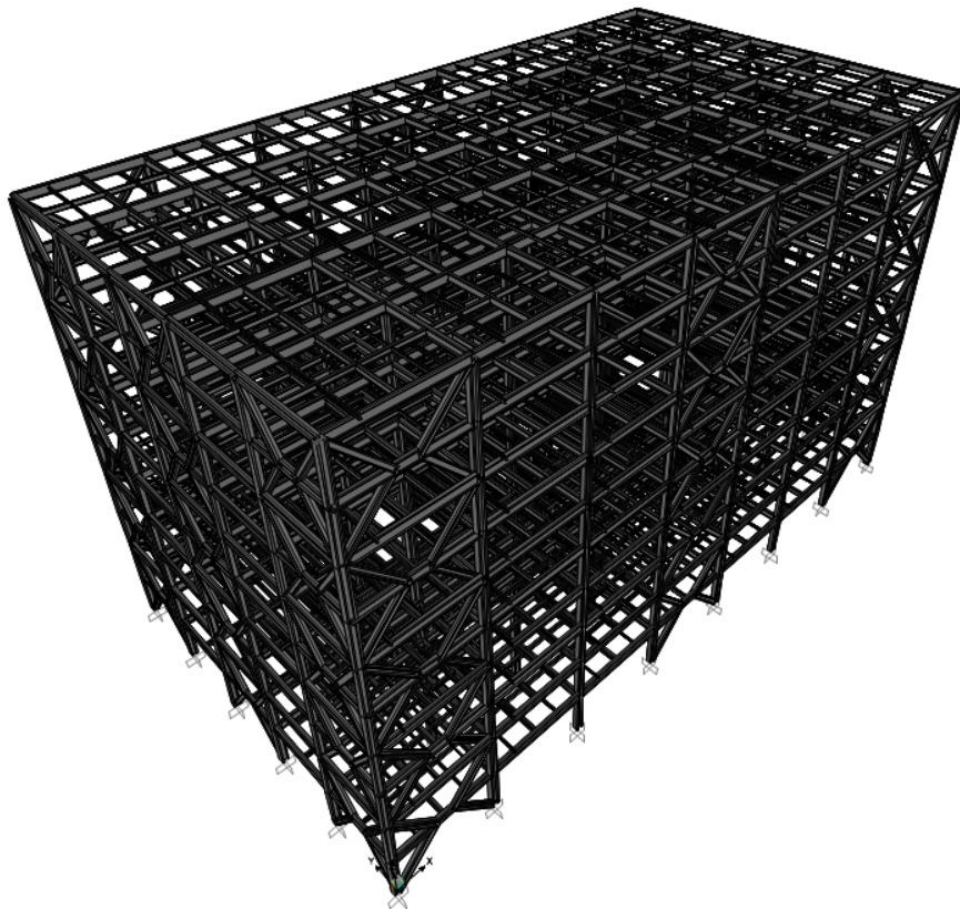


BAB VII

PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

Struktur primer merupakan elemen utama dalam suatu bangunan yang umumnya terdiri dari kolom dan balok induk. Kekakuan dari suatu komponen struktur umumnya mempengaruhi perilaku sebuah gedung, struktur primer direncanakan dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya keruntuhan akibat gaya gempa dapat diperkecil. Dalam analisa struktur pada tugas akhir ini, gaya – gaya dalam yang bekerja pada struktur gedung akan dianalisa secara pemodelan 3D menggunakan program struktur SAP2000. Perencanaan struktur primer mengacu pada peraturan SNI 1726:2019 yang mengatur mengenai gempa dan SNI 1729:2020 yang mengatur tentang peraturan untuk bangunan gedung baja struktural. Dalam perencanaan struktur primer ini juga termasuk tentang perencanaan bresing dan balok *link* untuk struktur rangka bresing eksentris tipe *Split-K and Inverted Split-K Braced*.



Gambar 7. 1 Pemodelan 3D SAP2000

7.1. Perencanaan Balok Induk

Pada perencanaan struktur Hotel Hashira, balok induk direncanakan sebagai struktur komposit, dimana balok menggunakan profil baja WF dan pelat menggunakan beton bertulang. Metode pelaksanaan yang digunakan dalam perencanaan struktur komposit adalah metode *Shored Construction*, dimana beban – beban yang terjadi pada balok komposit dibebankan kepada penopang sementara (perancah) selama beton belum mampu menahan beban termasuk berat sendiri. Pada perencanaan balok induk, beban – beban yang diperhitungkan hanya beban yang terjadi setelah struktur komposit.

Gaya – gaya dalam yang terjadi pada balok induk diperoleh dengan menggunakan program SAP2000. Pemodelan dalam bentuk 3D ditampilkan pada Gambar 7.1. Perencanaan mengacu pada peraturan SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, dan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, serta mengacu pada SNI 1726:2019 untuk Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

7.1.1 Perencanaan Balok Induk Atap Tipe 1

Balok induk atap yang ditinjau untuk direncanakan adalah balok induk melintang as 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Berdasarkan hasil gaya – gaya dalam portal yang diperoleh dari pemodelan 3D dengan program SAP2000 didapatkan hasil gaya momen lentur (M_u), momen torsi (M_{tu}), gaya geser (V_u) dan gaya normal (N_u).

Direncanakan balok induk tipe 1 menggunakan profil baja WF 600.300.12.17, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe 1 :

Berat Profil (W)	= 137 kg/m ¹
Lebar Sayap (b)	= 300 mm
Tinggi Profil (d)	= 582 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 103000 cm ⁴ . 10000 = 1030000000 mm ⁴
Momen Inersia, (Iy)	= 7670 cm ⁴ . 10000 = 76700000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 24,3 cm = 243 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 6,63 cm = 66,3 mm
Zx . ξ	= 3530 cm ³ . 1000 . 1,5 = 5295000 mm ³
Zy . ξ	= 511 cm ³ . 1000 . 1,5 = 766500 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok induk atap tipe 1 elemen no.1521 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut:

$$M_u = 195246625,4 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 108628,83 \text{ N}$$

➤ **Kontrol Kelangsingan Penampang**

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 17} = 8,82 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 582 - 2(28 + 17) = 492 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{492}{12} = 41,00 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok induk atap tipe 1 setiap jarak 3 meter, $L = 3000 \text{ mm}$.

Batas maksimum jarak pengaku lateral (L_p) :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 66,3 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 3300,44 \text{ mm}$$

Maka, karena $L = 3000 \text{ mm} < L_p = 3300,44 \text{ mm}$ balok termasuk Bentang Pendek

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

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

$$M_n = M_{px}$$

$$M_n = Z_x \cdot f_y = 5295000 \cdot 250 = 1323750000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 1323750000 = 1191375000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

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

$$1191375000 \text{ Nmm} > 195246625,40 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ Kontrol Geser

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

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

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

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left(\sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{492}{12} \leq 1,1 \left(\sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 41,00 \leq 71,90$$

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

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (582 \cdot 12) \cdot 1,0 \\ &= 1047600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 1047600 \text{ N} \\ &= 942840 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

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

$$942840 \text{ N} > 108628,83 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit diuraikan pada Tabel 7.1 dan letak garis netral seperti pada Gambar 7.2.

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

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

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

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

Menghitung lebar efektif (be) untuk balok induk interior :

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

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

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

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

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

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

Tabel 7. 1 Tegangan Komposit Balok Induk Atap Tipe 1

	Luas Transformasi A (mm ²)	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm ³)
Pelat Beton	$A_c = \frac{875 \cdot 120}{8} = 13125$	$\frac{120}{2} = 60$	787500
Profil Baja WF	17450	$\frac{582}{2} + 120 = 411$	7171950
Σ	30575		7959450

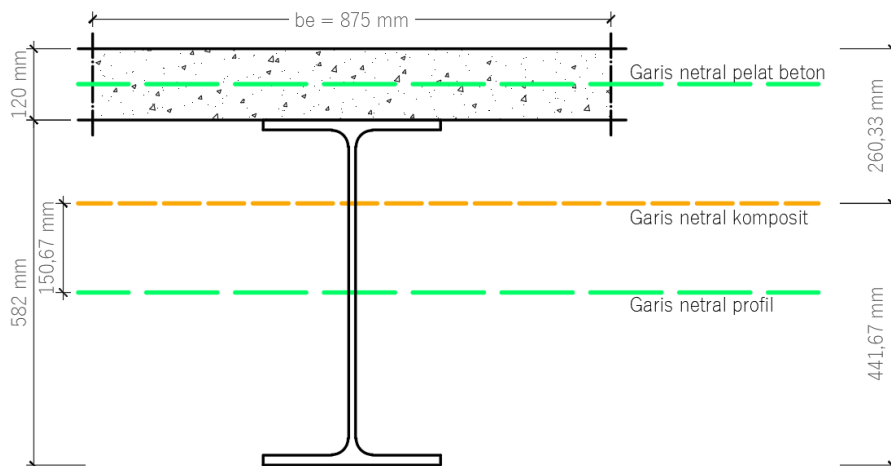
Menentukan letak garis netral profil :

$$y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{7959450}{30575} = 260,33 \text{ mm} > tp = 120 \text{ mm}$$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit, Itr :

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left(\frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left(y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\ &= 561000000 + 17450 \left(\frac{582}{2} + 120 - 260,33 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{875}{8} \cdot 120^3 \right) + \\ &\quad 13125 \left(260,33 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 1968624211,98 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 7.2 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Atap Tipe 1

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{1968624211,98}{260,33} = 7562166,39 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y-tp} = \frac{1968624211,98}{260,33-120} = 14028991,20 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$W_s \text{ Atas} = 14028991,20 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{yb} = \frac{1968624211,98}{441,67} = 4457182,60 \text{ mm}^3$$

➤ Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{195246625,4}{8 \cdot 7562166,39} = 3,23 \text{ MPa}$$

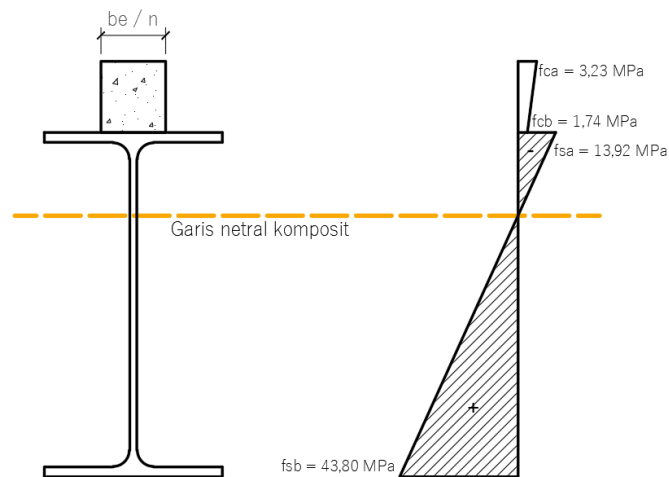
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{195246625,4}{8 \cdot 14028991,20} = 1,74 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{195246625,4}{14028991,20} = 13,92 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{195246625,4}{4457182,60} = 43,80 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat dilihat pada Gambar 7.3.



Gambar 7. 3 Diagram Tegangan Komposit Balok Induk Atap Tipe 1

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

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 17450 \cdot 250 = 4362500 \text{ N}$$

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

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, $C = 2677500 \text{ N}$

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{2677500}{0,85 \cdot 30 \cdot 875} = 120 \text{ mm} \leq t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada pelat beton.

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{582}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 351 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal (Mn) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 2677500 \cdot 351 = 939802500 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 939802500 = 798832125 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_u > M_u$ beban yang bekerja

798832125 Nmm > 195246625,40 Nmm (**OK**)

➤ Menentukan *Shear Connector*

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

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

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

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

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

Beban geser, $V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 120 \cdot 875 = 2677500 \text{ N}$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{2677500}{51938,8} = 51,55 \approx 52 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

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

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 104 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{7000}{52} = 134,62 \text{ mm} = 13,462 \text{ cm} \approx 13 \text{ cm}$$

Syarat :

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

7,62 cm < 13 cm < 96 cm (**OK**)

7.1.2 Perencanaan Balok Induk Atap Tipe 2

Balok induk atap yang ditinjau untuk direncanakan adalah balok induk memanjang as A, B, C, D, E, dan F. Berdasarkan hasil gaya – gaya dalam portal yang diperoleh dari

pemodelan 3D dengan program SAP2000 didapatkan hasil gaya momen lentur (M_u), momen torsi (M_t), gaya geser (V_u) dan gaya normal (N_u).

Direncanakan menggunakan Profil Baja WF 700.300.13.20, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W)	= 166 kg/m ¹
Lebar Sayap (b)	= 300 mm
Tinggi Profil (d)	= 692 mm
Momen Inersia, (I_x)	= 172000 cm ⁴ . 10000 = 1720000000 mm ⁴
Momen Inersia, (I_y)	= 9020 cm ⁴ . 10000 = 902000000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (r_x)	= 28,6 cm = 286 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (r_y)	= 6,53 cm = 65,3 mm
$Z_x \cdot \xi$	= 4980 cm ³ . 1000 . 1,5 = 7470000 mm ³
$Z_y \cdot \xi$	= 602 cm ³ . 1000 . 1,5 = 903000 mm

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok induk atap tipe 2 elemen no.2125 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut:

$$M_u = 432821665 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 225818,86 \text{ N}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 20} = 7,50 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 692 - 2(28 + 20) = 596 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{596}{13} = 45,85 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok induk atap tipe 2 setiap jarak 3 meter, $L = 3000$ mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral (L_p) :

$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 65,3 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 3250,65 \text{ mm}$$

Maka, karena $L = 3000$ mm $<$ $L_p = 3250,65$ mm, balok termasuk bentang pendek

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

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

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 7470000 \cdot 250 = 1867500000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 1867500000 = 1680750000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

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

$$1680750000 \text{ Nmm} > 43281665 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

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

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

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left(\sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{596}{13} \leq 1,1 \left(\sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 45,85 \leq 71,90$$

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

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

$$= 0,6 \cdot 250 \cdot (692 \cdot 13) \cdot 1,0$$

$$= 1349400 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\emptyset V_n &= 0,9 \cdot 1349400 \text{ N} \\ &= 1214460 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat :

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

$$1214460 \text{ N} > 225818,86 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit diuraikan pada Tabel 7.2 dan seperti pada Gambar 7.4.

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

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

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

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

Menghitung lebar efektif (be) untuk balok anak interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 9000 \text{ mm}$$

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

$$be = \frac{1}{8}L = \frac{1}{8} \cdot 9000 = 1125 \text{ mm}$$

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

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif (be) = 1125 mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{be}{n} = \frac{1125}{8} = 140,63 \text{ mm}$$

Tabel 7. 2 Tegangan Komposit Balok Induk Atap Tipe 2

	Luas Transformasi A (mm ²)	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm ³)
Pelat Beton	$A_c = \frac{1125 \cdot 120}{8} = 16875$	$\frac{120}{2} = 60$	1012500
Profil Baja WF	21150	$\frac{692}{2} + 120 = 466$	9855900
Σ	38025		10868400

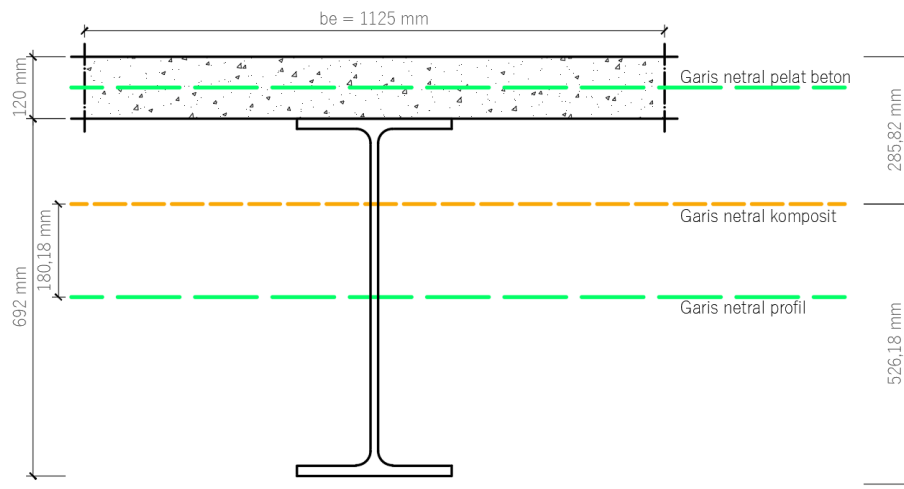
Menentukan letak garis netral profil :

$$y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{10868400}{38025} = 285,82 \text{ mm} > t_p = 120 \text{ mm}$$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit, I_{tr} :

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left(\frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left(y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\
 &= 2370000000 + 21150 \left(\frac{692}{2} + 120 - 285,82 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{1125}{8} \cdot 120^3 \right) + \\
 &\quad 16875 \left(285,82 - \frac{120}{2} \right)^2 \\
 &= 3287416301,78 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$



Gambar 7.4 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Atap Tipe 2

Menentukan modulus penampang (W) dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{3287416301,78}{316,07} = 11501601,42 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y-tp} = \frac{3287416301,78}{316,07-120} = 19824912,75 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$W_s \text{ Atas} = 19824912,75 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{3287416301,78}{511,93} = 6247732,39 \text{ mm}^3$$

➤ Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{43281665}{8 \cdot 11501601,42} = 4,70 \text{ MPa}$$

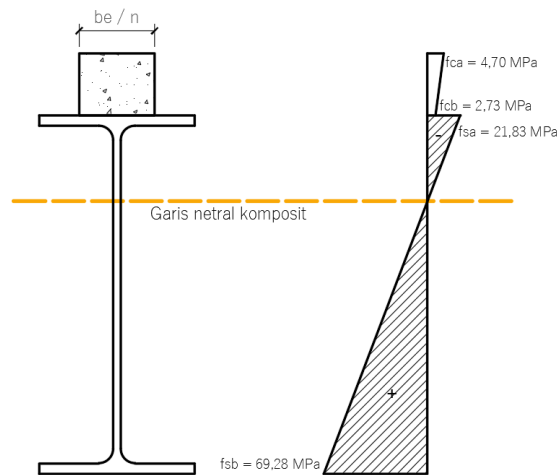
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{43281665}{8 \cdot 19824912,75} = 2,73 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{43281665}{19824912,75} = 21,83 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{43281665}{6247732,39} = 69,28 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat dilihat pada Gambar 7.5 berikut :



Gambar 7.5 Diagram Tegangan Komposit Balok Induk Atap Tipe 2

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

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 21150 \cdot 250 = 5287500 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (1125 \cdot 120) \cdot 30 = 3442500 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, C = 3442500 N

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{3442500}{0,85 \cdot 30 \cdot 1125} = 120 \text{ mm} \leq t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada pelat beton.

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{692}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 406 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal (Mn) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 3442500 \cdot 406 = 1397655000 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 1397655000 = 1188006750 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_u > M_u \text{ beban yang bekerja}$$

$$1188006750 \text{ Nmm} > 43281665 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

➤ Menentukan *Shear Connector*

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

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

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

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

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 120 \cdot 1125 = 3442500 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{3442500}{51938,8} = 66,28 \approx 68 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

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

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 136 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{9000}{68} = 132,35 \text{ mm} = 13,235 \text{ cm} \approx 13 \text{ cm}$$

Syarat :

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

$$7,62 \text{ cm} < 13 \text{ cm} < 96 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

7.1.3 Perencanaan Balok Induk Lantai Tipe 1

Balok induk lantai yang ditinjau untuk direncanakan adalah balok induk melintang as 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Berdasarkan hasil gaya – gaya dalam portal yang diperoleh dari pemodelan 3D dengan program SAP2000 didapatkan hasil gaya momen lentur (Mu), momen torsi (Mtu), gaya geser (Vu) dan gaya normal (Nu)

Direncanakan balok lantai tipe 1 menggunakan profil baja WF 600.300.12.17, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe 1 :

Berat Profil (W)	= 137 kg/m ¹
Lebar Sayap (b)	= 300 mm
Tinggi Profil (d)	= 582 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 103000 cm ⁴ . 10000 = 1030000000 mm ⁴
Momen Inersia, (Iy)	= 7670 cm ⁴ . 10000 = 76700000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 24,3 cm = 243 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 6,63 cm = 66,3 mm
Zx . ξ	= 3530 cm ³ . 1000 . 1,5 = 5295000 mm ³
Zy . ξ	= 511 cm ³ . 1000 . 1,5 = 766500 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok induk lantai tipe 1 elemen no.1932 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut:

$$Mu = 288114492 \text{ Nmm}$$

$$Vu = 149739,02 \text{ N}$$

➤ **Kontrol Kelangsingan Penampang**

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

Sayap Penampang :

$$\lambda f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 17} = 8,82 < \lambda p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

Diperoleh $\lambda f < \lambda p$ (Profil adalah Penampang Kompak)

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 582 - 2(28 + 17) = 492 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{582}{12} = 41,00 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok induk lantai tipe 1 setiap jarak 3 meter, $L = 3000$ mm.

Batas maksimum jarak pengaku lateral (L_p) :

$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 \cdot 66,3 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 3300,44 \text{ mm}$$

Maka, karena $L = 3000$ mm $< L_p = 3300,44$ mm (Bentang Pendek)

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

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

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot fy = 5295000 \cdot 250 = 1323750000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 1323750000 = 1191375000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

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

$$1191375000 \text{ Nmm} > 288114492 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

$$V_n = 0,6 \cdot fy \cdot A_w \cdot Cv_1$$

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

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \left(\sqrt{K_v \frac{E}{fy}} \right) = \frac{582}{12} \leq 1,1 \left(\sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 41,00 \leq 71,90$$

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

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\
 &= 0,6 \cdot 250 \cdot (592 \cdot 12) \cdot 1,0 \\
 &= 1047600 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \cdot 1047600 \text{ N} \\
 &= 942840 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

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

$$942840 \text{ N} > 149739,02 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit diuraikan pada Tabel 7.3 dan seperti pada Gambar 7.6.

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

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

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

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

Menghitung lebar efektif (b_e) untuk balok induk interior :

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

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

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

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

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

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

Tabel 7. 3 Tegangan Komposit Balok Induk Lantai Tipe 1

	Luas Transformasi A (mm ²)	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm ³)
Pelat Beton	$A_c = \frac{875 \cdot 120}{8} = 13125$	$\frac{120}{2} = 60$	787500
Profil Baja WF	17450	$\frac{582}{2} + 120 = 411$	7171950
Σ	30575		7959450

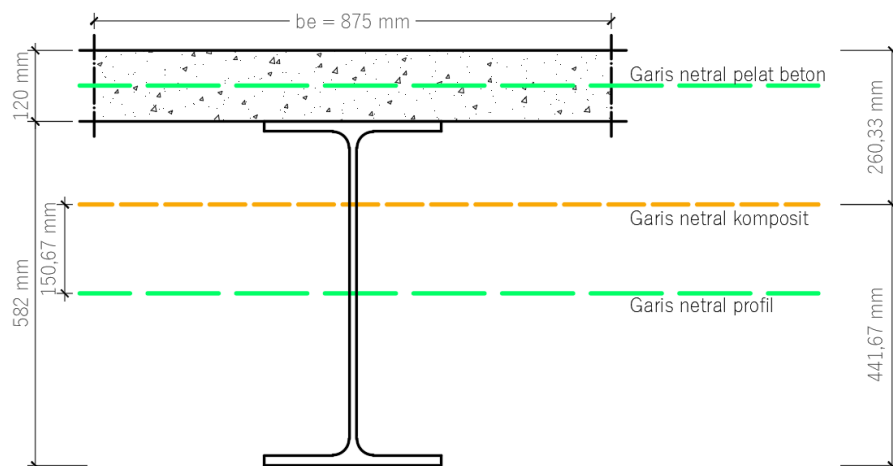
Menentukan letak garis netral profil :

$$y = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{7959450}{30575} = 260,33 \text{ mm} > tp = 120 \text{ mm}$$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit, Itr :

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left(\frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left(y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\ &= 561000000 + 17450 \left(\frac{582}{2} + 120 - 260,33 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{875}{8} \cdot 120^3 \right) + \\ &\quad 13125 \left(260,33 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 1968624211,98 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 7. 6 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Lantai Tipe 1

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{1968624211,98}{260,33} = 7562166,39 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y-tp} = \frac{1968624211,98}{260,33-120} = 14028991,20 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$W_s \text{ Atas} = 14028991,20 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{yb} = \frac{1968624211,98}{441,67} = 4457182,60 \text{ mm}^3$$

➤ **Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit**

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{293819447}{8 \cdot 7562166,39} = 4,76 \text{ MPa}$$

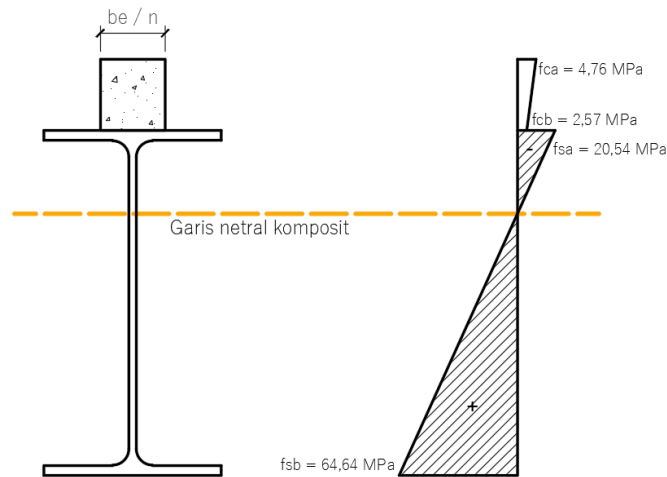
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{293819447}{8 \cdot 14028991,20} = 2,57 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{293819447}{14028991,20} = 20,54 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{293819447}{4457182,60} = 64,64 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat dilihat pada Gambar 7.7 berikut :



Gambar 7.7 Diagram Tegangan Komposit Balok Induk Lantai Tipe 1

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

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 17450 \cdot 250 = 4362500 \text{ N}$$

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

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, C = 2677500 N

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'c \cdot be} = \frac{2677500}{0,85 \cdot 30 \cdot 875} = 120 \text{ mm} \leq tp = 120 \text{ mm (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada pelat beton.

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

$$y = \frac{d}{2} + tp - \frac{a}{2} = \frac{582}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 351 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal (Mn) :

$$Mn = C \cdot y = T \cdot y = 2677500 \cdot 351 = 939802500 \text{ Nmm}$$

$$Mu = \phi Mn = 0,85 \cdot 939802500 = 798832125 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$Mu > Mu \text{ beban yang bekerja}$$

$$798832125 \text{ Nmm} > 288114492 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ Menentukan *Shear Connector*

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

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

$$Qn = 0,5 \cdot Asc \cdot \sqrt{f'c \cdot Ec}$$

$$= 0,5 \cdot 126,68 \cdot \sqrt{30 \cdot 25742,96} = 55663,17 \text{ N}$$

$$Asc \cdot fu = 126,68 \cdot 410 = 51938,8 \text{ N} < Qn = 55663,17 \text{ N}$$

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

$$\text{Beban geser, } Vh = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot be = 0,85 \cdot 30 \cdot 120 \cdot 875 = 2677500 \text{ N}$$

$$n = \frac{Vh}{Qn} = \frac{2677500}{51938,8} = 51,55 \approx 52 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

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

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 104 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{7000}{52} = 134,62 \text{ mm} = 13,462 \text{ cm} \approx 13 \text{ cm}$$

Syarat :

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

$$7,62 \text{ cm} < 13 \text{ cm} < 96 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

7.1.4 Perencanaan Balok Induk Lantai Tipe 2

Balok induk lantai yang ditinjau untuk direncanakan adalah balok induk memanjang AS A, B, C, D, E, dan F. Berdasarkan hasil gaya – gaya dalam portal yang diperoleh dari pemodelan 3D dengan program SAP2000 didapatkan hasil gaya momen lentur (M_u), momen torsi (M_{tu}), gaya geser (V_u) dan gaya normal (N_u).

Direncanakan menggunakan profil baja (WF 700.300.13.20), dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W)	= 166 kg/m ¹
Lebar Sayap (b)	= 300 mm
Tinggi Profil (d)	= 692 mm
Momen Inersia, (I_x)	= 172000 cm ⁴ . 10000 = 1720000000 mm ⁴
Momen Inersia, (I_y)	= 9020 cm ⁴ . 10000 = 902000000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (r_x)	= 28,6 cm = 286 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (r_y)	= 6,53 cm = 65,3 mm
$Z_x \cdot \xi$	= 4980 cm ³ . 1000 . 1,5 = 7470000 mm ³
$Z_y \cdot \xi$	= 602 cm ³ . 1000 . 1,5 = 903000 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok induk lantai tipe 2 elemen no.2299 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut:

$$M_u = 505426278 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 126343,28 \text{ N}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 20} = 7,50 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 692 - 2(28 + 20) = 596 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{596}{13} = 45,85 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

➤ **Batas Bentang Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang pada balok induk lantai tipe 2 setiap jarak 3 meter, $L = 3000 \text{ mm}$.

Batas maksimum jarak pengaku lateral (L_p) :

$$L_p = 1,76ry \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 \cdot 65,3 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 3250,65 \text{ mm}$$

Maka, karena $L = 3000 \text{ mm} < L_p = 3250,65 \text{ mm}$, balok termasuk bentang pendek.

➤ **Periksa Kekuatan Lentur (M_n)**

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

$$M_n = M_{px}$$

$$M_n = Z_x \cdot fy = 7470000 \cdot 250 = 1867500000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 1867500000 = 1680750000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$\phi M_n > M_u$$

$$1680750000 \text{ Nmm} > 505426278 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

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

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

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left(\sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{596}{13} \leq 1,1 \left(\sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 45,85 \leq 71,90$$

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

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (692 \cdot 13) \cdot 1,0 \\ &= 1349400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 1349400 \text{ N} \\ &= 1214460 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

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

$$1214460 \text{ N} > 126343,28 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral komposit diuraikan pada Tabel 7.4 dan seperti pada Gambar 7.8.

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

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

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

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

Menghitung lebar efektif (b_e) untuk balok induk interior :

$$L = \text{bentang balok anak} = 9000 \text{ mm}$$

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

$$b_e = \frac{1}{8} L = \frac{1}{8} \cdot 9000 = 1125 \text{ mm}$$

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

Maka, dipakai nilai terkecil dari lebar efektif (b_e) = 1125 mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{b_e}{n} = \frac{1125}{8} = 140,63 \text{ mm}$$

Tabel 7. 4 Tegangan Komposit Balok Induk Lantai Tipe 2

	Luas Transformasi A (mm ²)	Lengan Momen y (mm)	A . y (mm ³)
Pelat Beton	$A_c = \frac{1125 \cdot 120}{8} = 16875$	$\frac{120}{2} = 60$	1012500
Profil Baja WF	21150	$\frac{692}{2} + 120 = 466$	9855900
Σ	38025		10868400

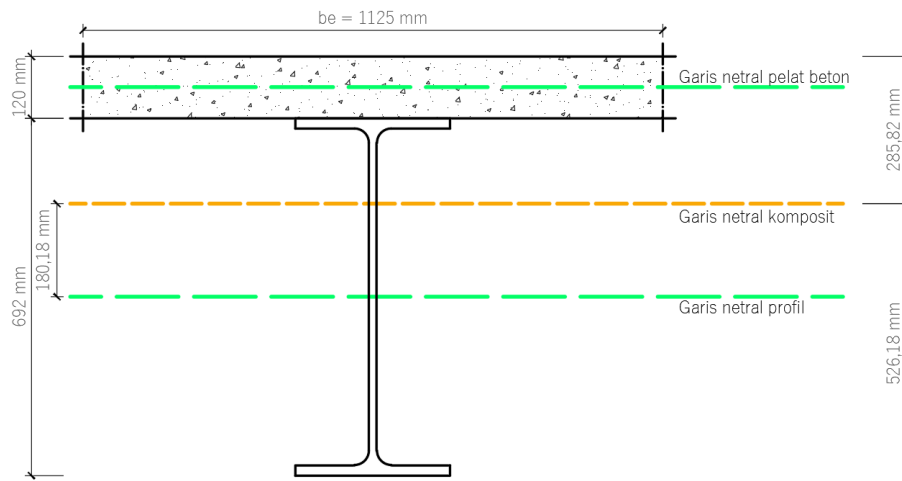
Menentukan letak garis netral profil :

$$y = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{10868400}{38025} = 285,82 \text{ mm} > tp = 120 \text{ mm}$$

(OK, Garis netral terletak di penampang baja).

Menentukan momen inersia komposit, Itr :

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_x \text{ profil} + A_{profil} \left(\frac{h_{profil}}{2} + tp - y \right)^2 + I_x \text{ beton} + A_c \left(y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\ &= 2370000000 + 21150 \left(\frac{692}{2} + 120 - 285,82 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{1125}{8} \cdot 120^3 \right) + \\ &\quad 16875 \left(285,82 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 3287416301,78 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 7. 8 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Lantai Tipe 2

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut :

Modulus penampang beton :

$$W_c \text{ Atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{3287416301,78}{285,82} = 11501601,42 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y-tp} = \frac{3287416301,78}{285,82-120} = 19824912,75 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja :

$$W_s \text{ Atas} = 19824912,75 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ Bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{3287416301,78}{511,93} = 6247732,39 \text{ mm}^3$$

➤ **Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit**

Tegangan pada beton :

$$f_{ca} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Atas}} = \frac{550676651}{8 \cdot 11501601,42} = 5,49 \text{ MPa}$$

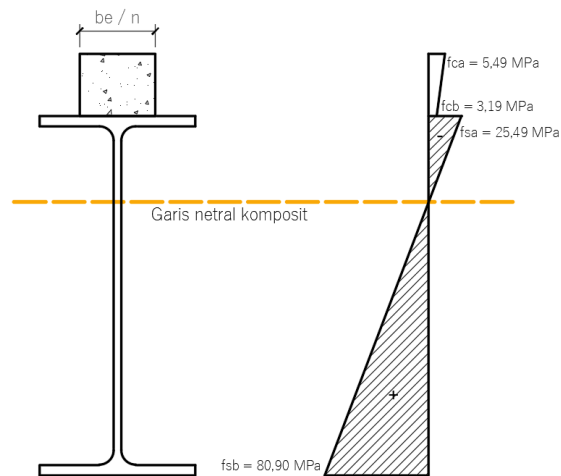
$$f_{cb} = \frac{M_{max}}{n \cdot W_c \text{ Bawah}} = \frac{550676651}{8 \cdot 19824912,75} = 3,19 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja :

$$f_{sa} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Atas}} = \frac{550676651}{21315291,23} = 25,49 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{max}}{W_s \text{ Bawah}} = \frac{550676651}{6247732,39} = 80,90 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit dapat terlihat pada Gambar 7.9.



Gambar 7.9 Diagram Tegangan Balok Induk Lantai Tipe 2 Komposit

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

Menentukan gaya tekan beton C :

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \cdot f_y$$

Maka,

$$C = T = A_s \cdot f_y = 21150 \cdot 250 = 5287500 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \cdot A_c \cdot f'_c = 0,85 \cdot (1125 \cdot 120) \cdot 30 = 3442500 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang paling kecil, $C = 3442500 \text{ N}$

Menentukan sumbu netral, a :

Asumsi a berada di pelat beton, sehingga :

$$a = \frac{C}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} = \frac{3442500}{0,85 \cdot 30 \cdot 1125} = 120 \text{ mm} \leq t_p = 120 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada pelat beton.

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{692}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 406 \text{ mm}$$

Kuat Lentur Nominal (M_n) :

$$M_n = C \cdot y = T \cdot y = 3442500 \cdot 406 = 1397655000 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,85 \cdot 1397655000 = 1188006750 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$M_u > M_u$ beban yang bekerja

$$1188006750 \text{ Nmm} > 505426278 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

➤ Menentukan *Shear Connector*

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

Luas *Stud* didapat :

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah *Stud* :

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

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

Maka, diambil nilai terkecil = 51938,8 N

Perhitungan jumlah *Stud* yang dibutuhkan :

Beban geser, $V_h = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_e = 0,85 \cdot 30 \cdot 120 \cdot 1125 = 3442500 \text{ N}$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{3442500}{51938,8} = 66,28 \approx 68 \text{ buah (dalam } \frac{1}{2} \text{ bentang balok)}$$

Syarat :

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

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

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

Jumlah *Stud* yang akan dipasang dalam 1 bentang balok adalah 136 buah (2 baris *Stud* arah longitudinal), maka jarak antar *Stud* didapat :

$$S = \frac{9000}{68} = 132,35 \text{ mm} = 13,235 \text{ cm} \approx 13 \text{ cm}$$

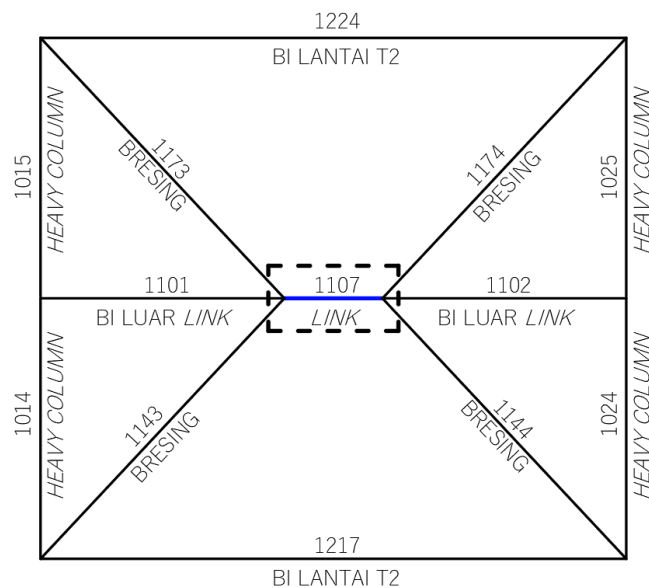
Syarat :

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

$7,62 \text{ cm} < 13 \text{ cm} < 96 \text{ cm}$ (OK)

7.2. Perencanaan Link

7.2.1 Perencanaan Link Arah X



Gambar 7.10 Element Link Arah X

Gambar 7.10 menampilkan bresing *K-Split* dan *Inverted K-Split* portal arah X beserta elemen *link* yang terletak di titik pertemuan bresing dan balok. Direncanakan balok *Link* menggunakan profil WF 700.300.13.20 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W) = 166 kg/m^1

Lebar Sayap (b) = 300 mm

Tinggi Profil (d)	= 692 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 172000 cm ⁴ . 10000 = 1720000000 mm ⁴
Momen Inersia, (Iy)	= 9020 cm ⁴ . 10000 = 902000000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 28,6 cm = 286 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 6,53 cm = 65,3 mm
Zx . ξ	= 4980 cm ³ . 1000 . 1,5 = 7470000 mm ³
Zy . ξ	= 602 cm ³ . 1000 . 1,5 = 903000 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok *link* arah X elemen no.1107 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut :

$$M_u = 487894230 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 686506,99 \text{ N}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 20} = 7,50 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 692 - 2(28 + 20) = 596 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{596}{13} = 45,85 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

➤ Panjang *Link Beam*

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 7470000 \cdot 250 = 1867500000 \text{ Nmm}$$

$$V_p = 0,6 \cdot f_y \cdot (d - 2tf) \cdot tw = 1271400 \text{ N}$$

$$e = 1,6 \cdot \frac{M_p}{V_p} = 1,6 \cdot \frac{1867500000}{1271400} = 2350,17 \text{ mm} > \text{Link rencana} = 1500 \text{ mm}$$

Karena *Link* rencana $< e$, maka termasuk dalam kategori *Short Link*.

➤ **Kontrol Geser**

Berdasarkan SNI 7860:2020 Pasal F3.5b.2 kuat geser nominal *Link* harus diambil nilai terkecil dari V_p atau $2M_p/e$.

$$\frac{2M_p}{e} = \frac{2 \cdot 1867500000}{1500} = 2490000 \text{ N}$$

$$V_p = 0,6 \cdot f_y \cdot (d - 2tf) \cdot tw = 1271400 \text{ N}$$

Diambil nilai terkecil, $V_n = V_p = 1271400 \text{ N}$

$$\begin{aligned} \emptyset V_n &= 0,9 \cdot 1271400 \\ &= 1144260 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat :

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

1144260 N > 686506,99 N (Profil aman terhadap geser)

➤ **Kontrol Sudut Rotasi *Link***

Berdasarkan SNI 7860:2020 Pasal F3.4a sudut rotasi elemen diijinkan sebesar 0,08 rad untuk panjang *link* $e \leq 1,6 M_p/V_p$.

$$\Delta e \cdot Cd = 4,11 \cdot 4 = 26,2 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{L}{e} \cdot \theta_p = \frac{9000}{1500} \cdot \frac{26,2}{4000} = 0,0393 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,0393 \text{ rad} < \alpha \text{ ijin} = 0,08 \text{ rad (OK)}$$

➤ **Perencanaan Pengaku *Link***

Berdasarkan peraturan SNI 7860:2020 Pasal F3.5b.4 di titik pertemuan dengan batang bresing pada *Link*, harus dipasang pengaku setinggi badan *Link* dan berada di kedua sisi pelat badan *Link*. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(bf - 2tf)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar antara $0,75tw$ atau 10mm.

Untuk pengaku dengan panjang *Link* $< 1,6 M_p/V_p$, harus direncanakan memiliki pengaku antara dengan jarak interval yang tidak melebihi perumusan berikut :

- Untuk sudut rotasi $\leq 0,08 \text{ rad}$:

$$S = 30tw - \frac{d}{5} = 30 \cdot 13 - \frac{692}{5} = 251,60 \text{ mm} \approx 0,252 \text{ m}$$

- Untuk sudut rotasi $\leq 0,02 \text{ rad}$:

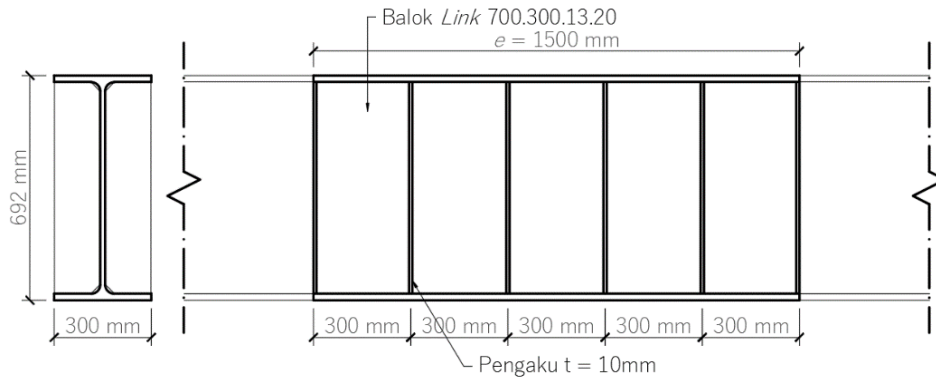
$$S = 52tw - \frac{d}{5} = 52 \cdot 13 - \frac{692}{5} = 537,60 \text{ mm} \approx 0,538 \text{ m}$$

- Sudut rotasi $Link = \alpha = 0,0247$ rad. Maka, dilakukan interpolasi :

$$S = 0,6 - \left(\frac{0,0393 - 0,02}{0,08 - 0,02} \right) \cdot (0,6 - 0,3) = 0,50 \text{ m} = 500 \text{ mm}$$

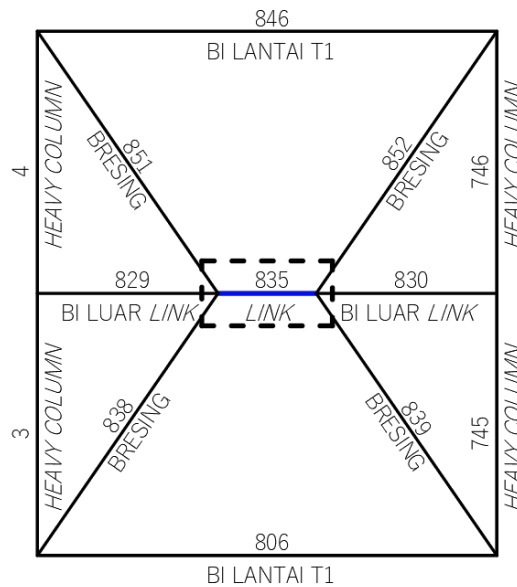
Direncanakan pengaku $Link$ dipasang dengan jarak $300 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$ (**OK**)

Pengaku $link$ dipasang seperti pada Gambar 7.11.



Gambar 7. 11 Jarak Pengaku $Link$ Arah X

7.2.2 Perencanaan $Link$ Arah Y



Gambar 7. 12 Element $Link$ Arah Y

Gambar 7.12 menunjukkan letak elemen $link$ dari portal arah Y. Direncanakan menggunakan profil baja WF 600.300.12.17 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil (W) = 137 kg/m¹

Lebar Sayap (b) = 300 mm

Tinggi Profil (d)	= 582 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 103000 cm ⁴ . 10000 = 1030000000 mm ⁴
Momen Inersia, (Iy)	= 7670 cm ⁴ . 10000 = 76700000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 24,3 cm = 243 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 6,63 cm = 66,3 mm
Zx . ξ	= 3530 cm ³ . 1000 . 1,5 = 5295000 mm ³
Zy . ξ	= 511 cm ³ . 1000 . 1,5 = 766500 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok *Link* arah Y elemen no.835 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut :

$$M_u = 416050405 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 611187,79 \text{ N}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 17} = 8,82 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 582 - 2(28 + 17) = 492 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{492}{12} = 41,00 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

➤ Panjang *Link Beam*

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 5295000 \cdot 250 = 1323750000 \text{ Nmm}$$

$$V_p = 0,6 \cdot f_y \cdot (d - 2tf) \cdot tw = 986400 \text{ N}$$

$$e = 1,6 \cdot \frac{M_p}{V_p} = 1,6 \cdot \frac{1323750000}{986400} = 2147,20 \text{ mm} > \text{Link rencana} = 1500 \text{ mm}$$

Karena *Link* rencana $< e$, maka termasuk dalam kategori *Short Link*.

➤ **Kontrol Geser**

Berdasarkan SNI 7860:2020 Pasal F3.5b.2 kuat geser nominal *Link* harus diambil nilai terkecil dari V_p atau $2M_p/e$.

$$\frac{2M_p}{e} = \frac{2 \cdot 1323750000}{1500} = 1765000 \text{ N}$$

$$V_p = 0,6 \cdot fy \cdot (d - 2tf) \cdot tw = 986400 \text{ N}$$

$$\text{Diambil nilai } V_n = V_p = 986400 \text{ N}$$

$$\emptyset V_n = 0,9 \cdot 986400$$

$$= 887760 \text{ N}$$

Syarat :

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

$$887760 \text{ N} > 611187,79 \text{ N (Profil aman terhadap geser)}$$

➤ **Kontrol Sudut Rotasi *Link***

Berdasarkan SNI 7860:2020 Pasal F3.4a sudut rotasi elemen diijinkan sebesar 0,08 rad untuk panjang *link* $e \leq 1,6 M_p/V_p$.

$$\Delta e \cdot Cd = 8,89 \cdot 4 = 35,96 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{L}{e} \cdot \theta_p = \frac{7000}{1500} \cdot \frac{35,96}{4000} = 0,0420 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,0420 \text{ rad} < \alpha \text{ ijin} = 0,08 \text{ rad (OK)}$$

➤ **Perencanaan Pengaku *Link***

Berdasarkan peraturan SNI 7860:2020 Pasal F3.5b.4 di titik pertemuan dengan batang bresing pada *Link*, harus dipasang pengaku setinggi badan *Link* dan berada di kedua sisi pelat badan *Link*. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(bf - 2tf)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar antara $0,75tw$ atau 10mm.

Untuk pengaku dengan panjang *Link* $< 1,6 M_p/V_p$, harus direncanakan memiliki pengaku antara dengan jarak interval yang tidak melebihi perumusan berikut :

- Untuk sudut rotasi $\leq 0,08 \text{ rad}$:

$$S = 30tw - \frac{d}{5} = 30 \cdot 12 - \frac{582}{5} = 243,60 \text{ mm} \approx 0,244 \text{ m}$$

- Untuk sudut rotasi $\leq 0,02 \text{ rad}$:

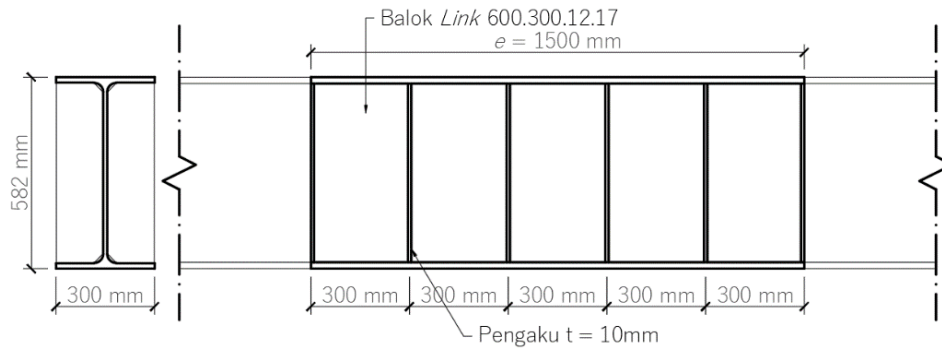
$$S = 52tw - \frac{d}{5} = 52 \cdot 13 - \frac{582}{5} = 507,60 \text{ mm} \approx 0,508 \text{ m}$$

- Sudut rotasi $Link = \alpha = 0,0420$ rad. Maka, dilakukan interpolasi :

$$S = 0,6 - \left(\frac{0,0420 - 0,02}{0,08 - 0,02} \right) \cdot (0,6 - 0,3) = 0,49 \text{ m} = 490 \text{ mm}$$

Direncanakan pengaku $Link$ dipasang dengan jarak $300 \text{ mm} < 490 \text{ mm}$ (**OK**)

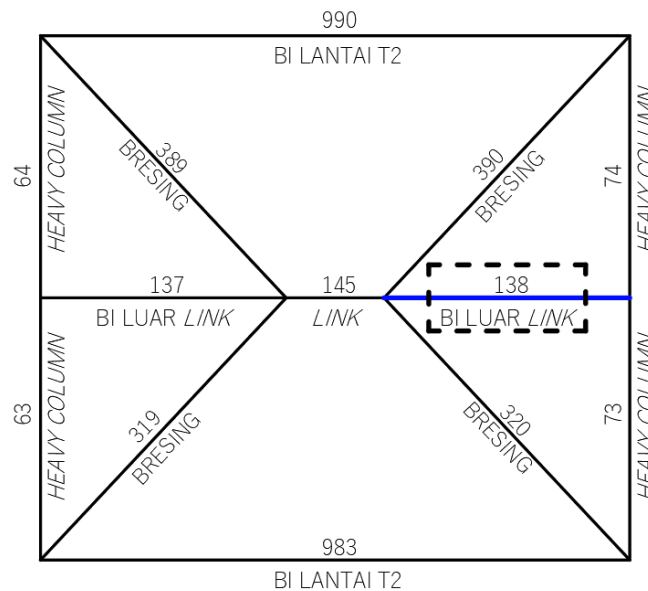
Pengaku $link$ dipasang seperti pada Gambar 7.13.



Gambar 7.13 Jarak Pengaku $Link$ Arah Y

7.3. Perencanaan Balok di luar $Link$

7.3.1 Balok di luar $Link$ Arah X



Gambar 7.14 Elemen Balok di Luar $Link$ Portal Arah X

Gambar 7.14 menampilkan elemen balok di luar $link$ pada portal arah X. Direncanakan menggunakan profil baja WF 700.300.13.20, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W) $= 166 \text{ kg/m}^1$

Lebar Sayap (b)	= 300 mm
Tinggi Profil (d)	= 692 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 172000 cm ⁴ . 10000 = 1720000000 mm ⁴
Momen Inersia, (Iy)	= 9020 cm ⁴ . 10000 = 902000000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 28,6 cm = 286 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 6,53 cm = 65,3 mm
Zx . ξ	= 4980 cm ³ . 1000 . 1,5 = 7470000 mm ³
Zy . ξ	= 602 cm ³ . 1000 . 1,5 = 903000 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok di luar *Link* arah X elemen no.138 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program analisa struktur SAP2000 sebagai berikut:

$$Mu = 352073831 \text{ Nmm}$$

Kuat perlu balok di luar *Link* harus ditentukan berdasarkan gaya – gaya yang timbul setidaknya 1,1 kali kuat geser nominal *Link* sebesar $R_y \cdot V_n$. Kuat rencana balok di luar *Link* dapat ditentukan menggunakan rumusan kuat rencana yang dihitung dan dikalikan dengan faktor R_y .

$$\begin{aligned} V_u &= 1,1 \cdot R_y \cdot V_n \\ &= 1,1 \cdot 1,5 \cdot 1271400 \\ &= 2097810 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 20} = 7,50 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 692 - 2(28 + 20) = 596 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{596}{13} = 45,85 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

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

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Maka, kuat lentur nominal Mn adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 7470000 \cdot 250 = 1867500000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 1867500000 = 1680750000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

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

$$1680750000 \text{ Nmm} > 352073831 \text{ Nmm} \text{ (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

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

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

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \left(\sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{596}{13} \leq 1,1 \left(\sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 45,85 \leq 71,90$$

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

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (692 \cdot 13) \cdot 1,0 \\ &= 1349400 \text{ N} \end{aligned}$$

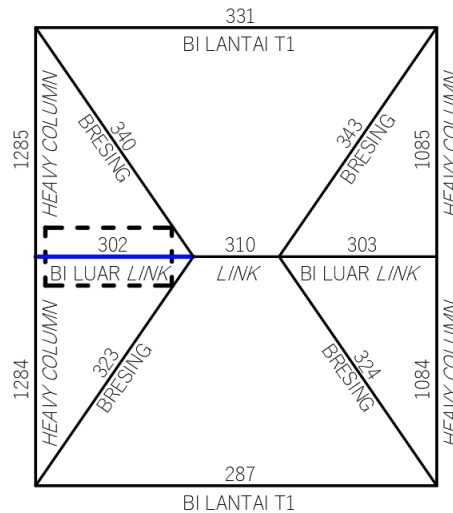
$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,9 \cdot 1349400 \text{ N} \\ &= 1214460 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ **Kontrol Interaksi Geser dan Lentur**

Berdasarkan peraturan SNI 03-1729-2002 Pasal 8.9.3 perumusan interaksi geser dan lentur harus direncanakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} &\leq 1,375 \\ \frac{352073831}{1680750000} + 0,625 \frac{2097810}{1214460} &\leq 1,375 \\ 1,355 &\leq 1,375 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

7.3.2 Balok di luar *Link* Arah Y



Gambar 7. 15 Elemen Balok di Luar *Link* Portal Arah Y

Gambar 7.15 menampilkan elemen balok di luar *link* pada portal arah Y. Direncanakan menggunakan Profil Baja WF 600.300.12.17 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil (W)	= 137 kg/m ¹
Lebar Sayap (b)	= 300 mm
Tinggi Profil (d)	= 582 mm
Momen Inersia, (Ix)	= 103000 cm ⁴ . 10000 = 1030000000 mm ⁴
Momen Inersia, (Iy)	= 7670 cm ⁴ . 10000 = 76700000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 24,3 cm = 243 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 6,63 cm = 66,3 mm
Zx . ξ	= 3530 cm ³ . 1000 . 1,5 = 5295000 mm ³
Zy . ξ	= 511 cm ³ . 1000 . 1,5 = 766500 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam untuk balok *Link* arah Y elemen no.302 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut :

$$Mu = 416050405 \text{ Nmm}$$

Kuat perlu balok di luar *Link* harus ditentukan berdasarkan gaya – gaya yang timbul setidaknya 1,1 kali kuat geser nominal *Link* sebesar $Ry \cdot Vn$, dan kuat rencana balok di luar *Link* dapat ditentukan menggunakan rumusan kuat rencana yang dihitung dan dikalikan dengan faktor Ry .

$$Vu = 1,1 \cdot Ry \cdot Vn$$

$$= 1,1 \cdot 1,5 \cdot 986400$$

$$= 1627560 \text{ N}$$

➤ **Kontrol Kelangsingan Penampang**

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{300}{2 \cdot 17} = 8,82 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 582 - 2(28 + 17) = 492 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{492}{12} = 41,00 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

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

Berdasarkan hasil periksa kelangsingan penampang balok, diperoleh bahwa balok sebagai penampang kompak. Maka, kuat lentur nominal Mn adalah sebagai berikut :

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

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 5295000 \cdot 250 = 1323750000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

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

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 1323750000 = 1191375000 \text{ Nmm}$$

Syarat :

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

$$1191375000 \text{ Nmm} > 272206393 \text{ Nmm (OK)}$$

➤ **Kontrol Geser**

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

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

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

$$\frac{h}{tw} \leq 1,1 \left(\sqrt{K_v \frac{E}{f_y}} \right) = \frac{492}{12} \leq 1,1 \left(\sqrt{5,34 \frac{200000}{250}} \right) = 41,00 \leq 71,90$$

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

$$\begin{aligned}V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot Cv_1 \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (582 \cdot 12) \cdot 1,0 \\ &= 986400 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,9 \cdot 986400 \text{ N} \\ &= 887760 \text{ N}\end{aligned}$$

➤ Kontrol Interaksi Geser dan Lentur

Berdasarkan peraturan SNI 03-1729-2002 Pasal 8.9.3 perumusan interaksi geser dan lentur harus direncanakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{Mu}{\phi Mn} + 0,625 \frac{Vu}{\phi V_n} &\leq 1,375 \\ \frac{272206393}{1191375000} + 0,625 \frac{1627560}{887760} &\leq 1,375 \\ 1,374 &\leq 1,375 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

7.4. Perencanaan Kolom

Pada perencanaan struktur gedung Hotel Hashira, struktur kolom direncanakan menggunakan profil baja HC 70 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W)	= 953 kg/m ¹
Momen Inersia, (Ix)	= 551000 cm ⁴ . 10000 = 5510000000 mm ⁴
Momen Inersia, (Iy)	= 168000 cm ⁴ . 10000 = 1680000000 mm ⁴
Jari – jari kelembaman arah X, (rx)	= 21,3 cm . 10 = 213 mm
Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)	= 11,8 cm . 10 = 118 mm
Z _x . ξ	= 19400 cm ³ . 1000 . 1,5 = 29100000 mm ³
Z _y . ξ	= 7360 cm ³ . 1000 . 1,5 = 11040000 mm ³

Diperoleh nilai gaya – gaya dalam paling dominan untuk kolom elemen no.1432 berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 sebagai berikut:

$$Nu = 8703573,04 \text{ N}$$

$$Vu = 140440,4 \text{ N}$$

$$Mu_1 = 489776434 \text{ Nmm}$$

$$Mu_2 = 210062850 \text{ Nmm}$$

➤ **Aksi Kolom**

Faktor panjang efektif k_x ditentukan dengan menggunakan faktor G :

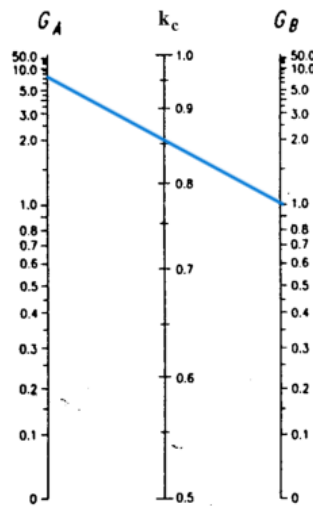
Mencari besar nilai K , G_A , dan G_B portal :

$$G_A = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{balok}} = \frac{\frac{200000 \cdot 5510000000}{4000}}{\frac{200000 \cdot 1720000000}{9000}} = 7,21$$

$$G_B = 1,0 \text{ (tahanan jepit)}$$

Berdasarkan peraturan SNI 03-1729-2002 Gambar 7.6-2 (a) untuk komponen struktur tak bergoyang, didapat nilai $k_c = 0,86$

Periksa kelangsingan kolom :



Gambar 7. 16 Nilai k_c untuk Faktor Panjang Efektif k_x

$$L_{kx} = 0,86 \times 4000 = 3440 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cx} = \frac{L_{kx}}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{3440}{213} < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 16,15 < 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{3440}{213}\right)^2} = 7560,17$$

$$f_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e}\right) \cdot f_y = \left(0,658 \frac{250}{7560,17}\right) \cdot 250 = 246,89$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = (1214 \cdot 100) \cdot 246,89 = 29972661,25 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,85 \cdot 29972661,25 \\ &= 25476762,07 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi N_n = 25476762,07 \text{ N} > N_u = 87303573,04 \text{ N (OK)}$$

Faktor panjang efektif k_y ditentukan dengan menggunakan faktor G :

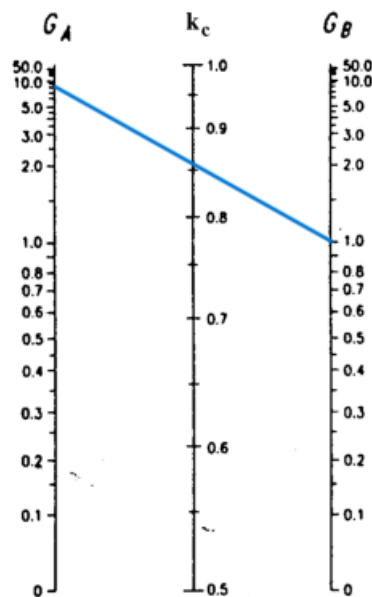
Mencari besar nilai K , G_A , dan G_B portal :

$$G_A = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{balok}} = \frac{\frac{200000 \cdot 551000000}{4000}}{\frac{200000 \cdot 1030000000}{7000}} = 9,36$$

$$G_B = 1,0 \text{ (tahanan jepit)}$$

Berdasarkan peraturan SNI 03-1729-2002 Gambar 7.6-2 (a) untuk komponen struktur tak bergoyang, didapat nilai $k_c = 0,85$

Periksa kelangsingan kolom :



Gambar 7. 17 Nilai k_c untuk Faktor Panjang Efektif k_y

$$L_{ky} = 0,86 \times 4000 = 3440 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cy} = \frac{L_{ky}}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{3440}{213} < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 16,15 < 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{3440}{213}\right)^2} = 7560,17$$

$$f_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e}\right) \cdot f_y = \left(0,658 \frac{250}{7560,17}\right) \cdot 250 = 246,89$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = (1214 \cdot 100) \cdot 246,89 = 29972661,25 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 0,85 \cdot 29972661,25$$

$$= 25476762,07 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 25476762,07 \text{ N} > N_u = 8703573,04 \text{ N (OK)}$$

➤ **Aksi Balok**

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{457}{2 \cdot 105} = 2,18 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + tf) = 568 - 2(22 + 105) = 314 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{314}{70} = 4,49 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

➤ **Periksa Jarak Pengaku Lateral**

Rencana pengaku lateral dipasang setiap jarak 2 meter, $L = 2000 \text{ mm}$.

Batas maksimum jarak pengaku lateral (L_p) :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot 118 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 5874,08 \text{ mm}$$

Maka, karena $L = 2000 \text{ mm} < L_p = 5874,08 \text{ mm}$, balok termasuk bentang pendek

➤ **Menentukan Kuat Momen Lentur**

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

$$M_n = M_p$$

$$M_n = Z_x \cdot f_y = 29100000 \cdot 250 = 7275000000 \text{ Nmm}$$

Maka, diperoleh :

$$M_u = \phi M_n$$

$$M_u = 0,9 \cdot 7275000000 = 6547500000 \text{ Nmm}$$

➤ **Pembesaran Momen δ_b**

$$\frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{0,7 \cdot 4000}{213} = 13,15$$

$$\frac{k_x \cdot L_x}{r_y} = \frac{0,7 \cdot 4000}{118} = 23,73$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 121400}{(23,73)^2} = 425163457,8 \text{ N}$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} = 0,6 - 0,4 \left(\frac{489776434}{210062850} \right) = 0,33 < 1 \text{ (OK)}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}} = \frac{0,33}{1 - \frac{8703573,04}{425163457,8}} = 0,34 < 1 \text{ (OK)}$$

Syarat $\delta_b \geq 1$, maka diambil $\delta_b = 1,0$

Pembesaran Momen :

$$M_{ux} = M_{ntu} = \delta_b \cdot M_{u2} = 1,0 \cdot 210062850 = 210062850 \text{ Nmm}$$

➤ Periksa Kolom

Periksa kekuatan Kolom dengan perumusan sebagai berikut :

$$\frac{N_u}{2 \cdot \phi N_n} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} \right) \leq 1,0 \text{ (rumus dominan aksial)}$$

$$\frac{8703573,04}{2 \cdot 25476762,07} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{489776434}{6547500000} \right) \leq 1,0$$

$$0,171 + 0,0665 = 0,2375 < 1,0 \text{ (OK)}$$

Maka, Profil Baja *Heavy Column* 70 568.457.70.105 dapat digunakan sebagai struktur kolom.

7.5. Perencanaan Bresing

Berdasarkan peraturan SNI 7860:2020 Pasal F3.3 kuat kombinasi aksial dan lentur perlu pada batang bresing harus direncanakan berdasarkan gaya aksial dan momen lentur yang ditimbulkan oleh 1,25 kali kuat geser nominal dari *Link* sebesar 1,25 $R_y \cdot V_n$. Kuat rencana batang bresing harus lebih besar dari pada kuat perlu element *Link* yang bertujuan untuk menjamin bahwa *Link* adalah elemen terlemah dalam struktur.

7.3.1 Perencanaan Bresing Arah X

Bresing portal arah X direncanakan menggunakan profil baja WF 400.400.13.21, dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Berat Profil (W)} = 172 \text{ kg/m}^1$$

$$\text{Luas profil (A}_g) = 21870 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar Sayap (b)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Profil (d)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Momen Inersia, (I}_x) = 66600 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 666000000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
\text{Momen Inersia, (Iy)} &= 22400 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 224000000 \text{ mm}^4 \\
\text{Jari – jari kelembaman arah X, (rx)} &= 17,5 \text{ cm} = 175 \text{ mm} \\
\text{Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)} &= 10,1 \text{ cm} = 101 \text{ mm} \\
Z_x \cdot \xi &= 3330 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 4995000 \text{ mm}^3 \\
Z_y \cdot \xi &= 1120 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 1680000 \text{ mm}^3 \\
\alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{4}{3,75} \right) = 46,85^\circ
\end{aligned}$$

Kuat kombinasi aksial dan lentur perlu batang bresing dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot (d - 2t_f) \cdot t_w \\
&= 698100 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_u &= 1,25 \cdot R_y \cdot V_n \\
&= 1,25 \cdot 1,5 \cdot 698100 \\
&= 1308937,5 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$P_u \text{ Tekan} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1308937,5}{\sin 46,85^\circ} = 1794132,38 \text{ N}$$

$$P_u \text{ Tarik} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1308937,5}{\sin 46,85^\circ} = 1794132,38 \text{ N}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2t_f} = \frac{400}{2 \cdot 21} = 9,52 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + t_f) = 400 - 2(22 + 21) = 314 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Syarat Kelangsingan Bresing

$$L = \sqrt{3750^2 + 4000^2} = 5482,93 \text{ mm}$$

$$\lambda_k = \frac{kc \cdot L}{r_y} = \frac{1 \cdot 5482,93}{101} = 54,29$$

$$\lambda_{pk} = \frac{2625}{\sqrt{f_y}} = \frac{2625}{\sqrt{250}} = 166,02 > \lambda_k = 54,29$$

➤ Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tekan

Periksa kelangsingan :

$$\lambda_x = \frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{1.5482,93}{175} = 31,33$$

$$\lambda_y = \frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{1.5482,93}{101} = 54,29 \text{ (menentukan)}$$

Kelangsingan

$$\lambda_{cx} = \frac{L_{kx}}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{54,29}{175} < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 0,31 < 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{54,29}{175}\right)^2} = 20491938,46$$

$$f_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e}\right) \cdot f_y = \left(0,658 \frac{250}{61520009,36}\right) \cdot 250 = 250$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = (218,7 \cdot 100) \cdot 250 = 5467474,76 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,85 \cdot 5467474,76 \\ &= 4647353,55 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} > 0,2 = \frac{1794132,38}{4647353,55} = 0,39 > 0,2 \text{ (OK)}$$

Maka, Profil baja WF 400.400.13.21 mampu menahan gaya tekan terfaktor.

➤ Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tarik

Luas utuh perlu :

$$A_g = \frac{N_u}{0,9 f_y} = \frac{1794132,38}{0,9 \cdot 250} = 7973,92 \text{ mm}^2$$

Luas bersih efektif perlu

$$A_e = \frac{N_u}{0,75 \cdot f_u} = \frac{1794132,38}{0,75 \cdot 410} = 5834,58 \text{ mm}^2$$

Diambil nilai paling besar, $A_g = 7973,92 \text{ mm}^2$.

Profil yang digunakan WF 400.400.13.21 dengan luas $A_g = 21870 \text{ mm}^2 > A_g \text{ perlu} = 7973,92 \text{ mm}^2$ (OK)

Diketahui nilai kelangsingan ijin, $\lambda_{ijin} = 240$ untuk batang primer. Periksa r min :

$$r_{\min} = \frac{L}{\lambda} = \frac{5482,93}{240} = 22,85 \text{ mm} < r_y \text{ profil yang digunakan} = 101 \text{ mm (OK)}$$

Kontrol Batas Kelangsingan Batang Tarik

$$\lambda = \frac{L}{r_y} = \frac{5482,93}{101} = 54,29 \text{ mm} < 240 \text{ (OK)}$$

Direncanakan bresing menggunakan alat sambung baut diameter 19 mm.

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - A_{\text{lubang}} \\ &= 21870 - 3 \times (19 + 1) \times (21) ? \\ &= 20610 \text{ mm}^2 \\ A_e &= 0,85 \cdot A_n \\ &= 0,85 \cdot 20610 \\ &= 17518,50 \text{ mm}^2 > A_e \text{ Perlu} = 5834,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya tarik yang mampu diterima batang sebagai berikut :

Kondisi Leleh :

$$\begin{aligned} N_u &= A_g \cdot (0,9f_y) \\ &= 21870 \cdot (0,9 \cdot 250) \\ &= 4920750 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi Putus :

$$\begin{aligned} N_u &= A_e \cdot (0,75f_u) \\ &= 17518,50 \cdot (0,75 \cdot 410) \\ &= 5386938,75 \text{ N} \end{aligned}$$

Kekuatan profil diambil nilai terkecil antara kondisi leleh dan kondisi putus :

$$N_u \text{ profil} = 4920750 \text{ N} > N_u \text{ beban} = 1794132,38 \text{ N (OK)}$$

Maka, profil baja WF 400.400.13.21 mampu menahan gaya tarik terfaktor.

WF 400.400.13.21 dapat digunakan sebagai bresing karena dari hasil perhitungan diperoleh profil mampu terhadap gaya tekan dan tarik, dan telah memenuhi kontrol yang disyaratkan.

7.3.2 Perencanaan Bresing Arah Y

Bresing portal arah Y direncanakan menggunakan profil baja WF 400.400.13.21, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Berat Profil (W)	= 172 kg/m ¹
Lebar Sayap (b)	= 400 mm
Tinggi Profil (d)	= 400 mm

$$\begin{aligned}
\text{Momen Inersia, (Ix)} &= 66600 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 666000000 \text{ mm}^4 \\
\text{Momen Inersia, (Iy)} &= 22400 \text{ cm}^4 \cdot 10000 = 224000000 \text{ mm}^4 \\
\text{Jari – jari kelembaman arah X, (rx)} &= 17,5 \text{ cm} = 175 \text{ mm} \\
\text{Jari – jari kelembaman arah Y, (ry)} &= 10,1 \text{ cm} = 101 \text{ mm} \\
Z_x \cdot \xi &= 3330 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 4995000 \text{ mm}^3 \\
Z_y \cdot \xi &= 1120 \text{ cm}^3 \cdot 1000 \cdot 1,5 = 1680000 \text{ mm}^3 \\
\alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{4}{2,75} \right) = 55,49^\circ
\end{aligned}$$

Kuat kombinasi aksial dan lentur perlu batang bresing dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot (d - 2t_f) \cdot t_w \\
&= 698100 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_u &= 1,25 \cdot R_y \cdot V_n \\
&= 1,25 \cdot 1,5 \cdot 698100 \\
&= 1308937,5 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$P_u \text{ Tekan} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1308937,5}{\sin 55,49^\circ} = 1588463,72 \text{ N}$$

$$P_u \text{ Tarik} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1308937,5}{\sin 55,49^\circ} = 1588463,72 \text{ N}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap Penampang :

$$\lambda_f = \frac{bf}{2t_f} = \frac{400}{2 \cdot 21} = 9,52 < \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan Penampang :

$$h = d - 2(r + t_f) = 400 - 2(22 + 21) = 314 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15 < \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Syarat Kelangsingan Bresing

$$L = \sqrt{2750^2 + 4000^2} = 4854,12 \text{ mm}$$

$$\lambda_k = \frac{kc \cdot L}{r_y} = \frac{1 \cdot 4854,12}{101} = 48,06$$

$$\lambda_{pk} = \frac{2625}{\sqrt{f_y}} = \frac{2625}{\sqrt{250}} = 166,02 > \lambda_k = 48,06$$

➤ **Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tekan**

Periksa kelangsingan :

$$\lambda_x = \frac{kc \cdot L}{r_x} = \frac{1 \cdot 4854,12}{175} = 27,74$$

$$\lambda_y = \frac{kc \cdot L}{r_y} = \frac{1 \cdot 4854,12}{101} = 48,06 \text{ (menentukan)}$$

Kelangsingan

$$\lambda_{cx} = \frac{Lk_x}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \frac{48,06}{101} < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 0,27 < 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{Lc}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{48,06}{101}\right)^2} = 8708701,79$$

$$f_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e}\right) \cdot f_y = \left(0,658 \frac{250}{8708701,79}\right) \cdot 250 = 250$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = (218,7 \cdot 100) \cdot 250 = 5467440,62 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,85 \cdot 5467440,62 \\ &= 4647324,53 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} > 0,2 = \frac{1588463,72}{4647324,53} = 0,34 > 0,2 \text{ (OK)}$$

Maka, Profil baja WF 400.400.13.21 mampu menahan gaya tekan terfaktor.

➤ **Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tarik**

Luas utuh perlu :

$$A_g \text{ perlu} = \frac{N_u}{0,9 f_y} = \frac{1588463,72}{0,9 \cdot 250} = 7059,84 \text{ mm}^2$$

Luas bersih efektif perlu

$$A_e \text{ perlu} = \frac{N_u}{0,75 \cdot f_u} = \frac{1588463,72}{0,75 \cdot 410} = 5165,74 \text{ mm}^2$$

Diambil nilai paling besar, $A_g = 7059,84 \text{ mm}^2$.

Profil yang digunakan WF 400.400.13.21 dengan luas $A_g = 21870 \text{ mm}^2 > A_g \text{ perlu} = 7059,84 \text{ mm}^2$ (OK)

Diketahui nilai kelangsingan ijin, $\lambda_{ijin} = 240$ untuk batang primer.

Periksa r_{min} :

$$r_{min} = \frac{L}{\lambda} = \frac{4854,12}{240} = 20,23 \text{ mm} < r_y = 101 \text{ mm (OK)}$$

Kontrol Batas Kelangsingan Batang Tarik

$$\lambda = \frac{L}{r_y} = \frac{4854,12}{101} = 48,06 < 240 \text{ (OK)}$$

Direncanakan bresing menggunakan alat sambung baut diameter 19 mm.

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - A_{lubang} \\ &= 21870 - 3 \times (19 + 1) \times (21) \\ &= 20610 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \cdot A_n \\ &= 0,85 \cdot 20610 \\ &= 17518,50 \text{ mm}^2 > A_e \text{ perlu} = 5165,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya tarik yang mampu diterima batang sebagai berikut :

Kondisi Leleh :

$$\begin{aligned} N_u &= A_g \cdot (0,9f_y) \\ &= 21870 \cdot (0,9 \cdot 250) \\ &= 4920750 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi Putus :

$$\begin{aligned} N_u &= A_e \cdot (0,75f_u) \\ &= 17518,50 \cdot (0,75 \cdot 410) \\ &= 5386938,75 \text{ N} \end{aligned}$$

Kekuatan profil diambil $N_u \text{ profil} = 4920750 \text{ N} > N_u \text{ beban} = 1588463,72 \text{ N (OK)}$

Maka, profil baja WF 400.400.13.21 mampu menahan gaya tarik terfaktor.

WF 400.400.13.21 dapat digunakan sebagai bresing karena dari hasil perhitungan diperoleh profil tersebut mampu terhadap gaya tekan dan tarik dan telah memenuhi kontrol yang disyaratkan.

7.6. Perencanaan Building Connection

Building Connection merupakan sambungan antar komponen struktur pada gedung yang terdiri dari sambungan balok dengan balok, atau balok dengan kolom. Alat sambung yang biasa digunakan berupa sambungan baut dan sambungan las. Sambungan juga berfungsi sebagai penyalur gaya – gaya dalam seperti momen, geser, dan aksial antar komponen struktur yang tersambung. Pada perencanaan gedung Hotel Hashira ini, sambungan yang akan direncanakan yaitu sambungan balok dengan balok, sambungan balok dengan kolom, sambungan kolom dengan kolom, serta sambungan batang bresing. Perencanaan sambungan mengacu pada peraturan SNI 1729:2020 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.

7.6.1 Sambungan Balok Anak Tipe 1 dengan Balok Anak Tipe 2

Balok anak atap dan lantai tipe 1 direncanakan menggunakan profil WF 200.100.5,5.8, dan akan diberi sambungan dengan balok anak tipe 2 yang telah direncanakan menggunakan profil WF 350.175.7.11. Mutu baja yang digunakan adalah BJ41, dengan spesifikasi tegangan leleh, $f_y = 250$ MPa dan tegangan putus, $f_u = 410$ MPa. Gaya geser (V_u) yang diperoleh dari *output* program SAP2000 pada balok anak atap tipe 1 sebesar $V_u = 43365,67$ N.

➤ Perhitungan Kekuatan Baut

Direncanakan sambungan menggunakan baut ulir dengan diameter 16 mm dan mutu A325. Diketahui bahwa tegangan putus baut, $f_u^b = 825$ MPa dan direncanakan menggunakan pelat penyambung siku 75.75.10 (Gambar 7.18). Kekuatan baut ditentukan berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser baut.

Tahanan tumpu baut pada bagian web dari balok anak :

$$\begin{aligned}\phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 410 \\ &= 118080 \text{ N /baut}\end{aligned}$$

Tahanan geser baut dengan dua bidang geser :

$$\begin{aligned}\phi V_d &= \phi f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 825 \cdot 2 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 16^2) \\ &= 124344 \text{ N /baut}\end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil antara ϕR_d dan ϕV_d , yaitu $\phi R_d = 118080$ N /baut

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{43365,67}{118080} = 0,37 \approx 2 \text{ baut}$$

➤ **Cek Jarak Baut**

Direncanakan jarak antar baut adalah 60 mm, perlu diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729:2020 Pasal J3, sebagai berikut :

Jarak antar baut (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$3d_b < S < 15t_p \text{ atau } 150\text{mm}$$

$$48 \text{ mm} < \mathbf{60 \text{ mm}} < 150 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S > 1,5d_b$$

$$\mathbf{30 \text{ mm}} > 24 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi maksimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S < 12t_p$$

$$\mathbf{50 \text{ mm}} < 120 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 30mm.

➤ **Periksa Geser Blok Pada Balok Anak WF 200.100.5,5.8**

$$A_{gv} = (30 + 60) \cdot 5,5 = 495 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (90 - 1,5(16 + 2)) \cdot (5,5) = 346,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 45 \cdot 5,5 = 247,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (45 - 0,5(16 + 2)) \cdot (5,5) = 198 \text{ mm}^2$$

$$f_u \cdot A_{nt} = 410 \cdot 198 = 81180 \text{ mm}^2$$

$$0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot 410 \cdot 346,5 = 85239 \text{ mm}^2$$

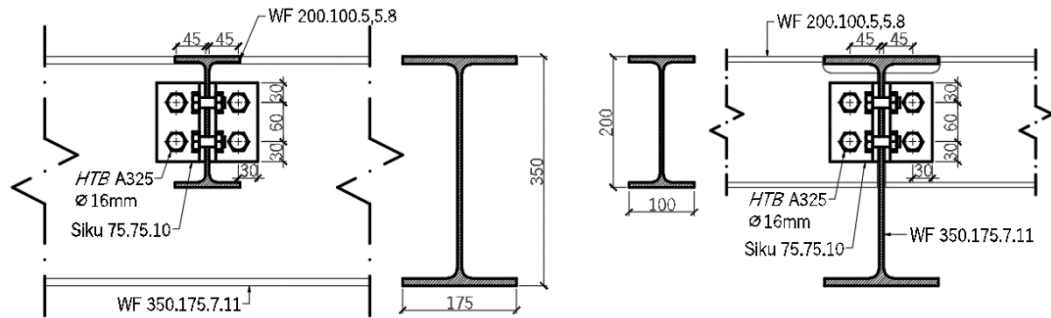
Karena $f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$, maka :

$$T = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}$$

$$= 85239 + (250 \cdot 247,5)$$

$$= 147114 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,75 \cdot 147114 = 110335,5 \text{ N} > 43365,67 \text{ N} \text{ (OK)}$$



Gambar 7. 18 Sambungan Balok Anak Tipe 1 dengan Balok Anak Tipe 2

7.6.2 Sambungan Balok Anak Tipe 2 dengan Balok Anak Tipe 3

Balok anak atap dan lantai tipe 2 direncanakan menggunakan profil WF 350.175.7.11, akan diberi sambungan dengan balok anak tipe 3 yang telah direncanakan menggunakan profil WF 450.200.9.14. Mutu baja yang digunakan adalah BJ41, dengan spesifikasi tegangan leleh, $f_y = 250$ MPa dan tegangan putus, $f_u = 410$ MPa. Gaya geser (V_u) yang diperoleh dari *output* program struktur SAP2000 pada balok anak atap tipe 2 sebesar $V_u = 95960,49$ N.

➤ Perhitungan Kekuatan Baut

Direncanakan sambungan menggunakan baut ulir dengan diameter 16mm dan mutu A325. Diketahui bahwa tegangan putus baut $f_u^b = 825$ MPa dan direncanakan menggunakan pelat penyambung siku 75.75.10 (Gambar 7.19). Kekuatan baut ditentukan berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser baut.

Tahanan tumpu baut pada bagian web dari balok anak :

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 410 \\ &= 118080 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Tahanan geser baut dengan dua bidang geser :

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 825 \cdot 2 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 16^2) \\ &= 124344 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil antara ϕR_d dan ϕV_d , yaitu $\phi R_d = 118080$ N /baut

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{95960,49}{118080} = 0,81 \approx 2 \text{ baut}$$

➤ **Cek Jarak Baut**

Direncanakan jarak antar baut adalah 60 mm, perlu diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729:2020 Pasal J3, sebagai berikut :

Jarak antar baut (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$3d_b < S < 15t_p \text{ atau } 150\text{mm}$$

$$48 \text{ mm} < \mathbf{60 \text{ mm}} < 150 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S > 1,5d_b$$

$$\mathbf{30 \text{ mm}} > 24 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi maksimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S < 12t_p$$

$$\mathbf{50 \text{ mm}} < 120 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 30mm.

➤ **Periksa Geser Blok Pada Balok Anak WF 350.175.7.11**

$$A_{gv} = (30 + 60) \cdot 7 = 630 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (90 - 1,5(16 + 2)) \cdot (7) = 441 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 45 \cdot 7 = 315 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (45 - 0,5(16 + 2)) \cdot (7) = 252 \text{ mm}^2$$

$$f_u \cdot A_{nt} = 410 \cdot 252 = 103320 \text{ mm}^2$$

$$0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot 410 \cdot 441 = 108486 \text{ mm}^2$$

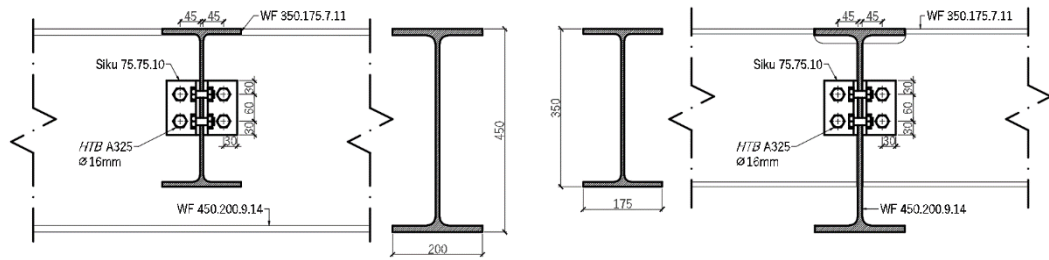
Karena $f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$, maka :

$$T = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}$$

$$= 108486 + (250 \cdot 315)$$

$$= 187236 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,75 \cdot 187236 = 140427 \text{ N} > 95960,49 \text{ N} \text{ (OK)}$$



Gambar 7. 19 Sambungan Balok Anak Tipe 2 dengan Balok Anak Tipe 3

7.6.3 Sambungan Balok Anak Tipe 3 dengan Balok Induk Tipe 2

Balok anak atap dan lantai tipe 3 menggunakan profil WF 450.200.9.14, akan diberi sambungan dengan balok induk yang telah direncanakan menggunakan profil WF 700.300.13.20 (Gambar 7.20). Mutu baja yang digunakan adalah BJ41, dengan spesifikasi tegangan leleh, $f_y = 250$ MPa dan tegangan putus, $f_u = 410$ MPa. Gaya geser (V_u) yang diperoleh dari *output* program struktur SAP2000 pada balok anak atap tipe 3 sebesar $V_u = 199528,98$ N.

➤ Perhitungan Kekuatan Baut

Direncanakan sambungan menggunakan baut ulir dengan diameter 16mm dan mutu A325. Diketahui bahwa tegangan putus $f_u^b = 825$ MPa dan direncanakan menggunakan pelat penyambung siku 75.75.10. Kekuatan baut ditentukan berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser baut.

Tahanan tumpu baut pada bagian web dari balok anak :

$$\begin{aligned}\phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 410 \\ &= 118080 \text{ N /baut}\end{aligned}$$

Tahanan geser baut dengan dua bidang geser :

$$\begin{aligned}\phi V_d &= \phi f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 825 \cdot 2 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 16^2) \\ &= 124344 \text{ N /baut}\end{aligned}$$

Dari kedua tahanan baut tersebut, diambil nilai terkecil, $\phi R_d = 118080$ N /baut

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{199528,98}{118080} = 1,69 \approx 3 \text{ baut}$$

➤ **Cek Jarak Baut**

Direncanakan jarak antar baut adalah 60 mm, perlu diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729:2020 Pasal J3, sebagai berikut :

Jarak antar baut (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$3d_b < S < 15t_p \text{ atau } 150\text{mm}$$

$$48 \text{ mm} < \mathbf{60 \text{ mm}} < 150 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S > 1,5d_b$$

$$\mathbf{30 \text{ mm}} > 24 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi maksimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S < 12t_p$$

$$\mathbf{50 \text{ mm}} < 120 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 30 mm.

➤ **Periksa Geser Blok Pada Balok Anak WF 350.175.7.11**

$$A_{gv} = (30 + 60 + 60) \cdot 9 = 1350 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (150 - 2,5(16 + 2)) \cdot (9) = 945 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 45 \cdot 9 = 405 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (45 - 0,5(16 + 2)) \cdot (9) = 324 \text{ mm}^2$$

$$f_u \cdot A_{nt} = 410 \cdot 324 = 132840 \text{ mm}^2$$

$$0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} = 0,6 \cdot 410 \cdot 945 = 232470 \text{ mm}^2$$

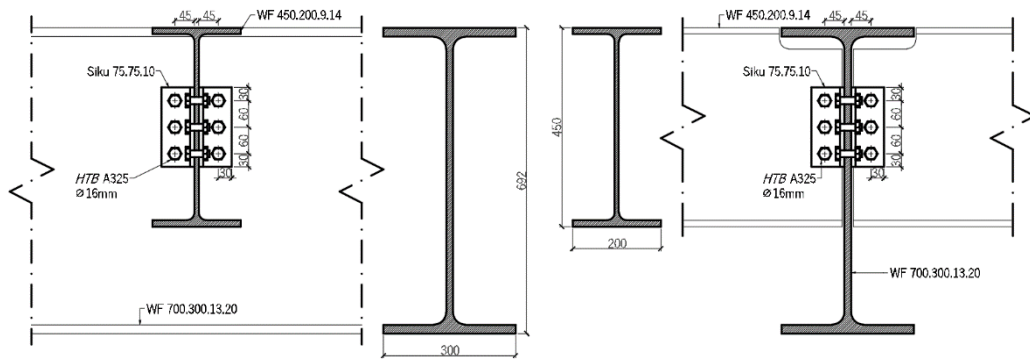
Karena $f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$, maka :

$$T = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}$$

$$= 232470 + (250 \cdot 405)$$

$$= 333720 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,75 \cdot 333720 = 250290 \text{ N} > 199528,98 \text{ N} \text{ (OK)}$$



Gambar 7. 20 Sambungan Balok Anak Tipe 3 dengan Balok Induk Tipe 2

7.6.4 Sambungan Balok Induk Dengan Kolom

Balok induk atap dan lantai direncanakan menggunakan profil WF 700.300.13.20 yang akan diberi sambungan dengan kolom yang telah direncanakan menggunakan profil *Heavy Column* HC70 (568.457.70.105) (Gambar 7.21). Mutu baja yang digunakan adalah BJ41, dengan spesifikasi tegangan leleh ($f_y = 250$ MPa) dan tegangan putus ($f_u = 410$ MPa). Pada sambungan balok induk dengan kolom, balok memikul beban geser dan momen, maka sambungan akan direncanakan menggunakan *Rigid Connection* (sambungan kaku). Berikut adalah *output* dari program analisa struktur SAP2000 pada balok induk :

$$M_u = 432821665 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 225818,86 \text{ N}$$

➤ Perhitungan Kekuatan Baut

Direncanakan sambungan menggunakan baut ulir dengan diameter 22mm dan mutu A325. Diketahui bahwa tegangan putus $f_u^b = 825$ MPa dan direncanakan menggunakan pelat penyambung dengan tebal 10mm. Kekuatan baut ditentukan berdasarkan kuat tumpu dan kuat geser baut.

Tahanan tumpu baut pada bagian web dari balok :

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 22 \cdot 13 \cdot 410 \\ &= 211068 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu baut pada bagian flange dari balok :

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_f \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 22 \cdot 20 \cdot 410 \\ &= 324720 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Kekuatan Tarik Baut :

$$\begin{aligned}\phi T_d &= \phi f_u \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 825 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 22^2) \\ &= 176315,91 \text{ N /baut}\end{aligned}$$

Tahanan geser baut dengan satu bidang geser :

$$\begin{aligned}\phi V_d &= \phi f_u \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 22^2) \\ &= 95035,15 \text{ N /baut}\end{aligned}$$

Untuk dua bidang geser = $2 \cdot 95035,15 = 188070,30 \text{ N}$

➤ Kontrol Siku Penyambung

Direncanakan siku penyambung atas dan bawah menggunakan profil baja siku L 90.250.14, dicoba menggunakan 4 buah baut pada masing – masing profil. Sehingga jarak lengan antar gaya tarik :

$$d = \frac{Mu}{4T} = \frac{432821665}{4 \cdot 131508,35} = 613,70 \text{ mm} \approx 650 \text{ mm}$$

Jarak baut terhadap flange atas balok = $\frac{1}{2}(650 - 300) = 175 \text{ mm}$, sehingga

$$a = 175 - t_{\text{siku}} - r_{\text{siku}} = 175 - 14 - 12,5 = 148,50 \text{ mm}$$

Dengan $d = 650 \text{ mm}$, maka gaya yang bekerja pada profil siku :

$$T = \frac{Mu}{d} = \frac{432821665}{650} = 665879,48 \text{ N}$$

Gaya yang menimbulkan momen pada profil siku :

$$M = 0,5 \cdot T \cdot a = 0,5 \cdot 665879,48 \cdot 148,50 = 49441551,73 \text{ Nmm}$$

Kapasitas nominal penampang persegi :

$$\phi Mn = 0,9 \left(\frac{bd^2}{4} \right) f_y$$

Sehingga diperoleh, $b = \frac{4 \cdot 49441551,73}{0,9 \cdot 250 \cdot 14^2} = 4484,49 \text{ mm}$

Perhitungan sambungan pada *flange* balok :

$$\text{Gaya geser } flange \text{ balok} = \frac{Mu}{d_{\text{balok}}} = \frac{432821665}{692} = 625464,83 \text{ N}$$

Baut penyambung merupakan baut dengan satu bidang geser :

$$n = \frac{625464,83}{95035,15} = 6,65 \approx 8 \text{ buah baut}$$

Perhitungan sambungan web balok dengan profil siku L 90.250.14

$$n = \frac{Vu}{2 \text{ bidang geser}} = \frac{225818,86}{188070,30} = 1,20 \approx 3 \text{ buah baut}$$

Sambungan web balok dengan *flange* kolom :

Baut yang menghubungkan balok dengan *flange* kolom adalah sambungan dengan satu bidang geser, sehingga :

$$n = \frac{Vu}{1 \text{ bidang geser}} = \frac{225818,86}{95035,15} = 2,40 \approx 3 \text{ buah baut}$$

➤ Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 75 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada peraturan SNI 1729:2020 Pasal J3.

Jarak antar baut (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$3d_b < S < 15t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$66 \text{ mm} < \mathbf{75 \text{ mm}} < 210 \text{ atau } 150 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S > 1,5d_b$$

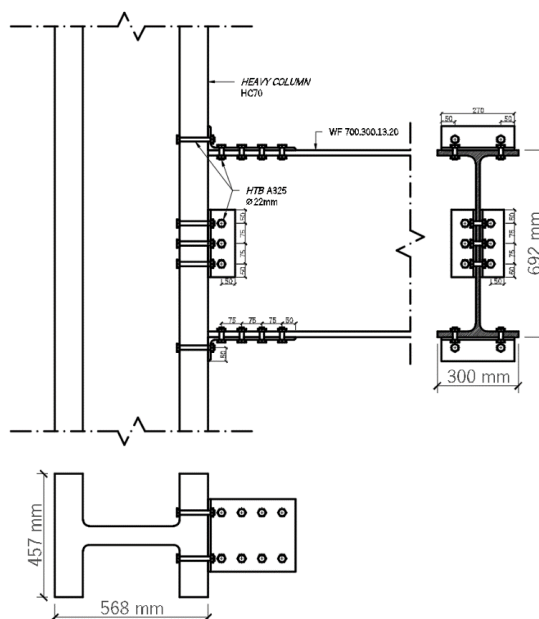
$$\mathbf{50 \text{ mm}} > 33 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi maksimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S < 12t_p$$

$$\mathbf{75 \text{ mm}} < 168 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 50mm.



Gambar 7. 21 Sambungan Balok Induk dengan Kolom

7.6.5 Sambungan Kolom Dengan Kolom

Kolom merupakan komponen utama pada struktur yang memerlukan adanya sambungan antar kolom. Pada umumnya, pabrikan memproduksi profil baja hanya max = 12m, sedangkan pada perencanaan struktur gedung Hotel Hashira direncanakan memiliki ketinggian total 40m. Sambungan antar kolom berfungsi untuk membantu menyalurkan gaya – gaya dalam seperti momen, geser, dan aksial yang nantinya akan di distribusikan ke pondasi.

Berdasarkan SNI 7860:2020 Pasal A3.2 kekuatan perlu suatu elemen (suatu komponen struktur atau sambungan dari komponen struktur) harus ditentukan dari tegangan leleh terekspektasi, $R_y \cdot f_y$ dari komponen struktur yang berdekatan. Sesuai yang berlaku, dengan f_y adalah tegangan leleh baja minimum terekspektasi yang digunakan pada komponen struktur, dan R_y adalah rasio tegangan leleh terekspektasi terhadap tegangan leleh minimum terekspektasi. Dimana untuk mutu baja BJ41 tegangan leleh sebesar $f_y = 250$ MPa, dan faktor rasio $R_y = 1,5$. Kolom ini direncanakan menggunakan profil *Heavy Column* HC70 (568.457.70.105). Hasil *output* gaya dalam dari pemodelan SAP2000 pada kolom No.1432 sebagai berikut :

$$N_u = 8703573,04 \text{ N}$$

$$V_u = 140440,4 \text{ N}$$

$$M_u = 489776434 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$f_{ye} = R_y \cdot f_y = 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ Nmm}$$

Pembagian beban momen :

$$h = d - 2(tf + ro) = 568 - 2(105 + 22) = 314 \text{ mm}$$

$$I_{beban} = \frac{tw \cdot h^3}{12} = \frac{70 \cdot 314^3}{12} = 180595006,7 \text{ mm}^2$$

$$M_{badan} = \frac{I_{beban} \cdot M_u}{I_{profil}} = \frac{180595006,7 \cdot 489776434}{1680000000} = 52649510,93 \text{ Nmm}$$

$$M_{sayap} = M_u - M_{badan} = 489776434 - 526495120 = 437126923,07 \text{ Nmm}$$

➤ Sambungan Pada Flange

Direncanakan menggunakan baut ulir dengan diameter $1\frac{3}{8}$ " dengan mutu baut A325 yang memiliki tegangan putus $f_u^b = 825$ MPa. Sambungan juga direncanakan menggunakan pelat dengan tebal 25mm (Gambar 7.22).

Gaya tarik yang terjadi pada sambungan :

$$T_u = \frac{M_{sayap}}{d_{profil}} = \frac{437126923,07}{568} = 769589,65 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_u &= N_u + T_u = 8703573,04 + 769589,65 \\ &= 9473162,69 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan geser baut dengan bidang geser :

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot 957,51 \\ &= 236983,73 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu baut pada bagian flange :

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 22 \cdot 20 \cdot 410 \\ &= 644366,25 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Diambil nilai paling kecil, $\phi V_d = 236983,73 \text{ N}$

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{9473162,69}{236983,73} = 39,97 \approx 40 \text{ buah baut}$$

➤ Sambungan Pada Web

Direncanakan menggunakan baut ulir dengan diameter $1\frac{3}{8}$ " dengan mutu baut A325 yang memiliki tegangan putus $f_u^b = 825 \text{ MPa}$. Sambungan juga direncanakan menggunakan pelat dengan tebal 25mm

Tahanan geser baut dengan bidang geser :

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot 957,51 \\ &= 236983,73 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu baut pada bagian web :

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 22 \cdot 20 \cdot 410 \\ &= 644366,25 \text{ N /baut} \end{aligned}$$

Diambil nilai paling kecil, $\phi V_d = 236983,73 \text{ N}$

Gaya tarik yang terjadi pada sambungan :

$$T_u = \frac{M_{badan}}{d_{profil}} = \frac{52649510,93}{568} = 92692,8 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= V_u \text{ awal} + T_u = 140440,4 + 92692,8 \\
 &= 233133,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{233133,2}{236983,73} = 0,98 \approx 2 \text{ buah baut}$$

➤ Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 110mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada peraturan SNI 1729:2020 Pasal J3.

Jarak antar baut (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$3d_b < S < 15t_p$$

$$3 \times 34,925 \text{ mm} < 125 \text{ mm} < 15 \times 25 \text{ mm}$$

$$104,775 < \mathbf{110 \text{ mm}} < 375 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S > 1,5d_b$$

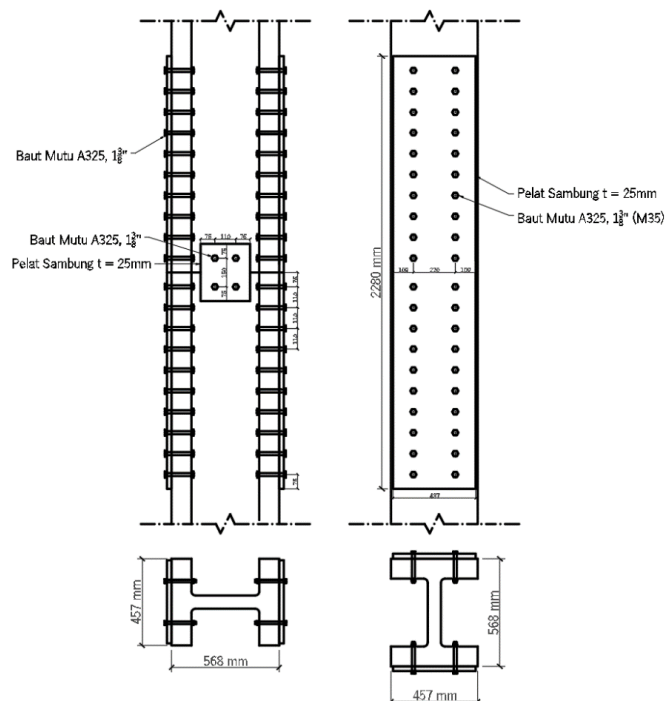
$$\mathbf{75 \text{ mm}} > 52,388 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi maksimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S < 12t_p$$

$$\mathbf{150 \text{ mm}} < 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 75mm.



Gambar 7. 22 Sambungan Kolom dengan Kolom

7.6.6 Sambungan Batang Bresing

Sambungan batang bresing akan direncanakan berdasarkan kuat tarik, kuat lentur pada bidang kritis bresing dan gaya maksimum yang dapat dipindahkan dari struktur ke batang bresing. Berdasarkan peraturan SNI 7860:2020 Pasal J3.3 mengenai kuat perlu sambungan batang bresing ke balok, harus ditentukan lebih besar atau sama dengan kuat nominal batang bresing yaitu $1,25 \cdot R_y \cdot V_n$.

Pada perencanaan struktur gedung Hotel Hashira direncanakan menggunakan bresing tipe *K-Split & Inverted K-Split Braced*, dan diperoleh hasil analisa gaya – gaya dalam yang bekerja pada bresing dengan program SAP2000 gaya tekan terbesar bresing No.369 sebagai berikut :

$$\text{Gaya Tekan (Nu)} = 999574,18 \text{ N}$$

$$\text{Gaya Tarik (Nu)} = 474344,66 \text{ N}$$

Kuat kombinasi aksial dan lentur perlu batang bresing dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot (d-2t_f) \cdot t_w \\ &= 698100 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,25 \cdot R_y \cdot V_n \\ &= 1,25 \cdot 1,5 \cdot 698100 \\ &= 1308937,5 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ Sambungan Batang Tekan Bresing

Direncanakan menggunakan baut ulir dengan diameter 27mm dengan mutu baut A325 yang memiliki tegangan putus $f_u^b = 825 \text{ MPa}$. Sambungan juga direncanakan menggunakan pelat dengan tebal 20mm (Gambar 7.23).

Tahanan geser baut dengan bidang geser :

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot 572,27 \cdot 2 \\ &= 283273,65 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu baut pada bagian flange :

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 27 \cdot 20 \cdot 410 \\ &= 398520 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai paling kecil, $\phi V_d = 283273,65 \text{ N}$

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{1308937,5}{283273,65} = 2,31 \approx 4 \text{ buah baut}$$

➤ Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 150mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada peraturan SNI 1729:2020 Pasal J3.

Jarak antar baut (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$3d_b < S < 15t_p$$

$$3 \times 27 \text{ mm} < 150 \text{ mm} < 15 \times 20 \text{ mm}$$

$$81 \text{ mm} < \mathbf{150 \text{ mm}} < 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S > 1,5d_b$$

$$\mathbf{75 \text{ mm}} > 40,5 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jarak tepi maksimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S < 12t_p$$

$$\mathbf{75 \text{ mm}} < 240 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 75mm.

➤ Sambungan Las Sudut Pada Pelat Buhul

Rencana menggunakan las ukuran 10mm

Tebal efektif las sudut rencana : $t_e = 0,707 \cdot a = 0,707 \cdot 10 = 7,07 \text{ mm}$

Kuat rencana las sudut ukuran 10 mm per mm panjang

Kuat nominal las sudut :

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6f_{uw}) \\ &= 0,75 \cdot 7,07 \cdot (0,6 \cdot 410) \\ &= 1304,42 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Luas las sudut :

$$\begin{aligned} A_{las} &= 2(d + b) \\ &= 2(40 + 70) \\ &= 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada las sudut :

Dengan spesifikasi, $L = 5482,93 \text{ mm}$, $h = 4000 \text{ mm}$

$$m = \sqrt{5482,93^2 + 4000^2} = 6786,94 \text{ mm}$$

$$\cos m = \cos\left(\frac{4000}{6786,94}\right) = 0,999$$

$$\sin m = \sin\left(\frac{4000}{6786,94}\right) = 0,0102$$

$$0,99 \cdot Nu = 0,99 \cdot 999574,18 = 989578,44 \text{ N}$$

$$0,0102 \cdot Nu = 0,0102 \cdot 999574,18 = 10195,66 \text{ N}$$

$$f_h = \frac{0,99Nu}{A_{las}} = \frac{989578,44}{220} = 4498,08 \text{ N/mm}^2$$

$$f_v = \frac{0,0102Nu}{A_{las}} = \frac{10195,66}{220} = 46,34 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{4498,08^2 + 46,34^2} = 4498,32 \text{ N/mm}^2$$

Tebal efektif las sudut (t_e) :

$$t_e = \frac{4498,32}{1304,42} = 3,45 \text{ mm}$$

➤ Kontrol Tekuk Pelat Buhul

Lebar pelat buhul efektif dipakai setinggi web (h) bresing = 600 mm

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$A_g = 600 \cdot 20 = 12000 \text{ mm}^2$$

$$I_{plat} = 200000 \text{ mm}^4$$

$$L_k = k_c \cdot L = 1,0 \cdot 5482,93 = 5482,93 \text{ mm}$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{plat}}{A_g}} = \sqrt{\frac{200000}{12000}} = 16,67$$

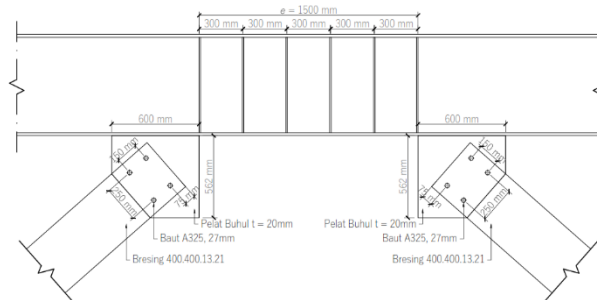
$$\lambda = \frac{5482,93}{16,67} = 328,91 \approx 3,289$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{3,289}{3,14} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,037 < 0,25$$

Maka, $\omega = 1,0$

$$\phi N_n = 0,85 \cdot A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} = 2125000 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 2125000 \text{ N} > Nu = 999574,18 \text{ N (OK)}$$



Gambar 7. 23 Sambungan Bresing Batang Tekan

➤ **Sambungan Batang Tarik Bresing**

Direncanakan menggunakan baut ulir dengan diameter 27mm dengan mutu baut A325 yang memiliki tegangan putus $f_u^b = 825$ MPa. Sambungan juga direncanakan menggunakan pelat dengan tebal 20 mm (Gambar 7.24).

Tahanan geser baut dengan bidang geser :

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot 572,27 \cdot 2 \\ &= 283273,65 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu baut pada bagian flange :

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \cdot \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 27 \cdot 20 \cdot 410 \\ &= 398520 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai paling kecil, $\phi V_d = 283273,65$ N

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{1308937,5}{283273,65} = 2,31 \approx 4 \text{ buah baut}$$

➤ **Cek Jarak Baut**

Direncanakan jarak antar baut adalah 150 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada peraturan SNI 1729:2020 Pasal J3.

Jarak antar baut (SNI 1729:2020 Pasal J3.3)

$$\begin{aligned} 3d_b &< S < 15t_p \\ 3 \times 27 \text{ mm} &< 150 \text{ mm} < 15 \times 20 \text{ mm} \\ 81 \text{ mm} &< \mathbf{150 \text{ mm}} < 300 \text{ mm} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S > 1,5d_b$$

$$75 \text{ mm} > 40,5 \text{ mm (OK)}$$

Jarak tepi maksimum (SNI 1729:2020 Pasal J3.4)

$$S < 12t_p$$

$$75 \text{ mm} < 240 \text{ mm (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 75mm.

➤ Sambungan Las Sudut Pada Pelat Buhul

Rencana menggunakan las ukuran 10 mm

Tebal efektif las sudut rencana : $t_e = 0,707 \cdot a = 0,707 \cdot 10 = 7,07 \text{ mm}$

Kuat rencana las sudut ukuran 10 mm per mm panjang

Kuat nominal las sudut :

$$\begin{aligned}\phi R_{nw} &= 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6f_{uw}) \\ &= 0,75 \cdot 7,07 \cdot (0,6 \cdot 410) \\ &= 1304,42 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Luas las sudut :

$$\begin{aligned}A_{las} &= 2(d + b) \\ &= 2(50 + 50) \\ &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada las sudut :

Dengan spesifikasi, $L = 5482,93 \text{ mm}$, $h = 4000 \text{ mm}$

$$m = \sqrt{5482,93^2 + 4000^2} = 6786,94 \text{ mm}$$

$$\cos m = \cos\left(\frac{4000}{6786,94}\right) = 0,999$$

$$\sin m = \sin\left(\frac{4000}{6786,94}\right) = 0,0102$$

$$0,99 \cdot Nu = 0,99 \cdot 474344,66 = 469601,21 \text{ N}$$

$$0,0102 \cdot Nu = 0,0102 \cdot 474344,66 = 4838,32 \text{ N}$$

$$f_h = \frac{0,99Nu}{A_{las}} = \frac{469601,21}{220} = 2134,55 \text{ N/mm}^2$$

$$f_v = \frac{0,0102Nu}{A_{las}} = \frac{4838,32}{220} = 21,99 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{2134,55^2 + 21,99^2} = 2134,66 \text{ N/mm}^2$$

Tebal efektif las sudut (t_e) :

$$t_e = \frac{2134,66}{1304,42} = 1,64 \text{ mm}$$

➤ **Kontrol Tekuk Pelat Buhul**

Lebar pelat buhul efektif dipakai setinggi web (h) bresing = 600 mm

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$A_g = 600 \cdot 20 = 12000 \text{ mm}^2$$

$$I_{plat} = 200000 \text{ mm}^4$$

$$L_k = k_c \cdot L = 1,0 \cdot 5482,93 = 5482,93 \text{ mm}$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{plat}}{A_g}} = \sqrt{\frac{200000}{12000}} = 16,67$$

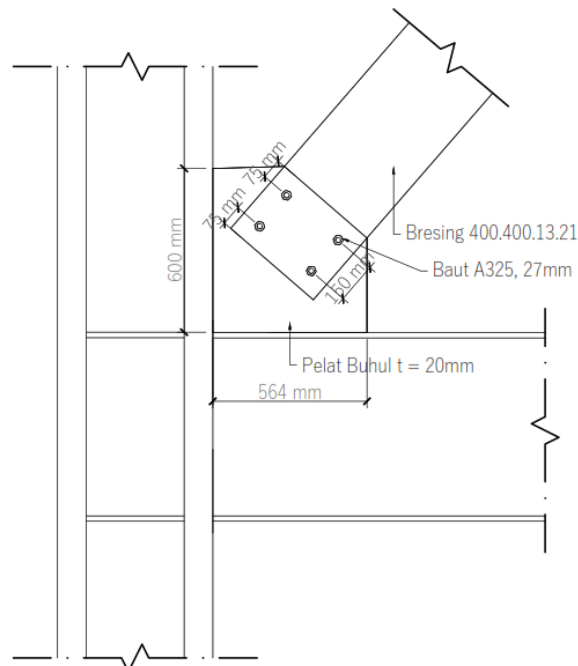
$$\lambda = \frac{5482,93}{16,67} = 328,91 \approx 3,289$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{3,289}{3,14} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,037 < 0,25$$

Maka, $\omega = 1,0$

$$\phi N_n = 0,85 \cdot A_g \cdot \frac{f_y}{\omega} = 2125000 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 2125000 \text{ N} > N_u = 474344,66 \text{ N (OK)}$$



Gambar 7. 24 Sambungan Bresing Batang Tarik

7.7. Perencanaan Pelat Dasar Kolom (Base Plate)

Pelat dasar kolom (*base plate*) merupakan bagian dari struktur baja yang berfungsi sebagai penghubung antara struktur bagian atas dengan pondasi. *Base plate* menyalurkan gaya

dalam ke kolom pedestal, sehingga besarnya tegangan yang terjadi pada kolom pedestal tidak menimbulkan kerusakan. Sambungan kolom dengan plat dasar kolom menggunakan sambungan las dan diperkuat menggunakan baut angkur seperti ditampilkan pada Gambar 7.25. Direncanakan *base plate* dengan diperoleh gaya dalam dari *output* program SAP2000 pada elemen no.1432 sebagai berikut :

$$N_u = 8703573,04 \text{ N}$$

$$V_u = 140440,4 \text{ N}$$

$$M_u = 489776434 \text{ Nmm}$$

$$\text{Direncanakan : } N = 900 \text{ mm}$$

$$B = 750 \text{ mm}$$

$$F = 750 \text{ mm}$$

Menghitung besaran m dan x dengan perumusan sebagai berikut :

$$m = \frac{N - 0,95 \cdot d}{2} = \frac{900 - 0,95 \cdot 568}{2} = 180,2 \text{ mm}$$

$$x = \frac{f}{2} - \frac{d}{2} + \frac{t_f}{2} = \frac{750}{2} - \frac{568}{2} + \frac{105}{2} = 143,5 \text{ mm}$$

Eksentrisitas :

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{489776434}{8703573,04} = 56,27 \text{ mm}$$

$$\frac{N}{6} = \frac{900}{6} = 150 \text{ mm} > e = 56,27 \text{ mm}$$

Termasuk kategori B (Setiawan,2013)

Untuk *base plate* kategori B, berlaku hubungan sebagai berikut :

$$A_1 = B \times Y$$

Dimana :

$$Y = N - 2(e) = 900 - 2(56,27) = 787,46 \text{ mm}$$

$$A_1 = 750 \cdot 787,46 = 590595 \text{ mm}^2$$

$$N_u < 0,60 \cdot 0,85 \cdot 35 \cdot 750 \cdot 787,46 \cdot 2$$

$$8703573,04 \text{ N} < 21084241,5 \text{ N (OK)}$$

Pemeriksaan angkur terhadap gaya geser dan tarik

Direncanakan menggunakan 8 buah angkur M24 dengan diameter 24 mm, dengan mutu baut A325,

$$F_v = 414 \text{ MPa}$$

Gaya geser yang terjadi :

$$V_{ub} = \frac{V_u}{n} = \frac{140440,4}{8} = 17555,05 \text{ N}$$

$$\emptyset.F_v \times A_b = 0,75 \times 414 \times 452,39 = 140467,10 \text{ N} > 17555,05 \text{ N (OK)}$$

Perhitungan tebal *base plate* :

$$Y = N - 2(e) = 900 - 2(56,27) = 787,46 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{p\text{perlu}} &= 1,49 m \sqrt{\frac{N_u}{B(N-2e) f_y}} \\ &= 1,49 \times 180,2 \sqrt{\frac{8703573,04}{750 \cdot 787,46 \cdot 250}} = 65,19 \text{ mm} \approx 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tebal *base plate* $t_p = 75 \text{ mm}$, maka ukuran *base plate* adalah $900 \times 750 \times 75 \text{ mm}$

Perhitungan Panjang Angkur

$$f_{sc} = 0,85 \times f_y = 0,85 \times 250 = 212,5 \text{ Nmm}$$

Panjang angkur :

$$L = \frac{N_u}{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d \times f_{sc}} = \frac{8703573,04}{\frac{1}{2} \times 3,14 \times 24 \times 212,5} = 1086,45 \text{ mm} \approx 1250 \text{ mm}$$

Digunakan angkur M24 dengan panjang 125 cm

Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 250 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada peraturan SNI 1729-2020 pasal J3, sebagai berikut :

Jarak antar baut (SNI 1729-2020) pasal J3.3)

$$3 \cdot d_b < S < 15 \cdot t_p$$

$$3 \times 24 < S < 15 \times 75$$

$$72 \text{ mm} < \mathbf{250 \text{ mm}} < 1125 \text{ mm (OK)}$$

Jarak tepi minimum (SNI 1729-2020 pasal J3.4)

$$S > 1,5 \cdot d_b$$

$$S > 1,5 \times 24$$

$$\mathbf{75 \text{ mm}} > 36 \text{ mm (OK)}$$

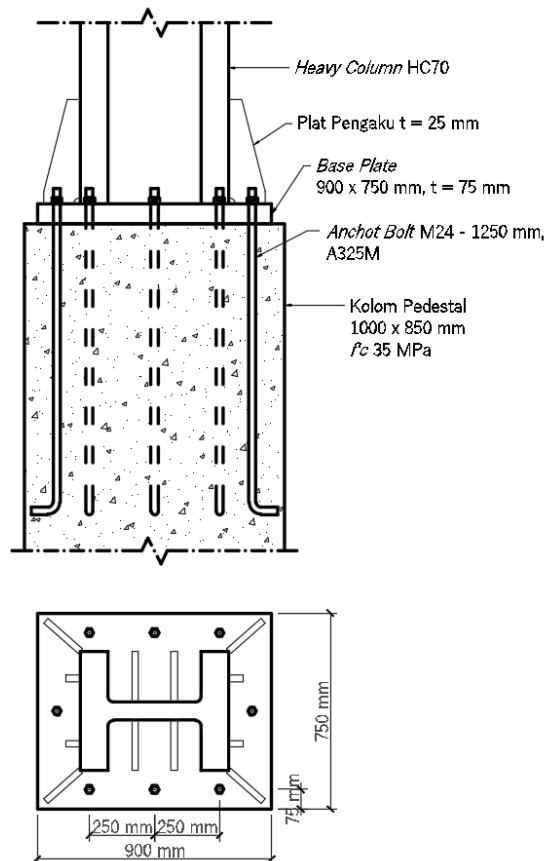
Jarak tepi maksimum (SNI 1729-2020 pasal J3.4)

$$S < 12.t_p$$

$$S < 12 \times 75$$

$$250 \text{ mm} < 900 \text{ mm (OK)}$$

Maka, diambil jarak baut dengan tepi pelat adalah 125 mm.



Gambar 7. 25 Sambungan Base Plate dengan Kolom Pedestal

7.8. Perencanaan Kolom Pedestal

Kolom pedestal merupakan kolom utama yang digunakan sebagai sebagai dudukan kolom profil baja dan pelat kolom baja (*base plate*) dan pada kolom pedestal ditanamkan angkur baja. Pada perencanaan struktur gedung Hotel Hashira direncanakan kolom pedestal sebagai berikut :

Dimensi kolom = 1000 x 850 mm

Mutu beton (f_c) = 30 MPa

Mutu baja tulangan (f_y) = 420 MPa

Tinggi kolom = 4000 mm

Selimut beton = 40 mm

Diameter tulangan utama = D25 mm

Diameter tulangan sengkang = D13 mm

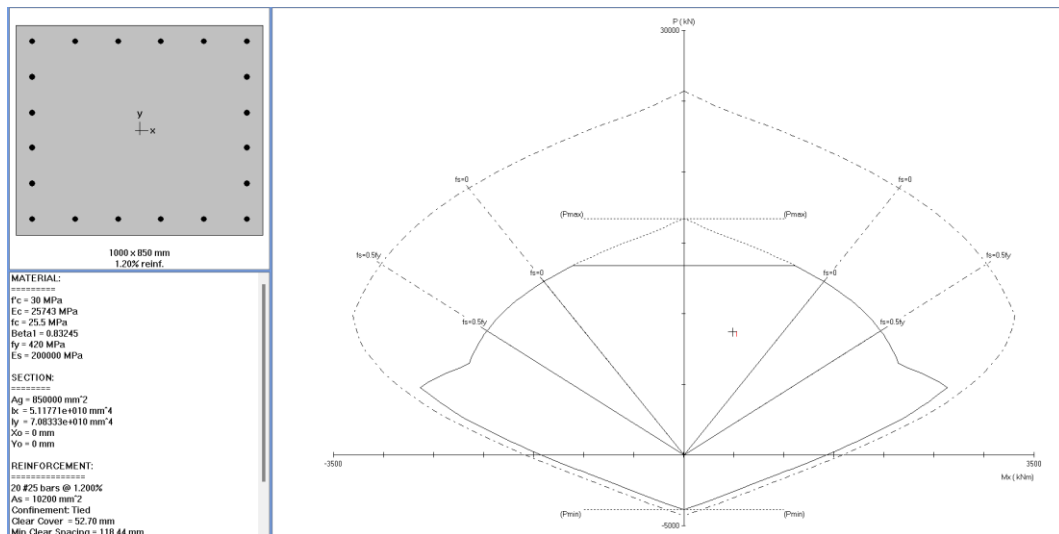
$d = 1000 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 934,5 \text{ mm}$

Direncanakan kolom pedestal dengan diperoleh gaya-gaya dalam berdasarkan output pemodelan 3D dengan program SAP 2000 v.19 pada elemen no.1432 sebagai berikut :

$N_u = 8703573,04 \text{ N}$

$V_u = 140440,4 \text{ N}$

$M_u = 489776434 \text{ Nmm}$



Gambar 7. 26 Diagram Interaksi Mn-Pn Kuat Rencana Kolom Pedestal

Berdasarkan hasil *output* analisa menggunakan *spColumn*, untuk menentukan luas tulangan yang dibutuhkan kolom pedestal melalui diagram interaksi Mn-Pn seperti pada Gambar 7.26. Dipakai tulangan longitudinal kolom 20-D25 mm dengan luas tulangan $A_s = 10200 \text{ mm}^2$ dan $A_g = 850000 \text{ mm}^2$. Tulangan tersebut telah memenuhi persyaratan sesuai peraturan SNI 2847-2019 pasal 18.7.4.1 Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ dan tidak boleh dari $0,06A_g$. Berdasarkan peraturan SNI 2847-2019 pasal 22.4.2.2 untuk komponen nonprategang dan komponen komposit baja-beton, gaya aksial terfaktor (N_u) tidak boleh melebihi persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \phi P_{n(\max)} &= 0,80 \times \phi \times (0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}) \\ &= 0,80 \times 0,75 \times (0,85 \times 30 \times (850000 - 10200) + 250 \times 10200) \\ &= 14378940 \text{ N} > N_u = 8703573,04 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Karena gaya N_u tidak melebihi nilai dari $\phi P_{n(\max)}$, maka gaya N_u diperbolehkan memakai hasil dari *output* program bantu SAP 2000 v.19.

Tulangan Geser Untuk Beban Geser

Kuat geser (V_c) dihitung mengacu pada peraturan SNI 2847-2019 pasal 22.5.7.1 untuk komponen struktur non prategang yang dibebani tekan aksial adalah :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{3,5 \times A_g} \right) \times (\sqrt{f'_c}) \times b_w \times d$$

Besaran N_u/A_g harus dinyatakan dalam MPa (Nmm)

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{8703573,04}{3,5 \times 850000} \right) \times \sqrt{30} \times 750 \times 934,5 = 2561845,47 \text{ N}$$

Mengacu pada peraturan SNI 2847-2019 pasal 22.5.10.5.13 pada kolom pedestal digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, maka :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

Nilai A_v adalah luas tulangan geser yang berada dalam rentang jarak s , dengan diameter sengkang D13, direncanakan menggunakan 2 kaki, maka nilai A_v :

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \right) = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{265,46 \times 250 \times 934,5}{150} = 413453,95 \text{ N}$$

Kontrol Geser

$$0,5 \times \phi \times (V_c + V_s) \geq V_u \text{ kolom}$$

$$0,5 \times 0,75 \times (2561845,47 + 413453,95) \geq V_u \text{ kolom}$$

$$1115737,28 \text{ N} > V_u \text{ kolom} = 140440,4 \text{ N (OK)}$$

Sesuai dengan peraturan SNI 2847-2019 pasal 22.5.10.1 sengkang harus dipasang sepanjang

$$\text{bentang dengan spasi tidak melebihi } \frac{d}{2} = \frac{934,5}{2} = 467,25 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan sengkang D13 – 150 mm.