}} \right\} 100 \text{ cm}$$

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.1a

$$h/t_w = 48.86$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{2}} = 107.20$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.2a

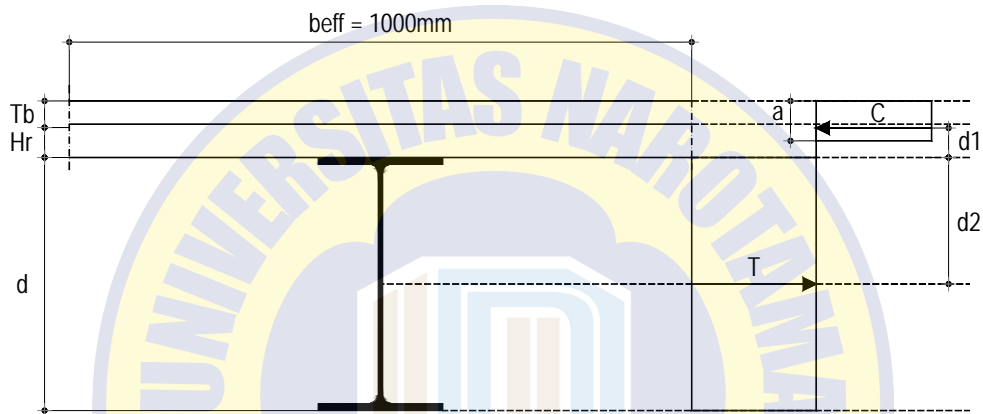
$$C = 0.85 f_c t_p \quad B_e$$

$$= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 100$$

$$= 94350 \text{ kg (menentukan)}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot F_y \\ &= 72.16 \times 2500 \\ &= 180400 \text{ kg} \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 8 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.8 f' B_e} \\ &= \frac{5}{0.8 \times 3 \times 1} \\ &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

$$= 7.075 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{T - C}{b_2 f} \\ &= \frac{1 - 9}{2 \times 2 \times 2} \end{aligned}$$

$$= 0.86 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + \left(\frac{t_b}{2} + H_r + d_2 \right) \\
 &= 180400 \left(\frac{1.6}{2} - 0.86 \right) + \left(\frac{9}{2} + 5.3 + 0.86 \right) \\
 &= 9551982 + 10.7 \\
 &= 9551992 \text{ kgcm} \\
 &= 95520 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_n \cdot \mu \longrightarrow = 0.9$$

$$0.9 \times 95520 \text{ kgm} = 2305.02 \text{ kgm}$$

$$85968 \text{ kgm} = 2305.02 \text{ kgm (Ok)}$$

i. Kontrol Lendutan

Tansformasi beton ke baja

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
 &= 26403.491 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$E_s = 200000$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= \frac{200000}{26403.491}$$

$$= 7.575$$

$$b_{eff} = 100 \text{ cm}$$

$$b_{ti} = \frac{b}{n}$$

$$= \frac{100}{7.575}$$

$$= 13.202 \text{ cm}$$

$$A_{t_i} = b_{t_i} \times t_p$$

$$= 13.202 \times 3.7$$

$$= 48.846 \text{ cm}^2$$

) Menentukan garis netral

$$Y_{na} = \frac{\left[A \times \frac{t_p}{2} \right] + \left[A \left(t_p + h + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A + A)}$$

$$= \frac{\left[4.8 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[7.1 \left(3.7 + 5.3 + \frac{3.6}{2} \right) \right]}{(4.8 + 7.1)}$$

$$= \frac{9.3 \times 2.2}{1.0}$$

$$= 17.921 \text{ cm (dari atas)}$$

) Menentukan Nilai Momen Inersia

$$I_{t_i} = \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{t_i} \times t_p^3 \right) + A_{t_i} \left(Y_{na} - \frac{t_p}{2} \right)^2 \right] + \left[I_x + A_s \left(\left(t_p + h + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right]$$

$$= 55.726 + 12616.14 + 28540.10$$

$$= 41211.971$$

$$f_{ijin} = \frac{L}{2}$$

$$= \frac{4}{2}$$

$$= 1.667 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{5 \times (q + q) \times L^4}{3 \times E \times L}$$

$$= \frac{5 \times (8+1.9) \times 4^4}{3 \times 2 \times 1^6 \times 4^9}$$

$$= 0.040 \text{ cm}$$

f ijin f^o

$$1.667 \text{ cm} > 0.040 \text{ cm (Ok)}$$

j. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$V_n = 0.6 \times 250 \times 39.6 \times 0.7 \times 1$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{t_1} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.24 \sqrt{\frac{2}{2}}$$

$$= 63.357$$

$$v \frac{V_n}{V_u} \rightarrow = 1$$

$$v \frac{V_n}{V_u}$$

$$41580 \text{ kg} > 2305.02 \text{ kg (Ok)}$$

4.2.4 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kg/mm}^2$$

$$E_c = 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c}$$

$$= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30}$$

$$= 26403.491 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} R_g R_p A_{sc} F_u \\ &= 0.5 \cdot 201.06 \sqrt{30} \times 26403.491 \\ &= 8947.283 \text{ kg/stud} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 40 \\ &= 6031.858 \text{ kg/stud (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser :

$$\begin{aligned} N &= \frac{V_u}{Q} = \frac{9.0}{6.8} \\ &= 15.642 \quad 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

maka kebutuhan total adalah 32 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{4}{(1 + 4) \times 0.5} = 23.810 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 23 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.2.5 Perencanaan Balok Anak Lantai 1-9 Tipikal (BA-3)

Direncanakan memakai WF 600x200x11x17, dengan data sebagai berikut:

$$W = 106 \text{ kg/m} \quad r = 22 \text{ mm} \quad S_y = 222 \text{ cm}^3$$

$$A = 134.4 \text{ cm} \quad i_x = 24 \text{ cm} \quad Z_x = 2590 \text{ cm}^3$$

$$b = 200 \text{ mm} \quad i_y = 4.12 \text{ cm} \quad Z_y = 228 \text{ cm}^3$$

$$d = 600 \text{ mm} \quad I_x = 77600 \text{ cm} \quad h = 544 \text{ mm}$$

$$t_f = 17 \text{ mm} \quad I_y = 2280 \text{ cm}$$

$$tw = 11 \text{ mm}$$

$$S_x = 1088 \text{ cm}^3$$

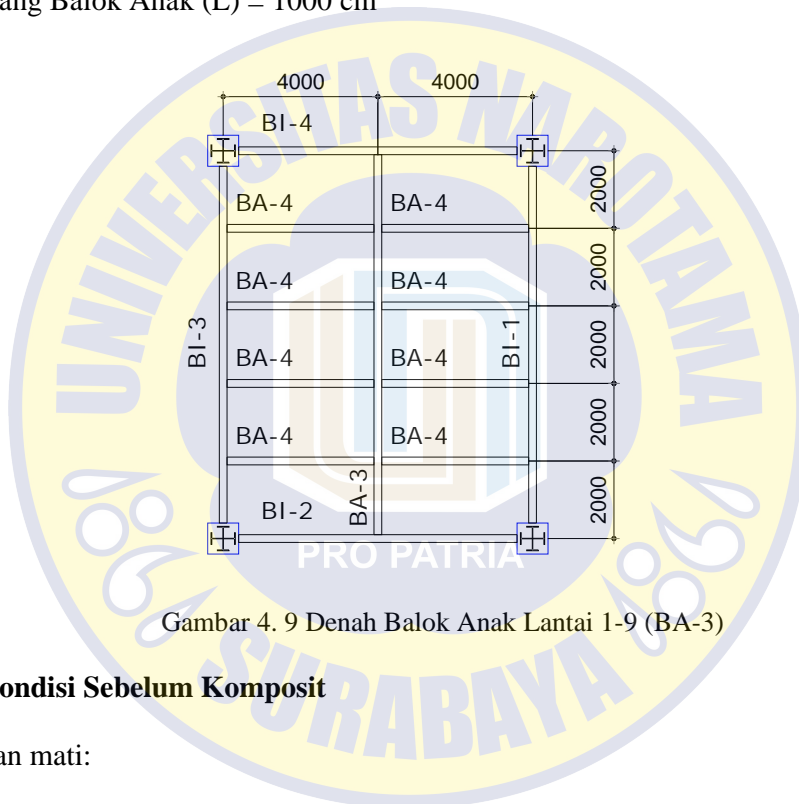
$$\text{BJ 55 : } f_y = 4100 \text{ kg/cm}^2 \quad f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 5500 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{tebal pelat} = 9 \text{ cm}$$

$$hr = 5.3 \text{ cm} \quad tb = 3.7 \text{ cm}$$

Panjang Balok Anak (L) = 1000 cm



Gambar 4. 9 Denah Balok Anak Lantai 1-9 (BA-3)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2 = 20.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 2 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = \quad \quad \quad = 106 \text{ kg/m} +$$

$$= 558 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 509 = 55.82 \text{ kg/m} +$$

$$= 614.02 \text{ kg/m}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned}q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= (1.2 \times 614.02) + (1.6 \times 0) \\ &= 736.824 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 736.824 \times 10.00^2 \\ &= 9210.30 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 1/2 q_u L \\ &= 1/2 \times 736.82 \times 10.00 \\ &= 3684.12 \text{ kg}\end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

) kontrol sayap

$$\frac{b}{2} = \frac{2}{3} = 5.882$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 10.752$$

$$\frac{b}{2} \rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} \text{ (Ok)}$$

) Kontrol badan

$$\frac{h}{t'} = \frac{5}{1} = 49$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 106$$

$$\frac{h}{t'} \rho = \frac{1}{\sqrt{f'}} \text{ (Ok)}$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 4100 \times 2590$$

$$= 10619000 \text{ kgcm}$$

$$= 106190 \text{ kgm}$$

$$\frac{M_n}{M_u} = 0.90$$

$$95571 \text{ kgm} < 9210.30 \text{ kgm (Ok)}$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 1.76 i_y \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{4}}$$

$$= 160.152 \text{ cm}$$

$L_b < L_p$ Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$V_n = 0.6 \times 4100 \times 66.00 \times 1$$

$$= 162360 \text{ kg}$$

$$\frac{V_n}{V_u} = 1$$

$$\frac{V_n}{V_u}$$

$$162360 \text{ kg} < 3684.12 \text{ kg (Ok)}$$

f. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{2}$$

$$= \frac{1}{2}$$

$$= 4.167 \text{ cm}$$

$$\text{Lendutan yang terjadi (f°)} = \frac{5}{3} \frac{q^4}{E_x}$$

$$= \frac{5}{3} \frac{(q + q) L^4}{E_x}$$

$$= \frac{5}{3} \frac{(6.1 + 0) 1^4}{2 \times 7}$$

$$= 0.515 \text{ cm}$$

$$\text{Lendutan yang terjadi (f°)} = 0.515 \text{ cm} + 4.167 \text{ cm (Ok)}$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

$$\text{Spesi Lantai (T=1cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\text{Lantai keramik } 24 \times 2 = 48 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2 = 20.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 2 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = 106 \text{ kg/m}$$

$$\text{Perpipaan} = 25 \times 2 = 50 \text{ kg/m}$$

$$\text{Rangka+ plafond} = 7 \times 11 = 77 \text{ kg/m+}$$

$$= 775 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sambungan} = 10\% \times 775 = 68.52 \text{ kg/m+}$$

$$= 852 \text{ kg/m}$$

2. Beban hidup:

Lantai (SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1)

$$= 2.87 \text{ kN/m}^2$$

$$= 292.66 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$$

$$= 585.31 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 1.2q_d + 1.6q_l$$

$$= 1.2 \times 852.72 + 1.6 \times 585.31$$

$$= 1959.76 \text{ kg/m}$$

$$M_u = 1/8 q_u L^2$$

$$= 1/8 \times 1959.76 \times 10.00^2$$

$$= 24497.04 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1/8 q_u L$$

$$= 1/8 \times 1959.76 \times 10.00$$

$$= 9798.82 \text{ kg}$$

h. Menghitung Momen Nominal

) Lebar efektif

$$\begin{array}{l} \text{Beff} \quad 1/4L = 250 \text{ cm} \\ \text{Beff} \quad S = 300 \text{ cm} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Beff} \\ \text{Beff} \end{array}} \right\} 250 \text{ cm}$$

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.1a

$$h/t_w = 49.45$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{4}} = 83.71$$

Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.2a

$$C = 0.85 f_c t_p \quad B_e$$

$$= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 250$$

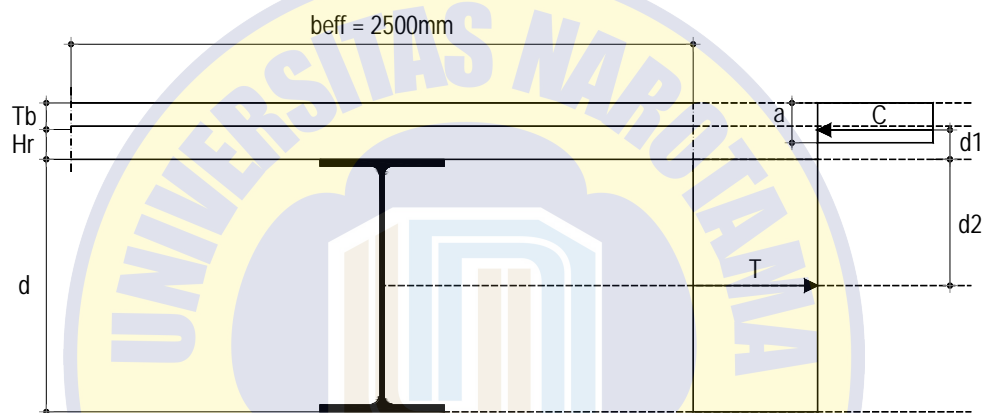
$$= 235875 \text{ kg (menentukan)}$$

$$T = A_s \cdot F_y$$

$$= 134.4 \times 4100$$

$$= 551040 \text{ kg}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4.10 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$a = \frac{T}{0.8 \cdot f' \cdot B_e}$$

$$= \frac{5}{0.8 \times 3 \times 2}$$

$$= \frac{5}{6}$$

$$= 8.644 \text{ cm}$$

$$d_2 = \frac{T - C}{b \cdot 2 \cdot f}$$

$$= \frac{5 - 2}{2 \times 2 \times 4}$$

$$= 1.92 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + \left(\frac{t_b}{2} + H_r + d_2 \right) \\ &= 551040.00 \left(\frac{4.7}{2} - 1.92 \right) + \left(\frac{9}{2} + 5.3 + 1.92 \right) \\ &= 11830195 + 11.72 \\ &= 11830207 \text{ kgcm} \\ &= 118302 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_n \quad \mu \rightarrow = 0.9$$

$$0.9 \times 118302 \text{ kgm} = 106472 \text{ kgm}$$

$$106472 \text{ kgm} = 24497.04 \text{ kgm (Ok)}$$

i. Kontrol Lendutan

Tansformasi beton ke baja

$$\begin{aligned} E_c &= 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\ &= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 26403.491 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$E_s = 200000$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{26403.491} \\ &= 7.575 \end{aligned}$$

$$b_{eff} = 250 \text{ cm}$$

$$b_{ti} = \frac{b}{n}$$

$$= \frac{2}{7.5}$$

$$= 33.004 \text{ cm}$$

$$A_{t1} = b_{t1} \times t_p$$

$$= 33.004 \times 3.7$$

$$= 122.116 \text{ cm}^2$$

) Menentukan garis netral

$$Y_{na} = \frac{[A_1 \times \frac{t_p}{2}] + [A_2 (t_p + h + \frac{d}{2})]}{(A_1 + A_2)}$$

$$= \frac{[1.1 \times \frac{3.7}{2}] + [1.4 (3.7 + 5.3 + \frac{6}{2})]}{(1.1 + 1.3)}$$

$$= \frac{2.09 \times 5.6}{2.4}$$

$$= 21.315 \text{ cm (dari atas)}$$

) Menentukan Nilai Momen Inersia

$$I_{t1} = \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{t1} \times t_p^3 \right) + A_{t1} \left(Y_{na} - \frac{t_p}{2} \right)^2 \right] + \left[I_x + A_s \left(\left(t_p + h + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right]$$

$$= 139.314 + 46265.78 + 119637.19$$

$$= 166042.279$$

$$f_{ijin} = \frac{L}{2}$$

$$= \frac{1}{2}$$

$$= 4.167 \text{ cm}$$

$$f^p = \frac{5 \times (q + q) \times L^4}{3 \times E \times L}$$

$$= \frac{5 \times (9 + 5.8) \times 1^4}{3 \times 2 \times 10^6 \times 1}$$

$$= 0.620 \text{ cm}$$

f ijin f^p

4.167 cm $>$ 0.620 cm (**Ok**)

j. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$V_n = 0.6 \times 410 \times 60 \times 1.1 \times 1$$

$$= 162360 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{t_f} = \frac{544}{11}$$

$$= 49.455$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.24 \sqrt{\frac{2}{4}}$$

$$= 63.357$$

$$v \frac{V_n}{V_u} \rightarrow = 1$$

$$v \frac{V_n}{V_u}$$

162360 kg $>$ 9798.82 kg (**Ok**)

4.2.6 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\
 &= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\
 &= 26403.491 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} \quad R_g R_p A_{sc} F_u \\
 &= 0.5 \cdot 201.06 \sqrt{30 \times 26403.491} \\
 &= 8947.283 \text{ kg/stud}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 40 \\
 &= 6031.858 \text{ kg/stud (menentukan)}
 \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser :

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{V_u}{Q} = \frac{2.0}{6.8} \\
 &= 39.105 \quad 40 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

maka kebutuhan total adalah 80 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{1}{(8 + 4) \times 0.5} = 23.810 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 23 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

4.2.7 Perencanaan Balok Anak Lantai 1-9 Tipikal (BA-4)

Direncanakan memakai WF 400x200x7x17, dengan data sebagai berikut:

$$W = 56.6 \text{ kg/m} \quad r = 16 \text{ mm} \quad S_y = 222 \text{ cm}^3$$

$$A = 72.16 \text{ cm} \quad i_x = 16.7 \text{ cm} \quad Z_x = 1010 \text{ cm}^3$$

$$b = 199 \text{ mm} \quad i_y = 4.48 \text{ cm} \quad Z_y = 145 \text{ cm}^3$$

$$d = 396 \text{ mm} \quad I_x = 16.7 \text{ cm}^4 \quad h = 342 \text{ mm}$$

$$t_f = 11 \text{ mm} \quad I_y = 4.48 \text{ cm}^4$$

$$t_w = 7 \text{ mm} \quad S_x = 1088 \text{ cm}^3$$

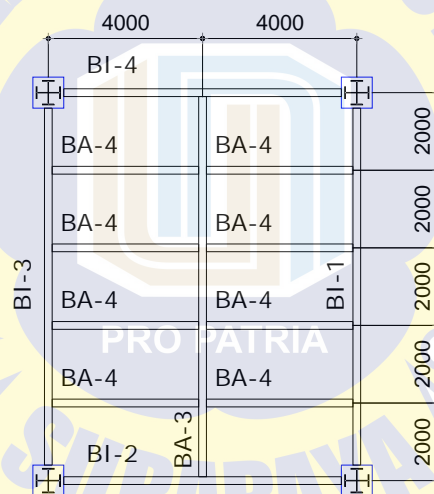
$$\text{BJ 41 :} \quad f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 \quad f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Beton :} \quad f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{tebal pelat} = 9 \text{ cm}$$

$$h_r = 5.3 \text{ cm} \quad t_b = 3.7 \text{ cm}$$

Panjang Balok Anak (L) = 400 cm



Gambar 4. 11 Denah Balok Anak Lantai 1-9 (BA-4)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Beban mati:

$$\text{Pelat bondek} = 10.1 \times 2 = 20.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pelat beton} = 0.09 \times 2 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Balok anak} = \quad \quad \quad = 56.6 \text{ kg/m} +$$

$$= 509 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Sambungan} &= 10\% \times 509 &= 50.88 & \text{kg/m+} \\ & & \underline{\hspace{1.5cm}} & \\ & & = 559.68 & \text{kg/m} \end{aligned}$$

b. Momen Berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2q_d + 1.6q_l \\ &= (1.2 \times 559.68) + (1.6 \times 0) \\ &= 671.616 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1/8 q_u L^2 \\ &= 1/8 \times 671.62 \times 4.00^2 \\ &= 1343.23 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1/2 q_u L \\ &= 1/2 \times 671.62 \times 4.00 \\ &= 1343.23 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

) kontrol sayap

$$\frac{b}{2} = \frac{1}{2} = 9.045$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{F}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 10.752$$

$$\frac{b}{2} \quad \rho = \frac{1}{\sqrt{F}} \quad (\mathbf{Ok})$$

) Kontrol badan

$$\frac{h}{t} = \frac{3}{7} = 49$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{F}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 106$$

$$\frac{h}{t} \leq \rho = \frac{1}{\sqrt{f}} \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 2500 \times 2590$$

$$= 2525000 \text{ kgcm}$$

$$= 25250 \text{ kgm}$$

$$\frac{M_n}{M_u} = 0.90$$

$$22725 \text{ kgm} \leq 1343.23 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

d. Kontrol Lateral Buckling

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$= 1.76 i_y \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2}}$$

$$= 223.016 \text{ cm}$$

$L_b > L_p$ Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

e. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$V_n = 0.6 \times 2500 \times 27.72 \times 1$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\frac{V_n}{V_u} = 1$$

$$\frac{V_n}{V_u}$$

$$41580 \text{ kg} \leq 1343.23 \text{ kg} \quad (\text{Ok})$$

f. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} \text{Lendutan ijin (f)} &= \frac{L}{2} \\ &= \frac{4}{2} \\ &= 1.667 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan yang terjadi (f}^\circ\text{)} &= \frac{5}{3} \frac{q^4}{E_x} \\ &= \frac{5}{3} \frac{(q + q) L^4}{E_x} \\ &= \frac{5}{3} \frac{(5.6 + 0) 4^4}{2 \times 2} \\ &= 0.047 \text{ cm} \\ \text{Lendutan yang terjadi (f}^\circ\text{)} &= 0.047 \text{ cm} \quad 1.667 \text{ cm (Ok)} \end{aligned}$$

g. Kondisi Setelah Komposit

1. Beban mati:

Spesi Lantai = 21.1 × 2	= 42	kg/m
Lantai keramik = 24 × 2	= 48	kg/m
Pelat bondek = 10.1 × 2	= 20.20	kg/m
Pelat beton = 0.09 × 2 × 2400	= 432	kg/m
Balok anak =	= 56.60	kg/m
Perpipaan = 25 × 2	= 50	kg/m
Rangka+ plafond = 7 × 11	= 77	kg/m+
	<hr/>	
	= 726	kg/m
Sambungan = 10% × 726	= 72.58	kg/m+
	<hr/>	
	= 798.38	kg/m

2. Beban hidup:

Atap (SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1)

$$= 2.87 \text{ kN/m}^2$$

$$= 292.66 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$$

$$= 585.31 \text{ kg/m}$$

$$q_u = 1.2q_d + 1.6q_l$$

$$= 1.2 \times 798.38 + 1.6 \times 585.31$$

$$= 1894.56 \text{ kg/m}$$

$$M_u = 1/8 q_u L^2$$

$$= 1/8 \times 1894.56 \times 4.00^2$$

$$= 3789.11 \text{ kgm}$$

$$V_u = 1/8 q_u L$$

$$= 1/8 \times 1894.56 \times 4.00$$

$$= 3789.11 \text{ kg}$$

h. Menghitung Momen Nominal

) Lebar efektif

$$B_{eff} \quad 1/4L = 100 \text{ cm}$$

$$B_{eff} \quad S = 300 \text{ cm}$$

} 100 cm

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.1a

$$h/t_w = 48.86$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{F}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{2}} = 107.20$$

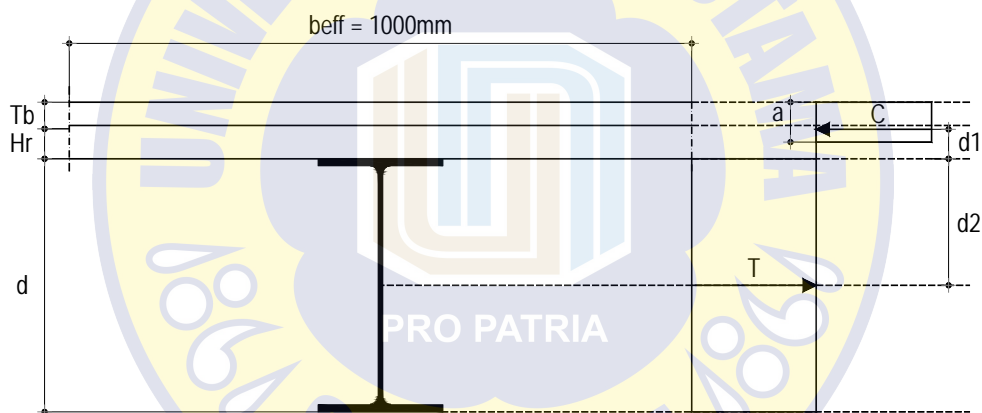
Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

SNI 1729:2020 Pasal 13.2.2a

$$\begin{aligned} C &= 0.85 f_c t_p B_e \\ &= 0.85 \times 300 \times (9 - 5.3) \times 100 \\ &= 94350 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot F_y \\ &= 72.16 \times 2500 \\ &= 180400 \text{ kg} \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 12 Gaya yang bekerja pada balok anak komposit

$$\begin{aligned} a &= \frac{T}{0.8 f_c B_e} \\ &= \frac{1}{0.8 \times 3 \times 1} \\ &= \frac{1}{2} \\ &= 7.075 \text{ cm} \\ d_2 &= \frac{T - C}{b f_c} \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} \times 2 \times 2^{-9}$$

$$= 0.86 \text{ cm}$$

$$M_n = T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + \left(\frac{t_b}{2} + H_r + d_2 \right)$$

$$= 180400 \left(\frac{1}{2} \cdot 6 - 0.86 \right) + \left(\frac{y}{2} + 5.3 + 0.86 \right)$$

$$= 4771382 + 10.7$$

$$= 4771392 \text{ kgcm}$$

$$= 47714 \text{ kgm}$$

$$M_n \quad \mu \quad \longrightarrow \quad = 0.9$$

$$0.9 \times 47714 \text{ kgm} = 3789.11 \text{ kgm}$$

$$42943 \text{ kgm} = 3789.11 \text{ kgm (Ok)}$$

i. Kontrol Lendutan

Transformasi beton ke baja

$$E_c = 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30}$$

$$= 26403.491 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= \frac{2}{2} \cdot 4$$

$$= 7.575$$

$$b_{eff} = 100 \text{ cm}$$

$$b_{t_i} = \frac{b}{n}$$

$$= \frac{1}{7.5}$$

$$= 13.202 \text{ cm}$$

$$A_{t_i} = b_{t_i} \times t_p$$

$$= 13.202 \times 3.7$$

$$= 48.846 \text{ cm}^2$$

) Menentukan garis netral

$$Y_{na} = \frac{\left[A \times \frac{t_p}{2} \right] + \left[A \left(t_p + h + \frac{d}{2} \right) \right]}{(A + A)}$$

$$= \frac{\left[4 \cdot 8 \times \frac{3.7}{2} \right] + \left[7 \cdot 1 \left(3.7 + 5.3 + \frac{3 \cdot 6}{2} \right) \right]}{(4 \cdot 8 + 7 \cdot 1)}$$

$$= \frac{9.3 \times 2 \cdot 2}{1 \cdot 0}$$

$$= 17.921 \text{ cm (dari atas)}$$

) Menentukan Nilai Momen Inersia

$$I_{t_i} = \left[\left(\frac{1}{12} \times b_{t_i} \times t_p^3 \right) + A_{t_i} \left(Y_{na} - \frac{t_p}{2} \right)^2 \right] + \left[I_x + A_s \left(\left(t_p + h + \frac{d}{2} \right) - Y_{na} \right)^2 \right]$$

$$= 55.726 + 12616.14 + 28540.10$$

$$= 41211.971$$

$$f_{ijin} = \frac{L}{2}$$

$$= \frac{4}{2}$$

$$= 1.667 \text{ cm}$$

$$f^o = \frac{5 \times (q_1 + q_2) \times L^4}{384 \times E \times I}$$

$$= \frac{5 \times (8 + 5.8) \times 4^4}{384 \times 2 \times 10^6 \times 4.9}$$

$$= 0.060 \text{ cm}$$

f ijin f^o

$$1.667 \text{ cm} > 0.060 \text{ cm (Ok)}$$

j. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \quad \text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}$$

$$V_n = 0.6 \times 250 \times 39.6 \times 0.7 \times 1$$

$$= 41580 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{342}{7}$$

$$= 48.857$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2}}$$

$$= 63.357$$

$$v \frac{V_n}{V_u} \rightarrow = 1$$

$$v \frac{V_n}{V_u}$$

$$41580 \text{ kg} > 3789.11 \text{ kg (Ok)}$$

4.2.8 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.041 \times W_c^{1.5} \sqrt{f_c'} \\ &= 0.041 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 26403.491 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} \quad R_g R_p A_{sc} F_u \\ &= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30} \times 26403.491 \\ &= 8947.283 \text{ kg/stud} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 40 \\ &= 6031.858 \text{ kg/stud (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser :

$$\begin{aligned} N &= \frac{V_u}{Q} = \frac{9.0}{6.8} \\ &= 15.642 \approx 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

maka kebutuhan total adalah 32 buah

Jika dipasang 2 stud per tampang melintang maka jarak (S) adalah:

$$S = \frac{4}{(1 + 4) \times 0.5} = 22.222 \text{ mm}$$

Jadi penghubung geser dipasang setiap jarak 20 cm , sekaligus berfungsi sebagai penahan lateral pada balok.

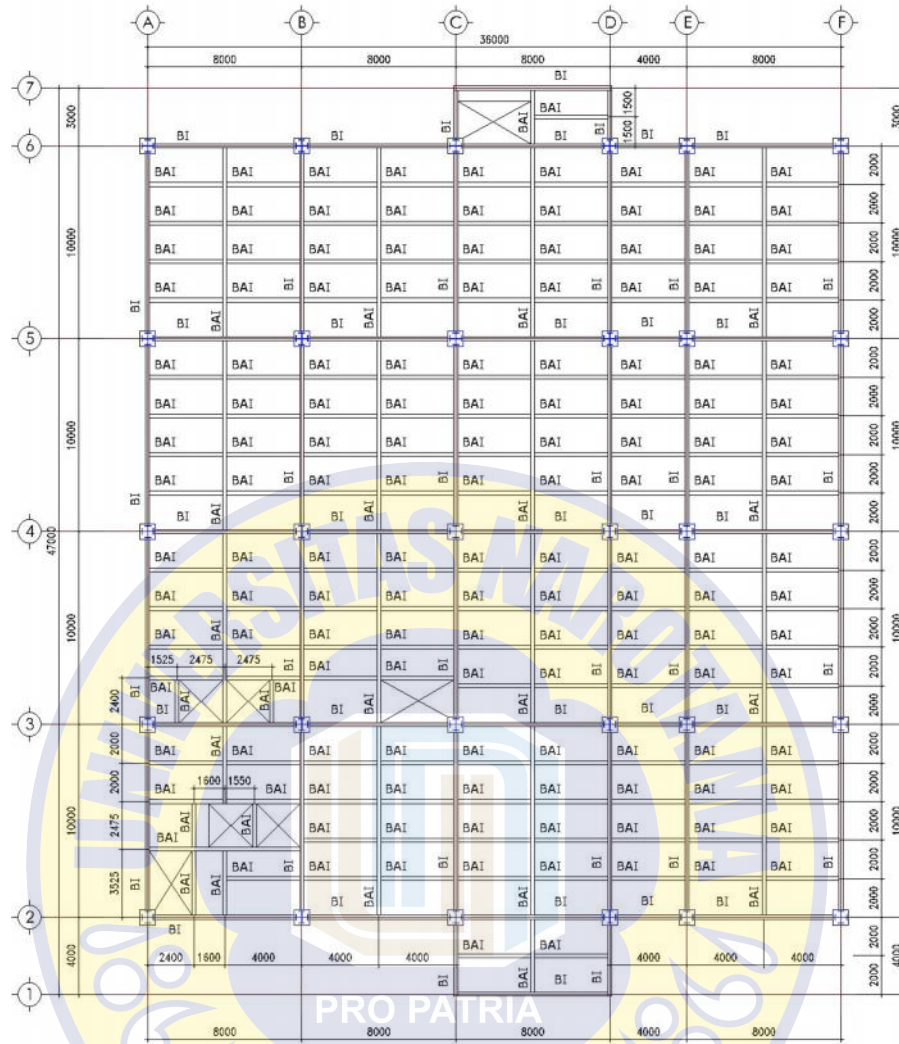
4.3 Permodelan dan Analisa Struktur

4.3.1 Penjelasan Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan grafitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban beban yang terjadi. Pembebanan grafitasi mengacu pada ketentuan SNI 1727:2020 serta Persyaratan beton struktural mengacu pada SNI 2847:2019, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2019, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

4.3.2 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada tugas akhir ini menggunakan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus (SRPMK). Struktur rangka pemikul momen khusus sebagai penahan gaya lateral yang terjadi akibat gempa. Struktur yang direncanakan adalah bangunan gedung SMP Petra yang terdiri dari 10 lantai dengan total tinggi struktur 39,5 m. Pemodelan gedung berlokasi di Sidoarjo. Denah dari struktur yang ada dalam pemodelan tugas akhir penulis adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 13 Denah Struktur Gedung SMP Petra 6 Sidoarjo

4.3.3 Data Gedung

Data data perencanaan Gedung SMP Petra 6 Sidoarjo yang direncanakan dalam struktur adalah sebagai berikut:

-) Mutu baja : BJ 41 dan BJ50
-) Mutu beton (f_c') : 30 MPa
-) Panjang : 13.65 m
-) Lebar : 61.10 m
-) Tinggi total : 35.9 m

-) Tinggi antar lantai
 - lantai 1-2 : 4 m
 - lantai 2-10 : 3.8 m

-) Tebal pelat
 - Pelat atap : 9 cm
 - Pelat lantai : 9 cm

-) Dimensi kolom
 - Beton : 75x75 cm
 - Profil : KC

-) Dimensi balok induk
 - Memanjang : WF
 - Melintang : WF

-) Dimensi balok anak
 - Atap : WF
 - Lantai : WF

4.3.4 Pembebanan Grafitasi

Pembebanan grafitasi berupa beban mati dan hidup yang bekerja pada gedung. Beban mati dan hidup yang diperhitungkan berupa:

-) Beban mati (SNI 1727-2020)
 - Berat sendiri beton : 2400 kg/m³
 - Tegel : 24 kg/m²
 - Plafond : 11 kg/m²
 - Penggantung : 1 kg/m²

Plumbing : 25 kg/m²

Dinding : 250 kg/m²

) Beban hidup (SNI 1727:2020)

Lantai atap : 100 kg/m²

Lantai gedung SMP : 200 kg/m²

Dari analisa yang telah dilakukan berikut adalah rekap pembebanan grafitasi pada gedung SMP Petra 6.

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Manual Beban Mati

Lantai	Beban Mati	
Atap	2455879	kg
9	2410864	kg
8	2410864	kg
7	2410864	kg
6	2410864	kg
5	2410864	kg
4	2419798	kg
3	2652949	kg
2	2770951	kg
1	2604434	kg
Dasar	32481	kg
Σ	24990812	kg

Didapatkan total beban mati sebesar 25852603 kg. Pembebanan yang di inputkan pada ETABS haruslah mendekati yang telah dihitung secara manual sehingga pembebanan pada ETABS dapat dikatakan benar. Berikut adalah pembebanan grafitasi yang didapatkan dari ETABS. Didapatkan total beban mati (DEAD) sebagai berikut:

W_{total manual} = 24990812 kg

W_{total ETABS} = 23890810 kg

Selisih perhitungan manual dan ETABS = $4\% < 5\%$ (memenuhi). Jadi dapat dikatakan bahwa pembebanan grafitasi pada ETABS sudah benar.

4.3.5 Pembebanan Gempa Dinamis

Pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 1726:2019, yang didalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

Mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.4.2 pada pemodelan ETABS bangunan harus mengkoordinir torsi tidak terduga sebesar 5%. Desain harus menyertakan momen torsi bawaan yang dihasilkan dari struktur ditambah momen torsi tidak terduga yang disebabkan oleh perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sama dengan 5% dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang ditetapkan.

4.3.6 Faktor Keutamaan Gempa

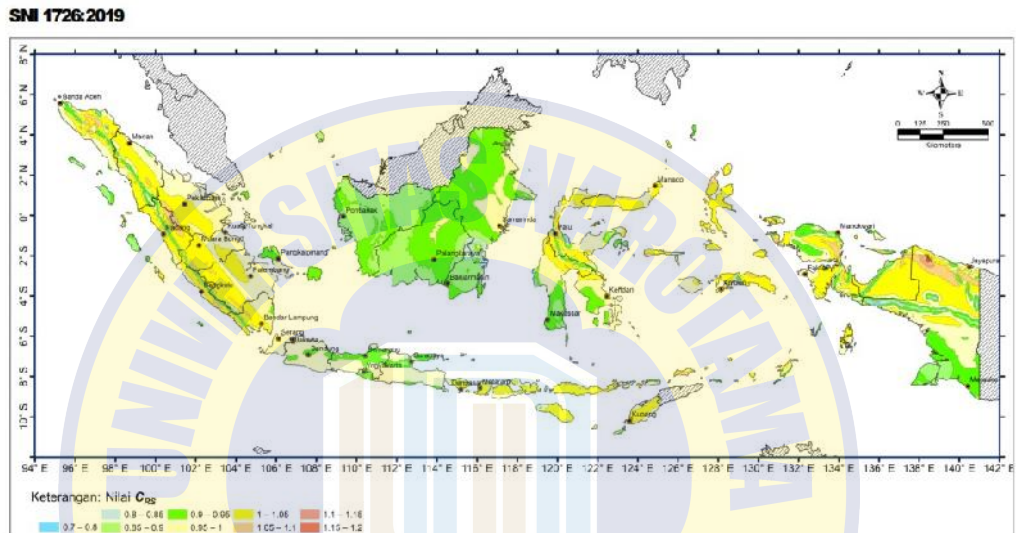
Faktor keutamaan gempa seperti yang telah dibahas pada sub bab 3.5.4 ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan. Kategori resiko untuk gedung Sekolah Menengah Atas (SMP) masuk dalam kategori resiko II dengan factor Keutamaan gempa (I) = 1.

a. Kelas Situs

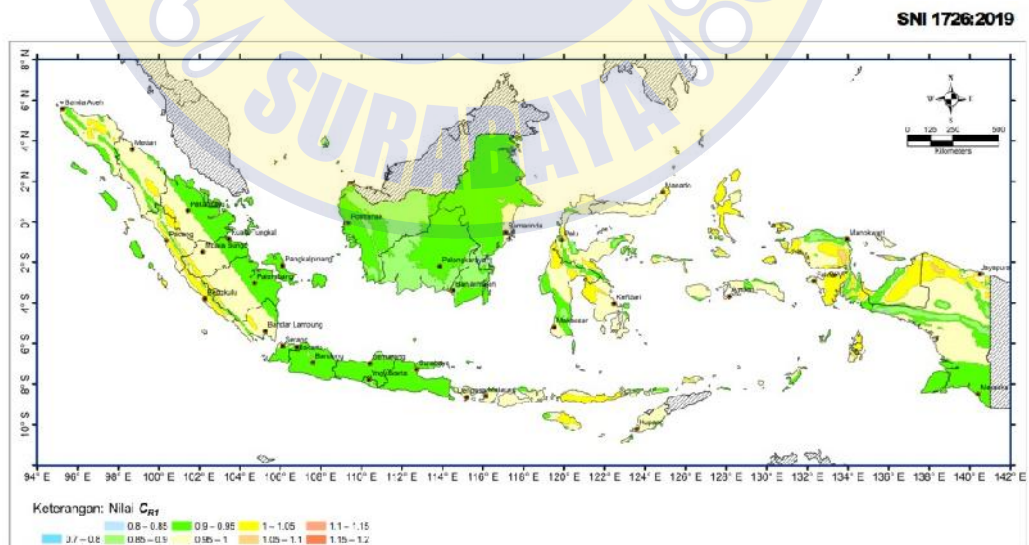
Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data. Pada proyek pembangunan gedung SMP Petra 6 Sidoarjo didapatkan berdasarkan nilai N (Tes Bor Log) lebih besar dari 15, jadi dapat dikatakan tanah termasuk dalam kelas situs SD (Tanah Sedang).

b. Parameter Respon Spektral

Sebagai input data pada ETABS, diperlukan data Percepatan Respons Spektrum (MCE). Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 14 Peta untuk menentukan periode pendek 0.2 detik (S_a)



Gambar 4. 15 Peta untuk menentukan periode pendek 1 detik (S_1)

S_s , Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER). Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0.2 detik dalam g, (5% redaman kritis), Kelas situs SE. Dari gambar 3.3 untuk daerah Sidoarjo didapatkan nilai $S_s = 0.782554$ g.

S_1 , Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SE. Dari gambar 3.3 untuk wilayah Sidoarjo $S_1 = 0.344247$ g.

c. Parameter Percepatan Spektral Desain

Tabel 4. 2 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Tabel 4. 3 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Seperti yang telah dibahas pada sub bab 3.2.4 didapatkan parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek 0.2 detik (SDS) adalah sebagai berikut:

$$S_M = F_a \cdot S_s = 1.30 \times 0.75 = 0.97$$

$$S_M = F_v \cdot S_1 = 2.80 \times 0.30 = 0.84$$

Sehingga,

$$S_D = \frac{2}{3} \cdot S_M = \frac{2}{3} \times 0.97 = 0.64$$

$$S_D = \frac{2}{3} \cdot S_M = \frac{2}{3} \times 0.84 = 0.559$$

Untuk perioda pendek 0.2 detik (S_s) sebesar 0.75 g dan parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik (S_1) sebesar 0.30 g dengan kelas situs SDS sebesar 0.64 dan SD1 sebesar 0.559.

d. Kategori Desain Seismik

Tabel 4. 4 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Tabel 4. 6 Faktor R, Cd, o Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^h	TI ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembuatan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

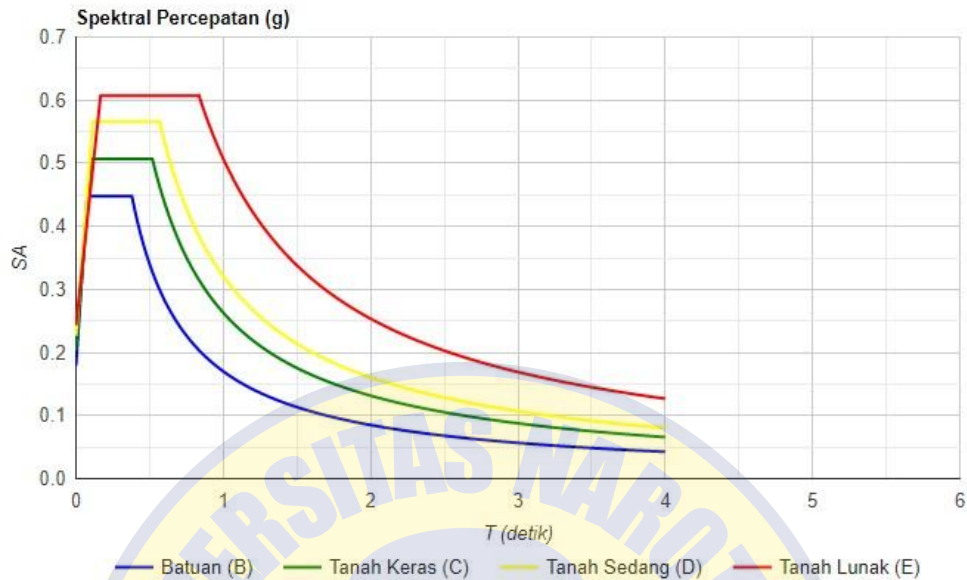
kategori desain seismik dibagi berdasarkan tabel 4.4 untuk SDS sebesar 0.64 dan SD1 sebesar 0.559 dan kategori resiko II. Kategori desain seismic tergolong kategori D, tipe struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen yaitu rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus yang mana nilai koefisien respon (R) = 8 dan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5.5

e. Parameter Respon Spektrum Desain

Parameter respon spektrum desain digunakan untuk menentukan gaya gempa desain yang bekerja pada struktur. Berikut adalah nilai parameter respon spektrum untuk wilayah Surabaya dengan kondisi tanah sedang (Kelas situs SE):

Tabel 4. 7 Parameter Respons Gempa Wilayah Sidoarjo untuk Kelas Situs SE
(Tanah Lunak)

Tanah Sedang	
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.359002
Ss (g)	0.782554
S1 (g)	0.344247
CRs	0.891278
CR1	0.8247958
FPGA	0.359002
FA	1.273957
FV	2.623011
PSA (g)	0.532039
SMS	0.996940
SM1	0.902964
S _{Ds}	0.664627
S _{D1}	0.601976
T ₀ (detik)	0.181147
T _s (detik)	0.905736



Gambar 4. 16 Grafik Spekttral Percepatan Gempa Wilayah Sidoarjo

f. Arah Pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak balik dan periodikal. Untuk menstimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

) Gempa Respon Spektrum X :

100% efektifitas untuk arah X dan 30% efektifitas arah Y

) Gempa Respon Spektrum Y :

100% efektifitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

g. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*). Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung sebagai berikut :

-) $1.4D$
-) $1.2D + 1.6L + (Lr \text{ atau } R)$
-) $1.2D + 1.6(Lr \text{ atau } 0.5W)$
-) $1.2D + 1.0W + L + 0.5(Lr \text{ atau } R)$
-) $1.2D + 1.0E + L$
-) $0.9D + 1.0W$
-) $0.9D + 1.0E$

Keterangan :

D : Beban Mati

L : Beban Hidup Lantai

E : Beban Gempa yang dinyatakan dalam 2 arah

4.3.7 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu ETABS 18, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 untuk menentukan kelayakan system struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

-) Kontrol partisipasi massa
-) Kontrol periode getar struktur
-) Kontrol nilai akhir respon spektrum
-) Kontrol batas simpangan (*story drift*)

4.5.7.1 Kontrol Partisipasi Massa

Bedasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah. Dalam hal ini digunakan program bantu ETABS 18 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4. 8 Rasio Partisipasi Massa Gedung SMP Petra 6 Sidoarjo

TABLE: Modal Participating Mass Ratios			
Case	Mode	SumUX	SumUY
Modal	1	0.00	0.65
Modal	2	0.47	0.69
Modal	3	0.70	0.69
Modal	4	0.73	0.73
Modal	5	0.83	0.82
Modal	6	0.87	0.87
Modal	7	0.86	0.86
Modal	8	0.89	0.89

Modal	9	0.91	0.90
Modal	10	0.93	0.96
Modal	11	0.95	0.96
Modal	12	1.00	1.00

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 90% pada moda 9 dan 93% pada moda ke 10. Maka dapat disimpulkan analisa struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

4.3.8 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan strukyur gedung yang fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:2019 perioda fundamental harus ditentukan dari:

$$T = C_t \cdot h_n^x$$

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atasnya dikalikan dengan koefisien batas. Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai SD1. Struktur gedung SMP Petra 6 ini dengan ketinggian 39.5m. Pada struktur ini digunakan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus sehingga pada tabel 15 SNI 1726:2019 didapatkan nilai :

$$C_t = 0.0724$$

$$x = 0.8$$

$$h_n = 35.9 \text{ m}$$

Maka :

$$T = 0.0724 \cdot 39.5^{0.8}$$

$$T = 1.270 \text{ s}$$

Nilai C_u didapat dari tabel 14 SNI 1726:2019, untuk nilai

$SD1 = 0.601$, maka :

$$C_u \cdot T = 1.4 \times 1270$$

$$C_u \cdot T = 1.778 \text{ s}$$

Dari hasil analisis ETABS 18 periode dan frekuensi struktur dapat dilihat pada

Tabel 4.9

Tabel 4. 9 Perioda dan Frekuensi Struktur

TABLE: Modal Periods And Frequencies			
Case	Mode	Period	Frequency
		sec	cyc/sec
Modal	1	1.012	0.988
Modal	2	0.890	1.124
Modal	3	0.867	1.153
Modal	4	0.306	3.269
Modal	5	0.274	3.648
Modal	6	0.267	3.750
Modal	7	0.158	6.324
Modal	8	0.145	6.908
Modal	9	0.142	7.065
Modal	10	0.096	10.397
Modal	11	0.090	11.108
Modal	12	0.088	11.314

Dari tabel di atas didapat $T = 1.012 \text{ s}$. Maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental nilai T masih lebih kecil dari $C_u \cdot T$. Jadi analisis struktur gedung SMP Petra 6 Sidoarjo masih memenuhi syarat SNI1726:2019 pasal 7.8.2.

4.3.9 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik.

Rumus gaya geser statik adalah

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana :

$$C = \frac{S_D}{\left(\frac{R}{I_c}\right)} = \frac{0.665}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.083$$

$$C = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_c}\right)} = \frac{0.602}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.075 < 0.083$$

Maka nilai $C = 0.075$

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung SMP Petra 6 sebagai berikut (Tabel 4.10)

Tabel 4. 10 Reaksi Dasar Struktur

TABLE: Base Reactions		
Output Case	Case Type	FZ
		kgf
1D+1L	Combination	21757684.8

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah **21757684.8 kg**, maka :

$$\begin{aligned} V_s &= C_s \cdot W \\ &= 0.075 \times 21757684.8 \\ &= 1637200.50 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa menggunakan program ETABS 18 didapatkan nilai gaya geser dasar (*base shear*) sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Gaya Geser Akibat Beban Gempa

TABLE: Base Reactions		
Output Case	FX	FY
	kgf	kgf
Elf _y	185588.40	882692.66
Elf _x	910708.55	182782.10

Kontrol :

) Untuk Gempa Arah X :

$$V_{di} = 85\% \cdot V_s$$

$$185588.40 \text{ kg} = 85\% \cdot 1637200.50 \text{ kg}$$

$$185588.40 \text{ kg} < 1391620 \text{ (Not Ok)}$$

) Untuk Gempa Arah Y :

$$V_{di} = 85\% \cdot V_s$$

$$182782.10 \text{ kg} = 85\% \cdot 1637200.50 \text{ kg}$$

$$182782.10 \text{ kg} < 1391620 \text{ (Not Ok)}$$

Dari kontrol diatas, analisa struktur gedung SMP Petra 6 masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada pasal 11.14 SNI 1726:2019 pasal 7.9.4.2 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala $0.85 \frac{C_s \cdot W}{V}$

) Untuk Gempa Arah X :

$$0.85 \cdot \frac{0.08 \times 21757684.80}{185588.4} = 7.498$$

) Untuk Gempa Arah Y :

$$0.85 \cdot \frac{0.08 \times 21757684.80}{182782.1} = 7.614$$

Tabel 4. 12 Gaya Dasar Akibat Gempa Setelah Dikalikan Dengan Faktor Skala

TABLE: Base Reactions		
Output Case	FX	FY
	kgf	kgf
Elf _y	1391620.43	6720423.61
Elf _x	6828878.45	1391620.43

Kontrol :

) Untuk Gempa Arah X :

$$V_{di} = 85\% \cdot V_s$$

$$1391620.43 \text{ kg} = 85\% \cdot 1637200.50 \text{ kg}$$

$$1391620.43 \text{ kg} = 1391620.43 \text{ (Ok)}$$

) Untuk Gempa Arah Y :

$$V_{di} = 85\% \cdot V_s$$

$$1391620.43 \text{ kg} = 85\% \cdot 1637200.50 \text{ kg}$$

$$1391620.43 \text{ kg} = 1391620.43 \text{ (Ok)}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung SMP Petra 6 Sidoarjo masih memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.8.

4.3.10 Kontrol batas simpangan (*story drift*)

Tabel 4. 13 Simpangan Antar Lantai Ijin, a

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari stuktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah di desain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber : SNI 1726-2019 Ps.7.12.1

h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1$$

$$u_x = \frac{C_d u_{xe}}{I_e}$$

Tabel 4. 14 *Story drift* arah X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (mm)	Cd	Simpangan diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai(mm)	Simpangan ijin antar lantai(mm)	ket
i	hi	hsx	δ_e		δ $\delta_e \cdot Cd$	Δ	Δa $0.02 \cdot h_{sx}$	
atap	35.9	3.8	46.52	5.5	255.87	-12.70	76	Ok
9	32.1	3.8	44.21	5.5	243.17	-18.45	76	Ok
8	28.3	3.8	40.86	5.5	224.72	-24.86	76	Ok
7	24.5	3.8	36.34	5.5	199.86	-30.67	76	Ok
6	20.7	3.8	30.76	5.5	169.19	-35.27	76	Ok
5	16.9	3.8	24.35	5.5	133.91	-38.04	76	Ok
4	13.1	3.8	17.43	5.5	95.87	-37.87	76	Ok
3	9.3	3.8	10.55	5.5	58.00	32.99	76	Ok
2	5.5	4.0	4.55	5.5	25.00	22.60	80	Ok
1	1.5	1.5	0.44	5.5	2.40	2.40	30	Ok
0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0	Ok

PRO PATRIA

Tabel 4. 15 *Story drift* arah Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (mm)	Cd	Simpangan diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai(mm)	Simpangan ijin antar lantai(mm)	ket
i	hi	hsx	δ_e		δ $\delta_e \cdot Cd$	Δ	Δa $0.02 \cdot h_{sx}$	
atap	35.9	3.8	55.72	5.5	306.44	-16.85	76	Ok
9	32.1	3.8	52.65	5.5	289.59	-23.52	76	Ok
8	28.3	3.8	48.38	5.5	266.07	-31.11	76	Ok
7	24.5	3.8	42.72	5.5	234.95	-38.05	76	Ok
6	20.7	3.8	35.80	5.5	196.91	-43.33	76	Ok
5	16.9	3.8	27.92	5.5	153.57	-45.97	76	Ok
4	13.1	3.8	19.56	5.5	107.60	-44.42	76	Ok
3	9.3	3.8	11.49	5.5	63.18	36.99	76	Ok
2	5.5	4.0	4.76	5.5	26.19	23.73	80	Ok
1	1.5	1.5	0.45	5.5	2.45	2.45	30	Ok
0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0	Ok

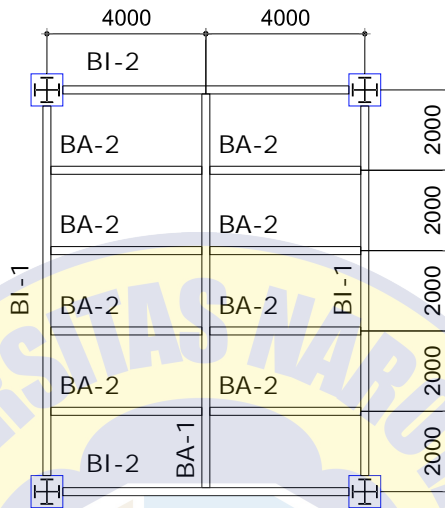
4.4 Perencanaan Balok Induk

4.4.1 Perencanaan Balok Induk Memanjang Tipikal (BI-1)

Pada perencanaan Balok Induk Memanjang ditinjau dari frame yang mempunyai gaya dalam paling kritis (terbesar) dari hasil analisis ETABS 18 yang mana terletak pada frame 1282. Gaya dalam ini nantinya akan digunakan untuk mendesain balok induk memanjang mulai dari lantai 1 sampai lantai 10 (lantai atap). Pada perencanaan balok induk memanjang ini digunakan profil WF 600×200×11×17 dengan data sebagai berikut:

W = 105.5 kg/m	r = 22 mm	Sy = 228 cm ³
A = 134.4 cm	ix = 24.03 cm	Zx = 4308.91 cm ³
b = 200 mm	iy = 4.12 cm	Zy = 919.73 cm ³
d = 600 mm	Ix = 77600cm ⁴	h = 522 mm
tf = 17 mm	Iy = 2280 cm ⁴	
tw = 11 mm	Sx = 2587 cm ³	
BJ 41 :	fy = 4100 kg/cm ²	fr = 700 kg/cm ²
	fu = 5500 kg/cm ²	
Beton :	f'c = 300 kg/cm ²	tebal pelat = 9 cm
	hr = 5.3 cm	tb = 3.7 cm

Panjang Balok Induk (L) = 1000 cm



Gambar 4. 17 Denah Balok Induk Memanjang Lantai 1-Atap Tipikal (BI-1)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, berdasarkan hasil ETABS diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{max} = 7180.68 \text{ kgm}$$

$$V_{max} = 4487.82 \text{ kg}$$

b. Kontrol Penampang

) kontrol sayap

$$\frac{b}{2} = \frac{2}{3} = 5.882$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{F_r}} = \frac{1}{\sqrt{4}} = 8.396$$

$$\frac{b}{2} \rho \text{ (Ok)}$$

) Kontrol badan

$$\frac{h}{t} = \frac{5}{1} = 47$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{4}} = 0.5$$

$$\frac{h}{t} < \rho \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$\begin{aligned} M_n &= 4100 \times 4308.91 \\ &= 17666539.2 \text{ kgcm} \\ &= 176665.39 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = \phi M_p = 0.90 \text{ (SNI 1729:2020 Pasal F1)}$$

$$158998.85 \text{ kgm} < 176665.39 \text{ kgm} \quad (\text{Ok})$$

c. Kontrol Lateral Buckling

$$L_p = 10 \text{ cm}$$

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$= 1.76 \times 4.12 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2}}$$

$$= 205.09 \text{ cm}$$

$L_b < L_p$ Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan

(SNI 1729:2020 Pasal F2.1)

d. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1})$$

$$\frac{h}{t} = \frac{5}{1}$$

$$= 47.455$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{4}} = 49.473$$

$$V_n = 0.6 \times 4100 \times 66 \times 1 \text{ (SNI 1729:2020 Pasal G2.1)}$$

$$= 162360 \text{ kg}$$

$$v \frac{V_n}{V_u} \longrightarrow = 1$$

$$v \frac{V_n}{V_u}$$

$$162360 \text{ kg} \quad 4487.82 \text{ kg (Ok)}$$

e. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} \text{Lendutan ijin (f)} &= \frac{L}{3} \\ &= \frac{1}{3} \\ &= 2.778 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 1729-2020 Pasal 6.4.3 Tabel 6.4-1)

$$\text{Lendutan hasil analisa ETABS} = 0.045 \text{ cm}$$

$$0.045 \text{ cm} \quad 2.778 \text{ cm (Ok)}$$

f. Kondisi Setelah Komposit

Pada kondisi setelah komposit, berdasarkan hasil ETABS diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{\max} = 9624.10 \text{ kgm}$$

$$M_{\min} = 4580.58 \text{ kgm}$$

$$V_{\max} = 6765.03 \text{ kg}$$

g. Menghitung Momen Nominal

Zona Momen Positif

) Lebar efektif

$$\begin{array}{l} B_{eff} \quad 1/4 L \quad = 250\text{cm} \\ B_{eff} \quad S \quad = 300\text{cm} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} B_{eff} \\ B_{eff} \end{array}} \right\} 250 \text{ cm}$$

(SNI 1729:2020 Pasal I3.1.1a)

$$h/t_w = 54.10$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{f'}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{4}} = 83.71$$

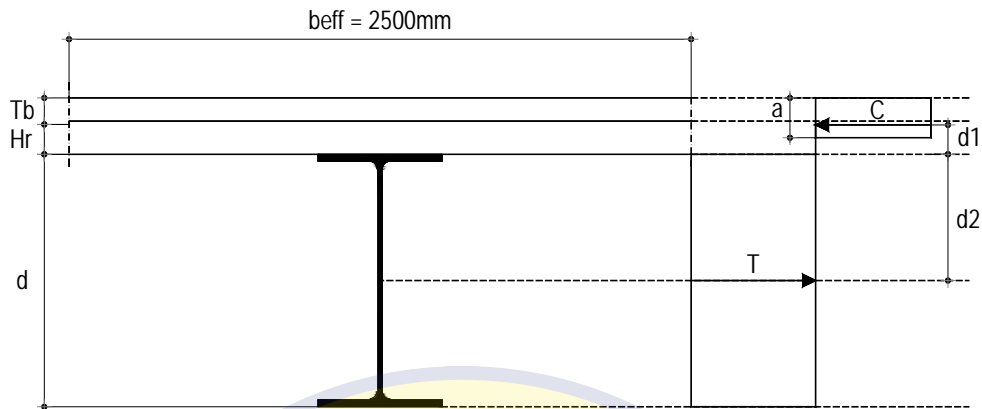
Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

(SNI 1729:2020 Pasal I3.2.2a)

$$\begin{aligned} C &= 0.85 f'c t_p B_e \\ &= 0.85 \times 300 \times (9-5.3) \times 250 \\ &= 337875 \text{ kg (menentukan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s F_y \\ &= 134.4 \times 4100 \\ &= 432550 \text{ kg} \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 18 Gaya yang bekerja pada penampang balok komposit

$$a = \frac{T}{0.8 \times f'c \times B_e}$$

$$= \frac{4}{0.8 \times 3 \times 2}$$

$$= \frac{2}{6}$$

$$= 6.785 \text{ cm}$$

$$d_2 = \frac{T-C}{b \cdot 2 \cdot y}$$

$$= \frac{4 - 3}{2 \times 2 \times 4}$$

$$= \frac{9}{1}$$

$$= 0.58 \text{ cm}$$

$$M_n = T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + C \left(\frac{t_b}{2} + H_r + d_2 \right)$$

$$= 432550 \left(\frac{1.0}{2} - 0.58 \right) + 337875 \left(\frac{9}{2} + 5.3 + 0.58 \right)$$

$$= 26846610 \text{ kgcm}$$

$$= 268466 \text{ kg}$$

$$M_n \quad M_u \longrightarrow = 0.9 \text{ (SNI 1729:2020 Pasal I3.2.2a)}$$

$$0.9 \times 268466 \text{ kgm} \quad 4580 \text{ kgm (Ok)}$$

$$241619 \text{ kg} \quad 5855.45 \text{ kg (Ok)}$$

h. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{3}$$

$$= \frac{1}{3}$$

$$= 2.778 \text{ cm}$$

(SNI 03-1729-2020 Pasal 6.4.3)

$$\text{Lendutan hasil analisa ETABS} = 0.356 \text{ cm}$$

$$f \text{ ijin} \quad f^o$$

$$2.778 \text{ cm} \quad 0.356 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

i. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1})$$

$$= 0.6 \times 4100 \times 60 \times 1.1 \times 1$$

$$= 16236 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{t_v} = \frac{5}{1}$$

$$= 47.455$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f^o}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{4}} = 49.473$$

$$v \quad V_n \quad V_u \longrightarrow = 1 \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1})$$

$$162360 \text{ kg} \quad 6765.03 \text{ kg (Ok)}$$

Zona Momen Negatif

$$\begin{aligned}T &= n \cdot A_R \cdot f_{yR} \\ &= 5 \times 0.785 \times 4100 \\ &= 16092.5 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_y &= A_s \cdot f_y \\ &= 134.4 \times 4100 \\ &= 551040 \text{ kg}\end{aligned}$$

Gaya pada badan profil Tf

$$\begin{aligned}&= B_f \cdot t_f \cdot f_y \\ &= 20 \times 1.7 \times 4100 \\ &= 139400 \text{ kg}\end{aligned}$$

Gaya pada badan profil Tw

$$\begin{aligned}&= \frac{P_y - T}{2} - t_f \\ &= \frac{551040 - 16092.5}{2} - 1.7 \\ &= 267472.05 \text{ kg}\end{aligned}$$

Jarak garis netral aw

$$\begin{aligned}a_w &= \frac{T_w}{f_y \cdot t_w} \\ &= \frac{267472.05}{4100 \times 1.7} \\ &= 383.75 \text{ mm} = 38.375 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$d_2 = \frac{(T_f \times 0.5 T_f) + (T_w (T_f + 0.5 a_w))}{T_f + T_w}$$

$$= \frac{(1 \times 0.5 \times 1.7) + (2 \times 0.0 \times (1.7 + 0.5 \times 38.375))}{1 + 2 \times 0.0}$$

$$= 24.009 \text{ cm}$$

$$d3 = \frac{d}{2} = \frac{6}{2} = 30 \text{ cm}$$

$$d1 = hr + tb - c$$

$$= 5.3 + 3.7 - 2$$

$$= 7 \text{ cm}$$

$$M_n = T (d1 + d2) + P_y (d3 - d2)$$

$$= 499020.19 + 3301011.42$$

$$= 3800031.62 \text{ kgm}$$

$$M_n \quad \mu \rightarrow = 0.9$$

$$0.9 \times 3800031.62 \text{ kgm} = 4580.58 \text{ kgm}$$

$$3420028.46 \text{ kgm} = 4580.58 \text{ kgm (Ok)}$$

4.4.2 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} = 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

$$= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30}$$

$$= 27691.466 \text{ MPa}$$

$$Q_n = 0.5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c}$$

$$R_g R_p A_{sc} F_u$$

(SNI 1729:2020 Pasal I8.2a)

$$= 0.5 \cdot 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466}$$

$$= 9162.911 \text{ kg/stud}$$

$$R_g R_p A_{sc} F_u = 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 1$$

$$= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)}$$

Jumlah penghubung geser momen positif :

$$(N) = \frac{V_r}{Q} = \frac{4}{6} \cdot \frac{.0}{.6}$$

$$= 69.962 \approx 70 \text{ buah}$$

70 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 140 buah

Jumlah penghubung geser momen negatif :

$$(N) = \frac{V_r}{Q} = \frac{1}{6} \cdot \frac{.5}{.6}$$

$$= 2.603 \approx 3 \text{ buah}$$

3 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 6 buah. Jika dipasang

2 stud per penampang melintang maka jarak stud (S) adalah :

$$(S) = \frac{1}{1/2} = 137 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang :

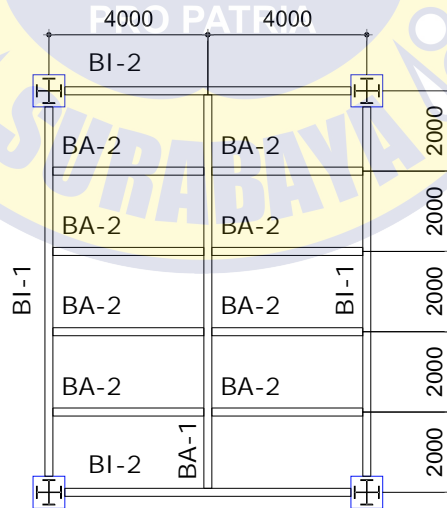
$$(S1) = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

4.4.3 Perencanaan Balok Induk Melintang Tipikal (BI-2)

Pada perencanaan Balok Induk Memanjang ditinjau dari frame yang mempunyai gaya dalam paling kritis (terbesar) dari hasil analisis ETABS 18 yang mana terletak pada frame 877. Gaya dalam ini nantinya akan digunakan untuk mendesain balok induk memanjang mulai dari lantai 1 sampai lantai 10 (lantai

atap). Pada perencanaan balok induk memanjang ini digunakan profil WF 600×200×11×17 dengan data sebagai berikut:

$W = 105.5 \text{ kg/m}$ $r = 22 \text{ mm}$ $S_y = 228 \text{ cm}^3$
 $A = 134.4 \text{ cm}$ $i_x = 24.03 \text{ cm}$ $Z_x = 4308.91 \text{ cm}^3$
 $b = 200 \text{ mm}$ $i_y = 4.12 \text{ cm}$ $Z_y = 919.73 \text{ cm}^3$
 $d = 600 \text{ mm}$ $I_x = 77600 \text{ cm}^4$ $h = 522 \text{ mm}$
 $t_f = 17 \text{ mm}$ $I_y = 2280 \text{ cm}^4$
 $t_w = 11 \text{ mm}$ $S_x = 2587 \text{ cm}^3$
 BJ 41 : $f_y = 4100 \text{ kg/cm}^2$ $f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$
 $f_u = 5500 \text{ kg/cm}^2$
 Beton : $f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ tebal pelat = 9 cm
 $h_r = 5.3 \text{ cm}$ $t_b = 3.7 \text{ cm}$
 Panjang Balok Induk (L) = 800 cm



Gambar 4. 19 Denah Balok Induk Memanjang Lantai 1-Atap Tipikal (BI-2)

a. Kondisi Sebelum Komposit

Pada kondisi sebelum komposit, berdasarkan hasil ETABS diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{\max} = 7180.58 \text{ kgm}$$

$$V_{\max} = 4487.82 \text{ kg}$$

b. Kontrol Penampang

) kontrol sayap

$$\frac{b}{2} = \frac{2}{3} = 5.882$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f_r}} = \frac{1}{\sqrt{4}} = 8.396$$

$$\frac{b}{2} \rho \quad (\text{Ok})$$

) Kontrol badan

$$\frac{h}{t} = \frac{5}{1} = 47$$

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{f_r}} = \frac{1}{\sqrt{4}} = 83$$

$$\frac{h}{t} \rho \quad (\text{Ok})$$

Penampang kompak

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

$$M_n = 4100 \times 4308.91$$

$$= 10772280 \text{ kgcm}$$

$$= 107722.80 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n \leq M_u \leq \phi M_n = 0.90 \text{ (SNI 1729:2020 Pasal F1)}$$

107722.80 kgm 7180.58 kgm (**Ok**)

c. Kontrol Lateral Buckling

$$L_p = 10 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{f}} \\ &= 1.76 \times 4.12 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{4}} \\ &= 160.15 \text{ cm} \end{aligned}$$

$L_b < L_p$ Keadaan batas dari tekuk lateral tidak boleh digunakan
(SNI 1729:2020 Pasal F2.1)

d. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1})$$

$$\begin{aligned} \frac{h}{t} &= \frac{5}{1} \\ &= 47.455 \end{aligned}$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{4}} = 49.473$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6 \times 4100 \times 66 \times 1 \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1}) \\ &= 162360 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$v V_n > V_u \longrightarrow = 1$$

$$v V_n > V_u$$

162360 kg 4487.82 kg (**Ok**)

e. Kontrol Lendutan

$$\text{Lendutan ijin (f)} = \frac{L}{3}$$

$$= \frac{8}{3}$$

$$= 2.222 \text{ cm}$$

(SNI 1729-2020 Pasal 6.4.3 Tabel 6.4-1)

Lendutan hasil analisa ETABS = 0.045cm

0.045cm < 2.778cm (Ok)

f. Kondisi Setelah Komposit

Pada kondisi setelah komposit, berdasarkan hasil ETABS diperoleh gaya dalam maksimum sebagai berikut:

$$M_{\max} = 9624.10 \text{ kgm}$$

$$M_{\min} = 4580.58 \text{ kgm}$$

$$V_{\max} = 6765.03 \text{ kg}$$

g. Menghitung Momen Nominal

Zona Momen Positif

) Lebar efektif

$$\begin{array}{l} \text{Beff} \quad 1/4 L = 200\text{cm} \\ \text{Beff} \quad S = 300\text{cm} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Beff} \\ \text{Beff} \end{array}} \right\} 200 \text{ cm}$$

(SNI 1729:2020 Pasal I3.1.1a)

$$h/tw = 54.10$$

$$3.79 \sqrt{\frac{E}{f'}} = 3.79 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{4}} = 83.71$$

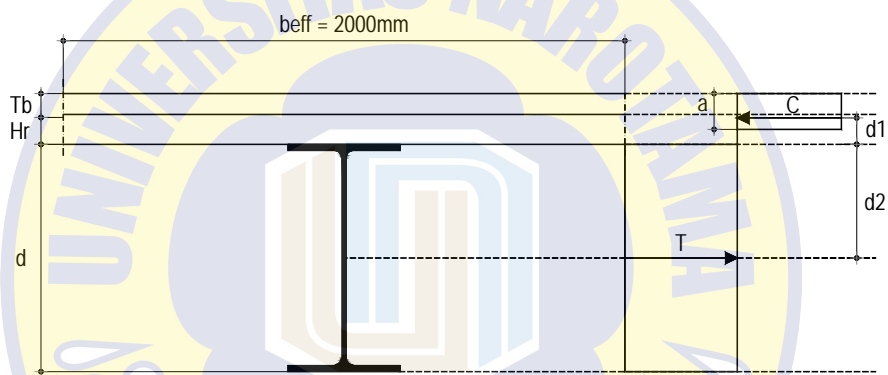
Dianalisa dengan distribusi tegangan plastis

(SNI 1729:2020 Pasal I3.2.2a)

$$\begin{aligned}
 C &= 0.85 f'_c t_p B_e \\
 &= 0.85 \times 300 \times (9-5.3) \times 200 \\
 &= 459000 \text{ kg (menentukan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s F_y \\
 &= 134.4 \times 4100 \\
 &= 551040 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$T > C$, maka garis netral terletak pada profil



Gambar 4. 20 Gaya yang bekerja pada penampang balok komposit

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{T}{0.8 \times f'_c \times B_e} \\
 &= \frac{5}{0.8 \times 3 \times 2} \\
 &= \frac{5}{5} \\
 &= 10.805 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= \frac{T-C}{b \cdot 2 \cdot y} \\
 &= \frac{5 - 4}{2 \times 2 \times 4}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{9 \cdot 0}{1}$$

$$= 0.56 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T \left(\frac{d}{2} - d_2 \right) + C \left(\frac{t_b}{2} + H_r + d_2 \right) \\ &= 551040 \left(\frac{3 \cdot 9}{2} - 0.56 \right) + 459000 \left(\frac{9}{2} + 5.3 + 0.56 \right) \\ &= 14358783 \text{ kgcm} \\ &= 143588 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$M_n \quad \mu_n \quad \longrightarrow \quad = 0.9 \text{ (SNI 1729:2020 Pasal I3.2.2a)}$$

$$0.9 \times 143588 \text{ kgm} \quad 9624.10 \text{ kgm}$$

$$129229 \text{ kg} \quad 9624.10 \text{ kg (Ok)}$$

h. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} \text{Lendutan ijin (f)} &= \frac{L}{3} \\ &= \frac{8}{3} \text{ PRO PATRIA} \\ &= 2.222 \text{ cm} \\ &\text{(SNI 03-1729-2020 Pasal 6.4.3)} \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan hasil analisa ETABS} = 0.356 \text{ cm}$$

f ijin f°

$$2.222 \text{ cm} \quad 0.356 \text{ cm (Ok)}$$

i. Kontrol Geser

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v \quad \text{(SNI 1729:2020 Pasal G2.1)}$$

$$= 0.6 \times 4100 \times 60 \times 1.1 \times 1$$

$$= 162360 \text{ kg}$$

$$\frac{h}{t} = \frac{5}{1}$$

$$= 47.455$$

$$2.24 \sqrt{\frac{E}{f}} = 2.24 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{4}} = 49.473$$

$$v \quad V_n \quad V_u \quad \longrightarrow \quad = 1 \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal G2.1})$$

$$162360 \text{ kg} \quad 6765.03 \text{ kg (Ok)}$$

Zona Momen Negatif

$$\begin{aligned} T &= n \cdot A_r \cdot f_y \\ &= 5 \times 0.785 \times 4100 \\ &= 16092.5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= A_s \cdot f_y \\ &= 134.4 \times 4100 \\ &= 551040 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya pada badan profil Tf

$$\begin{aligned} &= B_f \cdot t_f \cdot f_y \\ &= 20 \times 1.7 \times 4100 \\ &= 139400 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya pada badan profil Tw

$$\begin{aligned} &= \frac{P_y - T}{2} - t_f \\ &= \frac{551040 - 16092.5}{2} - 1.7 \\ &= 267472.05 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jarak garis netral aw

$$a_w = \frac{T_w}{f_y \cdot t_w}$$

$$= \frac{2 \quad .0}{4 \quad \times 1.7}$$

$$= 59.30 \text{ mm} = 5.93 \text{ cm}$$

$$d_2 = \frac{(I_f \times 0.5 T_f) + (I_w (T_f + 0.5 a_w))}{T_f + T_w}$$

$$= \frac{(1 \quad \times 0.5 \times 1.7) + (2 \quad .0 \times (1.7 + 0.5 \times 59.30))}{1 \quad + 2 \quad .0}$$

$$= 20.902 \text{ cm}$$

$$d_3 = \frac{d}{2} = \frac{6}{2} = 30 \text{ cm}$$

$$d_1 = h_r + t_b - c$$

$$= 5.3 + 3.7 - 2$$

$$= 7 \text{ cm}$$

$$M_n = T (d_1 + d_2) + P_y (d_3 - d_2)$$

$$= 449019.28 + 5013144.40$$

$$= 542163.69 \text{ kgm}$$

$$M_n \quad M_u \quad \longrightarrow \quad = 0.9$$

$$0.9 \times 542163.69 \text{ kgm} \quad 4580.58 \text{ kgm}$$

$$4915947.32 \text{ kgm} \quad 4580.58 \text{ kgm} \quad (\mathbf{Ok})$$

4.4.4 Perencanaan Penghubung Geser

Direncanakan penghubung geser yang dipakai adalah tipe stud, dengan data sebagai berikut:

$$d_s = 16 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 410 \text{ MPa} \quad 41 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 \times W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_n &= 0.5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} \\ &= 0.5 \times 201.06 \sqrt{30 \times 27691.466} \\ &= 9162.911 \text{ kg/stud} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_g R_p A_{sc} F_u &= 1 \times 0.75 \times 201.06 \times 410 \\ &= 6182.654 \text{ kg/stud (menentukan)} \end{aligned}$$

Jumlah penghubung geser momen positif :

$$\begin{aligned} (N) &= \frac{V'}{Q} = \frac{5}{6 \cdot 6} \\ &= 89.12 \quad 90 \text{ buah} \end{aligned}$$

90 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 180 buah

Jumlah penghubung geser momen negatif :

$$\begin{aligned} (N) &= \frac{V'}{Q} = \frac{1 \cdot 5}{6 \cdot 6} \\ &= 2.603 \quad 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

3 buah untuk $\frac{1}{2}$ bentang, maka kebutuhan total stud adalah 6 buah. Jika dipasang

2 stud per penampang melintang maka jarak stud (S) adalah :

$$(S) = \frac{8}{1/2} = 87 \text{ mm}$$

Jarak stud melintang :

$$(S1) = 4D = 4 \times 16 = 64 \text{ mm}$$

4.4.5 Perencanaan Kolom Komposit (K1)

Kolom direncanakan menggunakan kolom KC 588x300x12x20, dengan data sebagai berikut:

$$W = 302 \text{ kg/m} \quad t_f = 20 \text{ mm} \quad i_y = 18.16 \text{ cm}$$

$$A = 385 \text{ cm} \quad t_w = 12 \text{ mm} \quad I_x = 127020 \text{ cm}^3$$

$$H = 588 \text{ mm} \quad r = 28.00 \text{ mm} \quad I_y = 132585 \text{ cm}^3$$

$$B = 300 \text{ mm} \quad i_x = 18.16 \text{ cm} \quad Z_x = 4320.4 \text{ mm}$$

$$\text{BJ 41 : } f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2 \quad f_r = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

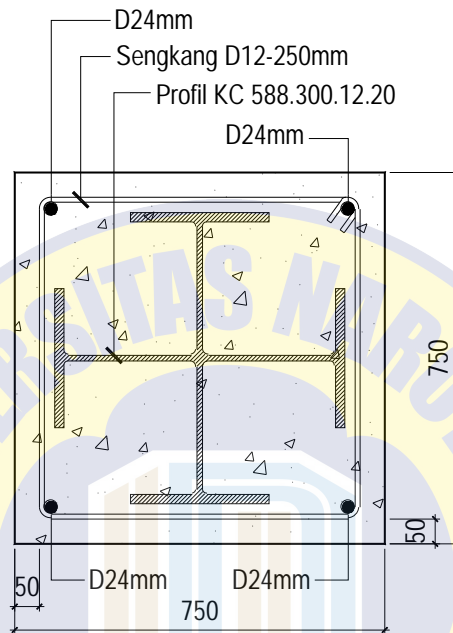
$$\text{Beton : } f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Diameter tulangan utama : } 24 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan sengkang : } 12 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi kolom} = 3800 \text{ mm}$$

$$b \times h = 750 \times 750 \text{ mm}$$



Gambar 4. 21 Penampang Kolom Komposit (K1)

Kontrol luas penampang minimum profil baja :

$$\rho_s = \frac{A_s}{A_g} = \frac{3}{5} = 0.06844 > \rho_{s\ m} = 0.004 \text{ (Ok)}$$

Kontrol jarak sengkang = 250 mm < 406 mm

(SNI 1729:2020 Pasal I2.1a (2))

Kontrol mutu beton = 21MPa < 30 MPa < 70 MPa

(SNI 1729:2020 Pasal I1.3)

Kontrol mutu tulangan = 250 MPa < 525 MPa

(SNI 1729:2020 Pasal I1.3)

a. Kontrol Kekuatan Tekan

Dari hasil ETABS 18 diperoleh gaya dalam maksimum pada kolom frame

979 kombinasi 1.2D+1Eqy+L sebagai berikut :

$$P_u = 725072.48 \text{ kg} = 7110532.06 \text{ N}$$

$$M_{ux} = 20306.24 \text{ kgm}$$

$$M_{uy} = 51954.62 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} P_n &= F_y A_s + F_y A_s + 0.85 f'_c A_c \\ &= 250 \times 385 \times 10^2 \times 250 \times 379.94 + 0.85 \times 3 \times 640000 \\ &= 26039985 \text{ N} \end{aligned}$$

(SNI 1729:2020 Pasal I2.1b)

$$P_e = \frac{\pi^2(E_e)}{(K)^2} = \frac{\pi^2(E_s I_s + 0.5 E_s I_s + C_1 E_s I_c)}{(K)^2}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.1 + 2 \left(\frac{A_s}{A_c A_s} \right) 0.3 \\ &= 0.1 + 2 \left(\frac{3}{6 \times 3} \right) 0.3 \\ &= 0.10031 0.3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \\ &= 0.043 \times 2400^{1.5} \sqrt{30} \\ &= 27691.466 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_s I_s &= 200000 \times 1270200000 \\ &= 2.54 \times 10^1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0.5 E_s I_s &= 0.5 \times 200000 \times \frac{1}{4} \pi \times 22^2 \times \left(\frac{7 - 2 \times 12 - 22}{2} \right)^2 \\ &= 3.698 \times 10^1 \end{aligned}$$

$$C_1 E_c I_c = 0.10031 \times 27691.466 \times 750^2 \times \left(\frac{1}{2} \times 750\right)^2$$

$$= 2.20 \times 10^1$$

$$(KL)^2 = (1 \times 380)^2$$

$$= 14440000$$

$$P_e = \frac{\pi^2(2540 \times 10^{14} + 3.698 \times 10^{12} + 2.197 \times 10^{14})}{(1 \times 380)^2}$$

$$= 326013287.562 \text{ N}$$

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{26039985}{326013287.6}$$

$$= 0.080 \quad 2.25 \rightarrow P_n = P_n \left[0.658 \frac{P_n}{P_e} \right]$$

(SNI 1729:2020 Pasal I2.1b)

$$P_n = P_n \left[0.658 \frac{P_n}{P_e} \right]$$

$$= 26039985 \left[0.658 \frac{2}{32 \cdot 6} \right]$$

$$= 25183825.703 \text{ N} \quad \text{(SNI 1729:2020 Pasal I2.1b)}$$

$$\phi_c P_n = 0.75 \times 25311838.451$$

$$= 18983878.823 \text{ N} \quad \text{(SNI 1729:2020 Pasal I2.1b)}$$

$$P_u \quad \phi_c P_n \quad \text{(SNI 1729:2020 Pasal I2.1b)}$$

$$7110532.057 \text{ N} \quad 18983878.823 \text{ N} \quad \text{(OK)}$$

b. Kontrol Kekuatan Lentur

Kuat nominal kolom menurut Dian (2017)

$$M_n = F_y Z - \frac{1}{3} \left(5 - 2C_r A_s F_y - \left(\frac{h}{2} - \frac{A_w F_y}{1.7 f'_{ch}} \right) A_w F_y \right)$$

$$C_r = 40 + 12 + \left(\frac{2}{2}\right) = 63\text{mm} \quad 6.3\text{cm}$$

$$A_s = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2$$

$$= 1520.53 \text{ mm}^2$$

$$= 15.2053 \text{ cm}^2$$

$$A_w = (588 - 2 \times 20) \times 12 \times 2$$

$$= 13152 \text{ mm}^2$$

$$= 131.52 \text{ cm}^2$$

$$H = 588\text{mm}$$

$$= 58.8\text{cm}$$

$$M_n = F_y Z \frac{1}{3} \left(5 - 2C_r A_s F_y - \left(\frac{h}{2} - \frac{A_w F_y}{1.7 F_c h} \right) A_w F_y \right)$$

$$M_n = 2500 \times 4320.4 \times \frac{1}{3} \left(5 - 2 \times 6.3 \times 15.205 \times 2500 - \right.$$

$$\left. \left(\frac{5}{2} - \frac{1.5 \times 2500}{1.7 \times 30 \times 58.8} \right) 131.52 \times 2500 \right)$$

$$= 12981197.39 \text{ kgcm}$$

$$= 129811.974 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 129811.974$$

$$= 116830.777 \text{ kgm}$$

$$M_u < \phi M_n$$

$$20306.24 \text{ kgm} < 0.9 \times 116830.77\text{kgm}$$

$$20276.24 \text{ kgm} < 116830.777 \text{ kgm (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 2500 \times 4419.5 \times \frac{1}{3} \left(5 - 2 \times 6.3 \times 15.205 \times 2500 - \right. \\
 &\left. \left(\frac{5}{2} - \frac{1.5 \times 2500}{1.7 \times 30 \times 58.8} \right) 131.52 \times 2500 \right) \\
 &= 13228947.39 \text{ kgcm} \\
 &= 132289.4739 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0.9 \times 132289.474 \text{ kgm} \\
 &= 119060.527 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_n$$

$$51954.62 \text{ kgm} < 0.9 \times 132289.4739 \text{ kgm}$$

$$52954.62 \text{ kgm} < 119060.527 \text{ kgm (OK)}$$

c. Kontrol Persamaan Interaksi

$$P_r = P_u = 1710531.99 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 P_c &= \phi_c P_u = 0.75 \times 25183825.7 \\
 &= 18887869.28 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$M_r = M_u$$

$$M_c < \phi M_n$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{7.0}{1.2} = 0.376 > 0.2 \rightarrow \frac{P_r}{2 P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)$$

$$\frac{P_r}{2 P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal H1.1})$$

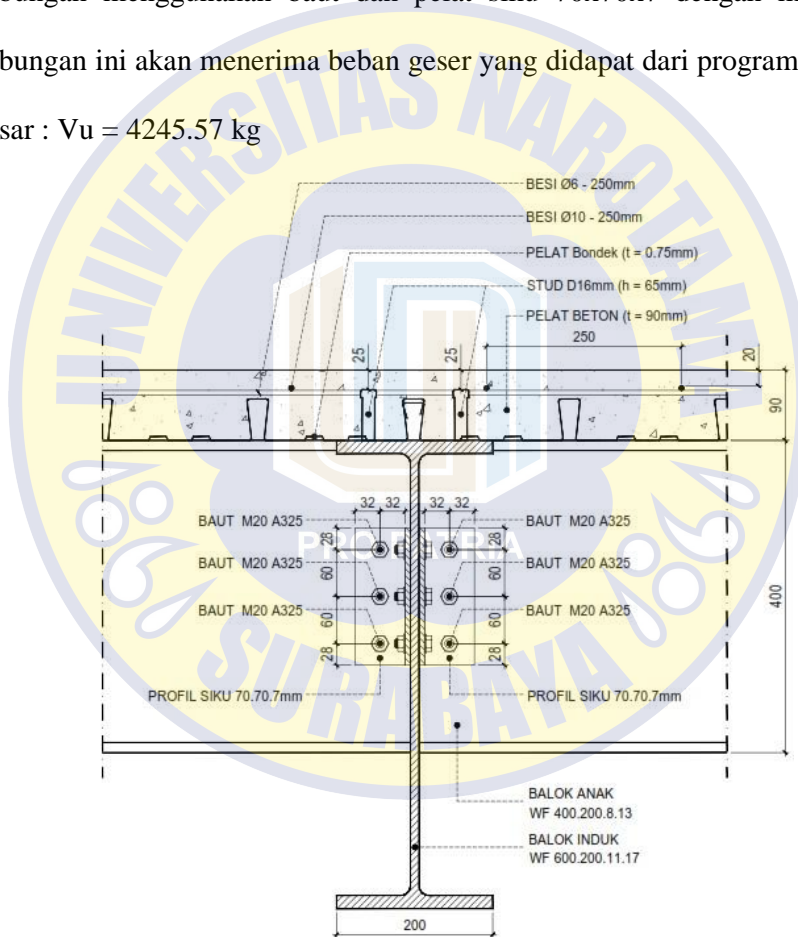
$$= \frac{7.0}{2 \times 1.2} + \left(\frac{2.2}{1.7} + \frac{5.6}{1.5} \right)$$

$$= 0.798 < 1 \text{ (OK)}$$

4.5 Perencanaan Sambungan

4.5.1 Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk

Profil balok anak menggunakan WF 400x200x7x11 akan disambungkan dengan balok induk profil WF 600x200x11x17 dengan menggunakan sambungan *simple connection* karena balok anak diasumsikan menggunakan tumpuan jepit. Sambungan menggunakan baut dan pelat siku 70x70x7 dengan mutu BJ 50. Sambungan ini akan menerima beban geser yang didapat dari program ETABS 18 sebesar : $V_u = 4245.57 \text{ kg}$



Gambar 4. 22 Sambungan Balok Anak Dengan Balok Induk

) Sambungan pada badan balok anak

Menggunakan baut tipe A325 (tanpa ulir pada bidang geser)

$$\phi 20 \text{ mm} ; A_b = 0.25 \quad d^2 = 0.25 \times \times 20^2 = 314.16 \text{ mm}^2$$

Kuat Geser

$$\begin{aligned}R_n &= F_n \cdot A_b \\ &= 620 \times 314.16 \\ &= 194778.74 \text{ N} \\ &= 19861.90 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\ &= 14896.43 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}R_n &= 1.2 I_c t F_u \\ &= 1.2 \times 26 \times 7 \times 500 \\ &= 109200 \text{ N} \\ &= 11135.30 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \times 11135.30 \\ &= 8351.48 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{4.5}{8.4} \\ &= 0.508 \quad 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 28 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak antar baut (S2)} &= 3d \\ &= 3 \times 20 \\ &= 60 \text{ mm}\end{aligned}$$

) **Sambungan pada badan balok induk**

Kuat Geser

$$\begin{aligned}R_n &= F_n \cdot A_b \\&= 620 \times 314.16 \\&= 194778.74 \text{ N} \\&= 19861.90 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\&= 14896.43 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}R_n &= 1.2 I_c t F_u \\&= 1.2 \times 26 \times 11 \times 500 \\&= 171600 \text{ N} \\&= 17498.33 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \times 17498.33 \\&= 13123.75 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u}{\phi R_n} \\&= \frac{4.5}{1.7} \\&= 0.323 \quad 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 28 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar baut (S2)} = 3d$$

$$= 3 \times 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

) **Kontrol kekuatan pelat siku**

Profil Siku 70×70×7

$$b = 70 \text{ mm} \quad A = 9.4 \text{ cm}^2 \quad I_x = 42.4 \text{ cm}$$

$$d = 7 \text{ mm} \quad W = 7.38 \text{ kg/m} \quad I_y = 42.4 \text{ cm}$$

$$r = 9 \text{ mm} \quad e = 1.97 \text{ cm} \quad i_x = 2.12 \text{ cm}$$

$$r1 = 4.5 \text{ mm} \quad w = 4.95 \text{ cm} \quad i_y = 2.12 \text{ cm}$$

Diameter perlemahan $d1 = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$

$$R_n = F_u \cdot A_e \quad (\text{SNI 1729:2020 pasal J4.1})$$

$$= 500 \times (70 \times 7 - 2 \times 22 \times 7) \times 7$$

$$= 54600 \text{ N}$$

$$= 535443.09 \text{ kg}$$

$$2 \phi R_n = 2 \times 0.75 \times 535443.09$$

$$= 803164.64 \text{ kg} > 425443.09 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

4.5.2 Sambungan Balok Induk dengan Kolom

Profil balok induk menggunakan WF 600×200×11×17 akan disambungkan dengan kolom *king cross* profil WF 588×300×12×20 dengan menggunakan sambungan kaku (*rigid connection*) karena balok induk diasumsikan menggunakan tumpuan jepit sempurna. Sambungan menggunakan baut, untuk sambungan web balok akan menggunakan pelat siku 70x70x7 dan sambungan pada flens balok menggunakan profil T untuk menambah lengan kopel dengan mutu BJ 50.

Sambungan ini akan menerima beban geser dan momen yang didapat dari program ETABS V18 sebesar:

$$M_u = 9624.10 \text{ kgm}$$

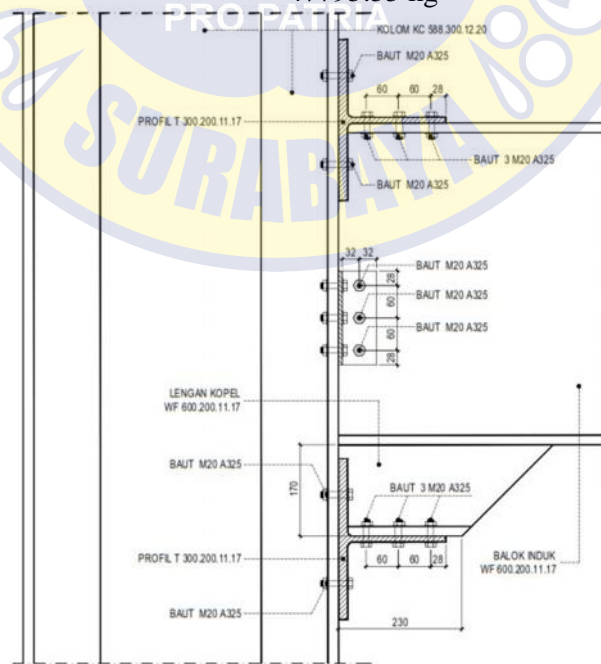
$$V_u = 6765.03 \text{ kg (menentukan)}$$

Cek juga besar V_u akibat kapasitas penampang balok (*frame 1289*)

$$V_{u \ 1.2 \ +0.5} = 2127.84 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1.1 R_y F_y Z \\ &= 1.1 \times 1.5 \times 2900 \times 2863.18 \\ &= 13700311.52 \text{ kgcm} \\ &= 137003.12 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \text{ akibat kapasitas penampang} &= V_{u \ 1.2 \ +0.5} + 2 \times M_u / L \\ &= 2127.84 \text{ kg} + 45667.71 \text{ kg} \\ &= 47795.55 \text{ kg} \end{aligned}$$



Gambar 4. 23 Sambungan balok induk dengan kolom

1. Akibat beban geser Vu

) Sambungan pada badan balok induk

Kuat Geser

$$\begin{aligned}R_n &= F_n \cdot A_b \\ &= 620 \times 314.16 \\ &= 194778.74 \text{ N} \\ &= 19861.90 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\ &= 14896.43 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}R_n &= 1.2 I_c t F_u \\ &= 1.2 \times 26 \times 11 \times 500 \\ &= 171600 \text{ N} \\ &= 17498.33 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 0.75 \times 17498.33 \\ &= 13123.75 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u + M_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{9.1 + 6.0}{1.7} \\ &= 1.248 \quad 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Jarak tepi (S1) = 26 mm (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

Jarak antar baut (S2) = 3d (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$= 3 \times 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

) **Sambungan pada sayap kolom**

Kuat Geser

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \cdot A_b \\ &= 620 \times 314.16 \\ &= 194778.74 \text{ N} \\ &= 19861.90 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\ &= 14896.43 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned} R_n &= 1.2 I_c t F_u \\ &= 1.2 \times 28 \times 20 \times 500 \\ &= 336000 \text{ N} \\ &= 34262.46 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75 \times 34262.46 \\ &= 25696.85 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{V_u + M_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{9.1 + 6.0}{1.4} \\ &= 1.100 \quad 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 26 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal J3.4})$$

$$\text{Jarak antar baut (S2)} = 3d \quad (\text{SNI 1729:2020 Pasal J3.3})$$

$$= 3 \times 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

) **Kontrol kekuatan pelat siku**

Diameter perlemahan $d_1 = 20 + 2 = 22 \text{ mm}$

$$R_n = F_u \cdot A_e \quad (\text{SNI 1929:2020 Pasal J4.1})$$

$$= 500 \times (70 \times 7 - 2 \times 22 \times 7) \times 7$$

$$= 54600 \text{ N}$$

$$= 5567.65 \text{ kg}$$

$$2\phi R_n = 2 \times 0.75 \times 5567.65$$

$$= 8351.48 \text{ kg} > 6765.03 \text{ kg (OK)}$$

2. Akibat beban momen Mu

) **Sambungan pada sayap profil T-Kolom**

Gaya tarik akibat momen

$$T = \frac{M_u}{2b}$$

$$= \frac{1.1}{2 \times 0.6}$$

$$= 114169.26 \text{ kg}$$

Kuat tarik baut:

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat tarik ketika digunakan 2 baut dalam 1 baris:

$$\begin{aligned} B &= 2\phi R_n \\ &= 2 \times 0.75 \times 19861.90 \\ &= 29792.86 \text{ kg} < 114169.26 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perlu tambahan profil T untuk menambah lengan kopel

$$\begin{aligned} \text{Lengan kopel minimum} &= \frac{M_u}{2} \\ &= \frac{1 \cdot .1}{2 \times 29792.86} \\ &= 2.299 \text{ m} \\ &= 230 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga perlu lengan tambahan} &= 230 - 60 \\ &= 170 \text{ cm} \end{aligned}$$

Gaya tarik setelah tambahan lengan kopel

$$\begin{aligned} T &= \frac{M_u}{2 \cdot k} \\ &= \frac{1 \cdot .1}{2 \times 2.30} \\ &= 29783.29 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan profil T 400x300x14x26, maka:

$$H = 400 \text{ mm} \quad r = 28 \text{ mm}$$

$$B = 300 \text{ mm} \quad A = 67.20 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 14 \text{ mm} \quad W = 53.00 \text{ kg/m}$$

$$t_f = 26 \text{ mm}$$

$$c = r + 0.5 t_w$$

$$= 28 + 0.5 \times 14$$

$$= 35 \text{ mm}$$

$$a + b = 0.5 bf - c$$

$$= 0.5 \times 300 - 35$$

$$= 115 \text{ mm}$$

$$b = 68 \text{ mm (direncanakan)}$$

$$a = 47 \text{ mm}$$

Syarat menurut Kulak, Fisher, Strunk a $1.25b$

$$a' = a + 0.5 db$$

$$= 47 + 0.5 \times 20$$

$$= 57 \text{ mm}$$

$$b' = b - 0.5 db$$

$$= b - 0.5 \times 20$$

$$= 57.8 \text{ mm}$$

$$\delta = \left(\frac{w - \sum d_p}{w} \frac{ha}{a} \right)$$

$$= \left(\frac{2 - 2 \times 2}{2} \right)$$

$$= 0.78$$

$$\beta = \left(\frac{B}{T} - 1 \right) \left(\frac{a'}{b'} \right)$$

$$= \left(\frac{2}{2} - 1 \right) \left(\frac{57.8}{57.8} \right)$$

$$= 0.000317$$

$\beta < 1$, maka :

$$\alpha = \frac{1}{\delta} \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right) \leq 1$$

$$= \frac{1}{0.78} \left(\frac{0.00032}{1-0.00032} \right) \leq 1$$

$$= 0.000406$$

$$Q = T \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \left(\frac{a'}{b'} \right)$$

$$= 29783.29 \left(\frac{0.000317}{1-0.000317} \right) \left(\frac{57}{5.8} \right)$$

$$= 9.31$$

Gaya pada baut T + Q

$$29783.29 + 9.313$$

$$29792.603 \text{ kg}$$

$$M_{ps} = \left(\frac{Tb'}{1+\alpha} \right)$$

$$= \frac{2 \cdot .2 \times 5.8}{1+0.0}$$

$$= 1720928.40 \text{ kgmm}$$

$$= 1720.923 \text{ kgm}$$

Tebal sayap profil T perlu :

$$t_f = \sqrt{\frac{4 \cdot l}{\phi w (1 + \alpha)}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 1 \times 5.8}{0.9 \times 2 \times 2 \times (1 + 0.0)}}$$

$$= 11.484 \text{ mm}$$

) **Sambungan pada sayap profil T-sayap balok**

Kuat geser

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat Tumpu

$$R_n = 1.2 I_c t F_u$$

$$= 1.2 \times 26 \times 17 \times 500$$

$$= 265200 \text{ N}$$

$$= 27042.16 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 27042.87$$

$$= 27042.87 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{2T}{\phi R_n} \\ &= \frac{2 \times 2}{2} \cdot \frac{.2}{.1} \\ &= 2.937 \quad 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Badan T sebagai batang tarik :

$$\begin{aligned} \text{Diameter perlemahan } d_1 &= d + 2 \\ &= 20 + 2 \\ &= 22 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat Leleh

$$\begin{aligned} R_n &= F_y \cdot A_g \\ &= 2900 \times 200 \times 14 \\ &= 8120000 \text{ N} \\ &= 828010 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.9 \times 1537732 \\ &= 745208.61 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned} R_n &= F_y \cdot A_e \\ &= 500 \times (200 \times 14 - 3 \times 22 \times 17) \\ &= 503400 \text{ N} \\ &= 51332.51 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0.9 \times 51332.51 \\ &= 46199,263 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.5.3 Sambungan Antar Kolom

Sambungan kolom yang direncanakan pada lantai 1–10 tipikal menggunakan sambungan baut, baut menggunakan tipe A325 (tanpa ulir pada bidang geser) dan pelat penyambung direncanakan tebal 15 mm BJ 50. Berdasarkan hasil analisis menggunakan ETABS 18 diperoleh gaya dalam sebagai berikut:

Kolom : KC 588×300×12×20

$W = 302 \text{ kg/m}$ $t_f = 20 \text{ mm}$ $i_y = 18.16 \text{ cm}$ $Z_y = 4419.5 \text{ cm}^3$

$A = 385 \text{ cm}^2$ $t_w = 12 \text{ mm}$ $I_x = 127020 \text{ cm}^4$

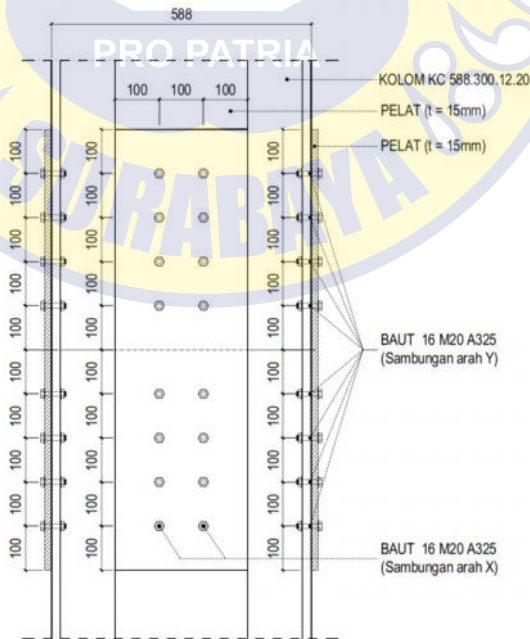
$H = 588 \text{ mm}$ $r = 28.00 \text{ mm}$ $I_y = 132585 \text{ cm}^4$

$B = 300 \text{ mm}$ $i_x = 18.16 \text{ cm}$ $Z_x = 4320.4 \text{ cm}^3$

P_u : 625072.48 kg M_{ux} : 50571.92 kgm

M_{uy} : 10016.24 kgm V_{ux} : 10783.53 kgm

V_{uy} : 22682.48 kg



Gambar 4. 24 Sambungan antar kolom

Pembagian beban aksial :

$$\begin{aligned}P_{ub} &= \frac{A_b}{A_p} \cdot P_u \\&= \frac{5 \cdot 8 - (2 \times 2) + 5 \cdot 8 - (2 \times 2) + 1.2}{3} \cdot 625072.48 \\&= \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 625072.48 \\&= 175994.43 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{us} &= P_u - P_{ub} \\&= 625072.48 - 175994.43 \\&= 449078.05 \text{ kg}\end{aligned}$$

a. Sambungan arah x

Pembagian beban momen:

$$\begin{aligned}M_{ub} &= \frac{I_b}{I_p} \cdot M_u \\&= \frac{\frac{1}{1} \times 1.2 \times (5 \cdot 8 - 2 \times 2)^3}{1} \cdot 50571 \\&= 16456.66 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{us} &= M_u - M_{ub} \\&= 50571.919 - 16456.66 \\&= 34115.26 \text{ kgm}\end{aligned}$$

) Sambungan pada sayap kolom

Kuat Geser

$$\begin{aligned}R_{II} &= F_{II} \cdot A_b \\&= 620 \times 314.16\end{aligned}$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat Tumpu

$$R_n = 1.2 I_c t F_u$$

$$= 1.2 \times 26 \times 20 \times 500$$

$$= 312000 \text{ N}$$

$$= 31815.15 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 31815.15$$

$$= 23861.36 \text{ kg}$$

Gaya pada kopel sayap

$$T = \frac{M_{us}}{d}$$

$$= \frac{3.2}{0.5}$$

$$= 58019.15 \text{ kg}$$

Total gaya pada sayap

$$P_{uti} = T + \frac{P_{us}}{4}$$

$$= 58019.15 + \frac{4.0}{4}$$

$$= 170288.66 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{P_u \text{ total}}{\phi R_n} \\
 &= \frac{1}{1} \frac{.6}{.4} \\
 &= 11.11 \quad 14 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jarak tepi (S1) = 30 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar baut (S2)} &= 3d \\
 &= 3 \times 20 \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

) **Sambungan pada badan kolom**

Kuat geser

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_n \cdot A_b \\
 &= 620 \times 314.16 \\
 &= 194778.74 \text{ N} \\
 &= 19861.90 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 19861.90 \\
 &= 14896.43 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kuat Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1.2 I_c t F_u \\
 &= 1.2 \times 26 \times 12 \times 500 \\
 &= 187200 \text{ N} \\
 &= 19089.09 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0.75 \times 19089.09 \\
 &= 14316.82 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Momen pada titik berat sambungan

$$\begin{aligned}
 M_u &= \left(\frac{M_{us} + V_u \cdot e}{2} \right) \\
 &= \left(\frac{3.9 + 1.5 \times 0.2}{2} \right) \\
 &= 18642.809 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perkiraan jumlah baut (n)} &= \sqrt{\frac{6 M_u}{\mu \phi R_n}} \\
 &= \sqrt{\frac{6 \times 1.8}{1 \times 0.7 \times 1.2 \times 1.8}} \\
 &= 0.962 \quad 14 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Akibat P_u

$$\begin{aligned}
 K_u &= \frac{P_u b}{n} \\
 &= \frac{1.4}{1} \\
 &= 12571.031 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Akibat V_u

$$\begin{aligned}
 K_u &= \frac{V_u}{n} \\
 &= \frac{1.5}{1} \\
 &= 770.25 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Akibat M_u

$$\begin{aligned}
 K_u &= \frac{M_u t_x}{n \sum (x^2 + y^2)} \\
 &= \frac{1.7 \times 5}{1}
 \end{aligned}$$

$$= 77.678 \text{ kg}$$

$$K_u = \frac{M_{ut} \cdot y}{n \sum (x^2 + y^2)}$$

$$= \frac{2 \cdot .1 \times 1}{1}$$

$$= 233.035 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$K_{uti} = \sqrt{(\sum K_u)^2 + (K_{uh})^2}$$

$$= \sqrt{(12571.03 + 77.678)^2 + (770.252 + 233.035)^2}$$

$$= 12688.437 \text{ kg} \quad 14316.82 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

b. Sambungan arah y

$$M_{ub} = \frac{I_b}{I_p} \cdot M_u$$

$$= \frac{\frac{1}{1} \times 1.2 \times (5.8 - 2 \times 2)^3}{1} \cdot 10016.24$$

$$= 1243.23 \text{ kgm}$$

$$M_{us} = M_u - M_{ub}$$

$$= 10016.24 - 1243.23$$

$$= 8773.01 \text{ kgm}$$

) **Sambungan pada sayap kolom**

Kuat Geser

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat Tumpu

$$R_n = 1.2 I_c t F_u$$

$$= 1.2 \times 26 \times 20 \times 500$$

$$= 312000 \text{ N}$$

$$= 31815.15 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 31815.15$$

$$= 23861.36 \text{ kg}$$

Gaya pada kopel sayap

$$T = \frac{M_{us}}{d}$$

$$= \frac{9.8}{0.5}$$

$$= 16560.94 \text{ kg}$$

Total gaya pada sayap

$$P_{ut} = T + \frac{M_{us}}{d}$$

$$= 14920.08 + \frac{4.0}{4}$$

$$= 127189.59 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah baut (n)} = \frac{P_{u \text{ total}}}{\phi R_n}$$

$$= \frac{1.5}{1.4}$$

$$= 8.54 \quad 14 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tepi (S1)} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar baut (S2)} = 3d$$

$$= 3 \times 20$$

$$= 60 \text{ mm}$$

) **Sambungan pada badan kolom**

Kuat geser

$$R_n = F_n \cdot A_b$$

$$= 620 \times 314.16$$

$$= 194778.74 \text{ N}$$

$$= 19861.90 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19861.90$$

$$= 14896.43 \text{ kg}$$

Kuat Tumpu

$$R_n = 1.2 I_c t F_u$$

$$= 1.2 \times 26 \times 12 \times 500$$

$$= 187200 \text{ N}$$

$$= 19089.09 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 19089.09$$

$$= 14316.82 \text{ kg}$$

Momen pada titik berat sambungan

$$M_u = \left(\frac{M_{us} + V_u \cdot e}{2} \right)$$

$$= \left(\frac{8 + 2 \cdot 4 \times 0.2}{2} \right)$$

$$= 6654.75 \text{ kgm}$$

$$\text{Perkiraan jumlah baut (n)} = \sqrt{\frac{6 M_u}{\mu \phi R_n}}$$

$$= \sqrt{\frac{6 \times 6 \cdot 7}{1 \times 0.7 \times 1.2 \times 1 \cdot 8}}$$

$$= 0.576 \cdot 14 \text{ buah}$$

Akibat P_u

$$K_u = \frac{P_{ub}}{n}$$

$$= \frac{1 \cdot 4}{1}$$

$$= 12571.031 \text{ kg}$$

Akibat V_u

$$K_u = \frac{V_u}{n}$$

$$= \frac{2 \cdot 4}{1}$$

$$= 1620.17 \text{ kg}$$

Akibat M_u

$$K_u = \frac{M_{ut} \cdot x}{n \sum (x^2 + y^2)}$$

$$= \frac{6 \cdot 7 \times 5}{1}$$

$$= 27.72 \text{ kg}$$

$$K_u = \frac{M_{ut} \cdot y}{\sum (x^2 + y^2)}$$

$$= \frac{6.7 \times 1}{1}$$

$$= 83.184 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$K_{ut} = \sqrt{(\sum K_u)^2 + (K_{uh})^2}$$

$$= \sqrt{(12571 + 27.728)^2 + (1620.177 + 83.184)^2}$$

$$= 1.8 \times 10^8$$

$$= 12713.386 \text{ kg} \quad 14316.82 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

