

BAB VII

PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

Struktur primer merupakan elemen utama dalam suatu bangunan yang 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 tugas akhir dilakukan menggunakan pemodelan 3D melalui program SAP2000 v.14. Perencanaan struktur primer mengacu pada SNI 1726-2019 mengenai gempa dan SNI 1729-2020 mengenai peraturan untuk bangunan gedung baja struktural. Dalam perencanaan struktur primer ini juga termasuk untuk perencanaan bresing dan balok *link* untuk struktur rangka bresing eksentris tipe split-K.

7.1 Perencanaan Balok Induk

Pada perencanaan struktur gedung perkantoran Civton balok induk akan direncanakan sebagai struktur komposit, dimana balok akan menggunakan baja WF dan plat atap akan menggunakan beton bertulang. Metode pelaksanaan yang digunakan dalam perencanaan struktur komposit adalah metode *Shored Construction*, yaitu beban-beban yang terjadi pada balok komposit yang kemudian dibebankan kepada penopang sementara (perancah) dengan tipe perancah *supported scaffolds* selama beton belum mampu menahan beban termasuk berat sendiri. Pada perencanaan balok induk atap dan lantai, beban-beban yang diperhitungkan hanya beban-beban yang terjadi setelah struktur komposit.

Gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok induk diperoleh dengan menggunakan program bantu SAP2000 v.14 dengan berdasarkan pada SNI 1729-2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, dan untuk peraturan untuk input pembebanan yang terjadi pada balok induk berdasarkan 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.

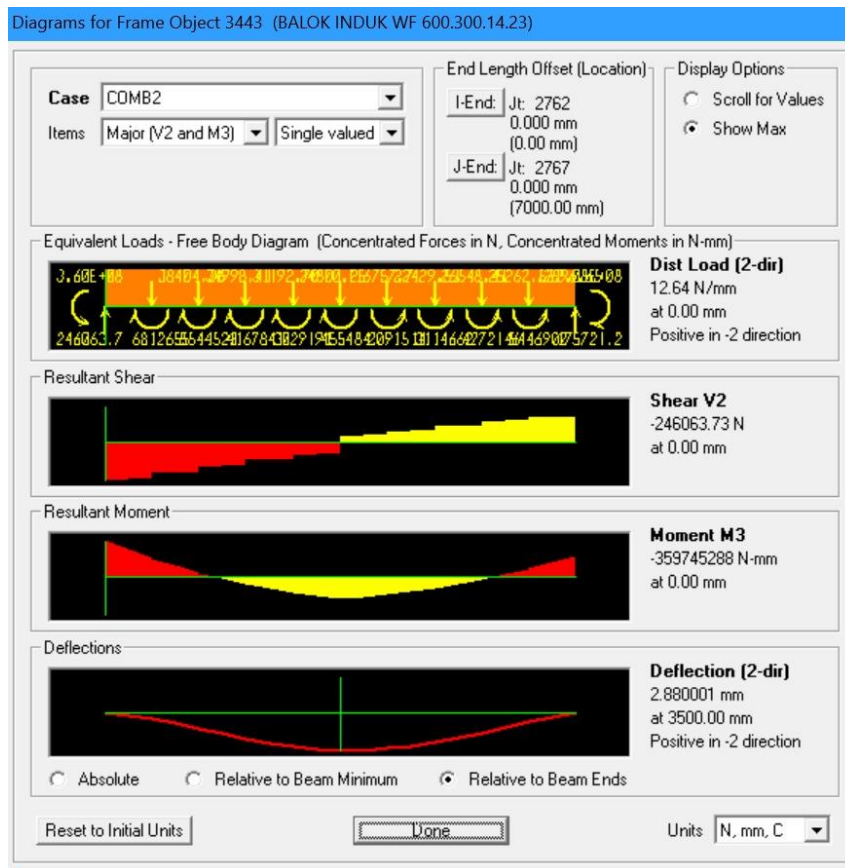
7.1.1 Perencanaan Balok Induk Atap

Balok induk atap yang ditinjau untuk direncanakan adalah balok induk memanjang as A, B, C, D, E, dan F (1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10).

Direncanakan balok induk atap menggunakan dimensi profil WF 600.300.14.23 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat profil, W	= 175 kg/m
Lebar sayap, bf	= 302 mm
Tinggi profil, d	= 594 mm
Momen Inersia, Ix	= 1370000000 mm ⁴
Momen Inersia, Iy	= 106000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, rx	= 249 mm
Jari-jari kelembaman, ry	= 69 mm
Zx	= 4620000 mm ³ x 1,5 = 6930000 mm ³
Zy	= 701000 mm ³ x 1,5 = 1051500 mm ³

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam untuk balok induk atap berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 v.14 sebagai berikut:



Gambar 7. 1 Output SAP2000 v.14 pada Balok Induk Atap

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam untuk balok induk atap berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 v.14 sebagai berikut:

$$M_u = 359745288 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 246063,73 \text{ N}$$

$$\delta = 2,88 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{302}{2 \times 23} = 6,57 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang :

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 594 - 2 \times (28 + 23) = 584 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{584}{14} = 41,71 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Batasan Bentang Pengaku Lateral

Rencana pengaku lateral akan dipasang pada balok induk setiap jarak 1,75 m, $L = 1,75 \text{ m}$

Batas maksimum jarak pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 69 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 3434,84 \text{ mm} = 3,4 \text{ m}$$

Karena $L = 1,75 \text{ m} < L_p = 3,4 \text{ m}$ maka termasuk bentang pendek

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

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

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 6930000 \times 250 = 1732500000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = \phi \times M_{nx} = 0,9 \times 1732500000 = 1559250000 \text{ Nmm}$$

Syarat:

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

$$1559250000 \text{ Nmm} > 359745288 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol Geser

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

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

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

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

$$\frac{584}{14} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$41,71 \leq 71,90$$

Nilai C_{v1} diperoleh = 1,0

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{v1} \\ &= 0,6 \times 250 \times (594 \times 14) \times 1,0 \\ &= 1247400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi \times V_n = 0,9 \times 1247400 = 1122660 \text{ N}$$

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

$$V_{ux} \text{ profil} = 1122660 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 246063,73 \text{ N (OK)}$$

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar:

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

Nilai defleksi atau lendutan yang terjadi pada balok induk atap dengan dimensi WF 600.300.14.23 didapat 2,88 mm, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 19,44 \text{ mm} > 2,88 \text{ mm (OK)}$$

Maka lendutan yang terjadi pada profil WF 600.300.14.23 telah memenuhi persyaratan untuk defleksi sehingga profil dapat digunakan sebagai balok induk atap.

Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral penampang komposit diuraikan pada Tabel 7.1 dan terlihat seperti Gambar 7.2

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

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

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

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

Menghitung lebar efektif b_e untuk balok induk atap:

$$L = 7000 \text{ mm}$$

$$b_o = \text{jarak antara balok induk} = 5000 \text{ mm}$$

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

$$b_e = \frac{b_o}{2} = \frac{5000}{2} = 2500 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai terkecil dari lebar efektif, $b_e = 875$ mm

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{b_e}{n} = \frac{875}{7} = 125 \text{ mm}$$

Tabel 7. 1 Penentuan Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Atap

	Luas Transformasi ($A \text{ mm}^2$)	Lengan Momen y (mm)	$A \times y$ (mm^3)
Plat Beton	$A_c = \frac{(875 \times 120)}{7} = 15000$	$\frac{120}{2} = 60$	900000
Pofil Baja WF	22240	$120 + \frac{594}{2} = 417$	9274080
Σ	45914,3		10174080

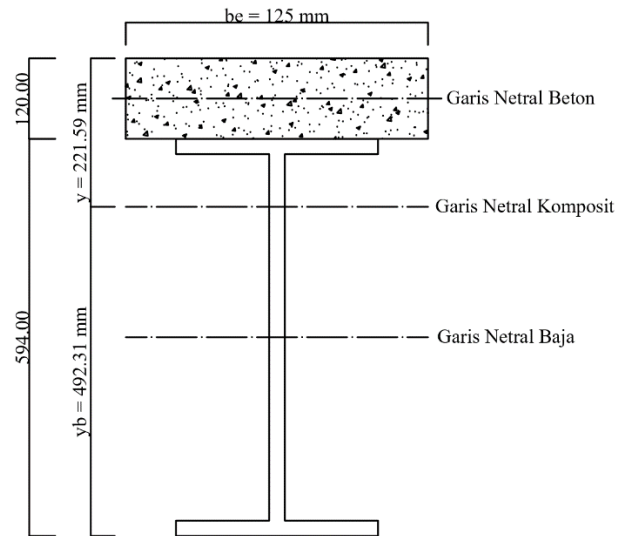
Maka letak garis netral penampang:

$$y = \frac{\Sigma A \times y}{\Sigma A} = \frac{10174080}{45914,3} = 221,59 \text{ mm} > \frac{t_p}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm (OK) garis netral pada penampang}$$

baja

Menentukan momen inersia komposit, Itr:

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_{\text{profil}} + A_{\text{profil}} \times \left(\frac{h_{\text{profil}}}{2} + t_p - y \right)^2 + I_{\text{beton}} + A_{\text{beton}} \times \left(y - \frac{t_p}{2} \right)^2 \\
 &= 1370000000 + 22240 \times \left(\frac{594}{2} + 120 - 221,59 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \times 125 \times 120^3 \right) + 15000 \times \\
 &\quad \left(221,59 - \frac{120}{2} \right)^2 \\
 &= 2628905836,04 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$



Gambar 7. 2 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Atap

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut:

Modulus penampang beton:

$$W_c \text{ atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{2628905836,04}{221,59} = 11863828,86 \text{ mm}^3$$

$$W_c \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y - \frac{t_p}{2}} = \frac{2628905836,04}{221,59 - \frac{120}{2}} = 16268988,40 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja:

$$W_s \text{ atas} = W_c \text{ bawah penampang beton} = 16268988,40 \text{ mm}^3$$

$$W_s \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{2628905836,04}{492,31} = 5339939,95 \text{ mm}^3$$

Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton:

$$f_{ca} = \frac{M_{maks}}{n \times W_c \text{ atas}} = \frac{359745288}{7 \times 11863828,86} = 4,3 \text{ MPa}$$

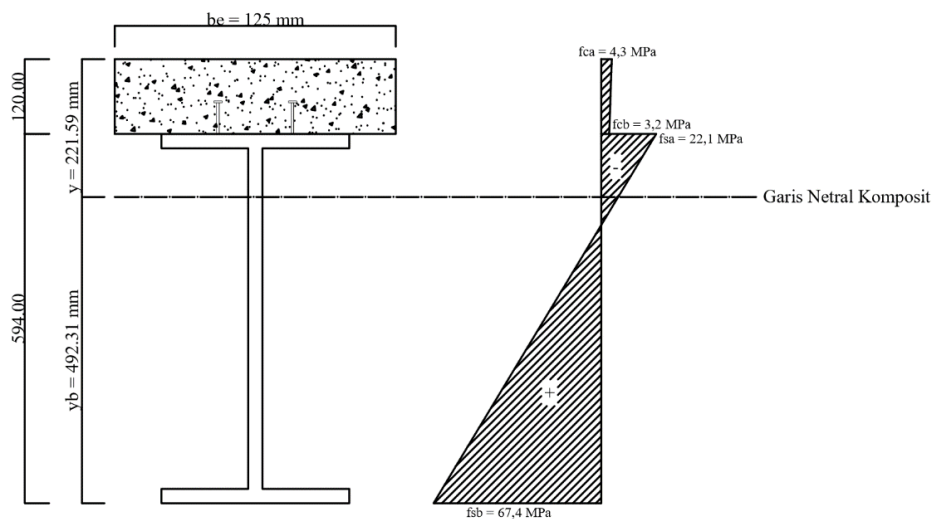
$$f_{cb} = \frac{M_{maks}}{n \times W_c \text{ bawah}} = \frac{359745288}{7 \times 16268988,40} = 3,2 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja:

$$f_{sa} = \frac{M_{maks}}{W_s \text{ atas}} = \frac{359745288}{16268988,40} = 22,1 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{maks}}{W_s \text{ bawah}} = \frac{359745288}{5339939,95} = 67,4 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit pada balok induk atap dapat dilihat pada Gambar 7.3



Gambar 7. 3 Diagram Tegangan Komposit pada Balok Induk Atap

Periksa Kekuatan Lentur Nominal (Mn)

Menentukan gaya tekan beton C:

Keseimbangan gaya C = T

$$T = A_s \times F_y$$

$$\text{Maka, } C = T = A_s \times F_y = 22240 \times 250 = 5560000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \times A_c \times f_c = 0,85 \times (875 \times 120) \times 35 = 3123750 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang terkecil, C = 3123750 N

Menentukan sumbu netral a:

Asumsi a berada di plat beton, sehingga:

$$a = \frac{C}{0,85 \times f_c \times b_e} = \frac{3123750}{0,85 \times 35 \times 875} = 120 \text{ mm} = t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada plat beton

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{594}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 357 \text{ mm}$$

Kuat lentur nominal:

$$M_n = C \times y = T \times y = 3123750 \times 357 = 1115178750 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,85 \times 1115178750 = 947901937,5 \text{ Nmm}$$

Syarat : $M_u = 947901937,5 \text{ Nmm} > M_u \text{ beban bekerja} = 359745288 \text{ Nmm}$ (OK)

Maka profil baja WF 600.300.14.23 mampu untuk menahan persyaratan beban lentur.

Menentukan *Shear Connector*

Rencana menggunakan *shear connector* dengan tipe stud $\frac{1}{2}$ " x 5 cm dengan mutu baja BJ 41 dan mutu beton $f_c = 35 \text{ MPa}$

Luas stud:

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah stud:

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

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

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

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

Perhitungan jumlah stud yang dibutuhkan

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \times f_c \times a \times b_e = 0,85 \times 35 \times 120 \times 875 = 3123750 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{3123750}{51938,8} = 60,12 \sim 61 \text{ buah pada } \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

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

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

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

Jumlah stud yang akan dipasang dalam 1 bentang adalah:

$$n = 61 \times 2 = 122 \text{ buah}$$

dengan jarak antar stud:

$$S = \frac{7000}{61} = 114,75 \text{ mm} \sim 115 \text{ mm}$$

Syarat : $S_{min} < S < S_{maks} = 76,2 < 115 \text{ mm} < 960 \text{ mm}$ (OK)

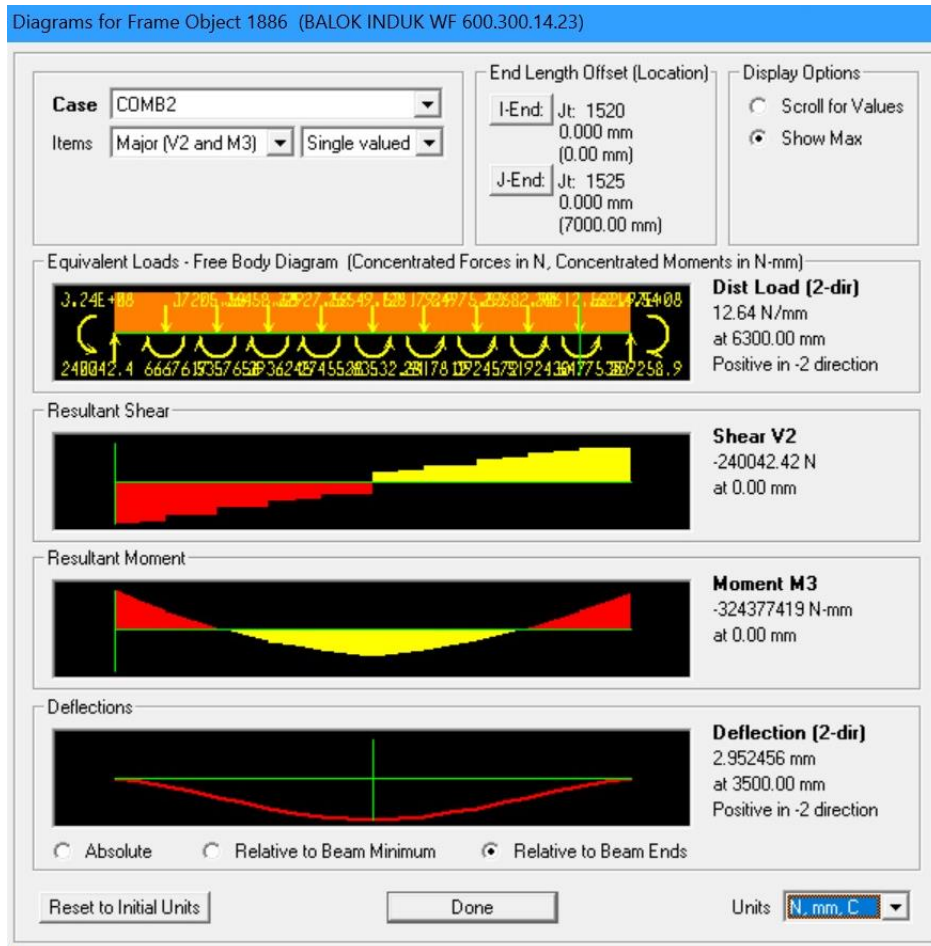
7.1.2 Perencanaan Balok Induk Lantai

Balok induk lantai yang ditinjau untuk direncanakan adalah balok induk memanjang as A, B, C, D, E, dan F (1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10).

Direncanakan balok induk lantai menggunakan dimensi profil WF 600.300.14.23 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat profil, W	= 175 kg/m
Lebar sayap, bf	= 302 mm
Tinggi profil, d	= 594 mm
Momen Inersia, Ix	= 1370000000 mm ⁴
Momen Inersia, Iy	= 106000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, rx	= 249 mm
Jari-jari kelembaman, ry	= 69 mm
Zx	= 4620000 mm ³ x 1,5 = 6930000 mm ³
Zy	= 701000 mm ³ x 1,5 = 1051500 mm ³

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam untuk balok induk lantai berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 v.14 sebagai berikut:



Gambar 7. 4 Output SAP2000 v.14 pada Balok Induk Lantai

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam untuk balok induk lantai berdasarkan hasil analisa pemodelan struktur 3D dengan program SAP2000 v.14 sebagai berikut:

$$M_u = 324377419 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 240042,42 \text{ N}$$

$$\delta = 2,95 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{302}{2 \times 23} = 6,57 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + tf) = 594 - 2 \times (28 + 23) = 584 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{584}{14} = 41,71 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Batasan Bentang Pengaku Lateral

Rencana pengaku lateral akan dipasang pada balok induk setiap jarak 1,75 m, $L = 1,75 \text{ m}$

Batas maksimum jarak pengaku lateral, L_p :

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 69 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 3434,84 \text{ mm} = 3,4 \text{ m}$$

Karena $L = 1,75 \text{ m} < L_p = 3,4 \text{ m}$ maka termasuk bentang pendek

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

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

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 6930000 \times 250 = 1732500000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = \phi \times M_{nx} = 0,9 \times 1732500000 = 1559250000 \text{ Nmm}$$

Syarat:

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

$$1559250000 \text{ Nmm} > 324377419 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol Geser

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

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

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

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

$$\frac{584}{14} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$41,71 \leq 71,90$$

Nilai C_{V1} diperoleh = 1,0

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times C_{V1} \\ &= 0,6 \times 250 \times (594 \times 14) \times 1,0 \\ &= 1247400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\emptyset \times V_n = 0,9 \times 1247400 = 1122660 \text{ N}$$

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

$$V_{ux} \text{ profil} = 1122660 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 240042,42 \text{ N (OK)}$$

Kontrol Defleksi

Defleksi yang diijinkan untuk balok pemikul dinding sebesar:

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

Nilai defleksi atau lendutan yang terjadi pada balok induk lantai dengan dimensi WF 600.300.14.23 didapat 2,95 mm, sehingga:

$$f_{ijin} > f_{terjadi} = 19,44 \text{ mm} > 2,95 \text{ mm (OK)}$$

Maka lendutan yang terjadi pada profil WF 600.300.14.23 telah memenuhi persyaratan untuk defleksi sehingga profil dapat digunakan sebagai balok induk lantai.

Periksa Tegangan Komposit

Untuk perhitungan penentuan garis netral penampang komposit diuraikan pada Tabel 7.2 dan terlihat seperti Gambar 7.5

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

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

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

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

Menghitung lebar efektif b_e untuk balok induk lantai:

$$L = 7000 \text{ mm}$$

bo = jarak antara balok induk = 5000 mm

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

$$be = \frac{bo}{2} = \frac{5000}{2} = 2500 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai terkecil dari lebar efektif, $be = 875 \text{ mm}$

$$\text{Lebar efektif ekivalen baja} = \frac{be}{n} = \frac{875}{7} = 125 \text{ mm}$$

Tabel 7. 2 Penentuan Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Lantai

	Luas Transformasi (A mm ²)	Lengan Momen y (mm)	A x y (mm ³)
Plat Beton	$A_c = \frac{(875 \times 120)}{7} = 15000$	$\frac{120}{2} = 60$	900000
Pofil Baja WF	22240	$120 + \frac{594}{2} = 417$	9274080
Σ	45914,3		10174080

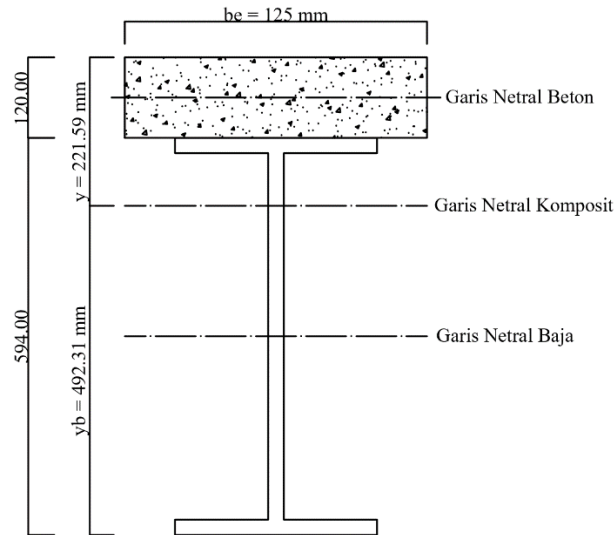
Maka letak garis netral penampang:

$$y = \frac{\Sigma A \times y}{\Sigma A} = \frac{10174080}{45914,3} = 221,59 \text{ mm} > \frac{tp}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm (OK) garis netral pada penampang}$$

baja

Menentukan momen inersia komposit, Itr:

$$\begin{aligned} I_{tr} &= I_{\text{profil}} + A_{\text{profil}} \times \left(\frac{h_{\text{profil}}}{2} + tp - y \right)^2 + I_{\text{beton}} + A_{\text{beton}} \times \left(y - \frac{tp}{2} \right)^2 \\ &= 1370000000 + 22240 \times \left(\frac{594}{2} + 120 - 221,59 \right)^2 + \left(\frac{1}{12} \times 125 \times 120^3 \right) + 15000 \times \\ &\quad \left(221,59 - \frac{120}{2} \right)^2 \\ &= 2628905836,04 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 7.5 Letak Garis Netral Penampang Komposit Balok Induk Lantai

Menentukan modulus penampang (W) dapat dihitung sebagai berikut:

Modulus penampang beton:

$$Wc \text{ atas} = \frac{I_{tr}}{y} = \frac{2628905836,04}{221,59} = 11863828,86 \text{ mm}^3$$

$$Wc \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y - \frac{tp}{2}} = \frac{2628905836,04}{221,59 - \frac{120}{2}} = 16268988,40 \text{ mm}^3$$

Modulus penampang baja:

$$Ws \text{ atas} = Wc \text{ bawah penampang beton} = 16268988,40 \text{ mm}^3$$

$$Ws \text{ bawah} = \frac{I_{tr}}{y_b} = \frac{2628905836,04}{492,31} = 5339939,95 \text{ mm}^3$$

Perhitungan Tegangan Kondisi Setelah Komposit

Tegangan pada beton:

$$f_{ca} = \frac{M_{maks}}{n \times Wc \text{ atas}} = \frac{324377419}{7 \times 11863828,86} = 3,9 \text{ MPa}$$

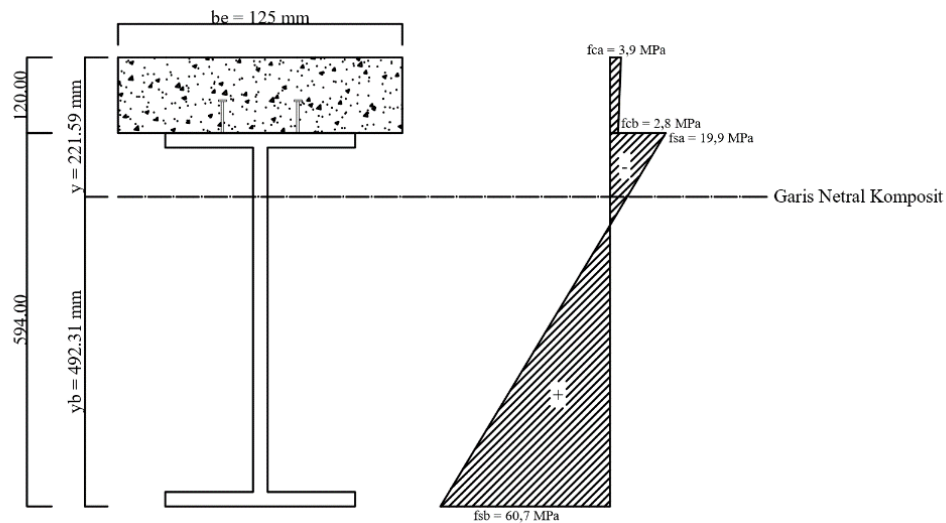
$$f_{cb} = \frac{M_{maks}}{n \times Wc \text{ bawah}} = \frac{324377419}{7 \times 16268988,40} = 2,8 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja:

$$f_{sa} = \frac{M_{maks}}{Ws \text{ atas}} = \frac{324377419}{16268988,40} = 19,9 \text{ MPa}$$

$$f_{sb} = \frac{M_{maks}}{Ws \text{ bawah}} = \frac{324377419}{5339939,95} = 60,7 \text{ MPa}$$

Diagram tegangan komposit pada balok induk lantai dapat dilihat pada Gambar 7.6



Gambar 7. 6 Diagram Tegangan Komposit pada Balok Induk Lantai

Periksa Kekuatan Lentur Nominal (M_n)

Menentukan gaya tekan beton C:

Keseimbangan gaya $C = T$

$$T = A_s \times F_y$$

$$\text{Maka, } C = T = A_s \times F_y = 22240 \times 250 = 5560000 \text{ N}$$

$$C = 0,85 \times A_c \times f_c = 0,85 \times (875 \times 120) \times 35 = 3123750 \text{ N}$$

Diambil nilai gaya tekan beton yang terkecil, $C = 3123750 \text{ N}$

Menentukan sumbu netral a:

Asumsi a berada di plat beton, sehingga:

$$a = \frac{C}{0,85 \times f_c \times b_e} = \frac{3123750}{0,85 \times 35 \times 875} = 120 \text{ mm} = t_p = 120 \text{ mm (OK)}$$

Sumbu netral a masih terletak pada plat beton

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

$$y = \frac{d}{2} + t_p - \frac{a}{2} = \frac{594}{2} + 120 - \frac{120}{2} = 357 \text{ mm}$$

Kuat lentur nominal:

$$M_n = C \times y = T \times y = 3123750 \times 357 = 1115178750 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,85 \times 1115178750 = 947901937,5 \text{ Nmm}$$

$$\text{Syarat : } M_u = 947901937,5 \text{ Nmm} > M_u \text{ beban bekerja} = 324377419 \text{ Nmm (OK)}$$

Maka profil baja WF 600.300.14.23 mampu untuk menahan persyaratan beban lentur.

Menentukan *Shear Connector*

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

Luas stud:

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

Perhitungan kekuatan geser untuk 1 buah stud:

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

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

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

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

Perhitungan jumlah stud yang dibutuhkan

$$\text{Beban geser, } V_h = 0,85 \times f_c \times a \times b_e = 0,85 \times 35 \times 120 \times 875 = 3123750 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{3123750}{51938,8} = 60,12 \sim 61 \text{ buah pada } \frac{1}{2} \text{ bentang}$$

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

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

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

Jumlah stud yang akan dipasang dalam 1 bentang adalah:

$$n = 61 \times 2 = 122 \text{ buah}$$

dengan jarak antar stud:

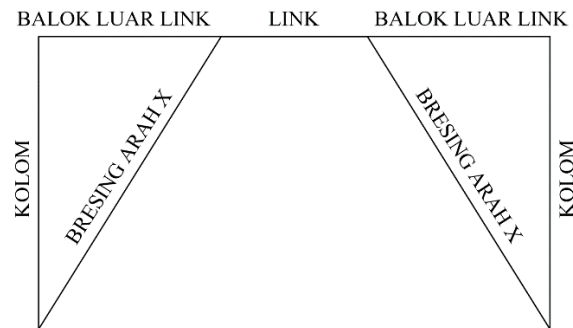
$$S = \frac{7000}{61} = 114,75 \text{ mm} \sim 115 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } S_{min} < S < S_{maks} = 76,2 < 115 \text{ mm} < 960 \text{ mm (OK)}$$

7.2 Perencanaan *Link*

Balok *Link* merupakan elemen utama

7.2.1 Perencanaan *Link* Arah X



Gambar 7.7 Elemen *Link* Arah X

Direncanakan balok *link* akan menggunakan profil WF 600.300.14.23 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat profil, W	= 175 kg/m
Lebar sayap, bf	= 302 mm
Tinggi profil, d	= 594 mm
Momen Inersia, Ix	= 1370000000 mm ⁴
Momen Inersia, Iy	= 106000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, rx	= 249 mm
Jari-jari kelembaman, ry	= 69 mm
Zx	= 4620000 mm ³ x 1,5 = 6930000 mm ³
Zy	= 701000 mm ³ x 1,5 = 1051500 mm ³

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam untuk balok *link* berdasarkan hasil analisa pemodelan atruktur 3D dengan program SAP2000 v.14 sebagai berikut:

$$M_u = 40766295 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 49189,46 \text{ N}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{bf}{2 \times tf} = \frac{302}{2 \times 23} = 6,57 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + tf) = 594 - 2 \times (28 + 23) = 584 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{584}{14} = 41,71 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Panjang Balok *Link*

$$M_p = Z_x \times F_y = 6930000 \times 250 = 1732500000$$

$$V_p = 0,6 \times F_y (d - 2tf) \times tw = 0,6 \times 250 (594 - 2(23)) \times 14 = 1150800$$

$$e = 1,6 \times \frac{M_p}{V_p} = 1,6 \times \frac{1732500000}{1150800} = 2408,76 \text{ mm} > \text{link rencana} = 2000 \text{ mm}$$

Maka termasuk dalam kategori *link* geser (*short link*)

Kontrol Geser

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal F.3.5b.2 kuat geser nominal *link* harus diambil nilai terkecil dari V_p atau M_p/e .

$$\frac{2M_p}{e} = \frac{2 \times 1732500000}{2000} = 1732500 \text{ N}$$

$$V_p = 0,6 \times F_y (d - 2tf) \times tw = 0,6 \times 250 (594 - 2(23)) \times 14 = 1150800 \text{ N}$$

Maka kuat geser nominal digunakan $V_n = 1150800 \text{ N}$

$$V_{ux} = \emptyset. V_n = 0,9 \times 1150800 = 1035720 \text{ N}$$

Syarat: $V_{ux} \text{ profil} > V_{ux} \text{ beban}$

$$1035720 \text{ N} > 49189,46 \text{ N (OK, Profil aman terhadap geser)}$$

Kontrol Sudut Rotasi *Link*

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal F.3.4a sudut rotasi *link* diijinkan sebesar 0,08 rad untuk *link* geser (*short link*)

$$\Delta e \times C_d = 3,31 \times 4 = 13,24 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{L}{e} \times \theta_p = \frac{7000}{2000} \times \frac{13,24}{4000} = 0,012 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,012 \text{ rad} < \alpha_{ijin} = 0,08 \text{ rad (OK)}$$

Perencanaan Pengaku *Link*

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal F.3.5b.4 titik pertemuan dengan batang bresing pada *link*, harus dipasang pengaku setinggi badan *link* dan berada di kedua sisi plat 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 10 mm , bf dan tw merupakan lebar plat sayap dan tebal plat badan *link*.

Untuk pengaku dengan panjang *link* $< 1,6 \frac{M_P}{V_P}$ harus direncanakan memiliki pengaku antara dengan jarak interval yang tidak melebihi perumusan berikut:

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

$$S = 30 tw - \frac{d}{5} = 30 (14) - \frac{594}{5} = 301,2\text{ mm} = 0,30\text{ m}$$

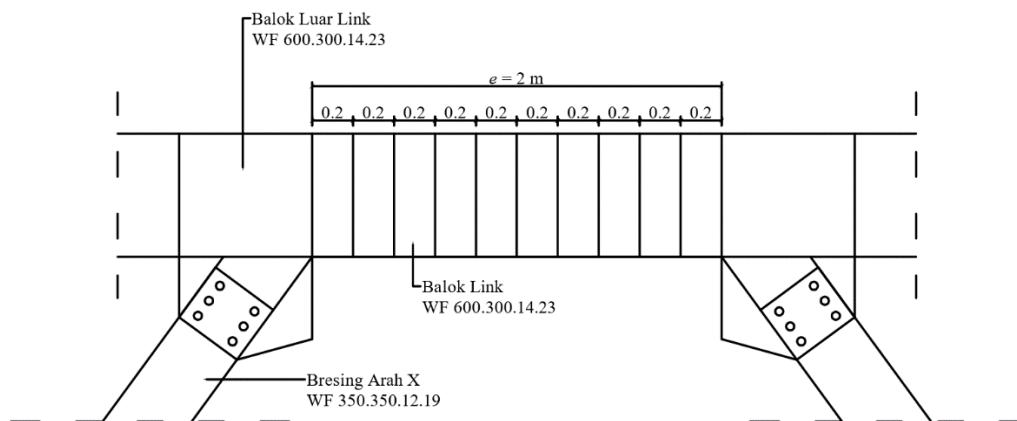
Untuk sudut rotasi $\leq 0,02\text{ rad}$

$$S = 52 tw - \frac{d}{5} = 52 (14) - \frac{594}{5} = 609,2\text{ mm} = 0,60\text{ m}$$

Untuk sudut rotasi *link* $\alpha = 0,012\text{ rad}$. Maka, dilakukan interpolasi

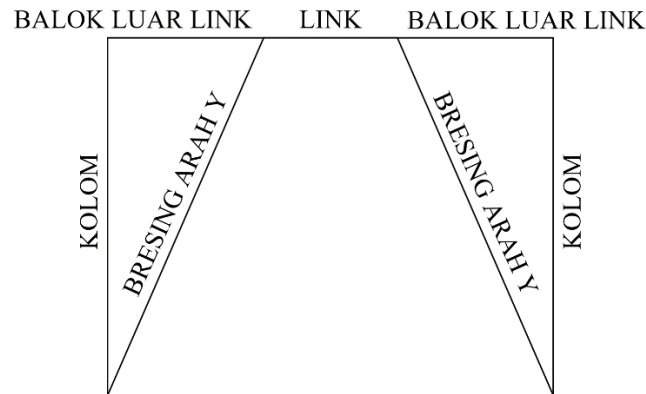
$$S = 0,6 - \left(\frac{0,04 - 0,02}{0,08 - 0,02} \right) \times (0,6 - 0,3) = 0,5\text{ m}$$

Direncanakan pasang pengaku jarak $0,2\text{ m} < 0,5\text{ m}$ (OK)



Gambar 7. 8 Jarak Pengaku *Link* Arah X

7.2.2 Perencanaan *Link* Arah Y



Gambar 7.9 Elemen *Link* Arah Y

Direncanakan balok *link* akan menggunakan profil WF 600.300.14.23 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat profil, W	= 175 kg/m
Lebar sayap, bf	= 302 mm
Tinggi profil, d	= 594 mm
Momen Inersia, I _x	= 1370000000 mm ⁴
Momen Inersia, I _y	= 106000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, r _x	= 249 mm
Jari-jari kelembaman, r _y	= 69 mm
Z _x	= 4620000 mm ³ x 1,5 = 6930000 mm ³
Z _y	= 701000 mm ³ x 1,5 = 1051500 mm ³

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam untuk balok *link* berdasarkan hasil analisa pemodelan atruktur 3D dengan program SAP2000 v.14 sebagai berikut:

$$M_u = 47899174 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 44502,36 \text{ N}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{bf}{2 \times tf} = \frac{302}{2 \times 23} = 6,57 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + tf) = 594 - 2 \times (28 + 23) = 584 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{tw} = \frac{584}{14} = 41,71 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Panjang Balok *Link*

$$M_p = Z_x \times F_y = 6930000 \times 250 = 1732500000$$

$$V_p = 0,6 \times F_y (d - 2tf) \times tw = 0,6 \times 250 (594 - 2(23)) \times 14 = 1150800$$

$$e = 1,6 \times \frac{M_p}{V_p} = 1,6 \times \frac{1732500000}{1150800} = 2408,76 \text{ mm} > \text{link rencana} = 1500 \text{ mm}$$

Maka termasuk dalam kategori *link* geser (*short link*)

Kontrol Geser

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal F.3.5b.2 kuat geser nominal *link* harus diambil nilai terkecil dari V_p atau M_p/e .

$$\frac{2M_p}{e} = \frac{2 \times 1732500000}{1500} = 2310000 \text{ N}$$

$$V_p = 0,6 \times F_y (d - 2tf) \times tw = 0,6 \times 250 (594 - 2(23)) \times 14 = 1150800 \text{ N}$$

Maka kuat geser nominal digunakan $V_n = 1150800 \text{ N}$

$$V_{ux} = \emptyset. V_n = 0,9 \times 1150800 = 1035720 \text{ N}$$

Syarat: $V_{ux} \text{ profil} > V_{ux} \text{ beban}$

$$1035720 \text{ N} > 44502,36 \text{ N (OK, Profil aman terhadap geser)}$$

Kontrol Sudut Rotasi *Link*

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal F.3.4a sudut rotasi *link* diijinkan sebesar 0,08 rad untuk *link* geser (*short link*)

$$\Delta e \times C_d = 3,31 \times 4 = 13,24 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{L}{e} \times \theta_p = \frac{5000}{1500} \times \frac{13,24}{4000} = 0,011 \text{ rad}$$

$$\alpha = 0,011 \text{ rad} < \alpha_{ijin} = 0,08 \text{ rad (OK)}$$

Perencanaan Pengaku *Link*

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal F.3.5b.4 titik pertemuan dengan batang bresing pada *link*, harus dipasang pengaku setinggi badan *link* dan berada di kedua sisi plat 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 10 mm , bf dan tw merupakan lebar plat sayap dan tebal plat badan *link*.

Untuk pengaku dengan panjang *link* $< 1,6 \frac{M_P}{V_P}$ harus direncanakan memiliki pengaku antara dengan jarak interval yang tidak melebihi perumusan berikut:

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

$$S = 30 tw - \frac{d}{5} = 30 (14) - \frac{594}{5} = 301,2\text{ mm} = 0,30\text{ m}$$

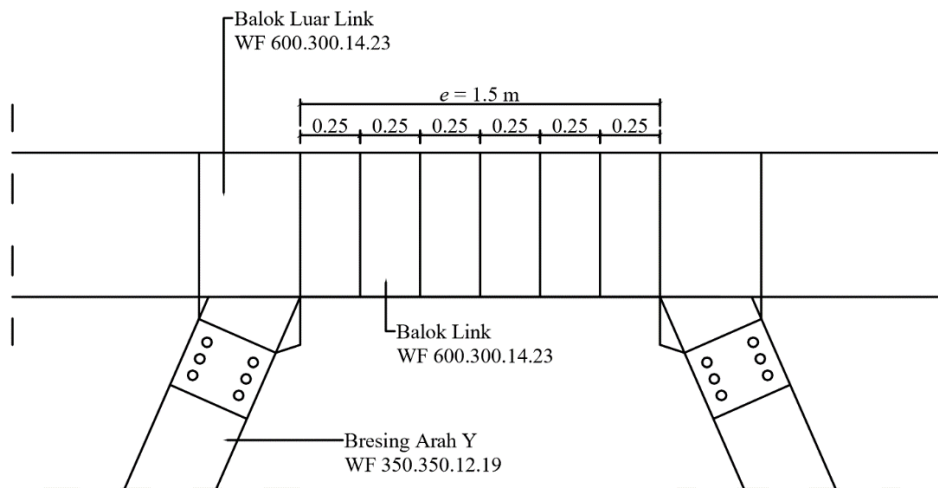
Untuk sudut rotasi $\leq 0,02\text{ rad}$

$$S = 52 tw - \frac{d}{5} = 52 (14) - \frac{594}{5} = 609,2\text{ mm} = 0,60\text{ m}$$

Untuk sudut rotasi *link* $\alpha = 0,012\text{ rad}$. Maka, dilakukan interpolasi

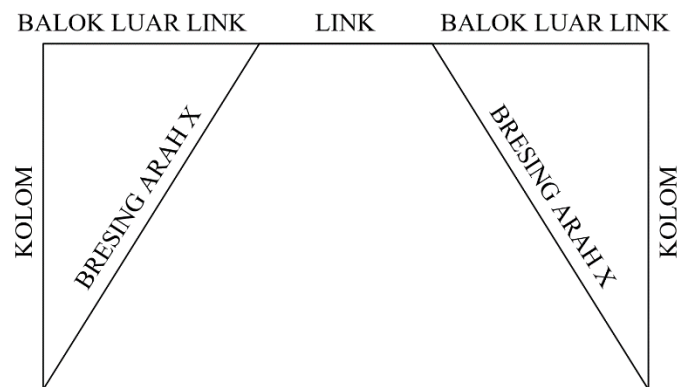
$$S = 0,6 - \left(\frac{0,04 - 0,02}{0,08 - 0,02} \right) \times (0,6 - 0,3) = 0,5\text{ m}$$

Direncanakan pasang pengaku jarak $0,25\text{ m} < 0,5\text{ m}$ (OK)



Gambar 7.10 Jarak Pengaku Link Arah Y

7.3 Perencanaan Balok diluar *Link*



Gambar 7. 11 Balok Luar Link

Direncanakan balok luar *link* akan menggunakan profil WF 600.300.14.23 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat profil, W	= 175 kg/m
Lebar sayap, bf	= 302 mm
Tinggi profil, d	= 594 mm
Momen Inersia, Ix	= 1370000000 mm ⁴
Momen Inersia, Iy	= 106000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, rx	= 249 mm
Jari-jari kelembaman, ry	= 69 mm
Zx	= 4620000 mm ³ x 1,5 = 6930000 mm ³
Zy	= 701000 mm ³ x 1,5 = 1051500 mm ³

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam untuk balok *link* berdasarkan hasil analisa pemodelan atruktur 3D dengan program SAP2000 v.14 sebagai berikut:

$$M_u = 46638945 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 53941,86 \text{ N}$$

Kuat perlu balok luar *link* harus ditentukan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan paling tidak 1,1 kali kuat geser nominal *link* sebesar $R_y \cdot V_n$ dan kuat rencana balok luar *link* dapat ditentukan menggunakan rumusan kuat rencana yang dihitung dan mengalikannya dengan faktor R_y .

$$V_u = 1,1 \times R_y \times V_n$$

$$= 1,1 \times 1,5 \times 1150800 = 1898820 \text{ N}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{302}{2 \times 23} = 6,57 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 594 - 2 \times (28 + 23) = 584 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{584}{14} = 41,71 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

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:

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

$$M_{nx} = Z_x \times F_y = 6930000 \times 250 = 1732500000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ux} = \phi \times M_{nx} = 0,9 \times 1732500000 = 1559250000 \text{ Nmm}$$

Syarat:

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

$$1559250000 \text{ Nmm} > 46638945 \text{ Nmm (OK)}$$

Kontrol Geser

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

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

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

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

$$\frac{584}{14} \leq 1,1 \times \left(\sqrt{5,34 \times \frac{200000}{250}} \right)$$

$$41,71 \leq 71,90$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times A_w \times R_y \\ &= 0,6 \times 250 \times (594 \times 14) \times 1,5 \\ &= 1871100 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi \times V_n = 0,9 \times 1871100 = 1683990 \text{ N}$$

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

$$V_{ux} \text{ profil} = 1683990 \text{ N} > V_{ux} \text{ beban} = 53941,86 \text{ N (OK)}$$

Kontrol Interaksi Geser dan Lentur

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \times \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{46638945}{1559250000} + 0,625 \times \frac{53941,86}{1683990} \leq 1,375$$

$$0,05 \leq 1,375 \text{ (OK)}$$

7.4 Perencanaan Kolom

Pada perencanaan struktur gedung perkantoran Civton, struktur kolom akan direncanakan menggunakan profil baja HC 70. Diketahui profil HC 70 memiliki dimensi 568 x 457 x 70 x 105 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\text{Berat profil} = 953 \text{ kg/m}$$

$$\text{Momen Inersia, } I_x = 5510000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Momen Inersia, } I_y = 1680000000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Jari-jari kelembaman, } r_x = 213 \text{ mm}$$

$$\text{Jari-jari kelembaman, } r_y = 118 \text{ mm}$$

$$Z_x = 19400000 \text{ mm}^3 \times 1,5 = 29100000 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 7360000 \text{ mm}^3 \times 1,5 = 11040000 \text{ mm}^3$$

Diperoleh nilai gaya-gaya dalam dari pemodelan 3D pada program SAP2000 v.14 untuk elemen kolom yaitu sebagai berikut:

$$N_u = 7971827,77 \text{ N}$$

$$V_u = 3045,25 \text{ N}$$

$$\text{Mu1} = 8668210,13 \text{ Nmm}$$

$$\text{Mu2} = 1459022 \text{ Nmm}$$

Aksi Kolom

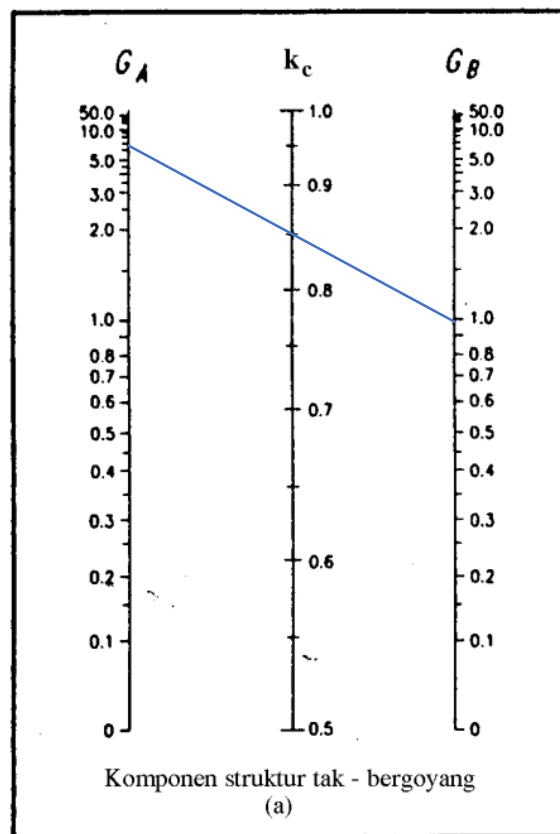
Faktor panjang efektif k_x ditentukan dengan menggunakan faktor G :

Mencari nilai K , G_A dan G_B portal:

$$G_A = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{\text{balok}}} = \frac{\left(\frac{200000 \times 5510000000}{4000}\right)}{\left(\frac{200000 \times 1370000000}{7000}\right)} = 7,04$$

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

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



Gambar 7. 12 Nomogram Nilai k_c untuk Komponen Struktur Tak Bergoyang

(Sumber: SNI 03-1729-2002 Gambar 7.6-2)

Periksa Kelangsingan Kolom

$$L_{kx} = 0,85 \times 4000 = 3400 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cx} = \frac{L_{kx}}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \frac{3400}{213} < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 15,96 < 133,22$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{kc}}{r_x}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{3400}{213}\right)^2} = 7746,96$$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y = \left(0,658 \frac{250}{7746,96}\right) \times 250 = 246,65$$

$$N_n = A_g \times f_{cr} = 121400 \times 246,65 = 29943310 \text{ N}$$

$$N_u = \emptyset \times N_n = 0,85 \times 29943310 = 25451813,5 \text{ N}$$

Syarat: $N_u \text{ profil} > N_u \text{ beban}$

$$25451813,5 \text{ N} > 4808542,71 \text{ N (OK)}$$

Maka, profil baja HC 70 568.457.70.105 mampu untuk menahan beban yang bekerja

Aksi Balok

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{457}{2 \times 105} = 2,18 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang:

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

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

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

Periksa Jarak Pengaku Lateral

Tinggi kolom = 4 m

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

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 118 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 5874,08 \text{ mm} = 5,8 \text{ m}$$

Maka, karena $L = 2 \text{ m} < L_p = 5,8 \text{ m}$ termasuk dalam kategori bentang pendek

Menentukan Kuat Momen Lentur

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

$$M_n = M_p$$

$$M_n = Z_x \times F_y = 29100000 \times 250 = 7275000000 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,9 \times 7275000000 = 6547500000 \text{ Nmm}$$

Pembesaran Momen δ_b

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

$$\frac{k_y \times L_y}{r_y} = \frac{0,7 \times 4000}{118} = 23,73 \text{ (Menentukan)}$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \times E \times A_g}{\left(\frac{K_l}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 121400}{(23,73)^2} = 425594865,5 \text{ N}$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} = 0,6 - 0,4 \frac{1459022}{8668210,13} = 0,53 < 1 \text{ (OK)}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}} = \frac{0,53}{1 - \frac{7971827,77}{425594865,5}} = 0,54 < 1 \text{ (OK)}$$

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

Pembesaran momen:

$$M_{ux} = M_{ntu} = \delta_b \times M_{u2} = 1,0 \times 8668210,13 = 8668210,13 \text{ Nmm}$$

Periksa Kolom

Periksa kekuatan kolom dengan rumus berikut:

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

$$\frac{7971827,77}{2 \times 25451813,5} + \frac{8}{9} \left(\frac{8668210,13}{6547500000} \right) \leq 1,0$$

$$0,158 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

Maka profil baja HC 70 568.457.70.105 dapat digunakan sebagai elemen kolom pada struktur gedung perkantoran Civton.

7.5 Perencanaan Bresing

Berdasarkan pada 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 $R_y V_n$. Kuat rencana batang bresing harus lebih besar daripada kuat perlu elemen *link*, tujuannya adalah untuk menjamin bahwa elemen *link* adalah elemen terlemah dalam struktur.

7.5.1 Perencanaan Bresing Arah X

Direncanakan balok bresing arah X pada struktur gedung ini menggunakan dimensi profil WF 350.350.12.19 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil, W	= 136 kg/m
Lebar Sayap, bf	= 350 mm
Tinggi profil, d	= 350 mm
Momen Inersia, Ix	= 403000000 mm ⁴
Momen Inersia, Iy	= 136000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, rx	= 152 mm
Jari-jari kelembaman, ry	= 88,4 mm
Zx	= 2300000 mm ³ x 1,5 = 34500000 mm ³
Zy	= 776000 x 1,5 = 1164000 mm ³
α	= $\tan^{-1} \left(\frac{4}{2,5} \right) = 57,99^\circ$

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

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times (d - 2t_f) \times t_w \\ &= 0,6 \times 250 \times (350 - 2(19)) \times 12 \\ &= 561600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,25 \times R_y \times V_n \\ &= 1,25 \times 1,5 \times 561600 \\ &= 1053000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ tekan} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1053000}{\sin 57,99^\circ} = 1241810 \text{ N}$$

$$P_u \text{ tarik} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1053000}{\sin 57,99^\circ} = 1241810 \text{ N}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{350}{2 \times 19} = 9,2 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 350 - 2 \times (20 + 19) = 272 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{272}{12} = 22,6 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Syarat Kelangsingan Bresing

$$\text{Panjang bresing } L = \sqrt{2500^2 + 4000^2} = 4716,99 \text{ mm}$$

$$\lambda_k = \frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{1,0 \times 4716,99}{88,4} = 53,36 \text{ mm}$$

$$\lambda_{pk} = \frac{2625}{\sqrt{F_y}} = \frac{2625}{\sqrt{250}} = 166,02 \text{ mm} > \lambda_k = 53,36 \text{ mm}$$

Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tekan

Periksa kelangsingan:

$$\lambda_x = \frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{1,0 \times 4716,99}{152} = 31,03$$

$$\lambda_y = \frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{1,0 \times 4716,99}{88,4} = 53,36 \text{ mm (menentukan)}$$

Kelangsingan

$$\lambda_{cx} = \frac{L_{kx}}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \frac{53,36}{152} < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 0,35 < 133,21$$

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{kc}}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{53,36}{152}\right)^2} = 16017200$$

$$f_{cr} = \left(0,658 \sqrt{\frac{F_y}{f_e}}\right) \times F_y = \left(0,658 \sqrt{\frac{250}{16017200}}\right) \times 250 = 249,99$$

$$N_n = A_g \times f_{cr} = 17390 \times 249,99 = 4347326,1 \text{ N}$$

$$\frac{N_u}{\phi \times N_n} = \frac{1275770,78}{0,85 \times 4347326,1} = 0,34 > 0,2$$

$$\phi \times N_n = 0,85 \times 4347326,1 = 3695227,19 \text{ N}$$

Maka, profil baja WF 350.350.12.19 mampu menahan gaya tekan terfaktor

Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tarik

$$\text{Luas utuh perlu} : A_g = \frac{N_u}{0,9 \times F_y} = \frac{1275770,78}{0,9 \times 250} = 5670,09 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas bersih efektif perlu} : A_e = \frac{N_u}{0,7 \times F_u} = \frac{1275770,78}{0,7 \times 410} = 4445,19 \text{ mm}^2$$

Diambil nilai yang terbesar, $A_g = 5519,16 \text{ mm}^2$. Diketahui nilai $\lambda = 240$ untuk batang primer.

$$r_{\min} = \frac{L}{\lambda} = \frac{4716,99}{240} = 19,65 \text{ mm} < r_y = 88,4 \text{ mm}$$

Kontrol Batas Kelangsingan Batang Tarik

$$\text{Cek kelangsingan} : \lambda = \frac{L}{r_y} = \frac{4716,99}{88,4} = 53,36 \text{ mm} \leq 240 \text{ (OK)}$$

Direncanakan bresing menggunakan alat sambung baut diameter 19 mm

Cek luas penampang:

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - A_{\text{lubang}} \\ &= 5670,09 - 3 \times (19+1) \times (22) \\ &= 4350,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \times A_n \\ &= 0,85 \times 4350,09 \\ &= 3697,57 \text{ mm}^2 < 4445,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya tarik yang mampu diterima batang

Kondisi leleh:

$$\begin{aligned} N_u &= A_g \times (0,9 \times F_y) \\ &= 5670,09 \times (0,9 \times 250) \\ &= 1296020,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi putus:

$$\begin{aligned} N_u &= A_e \times (0,75 \times F_u) \\ &= 4445,19 \times (0,75 \times 410) \\ &= 1366895,93 \text{ N} \end{aligned}$$

Kekuatan profil diambil $N_u \text{ profil} = 1366895,93 \text{ N} > N_u \text{ beban} = 1275770,78 \text{ N}$ (OK)

Maka, profil baja WF 350.350.12.19 mampu menahan gaya tarik terfaktor

Profil WF 350.350.12.19 dapat digunakan sebagai bresing karena dari perhitungan bresing terhadap gaya tekan dan gaya tarik telah memenuhi kontrol yang disyaratkan.

7.5.2 Perencanaan Bresing Arah Y

Direncanakan balok bresing arah X pada struktur gedung ini menggunakan dimensi profil WF 350.350.12.19 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat Profil, W	= 136 kg/m
Lebar Sayap, bf	= 350 mm
Tinggi profil, d	= 350 mm
Momen Inersia, Ix	= 403000000 mm ⁴
Momen Inersia, Iy	= 136000000 mm ⁴
Jari-jari kelembaman, rx	= 152 mm
Jari-jari kelembaman, ry	= 88,4 mm
Zx	= 2300000 mm ³ x 1,5 = 34500000 mm ³
Zy	= 776000 x 1,5 = 1164000 mm ³
α	= $\tan^{-1} \left(\frac{4}{1,75} \right) = 66,37^\circ$

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

$$\begin{aligned}V_n &= 0,6 \times F_y \times (d - 2t_f) \times t_w \\ &= 0,6 \times 250 \times (350 - 2(19)) \times 12 \\ &= 561600 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 1,25 \times R_y \times V_n \\ &= 1,25 \times 1,5 \times 561600 \\ &= 1053000 \text{ N}\end{aligned}$$

$$P_u \text{ tekan} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1053000}{\sin 66,37^\circ} = 1149370 \text{ N}$$

$$P_u \text{ tarik} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{1053000}{\sin 66,37^\circ} = 1149370 \text{ N}$$

Kontrol Kelangsingan Penampang

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

Sayap penampang:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{350}{2 \times 19} = 9,2 < \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,75$$

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

Badan penampang:

$$h = d - 2 \times (r + t_f) = 350 - 2 \times (20 + 19) = 272 \text{ mm}$$

$$\lambda_f = \frac{h}{t_w} = \frac{272}{12} = 22,6 < \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,35$$

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

Syarat Kelangsingan Bresing

$$\text{Panjang bresing } L = \sqrt{1750^2 + 4000^2} = 4366,06 \text{ mm}$$

$$\lambda_k = \frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{1,0 \times 4366,06}{88,4} = 49,39 \text{ mm}$$

$$\lambda_{pk} = \frac{2625}{\sqrt{F_y}} = \frac{2625}{\sqrt{250}} = 166,02 \text{ mm} > \lambda_k = 49,39 \text{ mm}$$

Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tekan

Periksa kelangsingan:

$$\lambda_x = \frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{1,0 \times 4366,06}{152} = 28,72$$

$$\lambda_y = \frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{1,0 \times 4366,06}{88,4} = 49,39 \text{ mm (menentukan)}$$

Kelangsingan

$$\lambda_{cx} = \frac{L_{kx}}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = \frac{49,39}{152} < 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 0,32 < 133,21$$

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{kc}}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{49,39}{152}\right)^2} = 18695600$$

$$f_{cr} = \left(0,658 \sqrt{\frac{F_y}{f_e}}\right) \times F_y = \left(0,658 \sqrt{\frac{250}{18695600}}\right) \times 250 = 249,99$$

$$N_n = A_g \times f_{cr} = 17390 \times 249,99 = 4347326,1 \text{ N}$$

$$\frac{N_u}{\phi \times N_n} = \frac{1316008,07}{0,85 \times 4347326,1} = 0,36 > 0,2$$

$$\phi \times N_n = 0,85 \times 4347326,1 = 3695227,19 \text{ N}$$

Maka, profil baja WF 350.350.12.19 mampu menahan gaya tekan terfaktor

Kapasitas Penampang Terhadap Gaya Tarik

$$\text{Luas utuh perlu} : A_g = \frac{N_u}{0,9 \times F_y} = \frac{1316008,07}{0,9 \times 250} = 5848,92 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas bersih efektif perlu} : A_e = \frac{N_u}{0,7 \times F_u} = \frac{1316008,07}{0,7 \times 410} = 4585,39 \text{ mm}^2$$

Diambil nilai yang terbesar, $A_g = 5108,31 \text{ mm}^2$. Diketahui nilai $\lambda = 240$ untuk batang primer.

$$r_{\min} = \frac{L}{\lambda} = \frac{4366,06}{240} = 18,19 \text{ mm} < r_y = 88,4 \text{ mm}$$

Kontrol Batas Kelangsingan Batang Tarik

$$\text{Cek kelangsingan} : \lambda = \frac{L}{r_y} = \frac{4366,06}{88,4} = 49,39 \text{ mm} \leq 240 \text{ (OK)}$$

Direncanakan bresing menggunakan alat sambung baut diameter 19 mm

Cek luas penampang:

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - A_{\text{lubang}} \\ &= 5848,92 - 3 \times (19+1) \times (22) \\ &= 4528,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_e &= 0,85 \times A_n \\ &= 0,85 \times 4528,92 \\ &= 3849,58 \text{ mm}^2 < 4585,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya tarik yang mampu diterima batang

Kondisi leleh:

$$\begin{aligned} N_u &= A_g \times (0,9 \times F_y) \\ &= 5848,92 \times (0,9 \times 250) \\ &= 1316007 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi putus:

$$\begin{aligned} N_u &= A_e \times (0,75 \times F_u) \\ &= 4585,39 \times (0,75 \times 410) \\ &= 1410007,43 \text{ N} \end{aligned}$$

Kekuatan profil diambil $N_u \text{ profil} = 1410007,43 \text{ N} > N_u \text{ beban} = 1316008,07 \text{ N}$ (OK)

Maka, profil baja WF 350.350.12.19 mampu menahan gaya tarik terfaktor

Profil WF 350.350.12.19 dapat digunakan sebagai bresing karena dari perhitungan bresing terhadap gaya tekan dan gaya tarik 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, ataupun balok dengan kolom. Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya dalam yaitu momen, geser, dan aksial antar komponen-komponen struktur yang disambung. Sambungan yang biasa digunakan adalah berupa sambungan baut dan sambungan las. Pada perencanaan gedung perkantoran civton ini, sambungan yang akan direncanakan yaitu sambungan balok anak dengan balok induk, sambungan balok induk dengan kolom, sambungan kolom dengan kolom, dan sambungan batang bresing. Perencanaan sambungan yang dilakukan mengacu pada SNI 1729-2020 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.

7.6.1 Perencanaan Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk

Balok anak atap dan lantai menggunakan profil yang sama yaitu WF 350.350.14.22 dan direncanakan sambungan dengan balok induk atap dan lantai yaitu WF 600.300.14.23 dengan menggunakan mutu baja BJ 41. Diperoleh hasil gaya geser (V_u) dari program bantu SAP2000 v.14 pada balok anak atap yaitu sebesar 56955,27 N.

Perhitungan Kekuatan Baut

Direncanakan sambungan menggunakan baut ulir dengan diameter 16 mm dan mutu baut A325. Diketahui tegangan putus $f_u^b = 825$ MPa dan direncanakan menggunakan plat penyambung siku L 90.90.10. Kekuatan baut ditentukan berdasarkan kekuatan tumpu dan kekuatan geser baut.

Tahanan tumpu baut pada bagian badan dari balok anak dapat dihitung dengan perumusan berikut:

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

Tahanan geser baut dengan dua bidang geser:

$$\begin{aligned}\phi V_d &= \phi f \times r_1 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,5 \times 825 \times 2 \times \frac{1}{4} (\pi)(16^2) \\ &= 124407,07 \text{ N/baut}\end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil yaitu $\phi R_d = 118080$ N/baut

Perhitungan jumlah baut:

$$n = \frac{56955,27}{118080} = 0,48 \sim 2 \text{ baut}$$

Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 50 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729-2020 Pasal J3, sebagai berikut:

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

$$3.d_b < S < 15.t_p$$

$$3.16 < S < 15.10$$

$$48 \text{ mm} < 50 \text{ mm} < 150 \text{ mm (OK)}$$

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

$$S > 1,5.d_b$$

$$S > 1,5.16$$

$$50 \text{ mm} > 24 \text{ mm (OK)}$$

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

$$S < 12.t_p$$

$$S < 12.10$$

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

Maka, direncanakan jarak baut dengan tepi plat adalah 50 mm

Periksa Geser Blok pada Balok Anak WF 350.350.14.22

$$A_{gv} = 90 \times 14 = 1260 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (90 - 1,5 (16 + 2)) (14) = 882 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 30 \times 14 = 420 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = (30 - 0,5 (16 + 2)) (14) = 294 \text{ mm}^2$$

$$F_u \times A_{nt} = 410 \times 294 = 120540 \text{ mm}^2$$

$$0,6 \times F_u \times A_{nv} = 0,6 \times 410 \times 882 = 216972 \text{ mm}^2$$

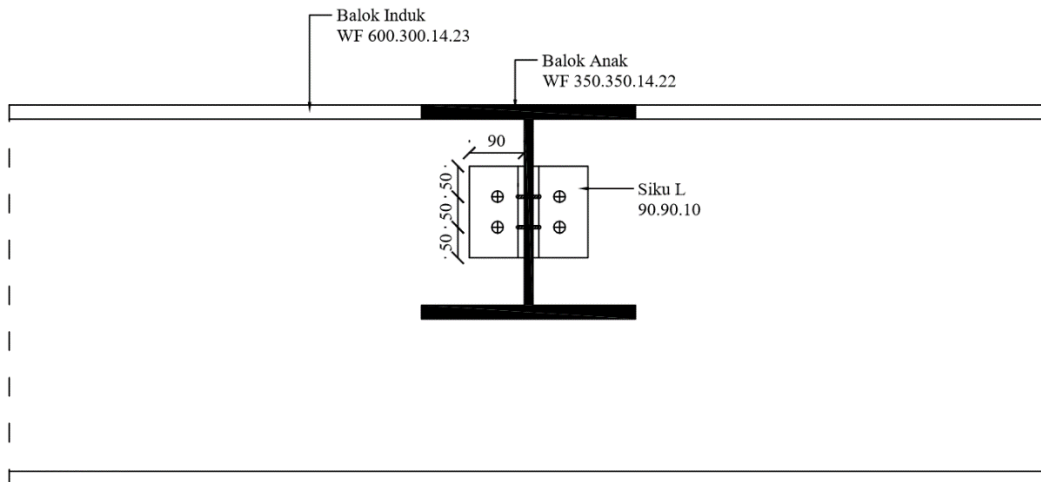
Karena $F_u \times A_{nt} < 0,6 \times F_u \times A_{nv}$, maka:

$$T = 0,6 \times F_u \times A_{nv} + F_y \times A_{gt}$$

$$= 216972 + (250 \times 420)$$

$$= 321972 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,75 \times 321972 = 241479 \text{ N} > 56955,27 \text{ N (OK)}$$



Gambar 7. 13 Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk

7.6.2 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Kolom

Balok induk atap dan lantai sama-sam direncanakan menggunakan profil WF 600.300.14.23 akan diberi sambungan dengan kolom yang telah direncanakan menggunakan profil HC 70 568.457.70.105. Mutu baja yang digunakan adalah BJ 41 dengan spesifikasi tegangan leleh sebesar $F_y = 250$ MPa dan tegangan putus $F_u = 410$ MPa. Pada sambungan balok induk dengan kolom, balok memikul beban geser dan momen, maka direncanakan dengan menggunakan *rigid connection* (sambungan kaku). Diperoleh gaya momen (M_u) dan gaya geser (V_u) dari *output* program bantu SAP2000 v.14 pada balok induk:

$$M_u = 324377419 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 240042,42 \text{ N}$$

Perhitungan Kekuatan Baut

Direncanakan sambungan balok induk dengan kolom menggunakan baut ulir dengan diameter 20 mm dan mutu baut A325. Diketahui tegangan putus $f_u^b = 825$ MPa dan direncanakan menggunakan plat penyambung dengan tebal 20 mm. Kekuatan baut ditentukan berdasarkan kekuatan tumpu dan kekuatan geser baut.

Tahanan tumpu baut pada bagian *web* balok:

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \times \phi f \times d_b \times t_p \times F_u \\ &= 2,4 \times 0,75 \times 20 \times 20 \times 410 \\ &= 295200 \text{ N/baut} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu baut pada bagian *flange* balok:

$$\begin{aligned}\varnothing R_d &= 2,4 \times \varnothing f \times d_b \times t_p \times F_u \\ &= 2,4 \times 0,75 \times 20 \times 20 \times 410 \\ &= 369000 \text{ N/baut}\end{aligned}$$

Kekuatan Tarik Baut:

$$\begin{aligned}\varnothing T_d &= \varnothing f \times r_1 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 825 \times 2 \times \frac{1}{4} (\pi)(20^2) \\ &= 145715,625 \text{ N/baut}\end{aligned}$$

Tahanan Geser Baut dengan Dua Bidang Geser:

$$\begin{aligned}\varnothing V_d &= \varnothing f \times r_1 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 825 \times 2 \times \frac{1}{4} (\pi)(20^2) \\ &= 77715 \text{ N/baut}\end{aligned}$$

Untuk dua bidang geser : $2 \times \varnothing V_d = 2 \times 77715 = 155430 \text{ N}$

Kontrol Siku Penyambung

Direncanakan siku penyambung akan menggunakan profil baja siku L 90.250.10, dicoba menggunakan 4 buah baut pada masing-masing profil, sehingga jarak lengan antar gaya tarik:

$$d = \frac{M_u}{4T} = \frac{324377419}{4 \times 145715,625} = 556,52 \text{ mm} \sim 560 \text{ mm}$$

Jarak baut terhadap *flange* atas balok = $\frac{1}{2} \times (560 - 300) = 260 \text{ mm}$, sehingga:

$$a = 260 - t_{\text{siku}} - r_{\text{siku}} = 260 - 10 - 12,5 = 237,5 \text{ mm}$$

Dengan $d = 560 \text{ mm}$, maka gaya yang bekerja pada profil siku:

$$T = \frac{M_u}{d} = \frac{324377419}{560} = 579245,39 \text{ N}$$

Gaya yang menimbulkan momen pada profil siku:

$$M = 0,5 \times T \times a = 0,5 \times 579245,39 \times 237,5 = 68785390,06 \text{ Nmm}$$

Kapasitas nominal penampang persegi:

$$\varnothing M_n = 0,9 \times \left(\frac{bd^2}{4}\right) \times F_y$$

$$\text{Sehingga diperoleh, } b = \frac{4 \times 68785390,06}{0,9 \times 250 \times 20^2} = 3057,13 \text{ mm}$$

Perhitungan sambungan pada *flange* balok:

$$\text{Gaya geser flange balok} = \frac{M_u}{d_{\text{balok}}} = \frac{324377419}{594} = 546089,93 \text{ N}$$

Baut penyambung merupakan baut dengan satu bidang geser:

$$n = \frac{546089,93}{155430} = 3,51 \sim 4 \text{ buah baut}$$

Perhitungan sambungan *web* balok dengan profil L 90.250.10

$$n = \frac{V_u \text{ balok}}{web \text{ balok}} = \frac{240042,42}{295200} = 0,81 \sim 2 \text{ buah baut}$$

Sambungan *web* balok dengan *flange* kolom,

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

$$n = \frac{V_u}{1 \text{ bidang geser}} = \frac{240042,42}{77715} = 3,09 \sim 4 \text{ buah baut}$$

Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 50 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729-2020 Pasal J3.3) sebagai berikut:

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

$$3.d_b < S < 15.t_p$$

$$3 \times 20 < S < 15 \times 20$$

$$60 \text{ mm} < 50 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

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

$$S > 1,5.d_b$$

$$S > 1,5 \times 20$$

$$50 \text{ mm} > 30 \text{ mm (OK)}$$

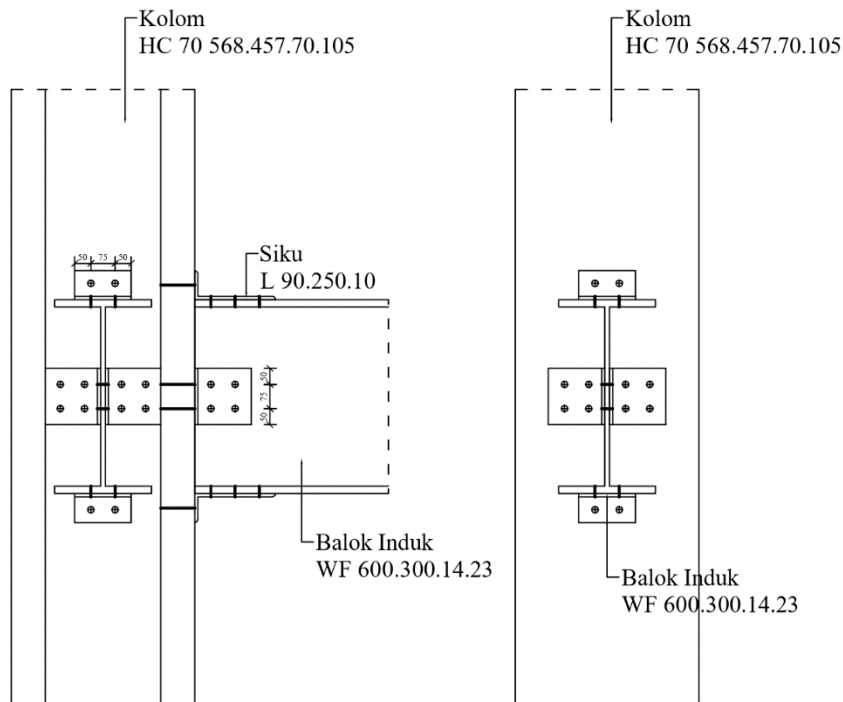
Jarak tepi maksimum (SNI 1729-2020 Pasal J3.4)

$$S < 12.t_p$$

$$S < 12 \times 20$$

$$50 < 240 \text{ mm (OK)}$$

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



Gambar 7. 14 Sambungan Balok Induk dan Kolom

7.6.3 Perencanaan Sambungan Kolom dengan Kolom

Kolom merupakan komponen utama pada struktur yang memerlukan adanya sambungan antar kolom. Pada umumnya, pabrik memproduksi profil baja hanya sepanjang 12 m, sedangkan pada perencanaan struktur gedung perkantoran Civton direncanakan memiliki ketinggian gedung 40 m. sambungan antar kolom berfungsi untuk membantu menyalurkan gaya-gaya dalam momen, geser, dan aksial yang nantinya akan didistribusikan ke pondasi.

Berdasarkan pada SNI 7860-2020 Pasal A3.2 kekuatan perlu suatu elemen (suatu komponen struktur atau sambungan dari komponen struktur) harus ditentukan dari tegangan leleh terekspektasi, $R_y.F_y$, dari komponen struktur atau komponen struktur yang berdekatan, sesuai yang berlaku, dengan F_y adalah tegangan leleh baja minimum terspesifikasi yang digunakan pada komponen struktur dan R_y adalah rasio tegangan leleh terekspektasi terhadap tegangan leleh minimum terspesifikasi. Dimana untuk mutu baja BJ 41 tegangan leleh sebesar $F_y = 250$ MPa dan faktor rasio $R_y = 1,5$. Kolom direncanakan menggunakan profil HC 70 568 x 457 x 70 x 105. Diperoleh gaya dalam dari *output* pemodelan 3D dengan program bantu SAP2000 v.14 pada kolom sebagai berikut:

$$N_u = 7971827,77 \text{ N}$$

$$V_u = 3045,25 \text{ N}$$

$$M_u = 8668210,13 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$f_{ye} = R_y \times F_y = 1,5 \times 250 = 375 \text{ Nmm}$$

Pembagian beban momen:

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

$$I_{\text{beban}} = \frac{t_w \times h^3}{12} = \frac{70 \times 314^3}{12} = 180595006,66 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{badan}} = \frac{I_{\text{beban}} \times M_u}{I_{\text{profil}}} = \frac{180595006,66 \times 8668210,13}{1680000000} = 931806,83 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{sayap}} = M_u - M_{\text{badan}} = 8668210,13 - 931806,83 = 7736403,3 \text{ Nmm}$$

Sambungan Pada Sayap (*Flange*)

Direncanakan menggunakan baut tanpa ulir diameter 35 mm, dengan mutu baut A325, yang memiliki tegangan putus $f_u^b = 825 \text{ MPa}$. Sambungan juga direncanakan menggunakan plat dengan tebal 20 mm.

Gaya tarik yang terjadi pada sambungan:

$$T_u = \frac{M_{\text{sayap}}}{d_{\text{profil}}} = \frac{7736403,3}{568} = 13620,43 \text{ N}$$

$$V_u = N_u + T_u = 7971827,77 + 13620,43 = 7985448,2 \text{ N}$$

Tahanan geser baut dengan bidang geser

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \times r_l \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 825 \times 957,51 \\ &= 251346,38 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu pada bagian *flange*:

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \times \phi f \times d_b \times t_p \times F_u \\ &= 2,4 \times 0,75 \times 34,925 \times 20 \times 410 \\ &= 515493 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil, yaitu $\phi V_d = 251346,38 \text{ N}$

Perhitungan jumlah baut:

$$n = \frac{7985448,2}{251346,38} = 31,77 \sim 32 \text{ baut}$$

Sambungan Pada Badan (*Web*)

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 plat dengan tebal 20 mm

Tahanan geser baut dengan bidang geser

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

Tahanan tumpu pada bagian *flange*:

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \times \phi f \times d_b \times t_p \times F_u \\ &= 2,4 \times 0,75 \times 34,925 \times 20 \times 410 \\ &= 515493 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil, yaitu $\phi V_d = 236983,73 \text{ N}$

Gaya tarik yang terjadi pada sambungan:

$$T_u = \frac{M_{\text{badan}}}{d_{\text{profil}}} = \frac{931806,83}{568} = 1640,51 \text{ N}$$

$$V_u = V_{u_{\text{awal}}} + T_u = 3045,25 + 1640,51 = 4685,76 \text{ N}$$

Perhitungan jumlah baut:

$$n = \frac{4685,76}{236983,73} = 0,02 \sim 2 \text{ baut}$$

Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 120 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729-2020 Pasal J3.3) sebagai berikut:

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

$$3 \cdot d_b < S < 15 \cdot t_p$$

$$3 \times 34,925 < S < 15 \times 20$$

$104,775 \text{ mm} < 120 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

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

$S > 1,5.d_b$

$S > 1,5 \times 34,925$

$100 \text{ mm} > 52,39 \text{ mm}$ (OK)

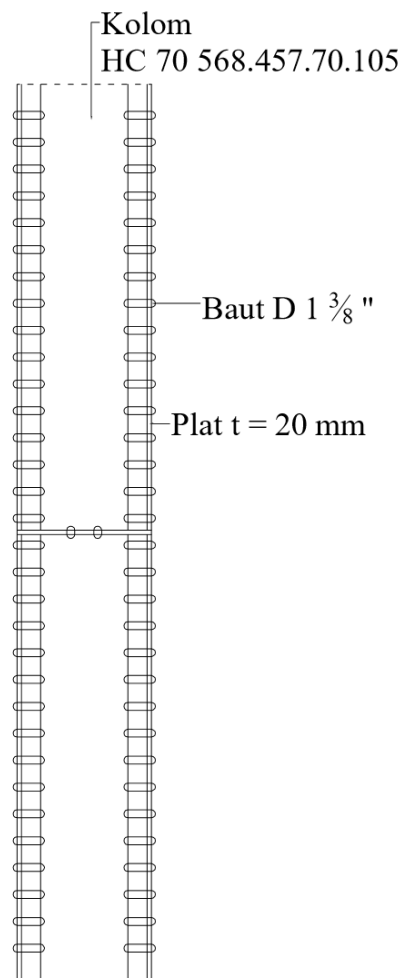
Jarak tepi maksimum (SNI 1729-2020 Pasal J3.4)

$S < 12.t_p$

$S < 12 \times 20$

$100 < 240 \text{ mm}$ (OK)

Maka, diambil jarak baut dengan tepi plat adalah 100 mm.



Gambar 7. 15 Sambungan Kolom dengan Kolom

7.6.4 Perencanaan 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 pada 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 $1,25 R_y \cdot V_n$.

Pada perencanaan struktur gedung perkantoran Civton direncanakan menggunakan bresing tipe *split-K* dan diperoleh hasil analisa gaya-gaya dalam yang bekerja pada bresing dengan program bantu SAP2000 v.14 gaya tekan dan gaya tarik bresing sebagai berikut:

$$\text{Gaya tekan (Nu)} = 1275770,78 \text{ N}$$

$$\text{Gaya tarik (Nu)} = 1212772,77 \text{ N}$$

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

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times F_y \times (d - 2(tf)) \times t_w \\ &= 0,6 \times 250 \times (350 - 2(19)) \times 12 \\ &= 561600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,25 \times R_y \times V_n \\ &= 1,25 \times 1,5 \times 561600 \\ &= 1053000 \text{ N} \end{aligned}$$

Sambungan Batang Tekan Bresing

Direncanakan menggunakan baut ulir dengan diameter 22 mm dengan mutu baut A325 yang memiliki tegangan putus $f_u^b = 825 \text{ MPa}$. Sambungan direncanakan menggunakan plat dengan tebal 20 mm

Tahanan geser baut dengan bidang geser

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \times r_l \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 825 \times 380,13 \times 2 \\ &= 188164,35 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu pada bagian *flange*:

$$\phi R_d = 2,4 \times \phi f \times d_b \times t_p \times F_u$$

$$= 2,4 \times 0,75 \times 22 \times 20 \times 410$$

$$= 324720 \text{ N}$$

Diambil nilai terkecil, yaitu $\phi V_d = 188164,35 \text{ N}$

Perhitungan jumlah baut:

$$n = \frac{1053000}{188164,35} = 5,6 \sim 6 \text{ baut}$$

Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 75 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729-2020 Pasal J3.3) sebagai berikut:

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

$$3.d_b < S < 15.t_p$$

$$3 \times 22 < S < 15 \times 20$$

$$66 \text{ mm} < 75 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

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

$$S > 1,5.d_b$$

$$S > 1,5 \times 22$$

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

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

$$S < 12.t_p$$

$$S < 12 \times 20$$

$$50 < 240 \text{ mm (OK)}$$

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

Sambungan Las Sudut pada Plat Buhul

Rencana menggunakan las ukuran 10 mm

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

Kuat rencana las sudut ukuran 10 mm per mm panjang

Kuat nominal las sudut:

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

Luas las sudut:

$$\begin{aligned}A_{\text{las}} &= 2 (d + b) \\ &= 2 (40 + 60) = 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada las sudut:

Dengan spesifikasi, $L = 4716,99 \text{ mm}$, $h = 4000 \text{ mm}$

$$m = \sqrt{L^2 + t^2} = \sqrt{4716,99^2 + 4000^2} = 6184,66 \text{ mm}$$

$$\cos m = \cos \left(\frac{4000}{6184,66} \right) = 0,80$$

$$\sin m = \sin \left(\frac{4000}{6184,66} \right) = 0,60$$

$$0,80 \times Nu = 0,80 \times 1275770,78 = 1020616,62 \text{ N}$$

$$0,60 \times Nu = 0,60 \times 1275770,78 = 765462,47 \text{ N}$$

$$f_h = \frac{0,80 \times Nu}{A_{\text{las}}} = \frac{1020616,62}{200} = 5103,08 \text{ N/mm}^2$$

$$f_v = \frac{0,60 \times Nu}{A_{\text{las}}} = \frac{765462,47}{200} = 3827,31 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{f_h^2 + f_v^2} = \sqrt{5103,08^2 + 3827,31^2} = 6378,85 \text{ N/mm}^2$$

Tebal efektif las sudut (t_e):

$$t_e = \frac{6378,85}{1304,42} = 4,90 \text{ mm}$$

Kontrol Tekuk Plat Buhul

Lebar plat buhul efektif dipakai setinggi *web* (h) bresing = 350 mm

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

$$A_g = 350 \times 20 = 7000 \text{ mm}^2$$

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

$$L_k = k_c \times L = 1,0 \times 4716,99 = 4716,99 \text{ mm}$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\text{plat}}}{A_g}} = \sqrt{\frac{200000}{7000}} = 5,35$$

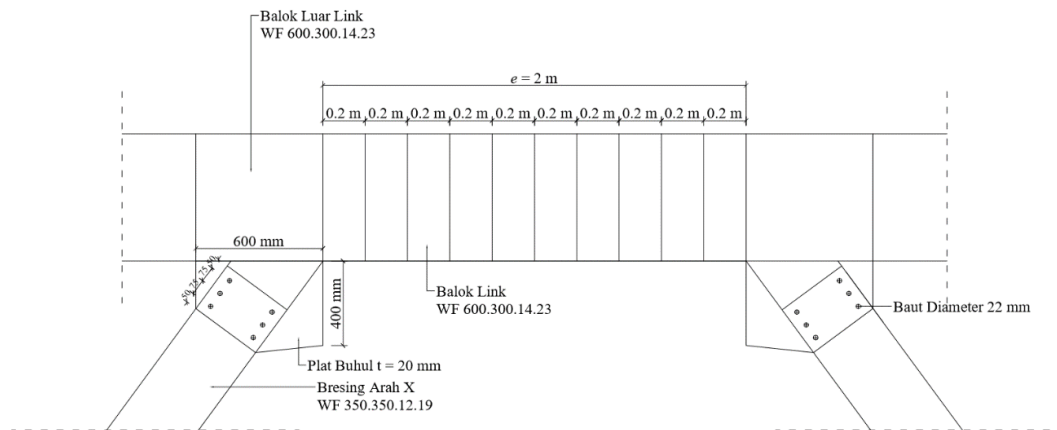
$$\lambda = \frac{L_k}{r} = \frac{4716,99}{5,35} = 881,68 \sim 8,82$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{8,82}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,099 < 0,25$$

Maka, $\omega = 1,0$

$$\phi N_n = 0,85 \times A_g \times \frac{F_y}{\omega} = 0,85 \times 7000 \times \frac{250}{1,0} = 1487500 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 1487500 \text{ N} > N_u = 1275770,78 \text{ N (OK)}$$



Gambar 7. 16 Sambungan Batang Tekan Bresing

Sambungan Batang Tarik Bresing

Direncanakan menggunakan baut ulir dengan diameter 22 mm dengan mutu baut A325 yang memiliki tegangan putus $f_u^b = 825 \text{ MPa}$. Sambungan juga direncanakan menggunakan plat dengan tebal 20 mm.

Tahanan geser baut dengan bidang geser:

$$\begin{aligned} \phi V_d &= \phi f \times r_1 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 825 \times 380,13 \times 2 \\ &= 188164,35 \text{ N} \end{aligned}$$

Tahanan tumpu pada bagian *flange*:

$$\begin{aligned} \phi R_d &= 2,4 \times \phi f \times d_b \times t_p \times F_u \\ &= 2,4 \times 0,75 \times 22 \times 20 \times 410 \\ &= 324720 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil, yaitu $\phi V_d = 188164,35 \text{ N}$

Perhitungan jumlah baut :

$$n = \frac{1053000}{188164,35} = 5,6 \sim 6 \text{ baut}$$

Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak antar baut adalah 75 mm, akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729-2020 Pasal J3.3) sebagai berikut:

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

$$3.d_b < S < 15.t_p$$

$$3 \times 22 < S < 15 \times 20$$

$$66 \text{ mm} < 75 \text{ mm} < 300 \text{ mm (OK)}$$

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

$$S > 1,5.d_b$$

$$S > 1,5 \times 22$$

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

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

$$S < 12.t_p$$

$$S < 12 \times 20$$

$$50 < 240 \text{ mm (OK)}$$

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

Sambungan Las Sudut pada Plat Buhul

Rencana menggunakan las ukuran 10 mm

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

Kuat rencana las sudut ukuran 10 mm per mm panjang

Kuat nominal las sudut:

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

Luas las sudut:

$$\begin{aligned} A_{las} &= 2(d + b) \\ &= 2(50 + 60) = 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada las sudut:

Dengan spesifikasi, $L = 4716,99 \text{ mm}$, $h = 4000 \text{ mm}$

$$m = \sqrt{L^2 + t^2} = \sqrt{4716,99^2 + 4000^2} = 6184,66 \text{ mm}$$

$$\cos m = \cos \left(\frac{4000}{6184,66} \right) = 0,80$$

$$\sin m = \sin \left(\frac{4000}{6184,66} \right) = 0,60$$

$$0,80 \times Nu = 0,80 \times 1212772,77 = 970218,22 \text{ N}$$

$$0,60 \times Nu = 0,60 \times 1212772,77 = 727663,66 \text{ N}$$

$$f_h = \frac{0,80 \times Nu}{A_{\text{las}}} = \frac{970218,22}{220} = 4410,08 \text{ N/mm}^2$$

$$f_v = \frac{0,60 \times Nu}{A_{\text{las}}} = \frac{727663,66}{220} = 3307,56 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{f_h^2 + f_v^2} = \sqrt{4410,08^2 + 3307,56^2} = 5512,6 \text{ N/mm}^2$$

Tebal efektif las sudut (t_e):

$$t_e = \frac{5512,6}{1304,42} = 4,23 \text{ mm}$$

Kontrol Tekuk Plat Buhul

Lebar plat buhul efektif dipakai setinggi *web* (h) bresing = 350 mm

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

$$A_g = 350 \times 20 = 7000 \text{ mm}^2$$

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

$$L_k = k_c \times L = 1,0 \times 4716,99 = 4716,99 \text{ mm}$$

$$r = \sqrt{\frac{I_{\text{plat}}}{A_g}} = \sqrt{\frac{200000}{7000}} = 5,35$$

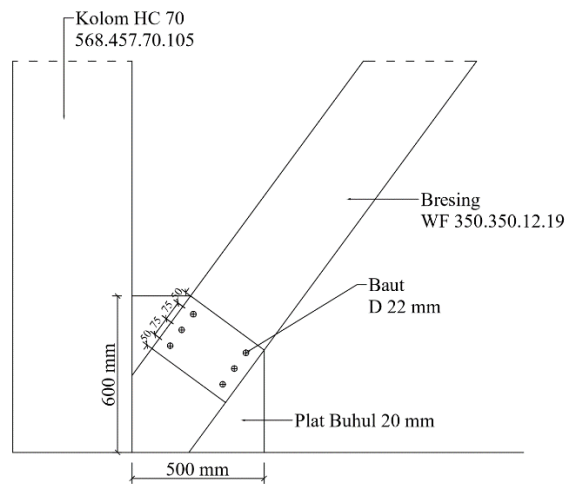
$$\lambda = \frac{L_k}{r} = \frac{4716,99}{5,35} = 881,68 \sim 8,82$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{8,82}{\pi} \sqrt{\frac{250}{200000}} = 0,099 < 0,25$$

Maka, $\omega = 1,0$

$$\phi N_n = 0,85 \times A_g \times \frac{F_y}{\omega} = 0,85 \times 7000 \times \frac{250}{1,0} = 1487500 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 1487500 \text{ N} > Nu = 1275770,78 \text{ N (OK)}$$



Gambar 7. 17 Sambungan Batang Tarik Bresing

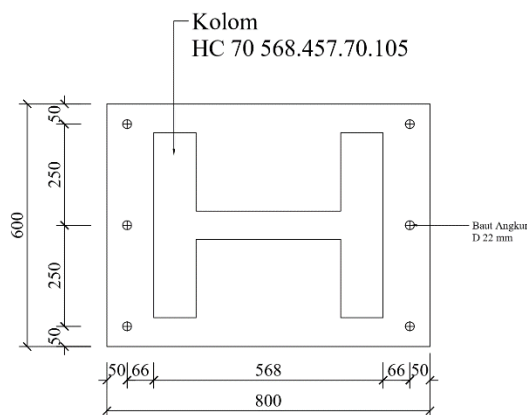
7.7 Perencanaan Plat Dasar Kolom (*Base Plate*)

Plat dasar kolom merupakan bagian dari struktur baja yang berfungsi sebagai penghubung antara struktur bagian atas dengan pondasi. Plat dasar kolom menyalurkan gaya dalam ke kolom pedestal sehingga besarnya tegangan yang terjadi pada kolom pedestal tidak menimbulkan kerusakan. Sambungan kolom dengan plat dasar kolom direncanakan menggunakan sambungan las dan diperkuat menggunakan baut angkur. Diperoleh gaya-gaya dalam untuk perencanaan plat dasar kolom dari program bantu SAP2000 v.14 yaitu sebagai berikut:

$$N_u = 7971827,77 \text{ N}$$

$$V_u = 3045,25 \text{ N}$$

$$M_u = 8668210,13 \text{ Nmm}$$



Gambar 7. 18 Base Plate

Direncanakan:

$$N = 800 \text{ mm}$$

$$B = 800 \text{ mm}$$

$$f = 600 \text{ mm}$$

Besaran m dan x:

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} = \frac{800 - 0,95 \times 568}{2} = 130,2 \text{ mm}$$

$$x = \frac{f}{2} - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} = \frac{600}{2} - \frac{568}{2} + \frac{105}{2} = 68,5 \text{ mm}$$

Eksentrisitas:

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{8668210,13}{7971827,77} = 1,1 \text{ mm}$$

$$\frac{N}{6} = \frac{800}{6} = 133,33 \text{ mm} > e = 1,1 \text{ mm}$$

Termasuk kategori B (Setiawan, 2013)

Untuk *base plate* kategori B, berlaku hubungan sebagai berikut:

$$A_1 = B \times Y$$

Dimana:

$$Y = N - 2 \times e = 800 - 2 \times 1,1 = 797,8$$

$$A_1 = 600 \times 797,8 = 478680 \text{ mm}^2$$

$$N_u < 0,60 \times 0,85 F_c \times B \times Y \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \text{ (asumsi } \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2)$$

$$N_u < 0,60 \times 0,85 \times 35 \times 600 \times 797,8 \times 2$$

$$7971827,77 < 17088876 \text{ N (OK)}$$

Pemeriksaan Angkur Terhadap Gaya Geser dan Tarik

Direncanakan menggunakan 6 buah angkur diameter 22 mm, dengan mutu A325, $F_v = 414$ MPa

Gaya geser yang terjadi:

$$V_{ub} = \frac{V_u}{n} = \frac{3045,25}{6} = 507,54 \text{ N}$$

$$\phi F_v \times A_b = 0,75 \times 414 \times 380,13 = 118030,37 \text{ N} > 507,54 \text{ N (OK)}$$

Perhitungan tebal *base plate*:

$$Y = N - 2 \times e = 800 - 2 \times 1,1 = 797,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{p\text{perlu}} &= 1,49 \text{ m} \sqrt{\frac{Nu}{B(N-2e)F_y}} \\ &= 1,49 \times 130,2 \sqrt{\frac{7971827,77}{800(800-2(1,1))250}} \\ &= 43,36,42 \sim 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tebal *base plate* $t_p = 45 \text{ mm}$, maka ukuran *base plate* adalah $850 \times 650 \times 45 \text{ mm}$

Perhitungan Panjang Angkur

$$f_{sc} = 0,85 \times F_y = 0,85 \times 250 = 212,5 \text{ Nmm}$$

Panjang angkur:

$$L = \frac{Nu}{\frac{1}{2}\pi d \times f_{sc}} = \frac{7971827,77}{\frac{1}{2}\pi(22) \times 212,5} = 654,81 \text{ mm} \sim 700 \text{ mm}$$

Digunakan angkur $\varnothing 22 \text{ mm}$ dengan panjang 1000 mm

Cek Jarak Baut

Direncanakan jarak baut adalah 250 mm , akan diperiksa sesuai dengan persyaratan pada SNI 1729-2020 Pasal J3, sebagai berikut:

$$3 \cdot d_b < S < 15 \cdot t_p$$

$$3 \times 22 < S < 15 \times 20$$

$$66 \text{ mm} < 250 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

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

$$S > 1,5 \cdot d_b$$

$$S > 1,5 \times 22$$

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

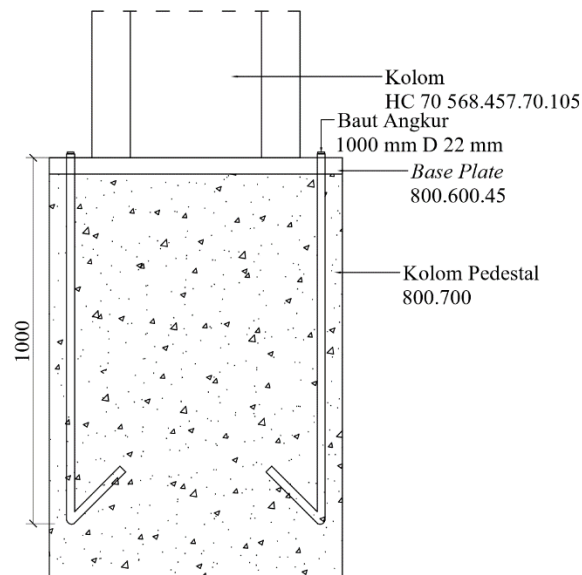
Jarak tepi maksimum (SNI 1729-2020 Pasal J3.4)

$$S < 12 \cdot t_p$$

$$S < 12 \times 20$$

$$50 < 240 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

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



Gambar 7. 19 Tampak Samping Sambungan *Base Plate* dan Kolom Pedestal

Sambungan Las Sudut pada Plat Dasar

Rencana menggunakan las ukuran 100 mm dengan menggunakan las elektroda E70 ($F_{EXX} = 485 \text{ MPa}$)

Tebal efektif las sudut rencana: $t_e = 0,707 \times a = 0,707 \times 100 = 70,7 \text{ mm}$

Kuat nominal las sudut:

$$\begin{aligned} \emptyset.R_{nw} &= F_{nw} \times A_{nw} \\ &= (0,75 \times F_{EXX}) \times (t_e \times L_w) \\ &= (0,75 \times 485) \times (70,7 \times 457) \\ &= 11752726,13 \text{ N} \end{aligned}$$

Periksa rasio panjang terhadap ukuran las:

$$L_w/w = 457/100 = 4,57 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Maka tidak perlu dilakukan reduksi terhadap panjang las ($\beta = 1$)

Diperoleh kekuatan las:

$$\emptyset.R_{nw} = 0,75 (11752726,13) = 8814544,60 \text{ N}$$

Periksa Leleh Tarik pada Penampang Bruto:

$$\begin{aligned} \emptyset.R_{nw} &= 0,90 F_y \cdot A_g \\ &= 0,90 (250) (45 \times 457) \\ &= 4627125 \text{ N} \end{aligned}$$

Periksa Keruntuhan Tarik pada Penampang Neto:

Faktor *shear lag* U, diambil $U = 0,75$ karena

Panjang las $L_w = 457 \text{ mm} >$ jarak kedua las, $w = 105 \text{ mm}$

Syarat *shear lag*: $l \geq 2w$, maka $U = 1$

$2w > l \geq 1,5 w$ maka $U = 0,87$

$1,5 w > l \geq w$, maka $U = 0,75$

$$A_e = A_n \cdot U = (45 \times 457) (0,75) = 15423,75 \text{ mm}^2$$

Keruntuhan tarik:

$$\emptyset \cdot R_{nw} = 0,75 F_u \cdot A_e$$

$$= 0,75 (410) (15423,75)$$

$$= 4742803,13 \text{ N}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh kekuatan tarik desain:

$$\emptyset \cdot R_{nw} = 8814544,60 \text{ N}$$

Beban yang bekerja:

$$P_u = 7971827,77 \text{ N}$$

Beban bekerja $P_u = 7971827,77 \text{ N} <$ Kekuatan Las $\emptyset \cdot R_{nw} = 8814544,60 \text{ N}$

Maka sambungan las mampu menahan beban bekerja.

Perencanaan Plat Pengaku

Dimensi plat minimum menurut SNI 1729-2002 Pasal 8.11

$$t_s \geq 0,5 \cdot t_f$$

$$60 \text{ mm} \geq 0,5 \cdot 105 \text{ mm}$$

Lebar plat pengaku (b_s)

$$b_s \geq \frac{b}{3} - \frac{tw}{2}$$

$$b_s \geq \frac{457}{3} - \frac{70}{2}$$

$$120 \geq 117,3$$

Maka digunakan:

$$t_s = 6 \text{ cm}$$

$$b_s = 12 \text{ cm}$$

7.8 Perencanaan Kolom Pedestal

Kolom pedestal merupakan kolom utama yang digunakan sebagai dudukan kolom profil baja dan plat dasar kolom baja. Pada kolom pedestal ditanamkan angkur baja. Pada perencanaan struktur gedung perkantoran Civton direncanakan kolom pedestal sebagai berikut:

$$\text{Dimensi kolom} = 800 \times 700 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton, } F_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja, } F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\text{Tinggi kolom} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan sengkang} = 13 \text{ mm}$$

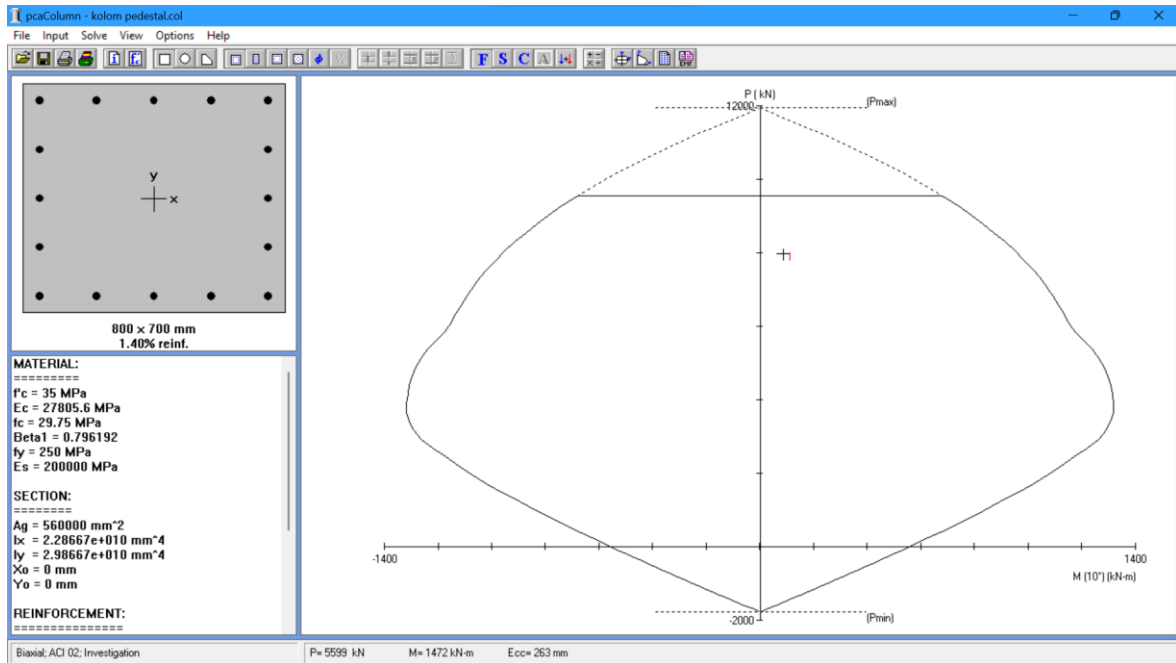
$$d = 800 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 734,5 \text{ mm}$$

Direncanakan kolom pedestal dengan diperoleh gaya-gaya dalam berdasarkan *output* pemodelan 3D dengan program bantu SAP2000 v.14 pada elemen kolom sebagai berikut:

$$N_u = 7971827,77 \text{ N}$$

$$V_u = 3045,25 \text{ N}$$

$$M_u = 8668210 \text{ Nmm}$$



Gambar 7. 20 Diagram Interaksi Mn dan P Kolom Pedestal

Berdasarkan hasil *output* analisa dari program bantu PCA Column untuk menentukan luas tulangan yang dibutuhkan kolom pedestal melalui diagram interaksi seperti pada Gambar 7.20 dipakai tulangan longitudinal kolom 16 diameter 25 mm dengan luas tulangan $A_s = 8160 \text{ mm}^2$ dan $A_g = 560000 \text{ mm}^2$. 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 lebih dari $0,06 A_g$. 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:

$$\begin{aligned} \phi P_{n \text{ (max)}} &= 0,80 \times \phi \times (0,85 \times f_c \times (A_g - A_{st}) + F_y \times A_{st}) \\ &= 0,80 \times 0,75 \times (0,85 \times 35 \times (560000 - 8160) + 250 \times 8160) \\ &= 16786344 \text{ N} > N_u = 7971827,77 \text{ N (OK)} \end{aligned}$$

Karena gaya N_u tidak melebihi nilai dari $\phi P_{n \text{ (max)}}$, maka gaya N_u diperbolehkan memakai hasil dari *output* program SAP2000 v.14.

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)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{7971827,77}{3,5 \times 560000} \right) \times (\sqrt{35}) \times 1100 \times 734,5 \\ &= 2915750 \text{ N} \end{aligned}$$

Mengacu pada 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 13 mm, direncanakan 2 kaki, maka nilai A_v adalah:

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \pi (13^2) \right) = 265,47 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{265,47 \times 250 \times 734,5}{100} = 487469,29 \text{ N}$$

Kontrol Geser

$$0,5 \times \phi \times (V_c + V_s) \geq V_u \text{ kolom}$$

$$0,5 \times 0,75 \times (2915750 + 487469,29) \geq V_u \text{ kolom}$$

$$1276207,23 \text{ N} \geq 3045,25 \text{ N (OK)}$$

Sesuai dengan peraturan SNI 2847-2019 Pasal 22.5.10.1 sengkang harus dipasang sepanjang

bentang dengan spasi tidak melebihi $\frac{d}{2} = \frac{734,5}{2} = 367,25 \text{ mm}$

Dipakai tulangan sengkang $\phi 13 \text{ mm} - 200 \text{ mm}$