

BAB IV PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN

IV.1 Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan Jembatan Rel Kereta Api

IV.1.1 Beban sendiri (DL)

Jembatan kereta api menggunakan material baja IWF sebagai struktur utamanya. Perhitungan beban sendiri akan dihitung menggunakan aplikasi SAP2000 dengan memilih salah satu opsi baja IWF dan baja π berdasarkan tabel profil konstruksi baja.

Tabel IV.1 Beban Sendiri Struktur

Bagian Struktur	DL (ton)
Gelagar melintang atau <i>floor beam</i>	10,2184
Gelagar memanjang atau <i>stringer</i>	29,0948
Rangka batang atau <i>truss</i>	68,2158
Ikatan angin atau <i>bracing</i>	8,2934

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Setelah mengetahui beban mati gelagar melintang, gelagar memanjang, rangka batang, dan ikatan angin sebagai beban mati tambahan pada struktur ini, maka totalnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Total DL} = 10,2184 + 29,0948 + 68,2158 + 8,2934$$

$$\text{Total DL} = 132,1563 \text{ ton}$$

Angka beban mati pada struktur yang didapatkan akan dibahas asalnya pada poin-poin selanjutnya.

IV.1.2 Beban mati tambahan atau utilitas (DL')

Beban pelengkap struktur baja atau komponen pelengkap struktur baja memiliki persentase sebesar 15% dari berat sendiri (MS) berdasarkan peraturan dari AREMA 2008. Komponen tersebut terdiri dari baut, pelat buhul, pengaku, dan komponen pelengkap lainnya pada struktur baja.

$$DL' \text{ pelengkap baja} = 132,1563 \times 15\%$$

$$DL' \text{ pelengkap baja} = 19,823445 \text{ ton}$$

Selain dari komponen pelengkap baja, terdapat juga beban mati tambahan dari kereta api itu sendiri, pertama adalah beban dari rel kereta api.

$$DL' \text{ rel kereta api} = \frac{54,43}{1000} \times L$$

$$DL' \text{ rel kereta api} = 0,05443 \times 61,6$$

$$DL' \text{ rel kereta api} = 3,353 \text{ ton}$$

Nilai 54,43 kg/m didapatkan dari penggunaan rel kereta api tipe R.54 dan dikalikan dengan total panjang rel kereta api sebesar 61,6 meter. Selain itu, terdapat beban dari bantalan yang dihitung berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 Pasal 3.1.2.4.

- Dimensi dan berat bantalan beton

$$\text{Panjang} = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar maks.} = 260 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi maks.} = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Berat jenis beton} = 23,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \text{ atau } f'c = 50 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat bantalan} = \text{Volume} \times \text{bj beton}$$

$$\text{Berat bantalan} = 2000 \times 260 \times 220 \times 23,1$$

$$\text{Berat bantalan} = 2,64264 \text{ kN/bantalan}$$

- Beban mati bantalan

$$\text{Jumlah bantalan} = \frac{L}{x} = \frac{\text{Bentang Jembatan}}{\text{Jarak bantalan}}$$

$$\text{Jumlah bantalan} = \frac{61,6}{0,6}$$

$$\text{Jumlah bantalan} = 102,6667 \approx 103 \text{ buah}$$

$$DL' \text{ bantalan} = 2,64264 \times 103 \times 0,101971621$$

$$DL' \text{ bantalan} = 27,75585 \text{ ton}$$

Tabel IV.2 Beban Mati Tambahan Struktur

Bagian Struktur	DL (ton)
Pelengkap baja	19,823445
Rel kereta api	3,353
Bantalan kereta api	27,75585

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Setelah mengetahui beban mati pelengkap baja, rel kereta api, dan berat bantalan kereta api sebagai beban mati tambahan pada struktur ini, maka totalnya adalah sebagai berikut.

$$Total DL' = 19,82345 + 3,352888 + 27,75585$$

$$Total DL' = 50,93218 \text{ ton}$$

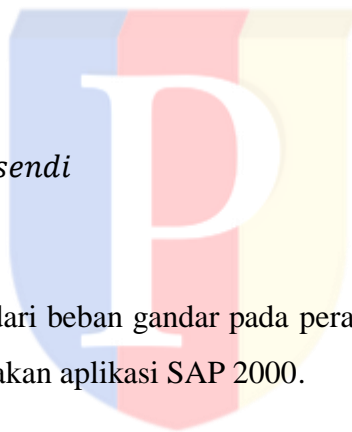
atau

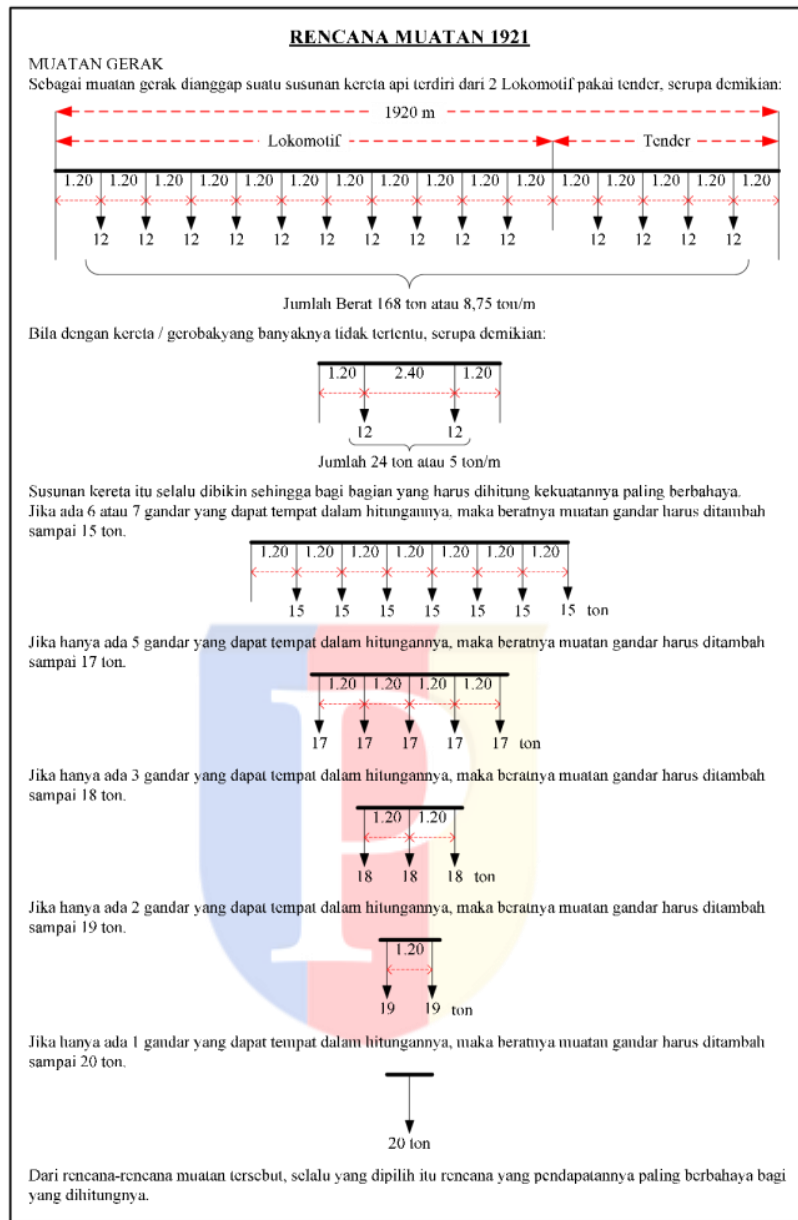
$$Total DL' = \frac{50,93218}{30}$$

$$Total DL' = 1,67739 \text{ ton/sendir}$$

IV.1.3 Beban hidup (LL)

Beban hidup berasal dari beban gandar pada peraturan Rencana Muatan 1921 yang telah dihitung menggunakan aplikasi SAP 2000.





Gambar IV.1 Skema Pembebanan Rencana Muatan 1921

(Sumber: Permenhub No. 60 Tahun 2012)

Tabel IV.3 Beban Hidup per Gandar

Jumlah Gandar	Berat per Gandar (ton)
1	20
2	19
3	18

5	17
7	15
14	12
Tak Tentu	12

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.1.4 Beban kejut (I)

Rumus ini diambil berdasarkan Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 pasal 3.2.1 poin 5 untuk rel secara langsung pada baja.

- Beban 1 gandar

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + L} \right] \times \text{beban kereta}$$

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + 61,6} \right] \times 20$$

$$i = 10,48028674 \text{ on/gandar}$$

- Beban 2 gandar

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + L} \right] \times \text{beban kereta}$$

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + 61,6} \right] \times 19$$

$$i = 9,956272401 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 3 gandar

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + L} \right] \times \text{beba kereta}$$

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + 61,6} \right] \times 18$$

$$i = 9,432258065 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 5 gandar

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + L} \right] \times \text{beban kereta}$$

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + 61,6} \right] \times 17$$

$$i = 8,908243728 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 7 gandar

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + L} \right] \times \text{beban kereta}$$

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + 61,6} \right] \times 15$$

$$i = 7,860215054 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 14 gandar

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + L} \right] \times \text{beban kereta}$$

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + 61,6} \right] \times 12$$

$$i = 6,288172043 \text{ ton/gandar}$$

- Beban gandar tak tentu

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + L} \right] \times \text{beban kereta}$$

$$i = \left[0.3 + \frac{25}{50 + 61,6} \right] \times 12$$

$$i = 6,288172043 \text{ ton/gandar}$$

Tabel IV.4 Beban Kejut per Gandar

Jumlah Gandar	Berat per Gandar (ton)
1	10,48028674
2	9,956272401
3	9,432258065
5	8,908243728
7	7,860215054
14	6,288172043
Tak Tentu	6,288172043

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.1.5 Beban lateral kereta (N)

Rumus ini diambil berdasarkan Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 pasal 3.2.1 poin 6b dengan besaran 15% – 20% dari beban gandar.

- Beban 1 gandar
 $F = 15\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 15\% \times 20$
 $F = 3 \text{ ton/gandar}$
- Beban 2 gandar
 $F = 15\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 15\% \times 19$
 $F = 2,85 \text{ ton/gandar}$
- Beban 3 gandar
 $F = 15\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 15\% \times 18$
 $F = 2,7 \text{ ton/gandar}$
- Beban 5 gandar
 $F = 15\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 15\% \times 17$
 $F = 2,55 \text{ ton/gandar}$
- Beban 7 gandar
 $F = 15\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 15\% \times 15$
 $F = 2,25 \text{ ton/gandar}$
- Beban gandar tak tentu
 $F = 15\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 15\% \times 12$
 $F = 1,8 \text{ ton/gandar}$
- Beban 14 gandar
 $F = 15\% \times \text{beban kereta}$



$$F = 15\% \times 12$$

$$F = 1,8 \text{ ton/gandar}$$

Tabel IV.5 Beban Lateral per Gandar

Jumlah Gandar	Berat per Gandar (ton)
1	3
2	2,85
3	2,7
5	2,55
7	2,25
14	1,8
Tak Tentu	1,8

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.1.6 Beban pengereman dan traksi (LF)

Rumus ini diambil berdasarkan Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 pasal 3.2.1 poin 6c dengan besaran 25% dari beban gandar.

- Beban 1 gandar
 $F = 25\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 25\% \times 20$
 $F = 5 \text{ ton/gandar}$
- Beban 2 gandar
 $F = 25\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 25\% \times 19$
 $F = 4,75 \text{ ton/gandar}$
- Beban 3 gandar
 $F = 25\% \times \text{beban kereta}$
 $F = 25\% \times 18$
 $F = 4,5 \text{ ton/gandar}$
- Beban 5 gandar
 $F = 25\% \times \text{beban kereta}$

$$F = 25\% \times 17$$

$$F = 4,25 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 7 gandar

$$F = 25\% \times \text{beban kereta}$$

$$F = 25\% \times 15$$

$$F = 3,75 \text{ ton/gandar}$$

- Beban gandar tak tentu

$$F = 25\% \times \text{beban kereta}$$

$$F = 25\% \times 12$$

$$F = 3 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 14 gandar

$$F = 25\% \times \text{beban kereta}$$

$$F = 25\% \times 12$$

$$F = 3 \text{ ton/gandar}$$

Tabel IV.6 Beban Pengereman dan Traksi per Gandar

Jumlah Gandar	Berat per Gandar (ton)
1	5
2	4,75
3	4,5
5	4,25
7	3,75
14	3
Tak Tentu	3

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

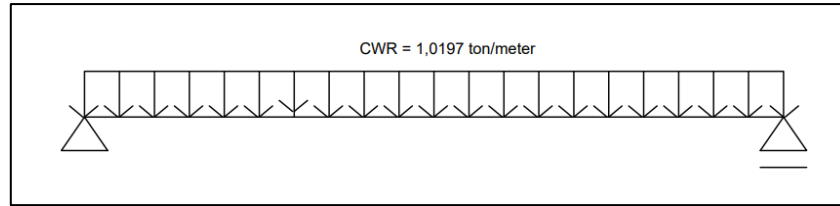
IV.1.7 Beban rel panjang longitudinal (CWR)

Rumus ini diambil berdasarkan Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 pasal 3.2.1 poin 6d, dasarnya 10 kN/m dan maksimum 2000 kN.

$$F = 10 \text{ kN/m}$$

$$F = 1,0197 \text{ ton/m} \times 61,6$$

$$F = 62,832 \text{ ton}$$



Gambar IV.2 Beban Rel Panjang Longitudinal

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.1.8 Beban angin pada struktur (W)

- Mencari kecepatan angin rencana pada elevasi rencana dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1

$$V_{DZ} = 2,5V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right)$$

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot 17,6 \cdot \left(\frac{90}{90} \right) \ln \left(\frac{10000}{1000} \right)$$

$$V_{DZ} = 101,3137 \text{ km/jam}$$

Keterangan:

V_o dan Z_o didapatkan dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1 tabel 28, termasuk kategori Sub Urban karena jembatan ini terletak diantara wilayah Medan dan Rantau Prapat.

Tabel IV.7 Nilai V_o dan Z_o Sesuai dengan Kondisi

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_o (mm)	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016)

V_{10} diasumsikan sama dengan nilai V_B , yaitu 90 – 126 km/jam sesuai dengan peraturan pada SNI 1725:2016, sedangkan nilai Z jembatan diasumsikan juga lebih kecil dari 10000 mm karena kurangnya keterangan berapa tinggi dari struktur atas jembatan ini.

- Tekanan angin rencana dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

$$P_D = 0,0024 \left(\frac{101,314}{90} \right)^2$$

$$P_D = 0,003041 \text{ MPa (untuk angin tekan)}$$

dan

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

$$P_D = 0,0012 \left(\frac{101,314}{90} \right)^2$$

$$P_D = 0,001521 \text{ MPa (untuk angin hisap)}$$

Keterangan:

Nilai P_B terdiri dari angin tekan dan angin hisap sesuai dengan tabel di bawah ini.

Tabel IV.8 Tekanan Angin Dasar Pada Bidang Tekan Dan Hisap

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

(Sumber: SNI 1725:2016)

- Beban angin pada struktur dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1

Untuk angin tekan

$$EW_S = P_D \cdot h \cdot 30\%$$

$$EW_S = 0,003041 \times 9000 \times 30\%$$

$$EW_S = 8,21158 \text{ N/mm}$$

$$EW_S = 8,21158 \text{ kN/m}$$

Untuk angin hisap

$$EW_S = P_D \cdot h \cdot 30\%$$

$$EW_S = 0,001521 \times 9000 \times 30\%$$

$$EW_S = 4,10579 \text{ N/mm}$$

$$EW_S = 4,10579 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total } EW_S (w) = EW_S \text{ angin tekan} + EW_S \text{ angin hisap}$$

$$\text{Total } EW_S (w) = 8,21158 + 4,10579$$

$$\text{Total } EW_S (w) = 12,31737 \text{ kN/m}$$

Keterangan:

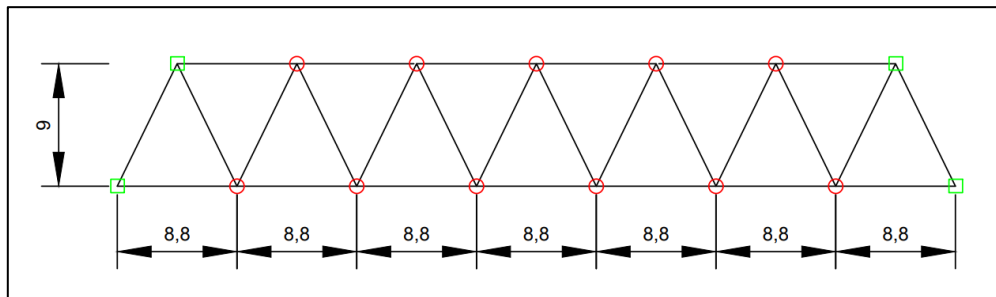
Nilai 30% didapatkan dari peraturan RSNI-T-1725-2005 dengan pendekatan bahwa terdapat 30% dari luas struktur atas yang terkena beban angin.

Nilai h merupakan tinggi dari jembatan kereta api ini, yaitu sebesar 9 meter atau 9000 mm.

Nilai EW_S angin tekan $> 4,4 \text{ kN/m}$ sehingga memenuhi syarat dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1

Nilai EW_S angin tekan $> 2,2 \text{ kN/m}$ sehingga memenuhi syarat dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1

- Beban angin pada masing-masing sendi dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.1
Berikut adalah gambar dari rangka batang jembatan kereta api yang telah ditandai □ dan o



Gambar IV.3 Rangka Batang dengan Sendi yang Telah Ditandai

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Beban angin pada sendi o

$$EW_S = 0,5. w. b$$

$$EW_S = 0,5 \times 12,31737 \times 8,8$$

$$EW_S = 54,19643 \text{ kN}$$

dan

Beban angin pada sendi □

$$EW_S = 0,5. w. 0,5b$$

$$EW_S = 0,5 \times 0,5 \times 12,31737 \times 8,8$$

$$EW_S = 27,09821 \text{ kN}$$

Keterangan:

b adalah nilai dari jarak antar batang dari sendi ke sendi, yaitu 8,8 meter.

IV.1.9 Beban angin pada kendaraan (W')

- Tekanan angin pada kendaraan dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.2

$$EW_L = 1,46 \text{ N/mm}$$

$$EW_L = 1,46 \text{ kN/m}$$

Keterangan:

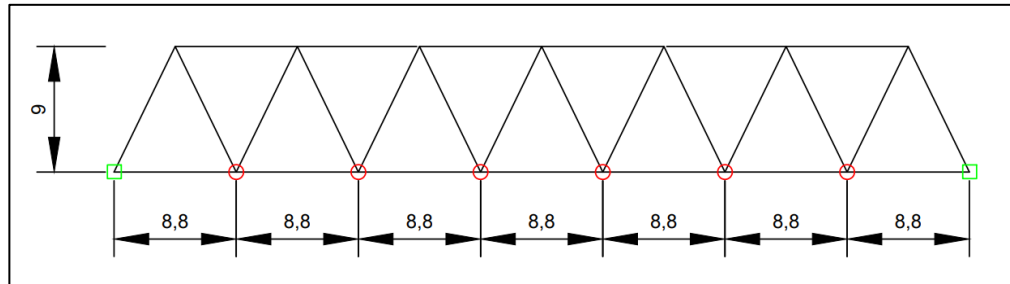
Nilai $EW_L = 1,46 \text{ N/mm}$ didapatkan dari SNI 1725:2016 tabel 31 karena dianggap tekanan menerus dan bekerja tegak lurus pada kendaraan di sudut 0°

Tabel IV.9 Tekanan Angin yang Bekerja sesuai Sudut

Sudut (derajat)	Komponen tegak lurus (N/mm)	Komponen sejajar (N/mm)
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

(Sumber: SNI 1725:2016)

- Beban angin pada masing-masing sendi dari SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.2
Berikut adalah gambar dari rangka batang jembatan kereta api yang telah ditandai □ dan o



Gambar IV.4 Rangka Batang dengan Sendi yang Telah Ditandai

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Beban angin pada sendi o

$$EW_S = w \cdot b$$

$$EW_S = 1,46 \times 8,8$$

$$EW_S = 12,848 \text{ kN}$$

dan

Beban angin pada sendi □

$$EW_S = 0,5 \cdot w \cdot b$$

$$EW_S = 0,5 \times 1,46 \times 8,8$$

$$EW_S = 6,424 \text{ kN}$$

Keterangan:

b adalah nilai dari jarak antar batang dari sendi ke sendi, yaitu 8,8 meter.



IV.1.10 Kombinasi Pembebanan

Terdapat beban-beban yang akan dihitung berdasarkan kombinasi pembebanan sesuai dengan peraturan *American Railway Engineering and Maintenance of Way Association* (AREMA). Kombinasi pembebanan tidak memakai peraturan dari SNI 1725:2016 karena beban jembatan yang dicari terlalu umum. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang akan dipakai dalam mencari beban maksimum dari jembatan kereta api berdasarkan AREMA dengan metode ASD (*Allowable Stress Design*).

Tabel IV.10 Kombinasi Pembebanan untuk Jembatan Kereta Api

Load Case	Kombinasi Pembebanan	Member	F_L
A1	DL + LL + I + CF	Semua batang	1,00
A2	DL + LLT + I + CF	Batang bagian <i>truss</i>	1,33
B1	DL + LL + I + W + LF + N + CWR	Semua batang, kecuali gelagar melintang dan baut <i>high strength</i>	1,25
B1A	DL + LL + I + W + LF + N + CWR	Gelagar melintang dan baut <i>high strength</i>	1,00
B2	DL + LLT + I + W + LF + N + CWR	Batang bagian <i>truss</i> , kecuali gelagar melintang	1,66
C	(LL + I) range	Semua batang	f_{fat}
D1	SL + N + CF	Batang-batang yang menahan ketidakstabilan	1,50
D2	Q	Batang-batang yang menahan ketidakstabilan	1,50
E1	DL + EQ	Semua batang	1,50
E2	DL + LL + I + CF + EQ	Batang-batang di <i>long bridge</i>	1,50
F	W or LV	Batang-batang penahan beban angin	1,00
G	DF	<i>Cross frames, diaphragms, dan anchor rods</i>	1,50
H1	DL	Batang yang tegang saat pengangkatan atau <i>jacking</i>	1,50
H2	DL	Batang yang tegang saat <i>erection</i>	1,25
H3	DL + W	Batang yang tegang saat <i>erection</i>	1,33

(Sumber: Unsworth, 2010)

Keterangan:

F_L = Tegangan izin (*Allowable Stress Load Factor*)

DL = Beban mati sendiri, tambahan, dan utilitas

LL = Beban hidup

I = Beban kejut

CF = Gaya sentrifugal

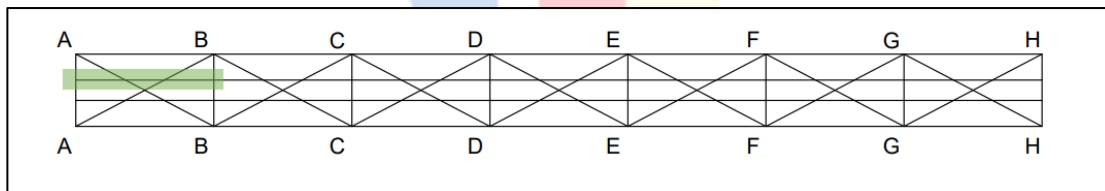
W = Beban angin

LF = Beban pengereman dan traksi

- N = Beban lateral kereta
 CWR = Beban rel panjang longitudinal
 EQ = Gaya gempa
 DF = Gaya lateral dari lenturan di luar bidang dan beban tidak merata
 LV = Beban dari efek getaran lateral
 LLT = Beban hidup yang telah menyebabkan tegangan total naik hingga 33% dari kombinasi pembebanan A1
 SL = Beban hidup pada rel di sisi terpaan angin sebesar 1200 lb/ft tanpa beban I
 Q = Kereta api keluar jalur
 f_{fat} = Tegangan izin berdasarkan panjang beban batang dan fatik

IV.2 Desain dan Pengecekan untuk Gelagar Memanjang (*Stringer*)

Dalam mendesain gelagar memanjang, kombinasi pembebanan yang dipakai berdasarkan tabel di atas adalah dengan menggunakan kombinasi pembebanan A1 dan B1 sesuai dengan tabel kombinasi pembebanan. Berikut adalah batang gelagar memanjang yang ditinjau. Batang-batang lainnya juga identik dengan batang yang ditinjau.



Gambar III.15 Batang Gelagar Memanjang yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.2.1 Kombinasi Pembebanan A1

$$A1 = DL + LL + I + CF$$

Berikut adalah data-data untuk kombinasi pembebanan A1.

- Beban mati sendiri
 $DL = 2,0782 \text{ ton}$

DL didapatkan dari penggunaan profil WF 700.300.16.30 untuk gelagar memanjang dan akan dibahas dipenjelasan selanjutnya.

- Beban mati tambahan

$$DL' = 1,697739477 \times 2$$

$$DL' = 3,395478954 \text{ ton}$$

DL' didapatkan dari hasil DL' pada setiap sendi atau *joint* dan dikali dua karena memikul DL' pada dua *joint*.

- Untuk beban kejut (I) sesuai dengan perhitungan beban di atas.

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan A1 pada masing-masing gandar.

- Beban 1 Gandar

$$A1 = 20 + 10,48029 + (2,0782 + 3,3955)/1$$

$$A1 = 35,95396569 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 2 Gandar

$$A1 = 19 + 9,956272401 + (2,0782 + 3,3955)/2$$

$$A1 = 31,69311188 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 3 Gandar

$$A1 = 18 + 9,432258065 + (2,0782 + 3,3955)/3$$

$$A1 = 29,25681772 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 5 Gandar

$$A1 = 17 + 8,908243728 + (2,0782 + 3,3955)/5$$

$$A1 = 27,00297952 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 7 Gandar

$$A1 = 15 + 7,860215054 + (2,0782 + 3,3955)/7$$

$$A1 = 23,64216919 \text{ ton/gandar}$$

- Beban Gandar Tak Tentu

$$A1 = 12 + 6,288172043 + (2,0782 + 3,3955)/2$$

$$A1 = 19,07012618 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 14 Gandar

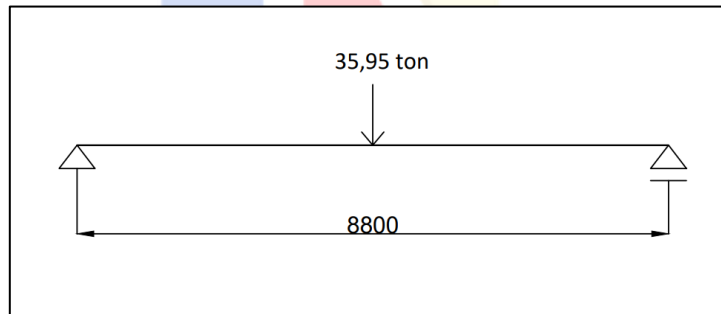
$$A1 = 12 + 6,288172043 + (2,0782 + 3,3955)/2$$

$$A1 = 19,07012618 \text{ ton/gandar}$$

Tabel IV.11 Kombinasi Pembebanan A1 Gelagar Memanjang

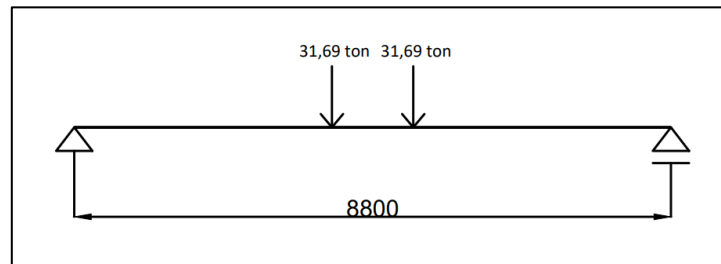
Jumlah Gandar	Kombinasi Pembebanan A1 (ton/gandar)
1	35,95396569
2	31,69311188
3	29,25681772
5	27,00297952
7	23,64216919
Tak Tentu	19,07012618
14	19,07012618

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



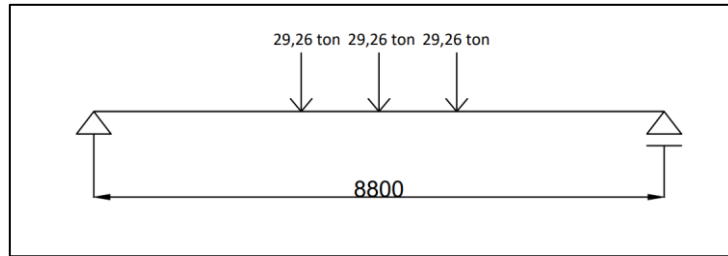
Gambar IV.5 A1 pada Beban 1 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



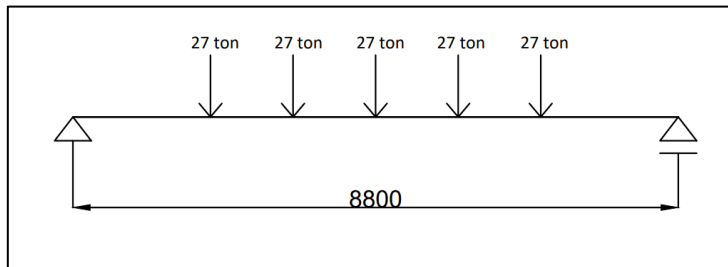
Gambar IV.6 A1 pada Beban 2 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



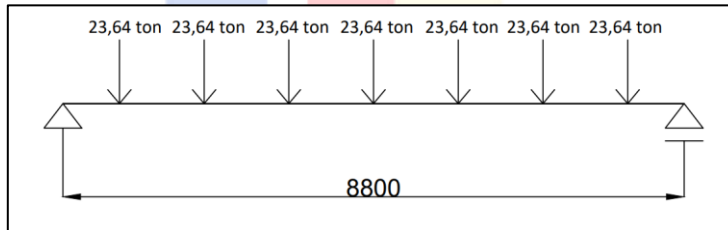
Gambar IV.7 A1 pada Beban 3 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



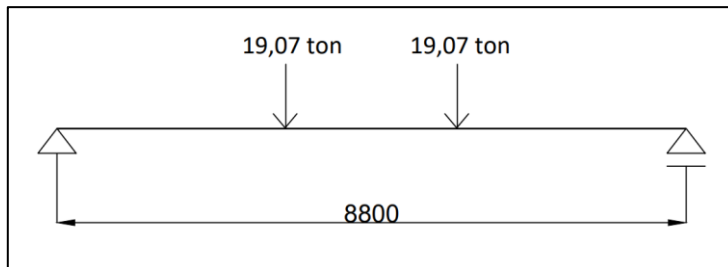
Gambar IV.8 A1 pada Beban 5 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



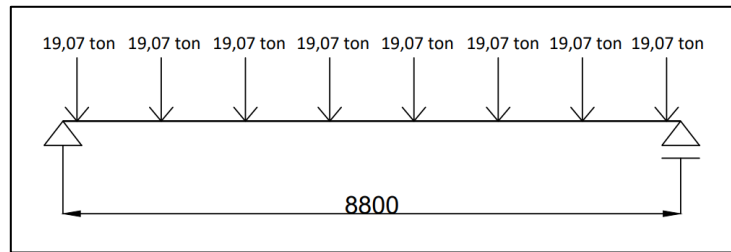
Gambar IV.9 A1 pada Beban 7 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.10 A1 pada Beban Gandar Tak Tentu

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.11 A1 pada Beban 14 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.2.2 Kombinasi Pembebanan B1

$$B1 = DL + LL + I + W + LF + N + CWR$$

Berikut adalah data-data untuk kombinasi pembebanan B1.

- Beban mati sendiri dan beban mati tambahan sama seperti pada A1.
- Untuk beban kejut (I), beban angin (W), beban pengereman dan traksi (LF), beban lateral (N), dan beban rel panjang longitudinal (CWR) sesuai dengan perhitungan beban di atas.

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan B1 pada masing-masing gandar.

- Beban 1 Gandar

$$B1 = 20 + 10,48029 + 3 + 5 + (2,0782 + 3,3955)/1$$

$$B1 = 43,95396569 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 2 Gandar

$$B1 = 19 + 9,956272401 + 2,85 + 4,75 + 1,02 \times 1,2 + \frac{(2,0782 + 3,3955)}{2}$$

$$B1 = 43,25395136 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 3 Gandar

$$B1 = 18 + 9,432258065 + 2,7 + 4,5 + 1,02 \times 2,4 + \frac{(2,0782 + 3,3955)}{3}$$

$$B1 = 42,55393702 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 5 Gandar

$$B1 = 17 + 8,908243728 + 2,55 + 4,25 + 1,02 \times 4,8 + \frac{(2,0782 + 3,3955)}{5}$$

$$B1 = 43,07792268 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 7 Gandar

$$B1 = 15 + 7,860215054 + 2,25 + 3,75 + 1,02 \times 7,2 + \frac{(2,0782 + 3,3955)}{7}$$

$$B1 = 41,67789401 \text{ ton/gandar}$$

- Beban Gandar Tak Tentu

$$B1 = 12 + 6,288172043 + 1,8 + 3 + 1,02 \times 2,4 + \frac{(2,0782 + 3,3955)}{2}$$

$$B1 = 31,009851 \text{ ton/gandar}$$

- Beban 14 Gandar

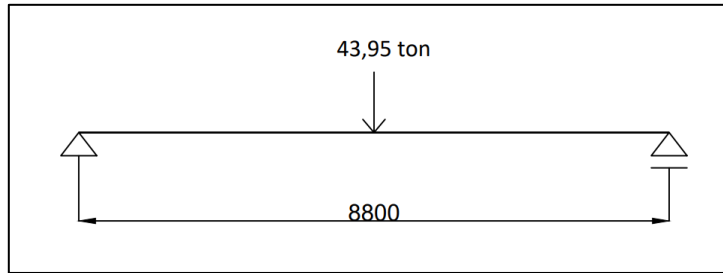
$$B1 = 12 + 6,288172043 + 1,8 + 3 + 1,02 \times 8,4 + \frac{(2,0782 + 3,3955)}{2}$$

$$B1 = 37,129851 \text{ ton/gandar}$$

Tabel IV.12 Kombinasi Pembebanan B1 Gelagar Memanjang

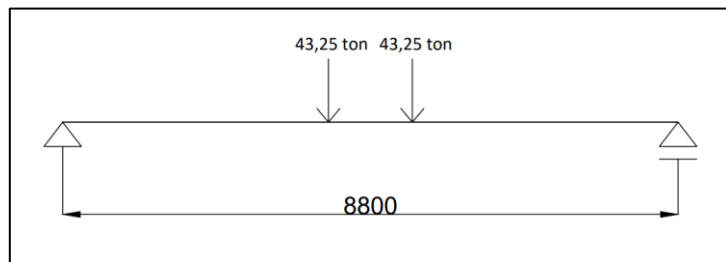
Jumlah Gandar	Kombinasi Pembebanan B1 (ton/gandar)
1	43,95396569
2	43,25395136
3	42,55393702
5	43,07792268
7	41,67789401
Tak Tentu	31,009851
14	37,129851

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



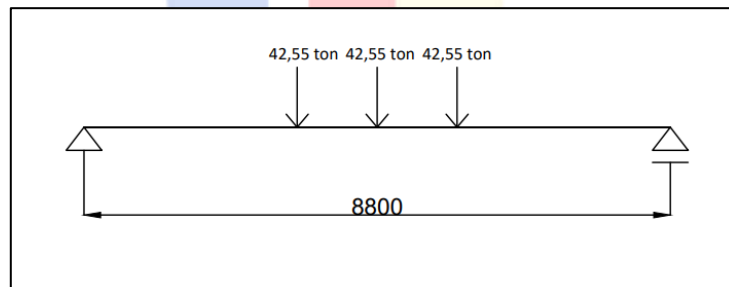
Gambar IV.12 B1 pada Beban 1 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



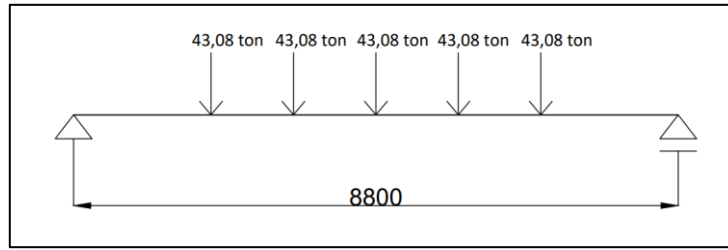
Gambar IV.13 B1 pada Beban 2 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



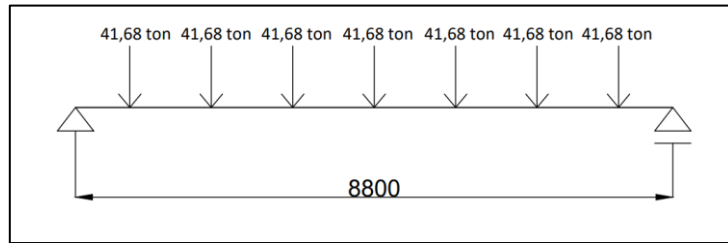
Gambar IV.14 B1 pada Beban 3 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



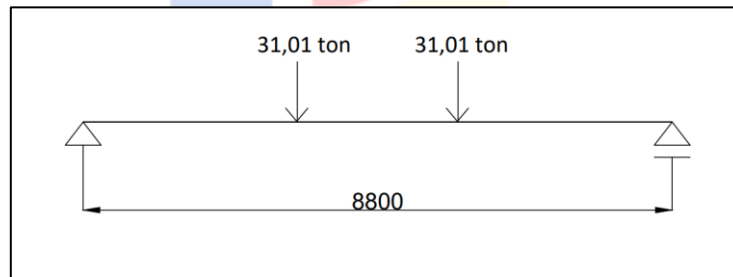
Gambar IV.15 B1 pada Beban 5 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



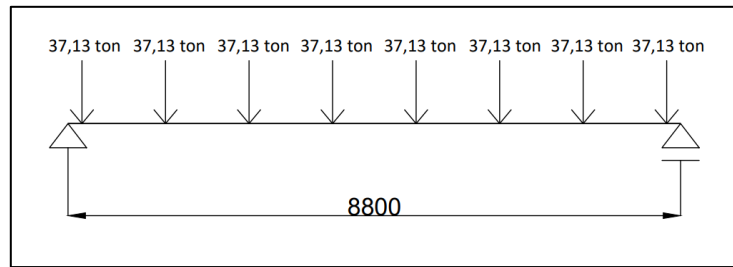
Gambar IV.16 B1 pada Beban 7 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.17 B1 pada Beban Gandar Tak Tentu

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.18 B1 pada Beban 14 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.2.3 Resultan Gaya Geser dan Momen Berdasarkan Kombinasi Pembebanan

- Kombinasi Pembebanan A1

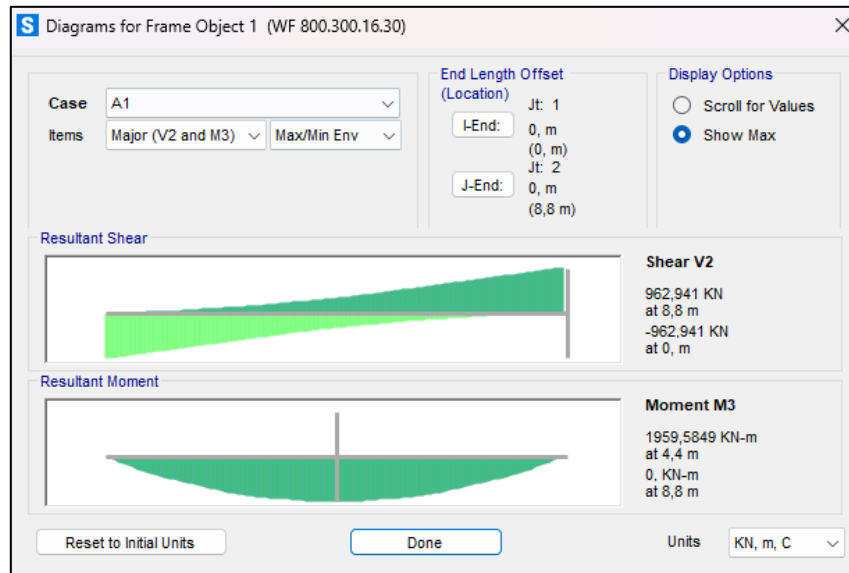
Berikut adalah hasil untuk gaya geser dan momen dari kombinasi pembebanan A1 berdasarkan SAP 2000.

Tabel IV.13 Gaya Geser dan Momen dari Kombinasi Pembebanan A1

Gaya	Nilai 2 <i>Stringer</i>	Nilai 1 <i>Stringer</i>	Satuan
$V_u =$	962,941	481,4705	kN
$M_u =$	1959,5849	979,79245	kN.m

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai 1 *stringer* didapatkan dengan membagi dua nilai 2 *stringer* karena beban tersebut sebenarnya ditahan oleh 2 *stringer*.



Gambar IV.19 Gaya Geser dan Momen dari Kombinasi Pembebanan A1

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Kombinasi Pembebanan B1

Berikut adalah hasil untuk gaya geser dan momen dari kombinasi pembebanan B1 berdasarkan SAP 2000.

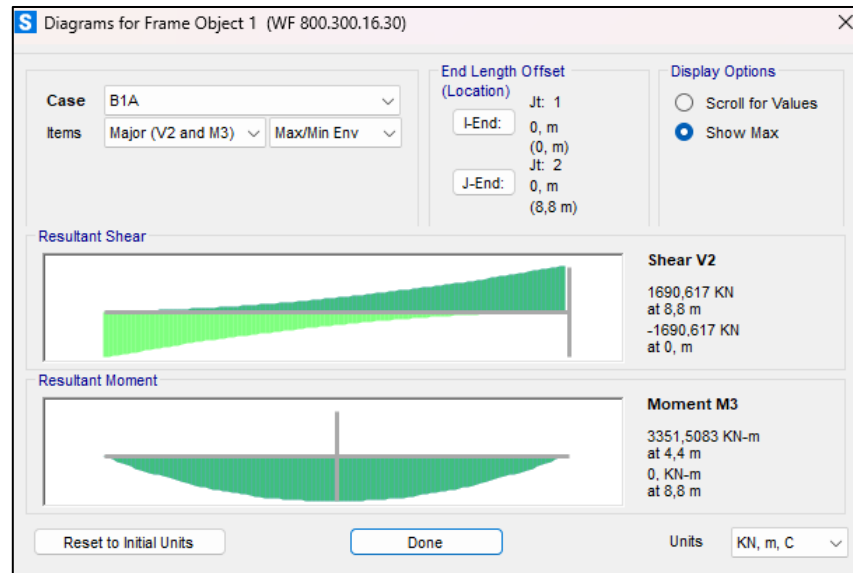
Tabel IV.14 Gaya Geser dan Momen dari Kombinasi Pembebanan B1

Gaya	Nilai 2 <i>Stringer</i>	Nilai 1 <i>Stringer</i>	Satuan
$V_u =$	1690,617	845,3085	kN
$M_u =$	3351,5083	1675,75415	kN.m

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai 1 *stringer* didapatkan dengan membagi dua nilai 2 *stringer* karena beban tersebut sebenarnya ditahan oleh 2 *stringer*.

Gambar IV.20 Gaya Geser dan Momen dari Kombinasi Pembebanan B1



(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Gaya Geser dan Momen yang dipakai
 Penentuan gaya geser dan momen akan dipakai sebagai gaya geser ultimate (V_u) dan momen ultimate (M_u) untuk mencari profil baja gelagar memanjang yang kuat menahan beban ultimate tersebut.

Tabel IV.15 Gaya Geser dan Momen yang Dipakai

Gaya	A1	B1	Gaya yang dipakai	Satuan
$V_u =$	481,4705	845,3085	845,3085	kN
$M_n =$	979,79245	1675,75415	1675,75415	kN.m

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.2.4 Penentuan dan Pengecekan Profil Baja

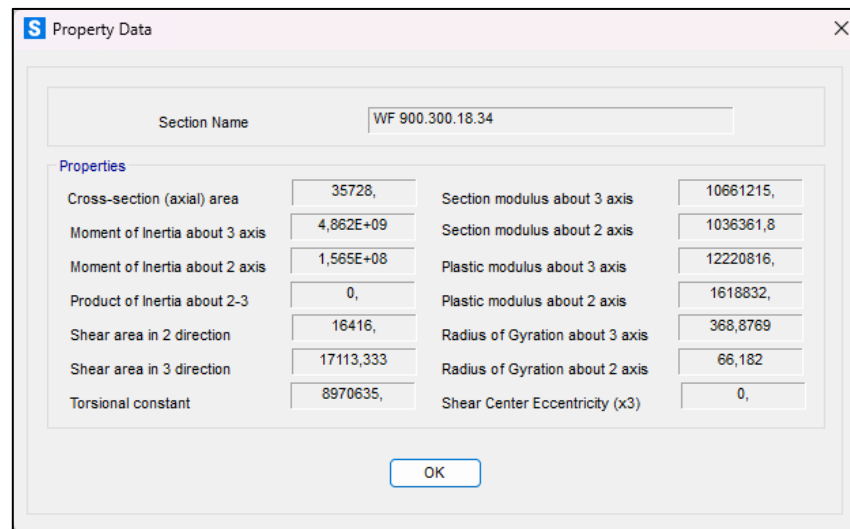
- Penentuan Penampang Baja
 Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Section F1*, cara menentukan penampang yang akan digunakan sebagai profil baja gelagar memanjang adalah sebagai berikut.

$$Z_x \geq \frac{1,67 \cdot M_a}{F_y}$$

$$Z_x \geq \frac{1,67 \times 1675,75 \times 10^6}{250}$$

$$Z_x \geq 11194038 \text{ mm}^4$$

Maka, dipilihlah profil baja WF 900.300.18.34 sebagai gelagar memanjang dengan nilai $Z_x = 12220816 \text{ mm}^4$ yang pada gambar di bawah ini adalah *plastic modulus about 3 axis*.



Gambar IV.21 Nilai Z_x Baja WF 700.300.16.30

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan Lentutan

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360-05 Commentary Section L3*, besar lentutan yang terjadi pada gelagar memanjang adalah sebagai berikut.

$$\Delta y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{845,3085 \times 1000 \times 8800^3}{48 \times 200000 \times 4,98 \times 10^9}$$

$$\Delta y = 12,05 \text{ mm}$$

Lentutan ijin untuk gelagar memanjang.

$$\Delta y_{max} = \frac{L}{360}$$

$$\Delta y_{max} = \frac{8800}{360}$$

$$\Delta y_{max} = 24,44 \text{ mm}$$

Pengecekan besar lendutan apakah memenuhi syarat lendutan izin.

$$\Delta y < \Delta y_{max}$$

$$12,05 \text{ mm} < 24,44 \text{ mm} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Kesimpulan: profil baja WF 900.300.18.34 memenuhi syarat lendutan untuk gelagar memanjang.

- Pengecekan Penampang Kompak atau Tak Kompak

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Table B4.1b akan dicek apakah profil baja yang dipilih tergolong penampang kompak atau tak kompak. Berikut adalah pengecekan terhadap *web* atau badan.

$$h/tw < \lambda_{pw}$$

$$\frac{912}{18} < 3,76 \times (E/Fy)^{0,5}$$

$$50,67 < 3,76 \times \left(\frac{20000}{250}\right)^{0,5}$$

$$50,67 < 106,349 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Bagian *web* atau badan tergolong penampang kompak. Berikut adalah pengecekan terhadap *flange* atau sayap.

$$b = \frac{b}{2} - \frac{tw}{2}$$

$$b = \frac{302}{2} - \frac{18}{2}$$

$$b = 142 \text{ mm}$$

$$b/2tf < \lambda_{pf}$$

$$\frac{142}{2 \times 34} < 0,38 \times (E/Fy)^{0,5}$$

$$2,088 < 0,38 \times \left(\frac{200000}{250}\right)^{0,5}$$

$2,088 < 10,748$ (memenuhi syarat)

Bagian *flange* atau sayap tergolong penampang kompak. Karena kedua bagian memenuhi persyaratan kompak, maka profil WF 900.300.18.34 mampu menahan momen mencapai momen plastis dan tidak ada masalah pada tekuk lokal sehingga:
 $M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$

- Pengecekan *Lateral Torsional Buckling* (LTB)

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (F2-5) akan dicek apakah profil baja yang dipilih memerlukan lateral *bracing* agar tidak mencapai momen plastis sebelum mencapai titik plastisnya.

$$L_p = 1,76 \times r_y \times \left(\frac{E}{F_y}\right)^{0,5}$$

$$L_p = 1,76 \times 65,6 \times \left(\frac{200000}{250}\right)^{0,5}$$

$$L_p = 3265,59 \text{ mm}$$

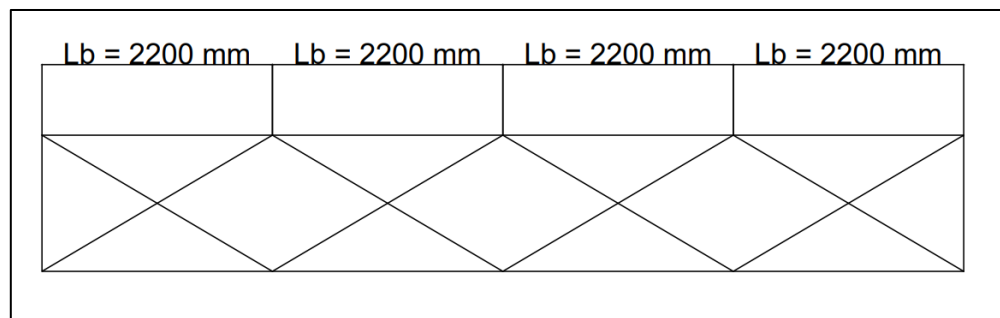
Agar momen nominal sama dengan momen plastis penampang, maka:

$$L_b < L_p$$

$$L_b < 3265,59 \text{ mm}$$

Maka, nilai L_b atau jarak pengaku lateral harus lebih kecil dari 3265,59 mm dan diambil jarak L_b sebesar 2200 mm sehingga:

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



Gambar IV.22 Jarak Pengaku Lateral Gelagar Memanjang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan Momen Nominal Penampang (M_n)

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Sec. F1*, berikut adalah cara untuk mencari nominal penampangnya.

$$Mn = Mp = Fy \cdot Zx$$

$$Mn = 12220816 \times 250$$

$$Mn = 3055204000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = 3055,204 \text{ kN.m}$$

Lanjut untuk pengecek persyaratan kekuatannya.

$$\frac{Mn}{\Omega} \geq Ma$$

$$\frac{3055,204}{1,67} \geq 1675,75415$$

$$1829,463 \text{ kN.m} \geq 1675,75415 \text{ kN.m}$$

Kesimpulan: profil baja WF 900.300.18.34 memenuhi persyaratan momen nominal penampang.

- Pengecekan Kuat Geser Nominal Penampang (Vn)

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (G2 – 1)* akan mencari koefisien geser profil (Cv) untuk kondisi dimana bagian *web* atau badan profil WF 900.300.18.34

$$\frac{h}{tw} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{912 - 2 \times 34}{18} \leq 2,24 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$46,89 \leq 63,357$$

Karena memenuhi persyaratan, maka nilai $Cv = 1$. Berikut adalah menentukan kuat geser nominal penampang.

$$Vn = 0,6 \cdot fy \cdot Aw \cdot Cv$$

$$Vn = 0,6 \times 250 \times (912 - 34 \times 2) \times 18 \times 1$$

$$Vn = 2278800 \text{ N}$$

$$Vn = 2278,8 \text{ kN}$$

Lanjut untuk pengecek persyaratan kekuatannya.

$$\frac{Vn}{\Omega} \geq Va$$

$$\frac{2278,8}{1,5} \geq 845,3085$$

$$1519,2 \text{ kN} \geq 845,3085 \text{ kN}$$

Kesimpulan: profil baja WF 900.300.18.34 memenuhi persyaratan kuat geser nominal penampang.

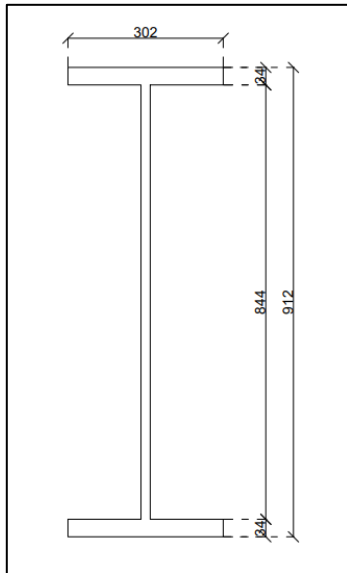
- Kesimpulan dan Profil Baja yang Dipakai

Tabel IV.16 Pengecekan Profil Baja WF 900.300.18.34

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Lendutan / <i>Deflection</i>	Ya	
Penampang Kompak / Tak Kompak	Ya, Penampang Kompak	
<i>Lateral Torsional Buckling</i>	Ya, $L_b = 2200 \text{ mm}$	
Momen Nominal	Ya	
Kuat Geser Nominal	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka profil Baja WF 900.300.18.34 memenuhi persyaratan untuk gelagar memanjang atau *stringer*.

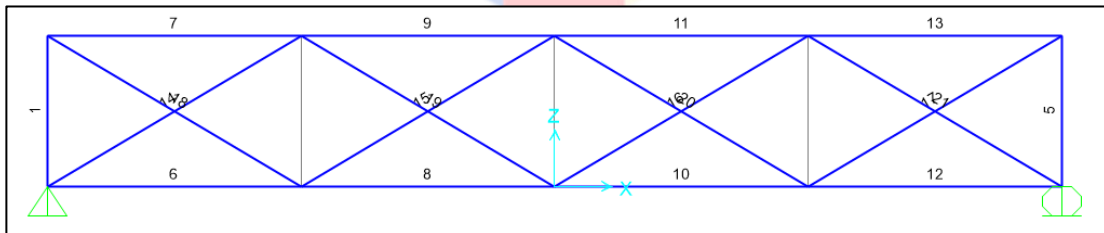


Gambar IV.23 Penampang WF 900.300.18.34 dalam Satuan mm

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.3 Desain dan Pengecekan untuk Lateral Bracing Gelagar Memanjang

Dalam mendesain *lateral bracing* pada gelagar memanjang, pembebanan yang diambil berdasarkan besar beban lateral yang terjadi pada gelagar memanjang dan di-assign ke SAP2000 untuk mendapatkan gaya tarik dan tekan pada masing-masing batang.



Gambar IV.24 Lateral Bracing Gelagar Memanjang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Tabel IV.17 Beban Lateral per Gandar

Jumlah Gandar	Berat per Gandar (ton)
1	3
2	2,85
3	2,7
5	2,55
7	2,25
14	1,8
Tak Tentu	1,8

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.3.1 Gaya Tarik dan Tekan Aksial Batang

Besar gaya pada batang lateral dicari dengan menggunakan SAP2000 dan menghasilkan gaya tarik-tekan aksialnya pada masing-masing batang.

Tabel IV.18 Nilai Gaya Tarik-Tekan Aksial Batang

Batang	Tarik (kN)	Tekan (kN)
1		5,417
5		5,417
6	7,246	
7		4,266
8	14,946	
9		10,465
10	14,946	
11		10,465
12	7,246	
13		4,266
14		7,694
15		4,899
16	2,485	2,859
17	4,593	
18	4,593	

19	2,485	2,859
20		4,899
21	4,528	7,694

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

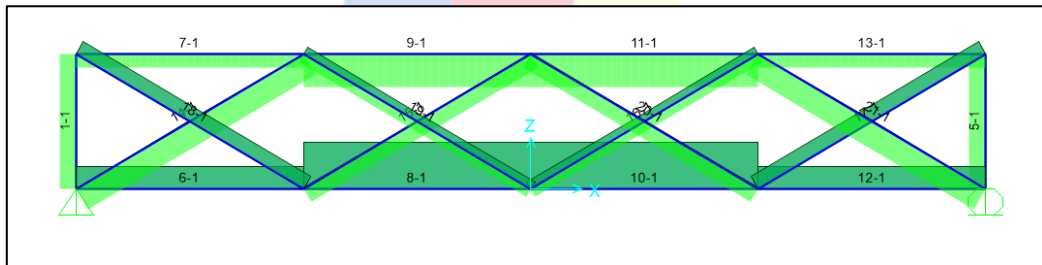
IV.3.2 Gaya Tarik dan Tekan Aksial Batang yang Dipakai

Hasil gaya tarik dan tekan batang yang paling maksimum akan menjadi tegangan tarik (R_a) dan tekan (P_a) yang akan menjadi syarat untuk mencari tegangan nominal dan mengecek apakah baja-baja yang dipilih sudah memenuhi persyaratan.

Berikut adalah nilai gaya tarik dan tekan maksimumnya.

$R_a = 4,593 \text{ kN}$ pada batang 17 dan 18

$P_a = 7,694 \text{ kN}$ pada batang 14 dan 21



Gambar IV.25 Gaya Tarik dan Tekan Masing-Masing Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Untuk batang no. 1 – 13 tidak dipertimbangkan gaya tarik dan tekannya karena termasuk gelagar melintang, bukan batang lateralnya.

IV.3.3 Penentuan Penampang Baja

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360-16*, cara menentukan penampang yang akan digunakan sebagai profil baja ikatan angin atas adalah dengan memperhitungkan area minimum, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{P_a}{A} \leq 0,5f_y$$

$$\frac{7694}{A} \leq 0,5 \times 250$$

$$A \geq 61,552 \text{ mm}^2$$

$$A \geq 0,61552 \text{ cm}^2$$

Maka, dipilihlah profil baja L 50.50.5 sebagai batang lateral dengan luas area penampang $A_g = 480 \text{ mm}^2$.

IV.3.4 Pengecekan Tahanan Nominal Tekan

Setelah menentukan profil baja batang lateral, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tekan. Berikut adalah data mutu dan profil baja L 50.50.5.

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A_g = 480 \text{ mm}^2$$

Berikut adalah data-data pendukungnya.

$$\text{Panjang batang } (L) = 1277,69 \text{ m}$$

$$\text{Gaya tekan } (P_a) = 7,694 \text{ kN}$$

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 3 adalah pengecekan terhadap kelangsingan sayap atau badan.

$$b = 50 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t} \leq \lambda r$$

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{50}{5} \leq 0,45 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$10 \leq 12,728 \text{ (memenuhi persyaratan)}$$

Profil baja L 50.50.5 telah memenuhi persyaratan untuk kelangsingan sayap atau badan.

Berdasarkan SNI 1729:2015 Tabel E1.1 Bab E5, penampang tidak langsing merupakan

komponen struktur tekan siku tunggal. Karena $\frac{b}{t} > 20$, maka efek eksentrisitas dapat diabaikan sehingga tidak diperhitungkan sebagai batang aksial yang menahan gaya tekan dengan persyaratan bahwa:

- (1) Gaya tekan membebani komponen struktur pada ujung-ujungnya melalui satu kaki yang sama;
- (2) Struktur akan disambung dengan menggunakan las atau sambungan baut dengan minimum 2 baut terpasang, dan;
- (3) Tidak ada beban transversal atau beban geser menengah.

Karena profil L 50.50.5 memenuhi persyaratan di atas, maka profil ini memenuhi syarat untuk tahanan tekan.

IV.3.5 Pengecekan Tahanan Nominal Tarik

Setelah melakukan pengecekan untuk tahanan tekan, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tarik. Untuk data mutu dan profil baja L 50.50.5 sudah disebutkan di bagian sebelumnya dan berikut adalah gaya tarik *ultimatenya*.

$$Gaya\ tarik\ (Ra) = 4,593\ kN$$

Berikut adalah perhitungan untuk mencari kuat leleh tariknya berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (D2-1)* dengan meniadakan luas yang dapat berkurang karena sambungan dan akan dibahas di bagian-bagian selanjutnya.

$$Rn = Ag \cdot fy$$

$$Rn = 480 \times 250$$

$$Rn = 120000\ N$$

$$Rn = 120\ kN$$

Pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan RSNI T-03-2005 pada tabel 3

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{120}{1,67} \geq 4,593\ kN$$

$$71,856\ kN \geq 4,593\ kN\ (\text{memenuhi syarat})$$

L 50.50.5 memenuhi persyaratan untuk tahanan tarik.

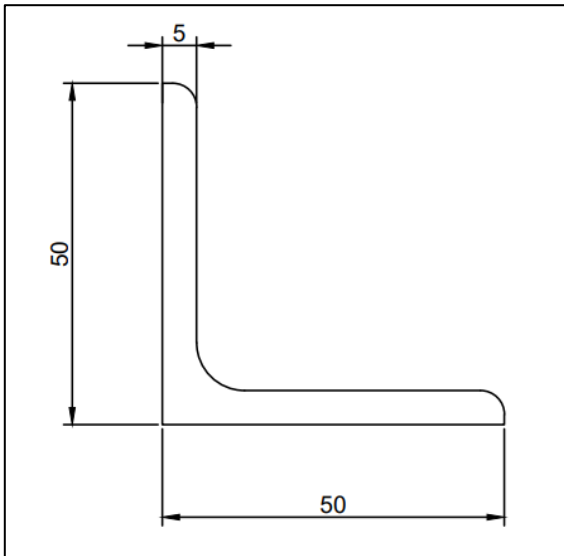
IV.3.6 Kesimpulan dan Profil Baja yang Dipakai

Tabel IV.19 Pengecekan Profil Baja L 50.50.5

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Tahanan Tekan	Ya	
Tahanan Tarik	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka profil Baja L 50.50.5 memenuhi persyaratan untuk batang lateral gelagar memanjang.

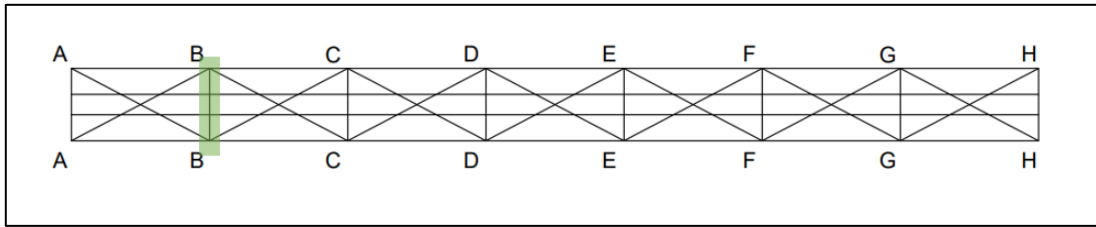


Gambar IV.26 Penampang L 50.50.5 dalam Satuan mm

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.4 Desain dan Pengecekan untuk Gelagar Melintang (*Floor Beam*)

Dalam mendesain gelagar memanjang, kombinasi pembebanan yang dipakai berdasarkan tabel di atas adalah dengan menggunakan kombinasi pembebanan A1 dan B1A sesuai dengan tabel kombinasi pembebanan. Berikut adalah batang gelagar melintang yang ditinjau. Batang-batang lainnya juga identik dengan batang yang ditinjau.



Gambar IV.27 Batang Gelagar Melintang yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.4.1 Kombinasi Pembebanan A1

$$A1 = DL + LL + I + CF$$

Berikut adalah data-data untuk kombinasi pembebanan A1.

- Beban mati sendiri

$$DL = 1,2773 \text{ ton}$$

DL didapatkan dari penggunaan profil WF 900.300.18.34 untuk gelagar melintang dan akan dibahas dipenjelasan selanjutnya.

- Beban mati tambahan

$$DL' = 1,697739477 \text{ ton}$$

DL' didapatkan dari hasil DL' pada setiap sendi atau *joint*.

- Untuk beban kejut (I) sesuai dengan perhitungan beban di atas.

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan A1 pada masing-masing gandar.

- Beban 1 Gandar

$$A1 = (20 + 10,48029) \times 1 + 1,2773 + 1,6977$$

$$A1 = 33,45532622 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$A1 = 33,45532622/2$$

$$A1 = 16,72766311 \text{ ton}$$

- Beban 2 Gandar

$$A1 = (19 + 9,956272401) \times 2 + 1,2773 + 1,6977$$

$$A1 = 60,88758428 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$A1 = 60,88758428/2$$

$$A1 = 30,44379214 \text{ ton}$$

- Beban 3 Gandar

$$A1 = (18 + 9,432258065) \times 3 + 1,2773 + 1,6977$$

$$A1 = 85,27181367 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$A1 = 85,27181367/2$$

$$A1 = 42,63590684 \text{ ton}$$

- Beban 5 Gandar

$$A1 = (17 + 8,908243728) \times 5 + 1,2773 + 1,6977$$

$$A1 = 132,5162581 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$A1 = 132,5162581/2$$

$$A1 = 66,25812906 \text{ ton}$$

- Beban 7 Gandar

$$A1 = (15 + 7,860215054) \times 7 + 1,2773 + 1,6977$$

$$A1 = 162,9965449 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$A1 = 162,9965449/2$$

$$A1 = 81,49827243 \text{ ton}$$

- Beban Gandar Tak Tentu

$$A1 = (12 + 6,288172043) \times 2 + 1,2773 + 1,6977$$

$$A1 = 39,55138356 \text{ ton}$$

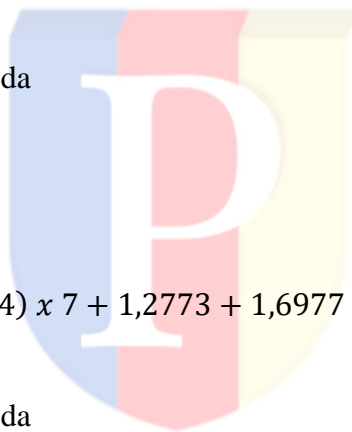
Berarti, masing-masing roda

$$A1 = 39,55138356/2$$

$$A1 = 19,77569178 \text{ ton}$$

- Beban 14 Gandar

$$A1 = (12 + 6,288172043) \times 8 + 1,2773 + 1,6977$$



$$A1 = 149,2804158 \text{ ton}$$

Beban ini hanya masuk 8 gandar saja. Berarti, masing-masing roda

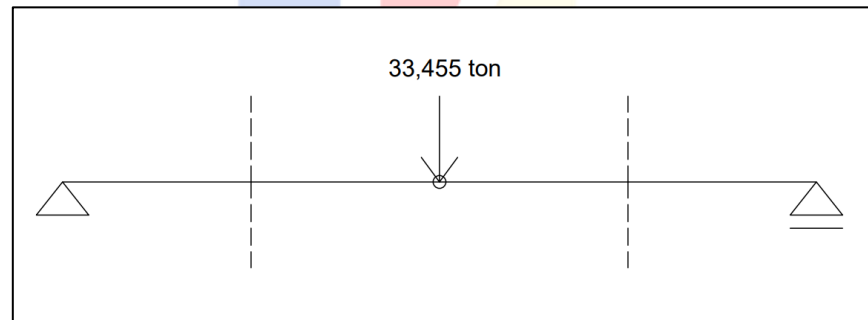
$$A1 = 149,2804158/2$$

$$A1 = 74,64020791 \text{ ton}$$

Tabel IV.20 Kombinasi Pembebanan A1 Gelagar Melintang

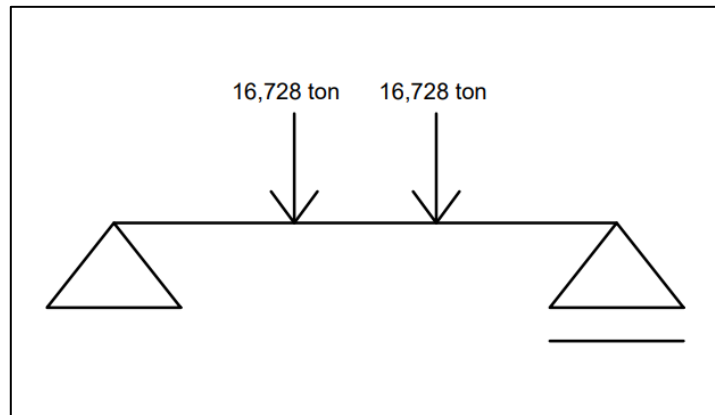
Jumlah Gandar	Kombinasi Pembebanan A1 (ton)
1	16,72766311
2	30,44379214
3	42,63590684
5	66,25812906
7	81,49827243
Tak Tentu	19,77569178
14	74,64020791

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

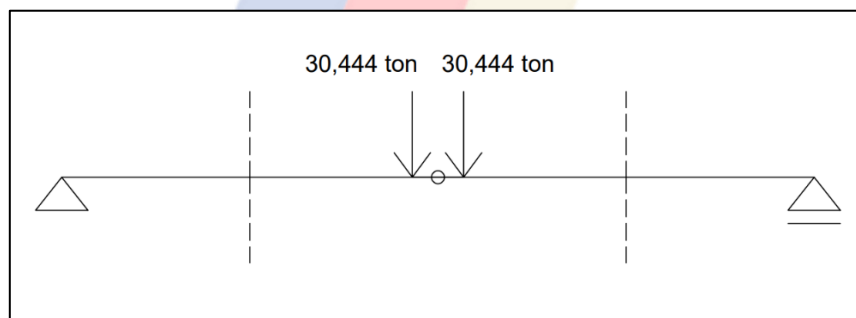


Gambar IV.28 A1 pada Beban 1 Gandar

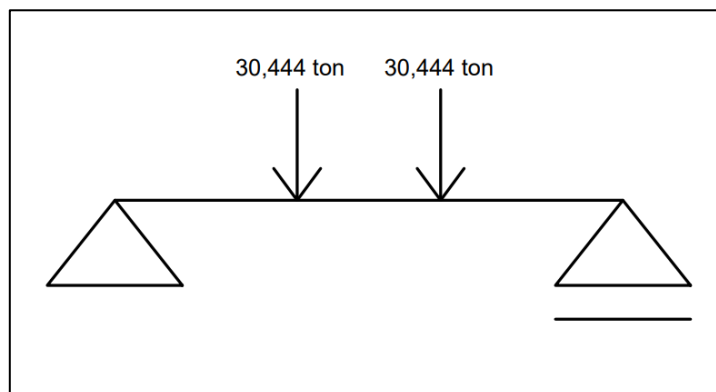
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



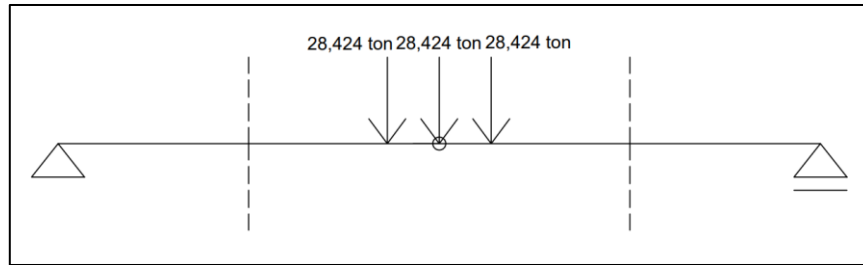
Gambar IV.29 Beban 1 Gandar Masing-Masing Roda
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.30 A1 pada Beban 2 Gandar
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

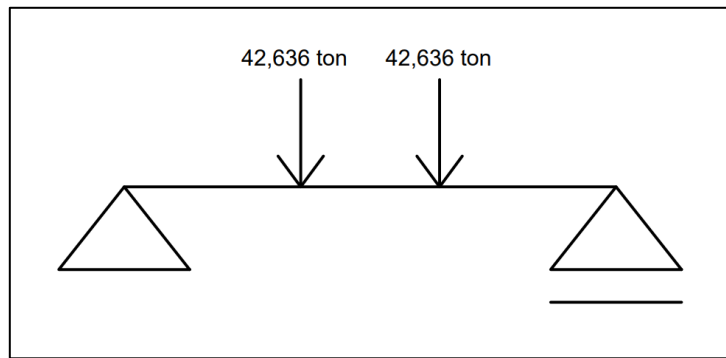


Gambar IV.31 Beban 2 Gandar Masing-Masing Roda
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



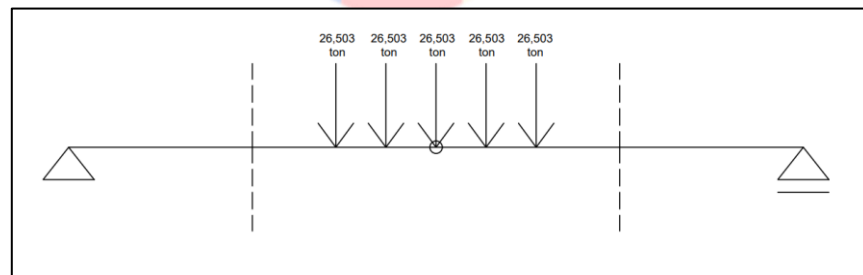
Gambar IV.32 A1 pada Beban 3 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



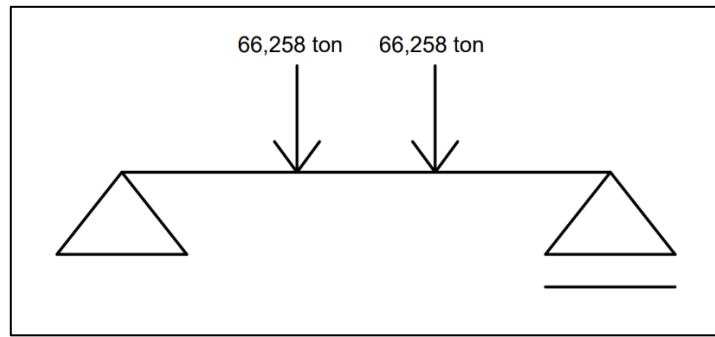
Gambar IV.33 Beban 3 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



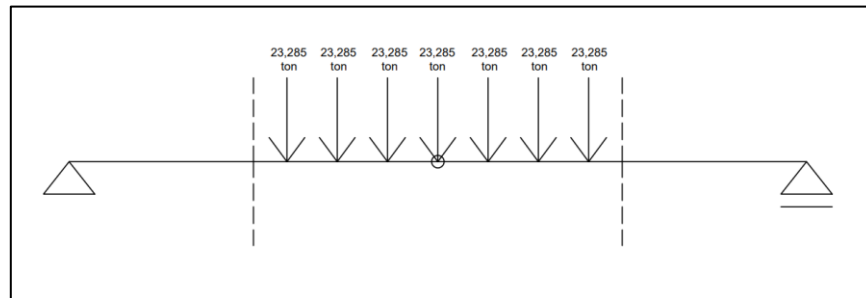
Gambar IV.34 A1 pada Beban 5 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



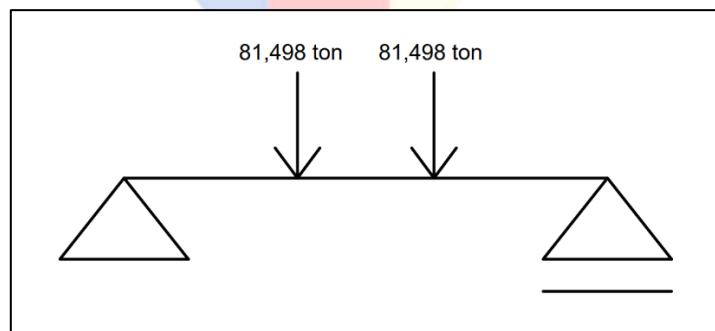
Gambar IV.35 Beban 5 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



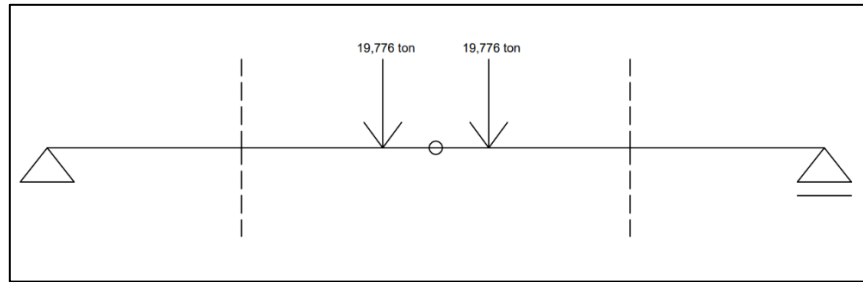
Gambar IV.36 A1 pada Beban 7 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



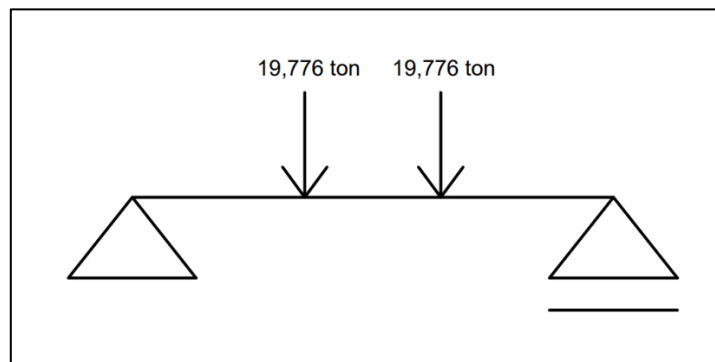
Gambar IV.37 Beban 7 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



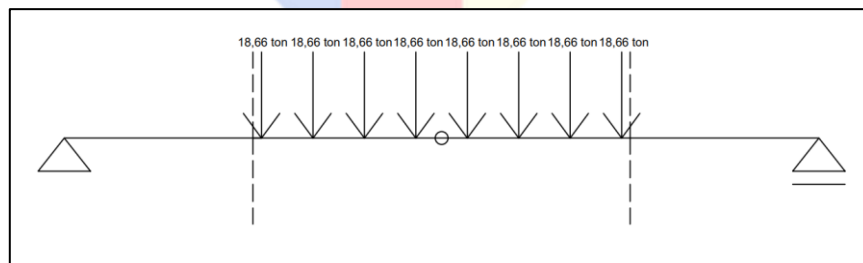
Gambar IV.38 A1 pada Beban Gandar Tak Tentu

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



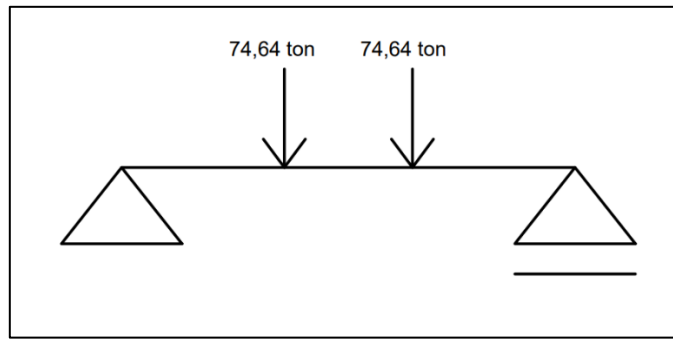
Gambar IV.39 Beban Gandar Tak Tentu Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.40 A1 pada Beban 14 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.41 Beban 14 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.4.2 Kombinasi Pembebanan B1A

$$B1A = DL + LL + I + W + LF + N + CWR$$

Berikut adalah data-data untuk kombinasi pembebanan B1A.

- Beban mati sendiri dan beban mati tambahan sama seperti pada A1.
- Untuk beban kejut (I), beban angin (W), beban pengereman dan traksi (LF), beban lateral (N), dan beban rel panjang longitudinal (CWR) sesuai dengan perhitungan beban di atas.

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan B1A pada masing-masing gandar.

- Beban 1 Gandar

$$B1A = (20 + 10,48029 + 3 + 5) \times 1 + 1,2773 + 1,6977$$

$$B1A = 41,45532622 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$B1A = 41,45532622/2$$

$$B1A = 20,72766311 \text{ ton}$$

- Beban 2 Gandar

$$B1A = (19 + 9,9563 + 2,85 + 4,75 + 1,02 \times 1,2) \times 2 + 1,2773 + 1,6977$$

$$B1A = 78,53558428 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$B1A = 78,53558428/2$$

$$B1A = 39,26779214 \text{ ton}$$

- Beban 3 Gandar

$$B1A = (18 + 9,43226 + 2,7 + 4,5 + 1,02 \times 2,4) \times 3 + 1,2773 + 1,6977$$

$$B1A = 114,2158137 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$B1A = 114,2158137/2$$

$$B1A = 57,10790684 \text{ ton}$$

- Beban 5 Gandar

$$B1A = (17 + 8,9082 + 2,55 + 4,25 + 1,02 \times 4,8) \times 5 + 1,2773 + 1,6977$$

$$B1A = 190,9962581 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$B1A = 190,9962581/2$$

$$B1A = 95,49812906 \text{ ton}$$

- Beban 7 Gandar

$$B1A = (15 + 7,8602 + 2,25 + 3,75 + 1,02 \times 7,2) \times 7 + 1,2773 + 1,6977$$

$$B1A = 256,4045449 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$B1A = 256,4045449/2$$

$$B1A = 128,2022724 \text{ ton}$$

- Beban Gandar Tak Tentu

$$B1A = (12 + 6,28817 + 1,8 + 3 + 1,02 \times 2,4) \times 2 + 1,2773 + 1,6977$$

$$B1A = 54,04738356 \text{ ton}$$

Berarti, masing-masing roda

$$B1A = 54,04738356/2$$

$$B1A = 27,02369178 \text{ ton}$$

- Beban 14 Gandar

$$B1A = (12 + 6,2882 + 1,8 + 3 + 1,02 \times 8,4) \times 8 + 1,2773 + 1,6977$$

$$B1A = 256,2244158 \text{ ton}$$

Hanya 8 gandar saja yang memberikan gaya pada gelagar melintang. Berarti, masing-masing roda

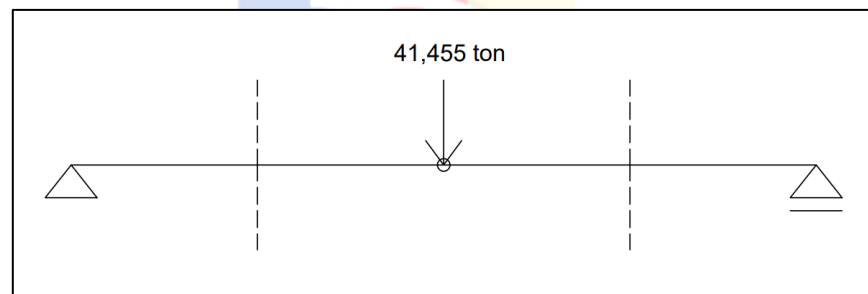
$$B1A = 256,2244158/2$$

$$B1A = 128,1122079 \text{ ton}$$

Tabel IV.21 Kombinasi Pembebanan B1A Gelagar Melintang

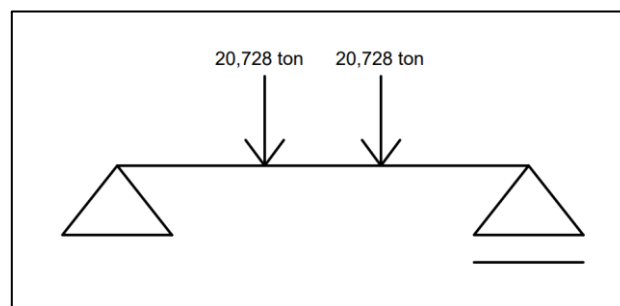
Jumlah Gandar	Kombinasi Pembebanan B1A (ton)
1	20,72766311
2	39,26779214
3	57,10790684
5	95,49812906
7	128,2022724
Tak Tentu	27,02369178
14	128,1122079

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



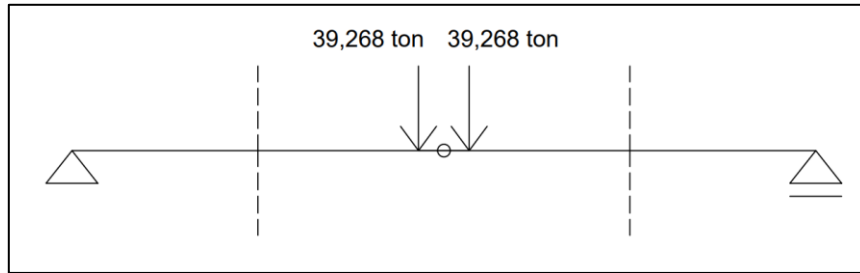
Gambar IV.42 B1A pada Beban 1 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



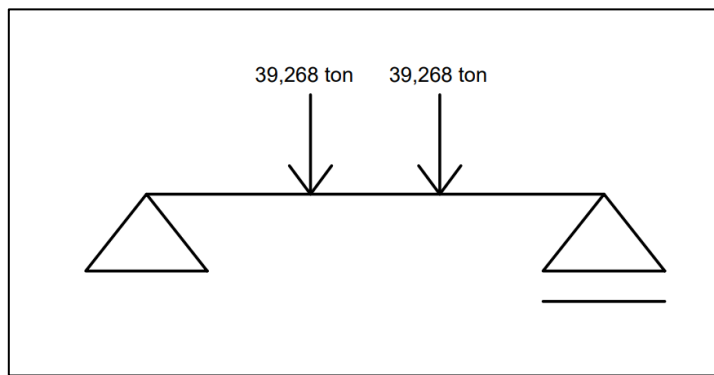
Gambar IV.43 Beban 1 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



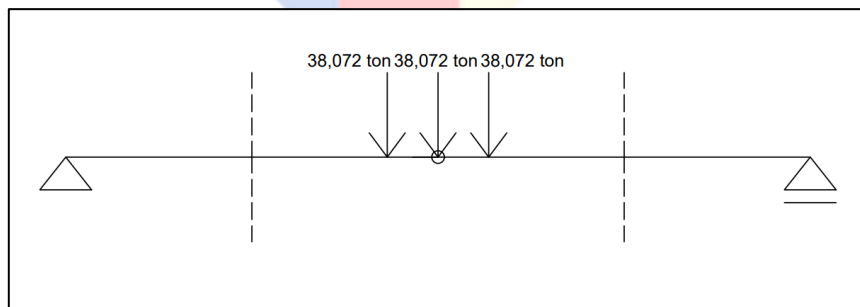
Gambar IV.44 B1A pada Beban 2 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



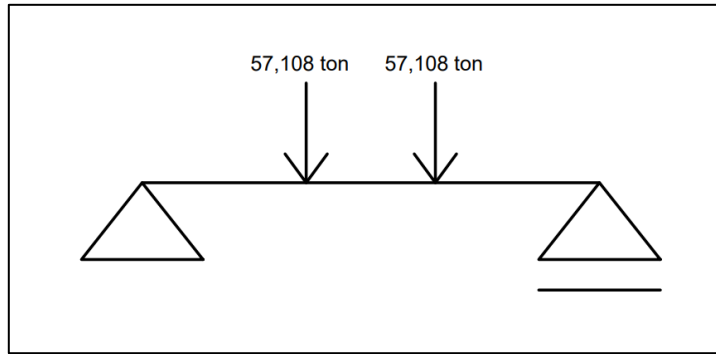
Gambar IV.45 Beban 2 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

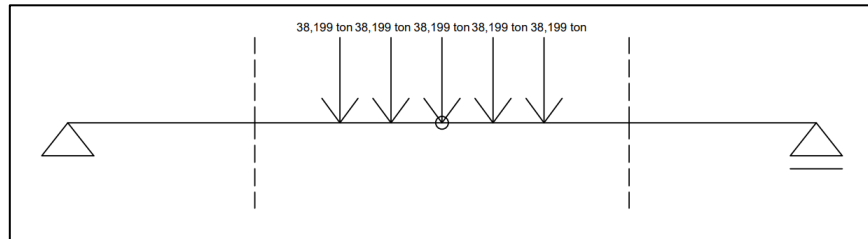


Gambar IV.46 B1A pada Beban 3 Gandar

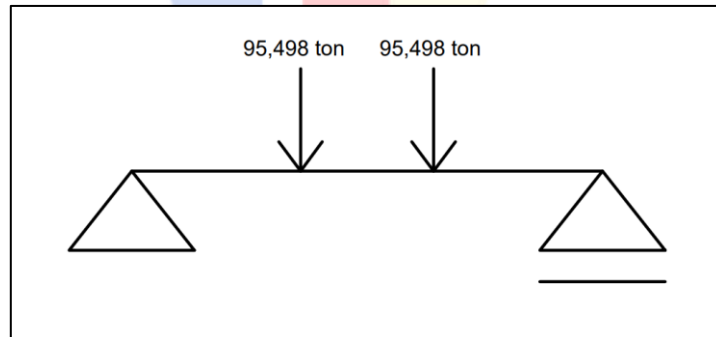
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



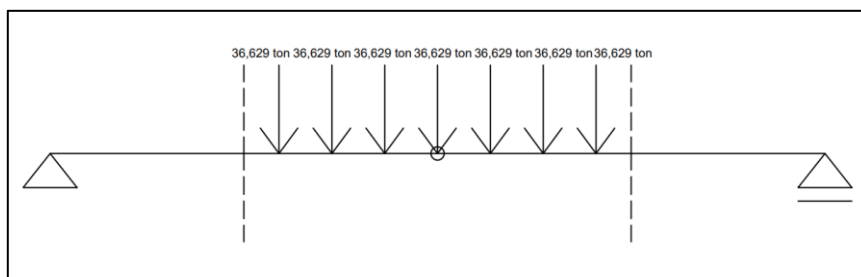
Gambar IV.47 Beban 3 Gandar Masing-Masing Roda
 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.48 B1A pada Beban 5 Gandar
 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

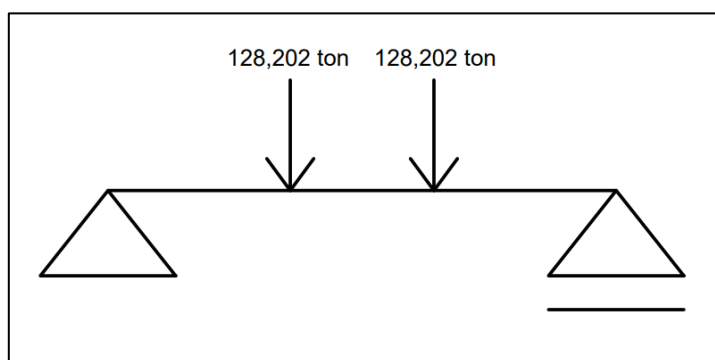


Gambar IV.49 Beban 5 Gandar Masing-Masing Roda
 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



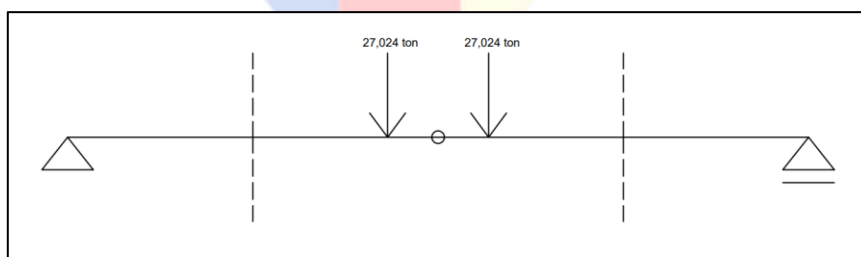
Gambar IV.50 B1A pada Beban 7 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



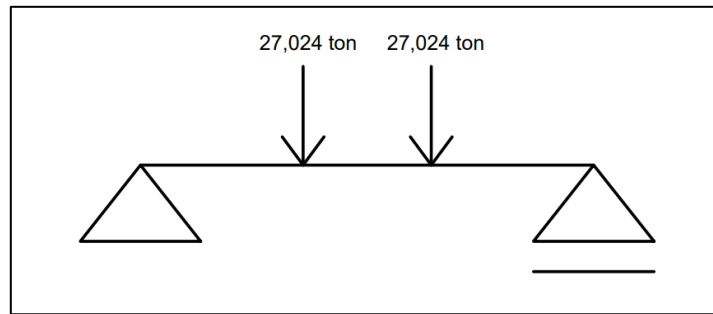
Gambar IV.51 Beban 7 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



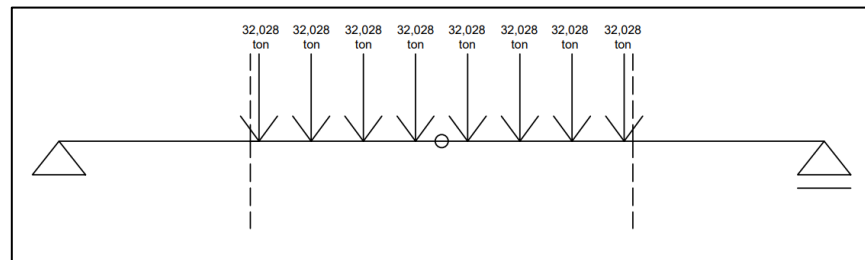
Gambar IV.52 B1A pada Beban Gandar Tak Tentu

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



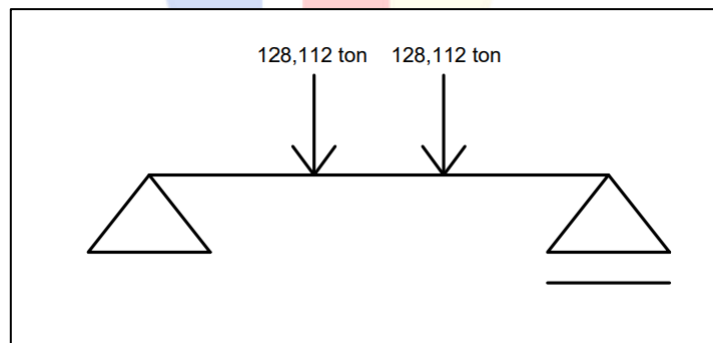
Gambar IV.53 Beban Gandar Tak Tentu Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.54 B1 pada Beban 14 Gandar

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.55 Beban 14 Gandar Masing-Masing Roda

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.4.3 Resultan Gaya Geser dan Momen Berdasarkan Kombinasi Pembebanan

- Beban Gandar yang dipakai

Tabel IV.22 Beban Gandar dari Kombinasi Pembebanan A1 dan B1A

Jumlah Gandar	Kombinasi Pembebanan A1 (ton)	Kombinasi Pembebanan B1A (ton)
1	16,72766311	20,72766311
2	30,44379214	39,26779214
3	42,63590684	57,10790684
5	66,25812906	95,49812906
7	81,49827243	128,2022724
Tak Tentu	19,77569178	27,02369178
14	74,64020791	128,1122079

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berdasarkan tabel di atas, kombinasi pembebanan yang paling besar adalah kombinasi pembebanan B1A dengan jumlah 7 gandar, yaitu sebesar 128,2022724 ton sehingga beban ini yang akan digunakan untuk mencari gaya geser dan momen gelagar melintang pada SAP2000.

- Gaya Geser dan Momen

Penentuan gaya geser dan momen akan dipakai sebagai gaya geser *allowable* (V_a) dan momen *allowable* (M_a) melalui aplikasi SAP2000 untuk mencari profil baja gelagar melintang yang kuat menahan beban *ultimate* tersebut.

Tabel IV.23 Gaya Geser dan Momen yang Dihasilkan

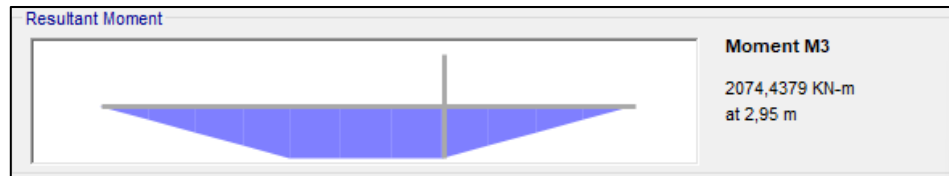
Gaya	Nilai Maksimum	Satuan
$V_u =$	1257,235	kN
$M_n =$	2074,4379	kN.m

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.56 Hasil Resultan Gaya Geser

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.57 Hasil Resultan Momen

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.4.4 Penentuan dan Pengecekan Profil Baja

- Penentuan Penampang Baja

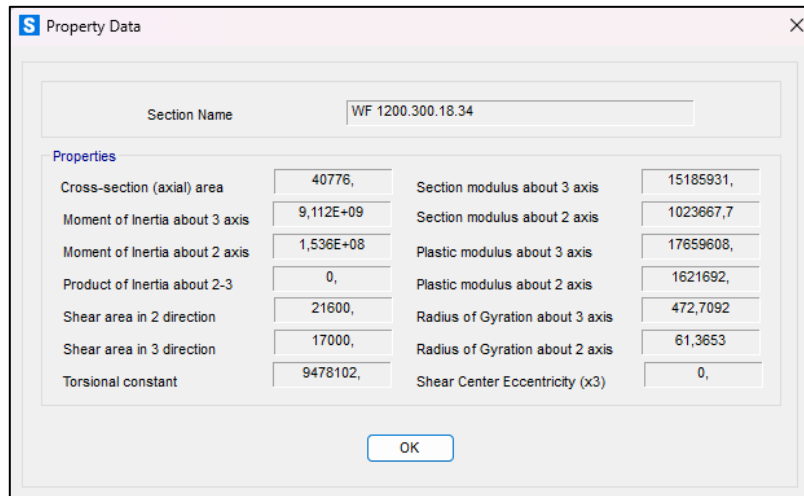
Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Section F1*, cara menentukan penampang yang akan digunakan sebagai profil baja gelagar melintang adalah sebagai berikut.

$$Z_x \geq \frac{1,67 \cdot M_a}{F_y}$$

$$Z_x \geq \frac{2074,44 \times 10^6 \times 1,67}{250}$$

$$Z_x \geq 13857245 \text{ mm}^4$$

Maka, dipilihlah profil baja WF 1200.300.18.34 sebagai gelagar melintang dengan nilai $Z_x = 17659608 \text{ mm}^4$ yang pada gambar di bawah ini adalah *plastic modulus about 3 axis*.



Gambar IV.58 Nilai Zx Baja WF 1200.300.18.34

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan Lentutan

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360-05 Commentary Section L3*, besar lentutan yang terjadi pada gelagar melintang adalah sebagai berikut.

$$\Delta y = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{128,2023 \times 2 \times 9800 \times 8800^3}{48 \times 200000 \times 9,112 \times 10^9}$$

$$\Delta y = 2,795 \text{ mm}$$

Lentutan ijin untuk gelagar melintang.

$$\Delta y_{max} = \frac{L}{360}$$

$$\Delta y_{max} = \frac{4600}{360}$$

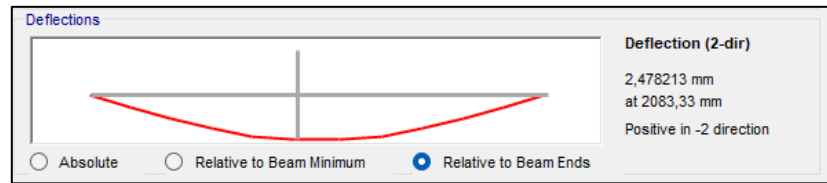
$$\Delta y_{max} = 12,78 \text{ mm}$$

Pengecekan besar lentutan apakah memenuhi syarat lentutan ijin.

$$\Delta y < \Delta y_{max}$$

$$2,795 \text{ mm} < 12,78 \text{ mm} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Pada SAP2000, besar lentutan yang didapat sebesar 2,478 mm



Gambar IV.59 Besar Defleksi pada Gelagar Melintang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Kesimpulan: profil baja WF 1200.300.18.34 memenuhi syarat lendutan untuk gelagar melintang.

- Pengecekan Penampang Kompak atau Tak Kompak

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Table B4.1b* akan dicek apakah profil baja yang dipilih tergolong penampang kompak atau tak kompak. Berikut adalah pengecekan terhadap *web* atau badan.

$$h/tw < \lambda_{pw}$$

$$\frac{1200}{18} < 3.76 \times (E/Fy)^{0,5}$$

$$66,67 < 3.76 \times \left(\frac{20000}{250}\right)^{0,5}$$

$$66,67 < 106,349 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Bagian *web* atau badan tergolong penampang kompak. Berikut adalah pengecekan terhadap *flange* atau sayap.

$$b = \frac{b}{2} - \frac{tw}{2}$$

$$b = \frac{300}{2} - \frac{34}{2}$$

$$b = 133 \text{ mm}$$

$$b/2tf < \lambda_{pf}$$

$$\frac{133}{2 \times 34} < 0,38 \times (E/Fy)^{0,5}$$

$$1,956 < 0,38 \times \left(\frac{200000}{250}\right)^{0,5}$$

$$1,956 < 10,748 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Bagian *flange* atau sayap tergolong penampang kompak. Karena kedua bagian memenuhi persyaratan kompak, maka profil WF 1200.300.18.34 mampu menahan momen mencapai momen plastis dan tidak ada masalah pada tekuk lokal sehingga:

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

- Pengecekan *Lateral Torsional Buckling* (LTB)

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (F2-5) akan dicek apakah profil baja yang dipilih memerlukan lateral *bracing* agar tidak mencapai momen plastis sebelum mencapai titik plastisnya.

$$L_p = 1,76 \times r_y \times \left(\frac{E}{F_y}\right)^{0,5}$$

$$L_p = 1,76 \times 61,36 \times \left(\frac{200000}{250}\right)^{0,5}$$

$$L_p = 3054,52 \text{ mm}$$

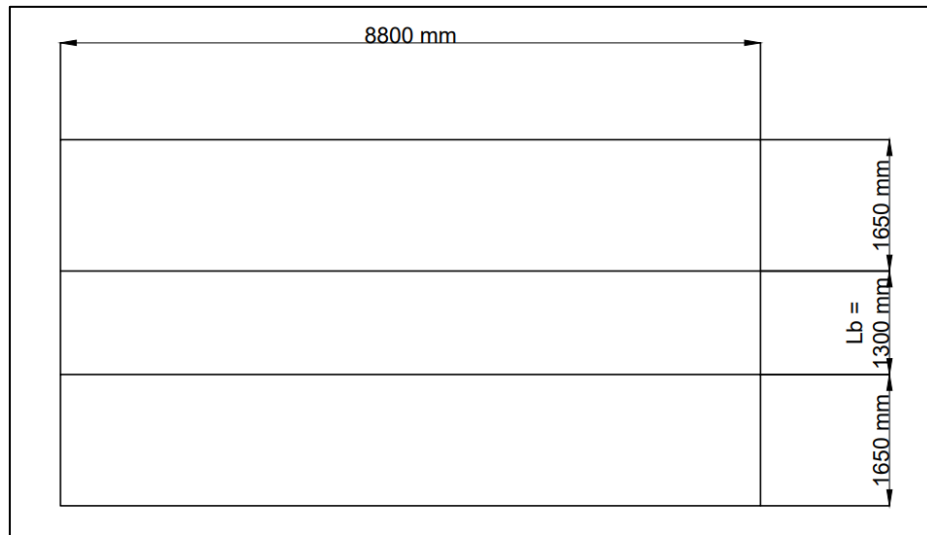
Agar momen nominal sama dengan momen plastis penampang, maka:

$$L_b < L_p$$

$$L_b < 3054,52 \text{ mm}$$

Maka, nilai L_b atau jarak pengaku lateral harus lebih kecil dari 3054,52 mm dan diambil jarak L_b sebesar 1300 mm. Jarak L_b merupakan jarak antara 2 *stringer* dan ditentukan nilai tersebut karena jaraknya > 1067 mm sehingga:

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



Gambar IV.60 Jarak Pengaku Lateral Gelagar Melintang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan Momen Nominal Penampang (M_n)

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Sec. F1, berikut adalah cara untuk mencari nominal penampangnya.

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

$$M_n = 17659608 \times 250$$

$$M_n = 4414902000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_n = 4414,902 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Lanjut untuk pengecek persyaratan kekuatannya.

$$\frac{M_n}{\Omega} \geq M_a$$

$$\frac{4414,902}{1,67} \geq 2074,43793$$

$$2643,654 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq 2074,4379 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kesimpulan: profil baja WF 1200.300.18.34 memenuhi persyaratan momen nominal penampang.

- Pengecekan Kuat Geser Nominal Penampang (V_n)

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (G2-1) akan mencari koefisien geser profil (C_v) untuk kondisi dimana bagian *web* atau badan profil WF 1200.300.18.34

$$\frac{h}{tw} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{1200 - 2 \times 34}{18} \leq 2,24 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$62,89 \leq 63,357$$

Karena memenuhi persyaratan, maka nilai $C_v = 1$. Berikut adalah menentukan kuat geser nominal penampang.

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

$$V_n = 0,6 \times 250 \times (1200 - 34 \times 2) \times 18 \times 1$$

$$V_n = 3056400 \text{ N}$$

$$V_n = 3056,4 \text{ kN}$$

Lanjut untuk pengecek persyaratan kekuatannya.

$$\frac{V_n}{\Omega} \geq V_a$$

$$\frac{3056,4}{1,5} \geq 1257,235$$

$$2037,6 \text{ kN} \geq 1257,235 \text{ kN}$$

Kesimpulan: profil baja WF 1200.300.18.34 memenuhi persyaratan kuat geser nominal penampang.

- Kesimpulan dan Profil Baja yang Dipakai

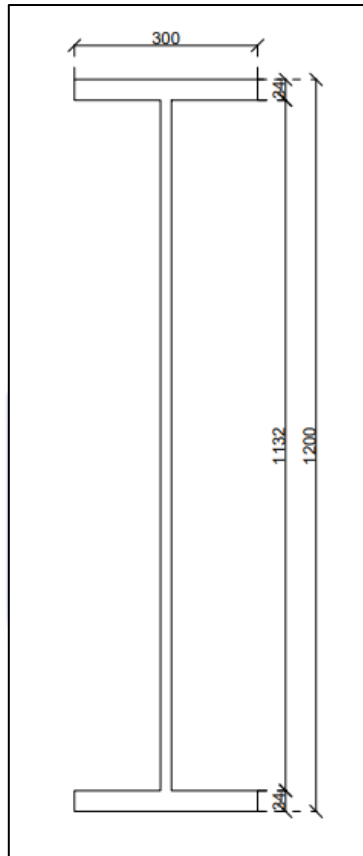
Tabel IV.24 Pengecekan Profil Baja WF 1200.300.18.34

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Lendutan / <i>Deflection</i>	Ya	
Penampang Kompak / Tak Kompak	Ya, Penampang Kompak	
<i>Lateral Torsional Buckling</i>	Ya, $L_b = 1300 \text{ mm}$	
Momen Nominal	Ya	

Kuat Geser Nominal	Ya	
--------------------	----	--

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka profil Baja WF 1200.300.18.34 memenuhi persyaratan untuk gelagar melintang atau *floor beam*.



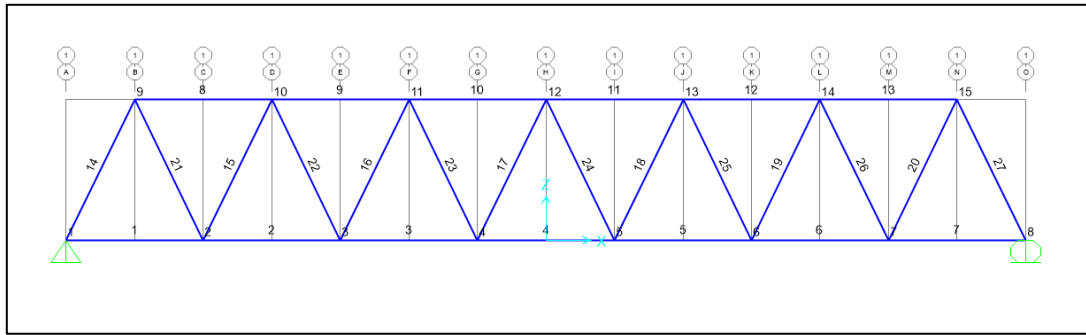
Gambar IV.61 Penampang WF 900.300.18.34 dalam Satuan mm

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.5 Desain dan Pengecekan untuk Rangka Batang

IV.5.1 Pengenalan Mengenai Garis Pengaruh Rangka Batang Jembatan

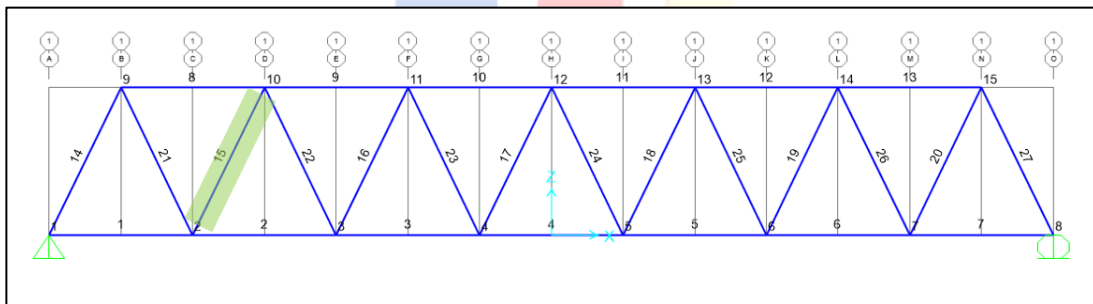
Garis pengaruh dicari dengan menggunakan aplikasi SAP2000 dengan permisalan bahwa terdapat beban bergerak P sebesar 1 satuan dan masing-masing batang memiliki garis pengaruh yang berbeda-beda. Berikut adalah tampak samping dari jembatan rangka batang.



Gambar IV.62 Tampak Samping Jembatan Rangka Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

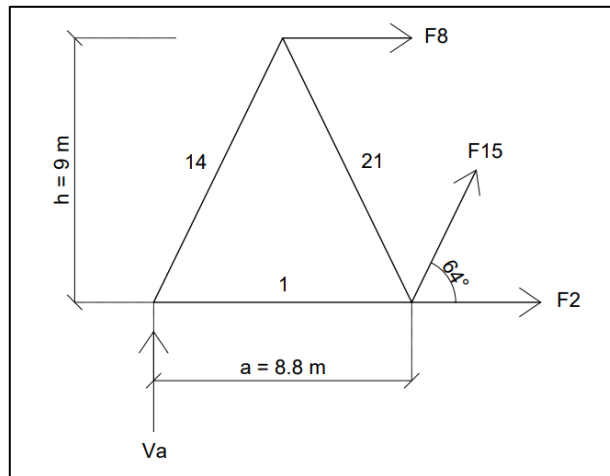
Untuk memvalidasi bahwa gambar garis pengaruh yang dipakai pada aplikasi SAP2000 benar dan sesuai, maka akan dibandingkan terlebih dahulu dengan garis pengaruh yang dihitung secara manual. Batang no. 15 yang akan menjadi sampel untuk perbandingan garis pengaruh pada perhitungan manual dan SAP2000 dengan menggunakan beban bergerak $P = 1$ satuan.



Gambar IV.63 Batang Sampel no. 15

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Rumus yang akan dipakai untuk mencari garis pengaruh batang no. 15 dibagi tiga kondisi menggunakan metode keseimbangan, yaitu sebagai berikut:



Gambar IV.64 Potongan Batang No. 15

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

1. Jarak $0 \leq x \leq a$

$$Va + F_{15} \sin 64^\circ - P = 0$$

$$1 - \frac{x}{L} + 0,92 \cdot F_{15} - 1 = 0$$

$$F_{15} = \frac{x}{0,9L}$$

2. Jarak $a \leq x \leq 2a$

$$Va + F_{15} \sin 64^\circ - \left(\frac{2a - x}{a}\right) P = 0$$

$$1 - \frac{x}{L} + 0,9 \cdot F_{15} - \frac{2a}{a} + \frac{x}{a} = 0$$

$$1 - \frac{x}{L} + 0,9 \cdot F_{15} - 2 + \frac{x}{a} = 0$$

$$F_{15} = \frac{\left(1 + \frac{x}{L} - \frac{x}{a}\right)}{0,9}$$

3. Jarak $2a \leq x \leq 7a$

$$Va + F_{15} \sin 64^\circ = 0$$

$$1 - \frac{x}{L} + 0,9 \cdot F_{15} = 0$$

$$F_{15} = \frac{\left(\frac{x}{L} - 1\right)}{0,9}$$

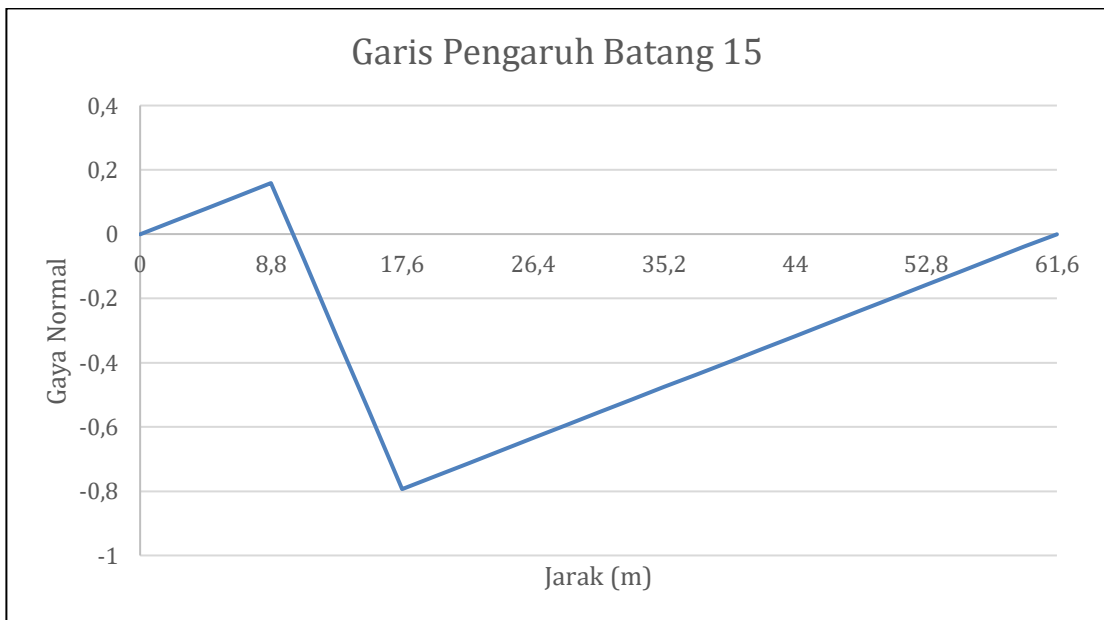
Setelah dicari rumus beban bergerak $P = 1$ satuan pada jarak = x meter, maka besar garis pengaruhnya berdasarkan masing-masing jarak akan dihitung dan digambar grafiknya dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*.

Tabel IV.25 Hasil Perhitungan Garis Pengaruh Batang No. 15

Jarak (x)	Rumus dan Range	Gaya Normal (F)
0		0
2,2	$F = \frac{x}{0,9L}$ $0 \leq x \leq a$	0,03968254
4,4		0,079365079
6,6		0,119047619
8,8		0,158730159
8,8		0,158730159
11		$F = -\frac{1 - \frac{x}{a} + \frac{x}{L}}{0,9}$ $a \leq x \leq 2a$
13,2	-0,317460317	
15,4	-0,555555556	
17,6	-0,793650794	
17,6	-0,793650794	
19,8	-0,753968254	
22	-0,714285714	
24,2	-0,674603175	
26,4	-0,634920635	
28,6	-0,595238095	
30,8	$F = \frac{\frac{x}{L} - 1}{0,9}$ $2a \leq x \leq 7a$	-0,555555556
33		-0,515873016
35,2		-0,476190476
37,4		-0,436507937
39,6		-0,396825397
41,8		-0,357142857
44		-0,317460317
46,2		-0,277777778

48,4		-0,238095238
50,6		-0,198412698
52,8		-0,158730159
55		-0,119047619
57,2		-0,079365079
59,4		-0,03968254
61,6		7,40149E-16

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.65 Grafik Garis Pengaruh Batang no. 15

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Setelah dicari dengan perhitungan manual dan *Microsoft Excel*, maka hasil akan dibandingkan dengan perhitungan garis pengaruh dan grafik pada SAP2000.

Case LL 1G Influence for Frame 15, RD = 0,5, Axial Force

Influence Data

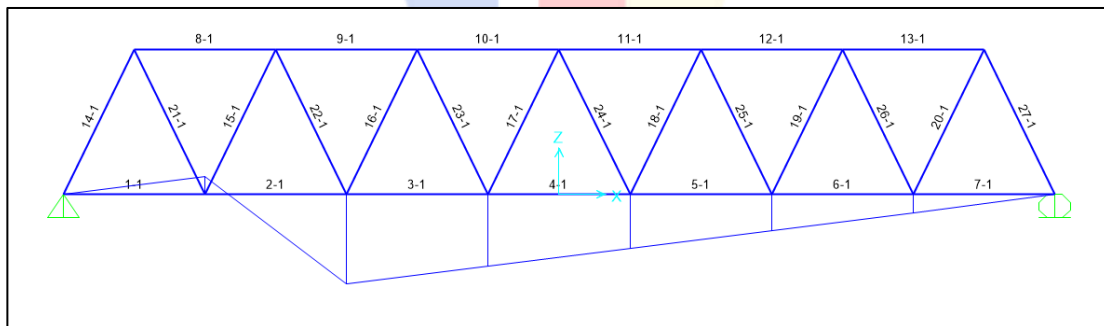
	Path	Station	Sta. Dist m	Global X m	Global Y m	Global Z m	Influence / KN KN
1	PATH1	1	0,	-30,8	0,	0,	0,
2	PATH1	2	8,799	-22,001	0,	0,	0,1573
3	PATH1	3	17,599	-13,201	0,	0,	-0,7883
4	PATH1	4	26,399	-4,401	0,	0,	-0,6364
5	PATH1	5	35,199	4,399	0,	0,	-0,4759
6	PATH1	6	43,999	13,199	0,	0,	-0,3176
7	PATH1	7	52,799	21,999	0,	0,	-0,1587
8	PATH1	8	61,6	30,8	0,	0,	1,730E-17

Copy To Clipboard

Units: KN, m, C

Gambar IV.66 Hasil Perhitungan Garis Pengaruh Batang No. 15

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.67 Grafik Garis Pengaruh Batang no. 15

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Tabel IV.26 Perbandingan Hasil dari Perhitungan Manual dan Aplikasi

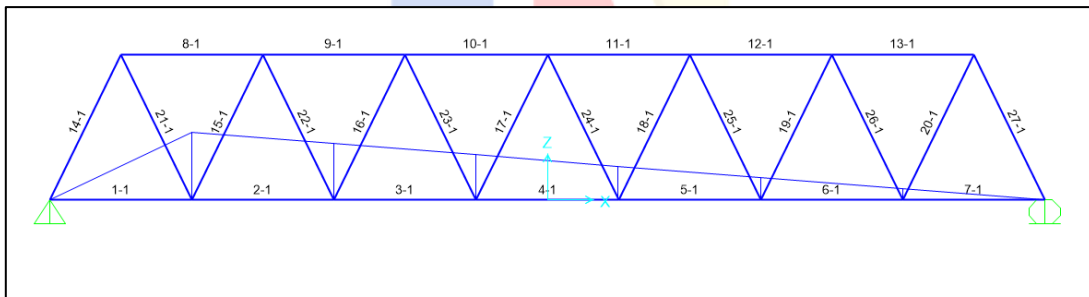
Jarak (x)	F manual	F aplikasi
0	0,0000	0,0000
8,799	0,1587	0,1573

17,599	-0,7937	-0,7883
26,399	-0,6349	-0,6364
35,199	-0,4762	-0,4759
43,999	-0,3175	-0,3176
52,799	-0,1587	-0,1587
61,6	0,0000	0,0000

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Pada tabel di atas, hasil dari garis pengaruh pada perhitungan manual dan perhitungan aplikasi SAP2000 tidak berbeda, hanya terdapat selisih $< 0,001$ saja sehingga garis pengaruh pada SAP2000 dapat dipakai untuk mencari besar gaya aksial tarik-tekan oleh beban bergerak pada masing-masing batang. Berikut adalah gambar garis pengaruh dari masing-masing batang.

a) Batang 1



Gambar IV.68 Garis Pengaruh Batang No. 1

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

Tabel IV.27 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 1

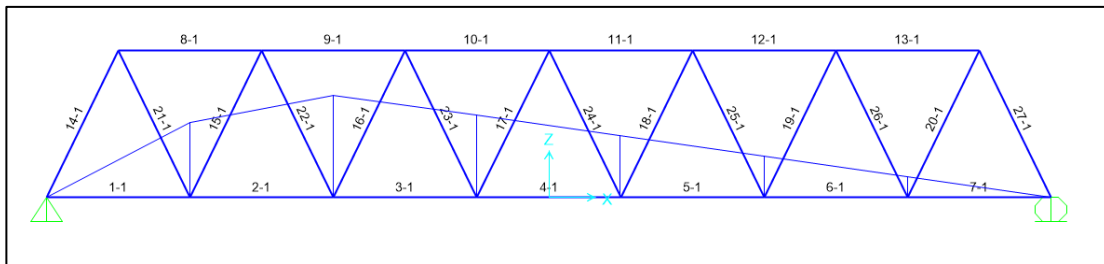
No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,4174
3	PATH1	17,599	0,3493

4	PATH1	26,399	0,2791
5	PATH1	35,199	0,2094
6	PATH1	43,999	0,1396
7	PATH1	52,799	0,0698
8	PATH1	61,6	-7,830E-18

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 8,799 meter dengan pengaruh sebesar 0,4174 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tarik saja.

b) Batang 2



Gambar IV.69 Garis Pengaruh Batang No. 2

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

Tabel IV.28 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 2

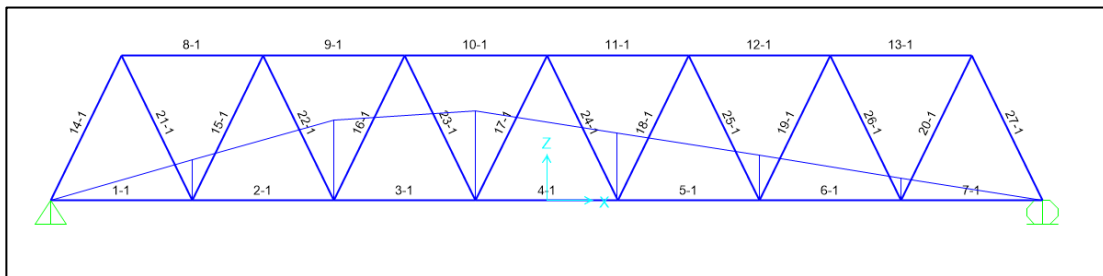
No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,7647
3	PATH1	17,599	1,0441
4	PATH1	26,399	0,8375
5	PATH1	35,199	0,6276
6	PATH1	43,999	0,4185
7	PATH1	52,799	0,2093

8	PATH1	61,6	-2,325E-17
---	-------	------	------------

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 17,599 meter dengan pengaruh sebesar 1,0441 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tarik saja.

c) Batang 3



Gambar IV.70 Garis Pengaruh Batang No. 3

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

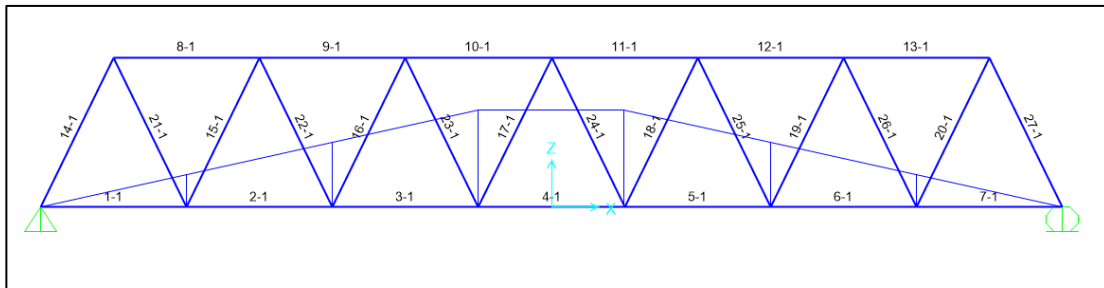
Tabel IV.29 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 3

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,6283
3	PATH1	17,599	1,2533
4	PATH1	26,399	1,3928
5	PATH1	35,199	1,0469
6	PATH1	43,999	0,6974
7	PATH1	52,799	0,3488
8	PATH1	61,6	-3,936E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 26,399 meter dengan pengaruh sebesar 1,3928 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tarik saja.

d) Batang 4



Gambar IV.71 Garis Pengaruh Batang No. 4

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

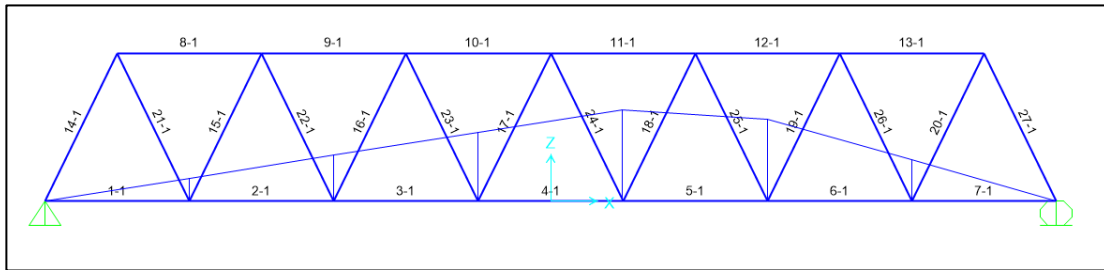
Tabel IV.30 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 4

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,488
3	PATH1	17,599	0,977
4	PATH1	26,399	1,4625
5	PATH1	35,199	1,4626
6	PATH1	43,999	0,9771
7	PATH1	52,799	0,4881
8	PATH1	61,6	-5,286E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 35,199 meter dengan pengaruh sebesar 1,4626 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tarik saja.

e) Batang 5



Gambar IV.72 Garis Pengaruh Batang No. 5

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

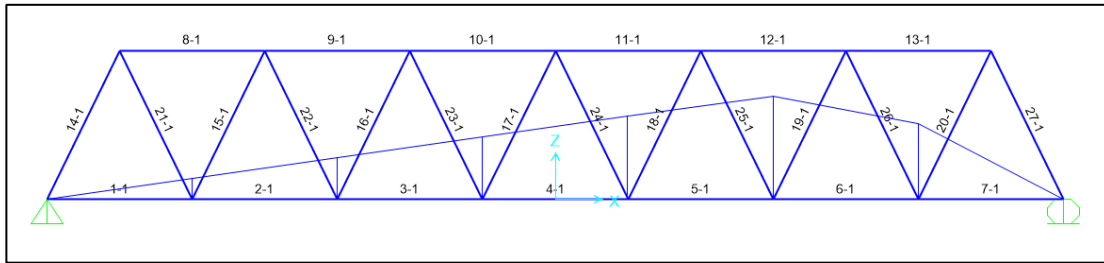
Tabel IV.31 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 5

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,3488
3	PATH1	17,599	0,6973
4	PATH1	26,399	1,0468
5	PATH1	35,199	1,3928
6	PATH1	43,999	1,2534
7	PATH1	52,799	0,6285
8	PATH1	61,6	-7,664E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 35,199 meter dengan pengaruh sebesar 1,3928 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tarik saja.

f) Batang 6



Gambar IV.73 Garis Pengaruh Batang No. 6

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

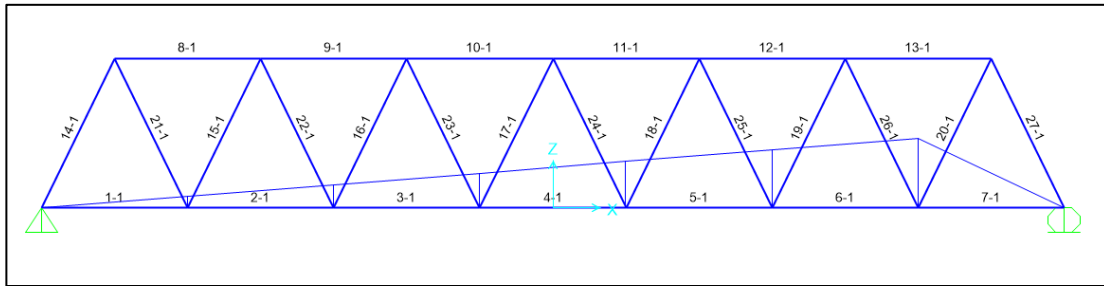
Tabel IV.32 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 6

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,2092
3	PATH1	17,599	0,4185
4	PATH1	26,399	0,6276
5	PATH1	35,199	0,8375
6	PATH1	43,999	1,044
7	PATH1	52,799	0,7648
8	PATH1	61,6	-5,979E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 43,999 meter dengan pengaruh sebesar 1,044 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tarik saja.

g) Batang 7



Gambar IV.74 Garis Pengaruh Batang No. 7

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

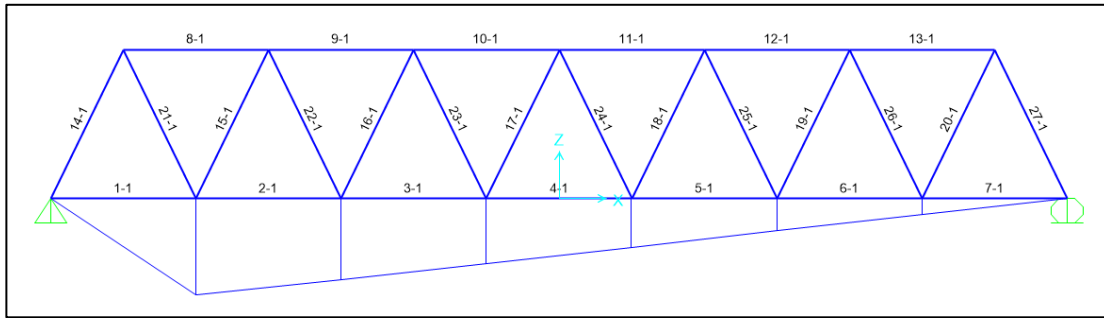
Tabel IV.33 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 7

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,0698
3	PATH1	17,599	0,1396
4	PATH1	26,399	0,2094
5	PATH1	35,199	0,2791
6	PATH1	43,999	0,3493
7	PATH1	52,799	0,4174
8	PATH1	61,6	-1,195E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 52,799 meter dengan pengaruh sebesar 0,4174 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tarik saja.

h) Batang 8



Gambar IV.75 Garis Pengaruh Batang No. 8

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

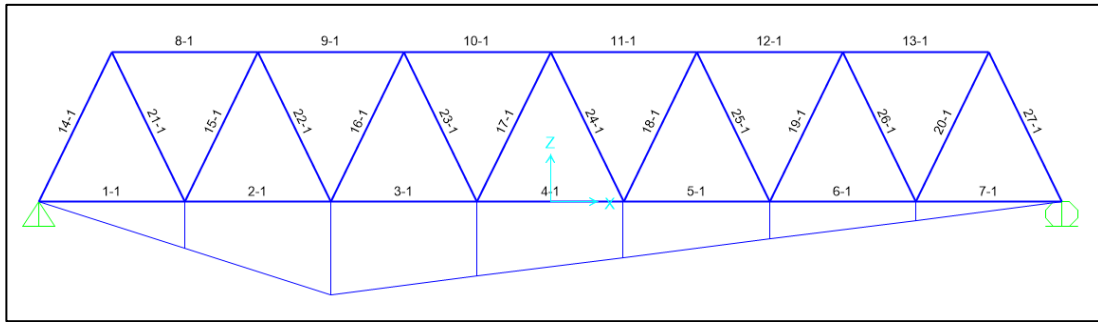
Tabel IV.34 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 8

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,8338
3	PATH1	17,599	-0,6978
4	PATH1	26,399	-0,558
5	PATH1	35,199	-0,4186
6	PATH1	43,999	-0,279
7	PATH1	52,799	-0,1395
8	PATH1	61,6	1,566E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 8,799 meter dengan pengaruh sebesar -0,8338 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tekan saja.

i) Batang 9



Gambar IV.76 Garis Pengaruh Batang No. 9

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

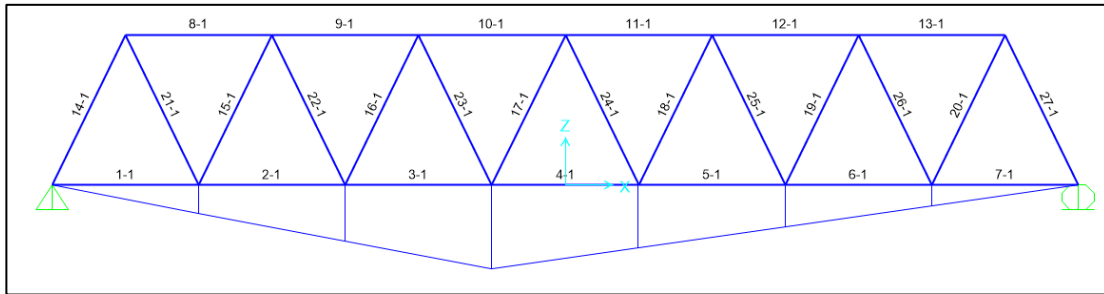
Tabel IV.35 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 9

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,6976
3	PATH1	17,599	-1,3911
4	PATH1	26,399	-1,1164
5	PATH1	35,199	-0,8369
6	PATH1	43,999	-0,5581
7	PATH1	52,799	-0,279
8	PATH1	61,6	3,084E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 17,599 meter dengan pengaruh sebesar -1,3911 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tekan saja.

j) Batang 10



Gambar IV.77 Garis Pengaruh Batang No. 10

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

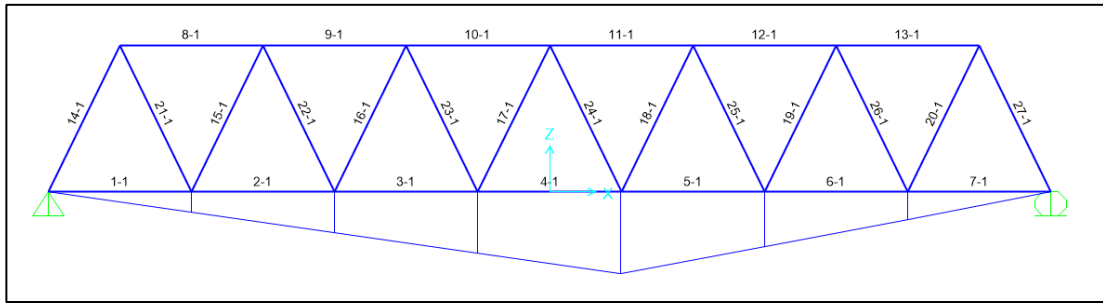
Tabel IV.36 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 10

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,5579
3	PATH1	17,599	-1,1163
4	PATH1	26,399	-1,6701
5	PATH1	35,199	-1,2559
6	PATH1	43,999	-0,837
7	PATH1	52,799	-0,4186
8	PATH1	61,6	4,794E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 26,399 meter dengan pengaruh sebesar -1,6701 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tekan saja.

k) Batang 11



Gambar IV.78 Garis Pengaruh Batang No. 11

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

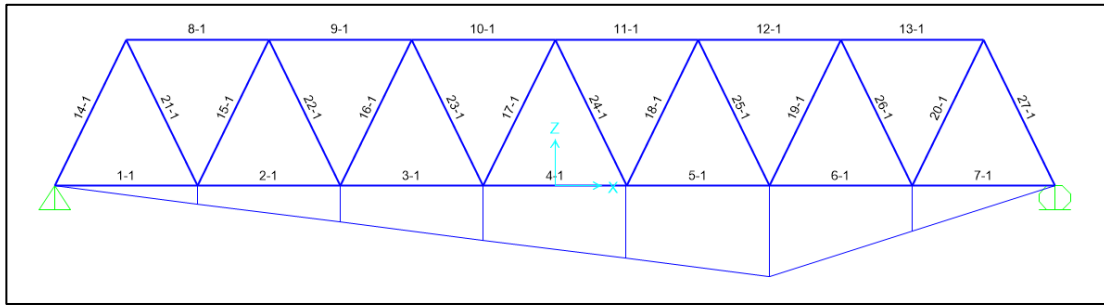
Tabel IV.37 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 11

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,4185
3	PATH1	17,599	-0,8369
4	PATH1	26,399	-1,2558
5	PATH1	35,199	-1,6701
6	PATH1	43,999	-1,1164
7	PATH1	52,799	-0,558
8	PATH1	61,6	5,765E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 35,199 meter dengan pengaruh sebesar -1,6701 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tekan saja.

l) Batang 12



Gambar IV.79 Garis Pengaruh Batang No. 12

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

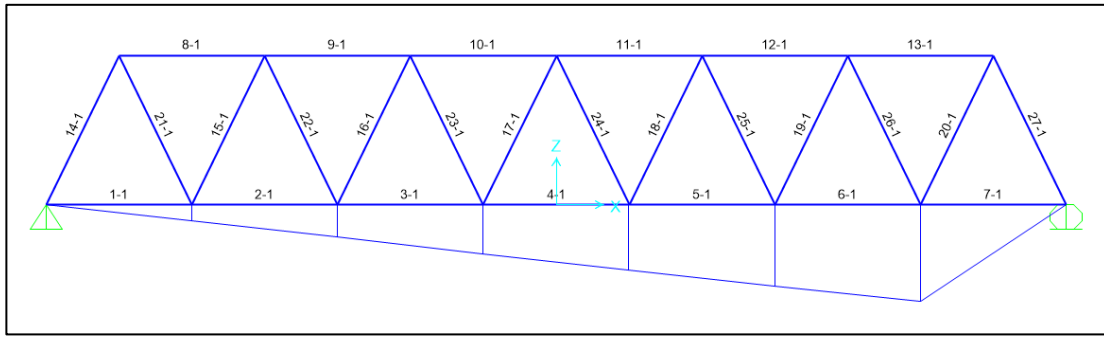
Tabel IV.38 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 12

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,279
3	PATH1	17,599	-0,558
4	PATH1	26,399	-0,8369
5	PATH1	35,199	-1,1163
6	PATH1	43,999	-1,3912
7	PATH1	52,799	-0,6978
8	PATH1	61,6	9,575E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 43,999 meter dengan pengaruh sebesar -1,3912 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tekan saja.

m) Batang 13



Gambar IV.80 Garis Pengaruh Batang No. 13

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

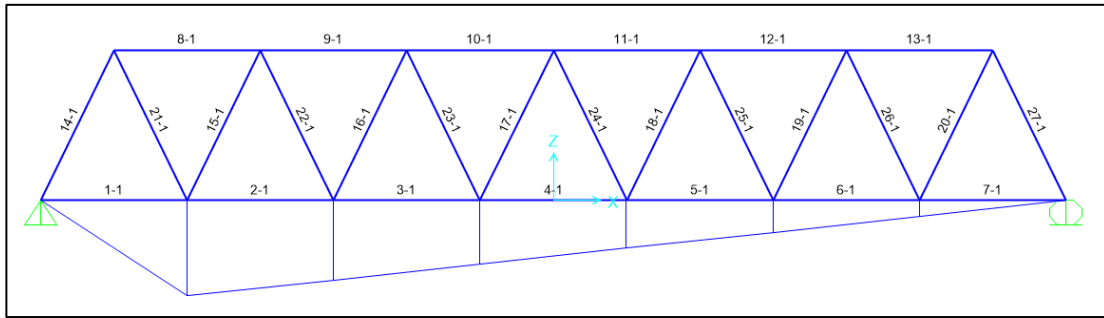
Tabel IV.39 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 13

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,1395
3	PATH1	17,599	-0,279
4	PATH1	26,399	-0,4185
5	PATH1	35,199	-0,558
6	PATH1	43,999	-0,6977
7	PATH1	52,799	-0,8338
8	PATH1	61,6	2,385E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 52,799 meter dengan pengaruh sebesar -0,8338 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tekan saja.

n) Batang 14



Gambar IV.81 Garis Pengaruh Batang No. 14

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

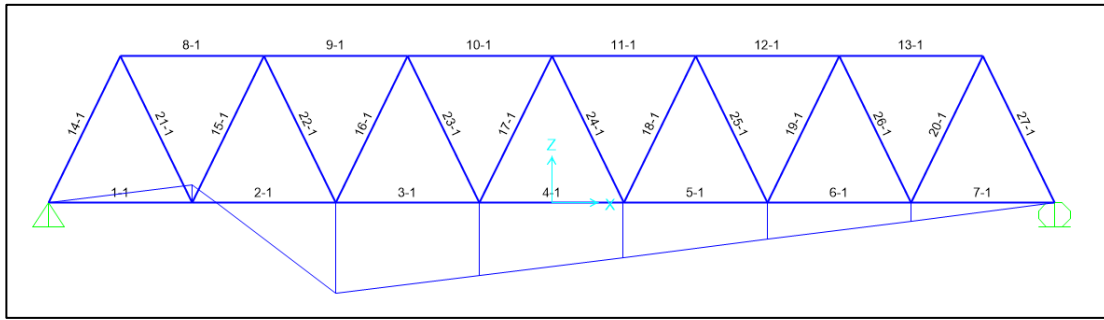
Tabel IV.40 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 14

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,9503
3	PATH1	17,599	-0,7954
4	PATH1	26,399	-0,6354
5	PATH1	35,199	-0,4768
6	PATH1	43,999	-0,3178
7	PATH1	52,799	-0,1589
8	PATH1	61,6	1,783E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 8,799 meter dengan pengaruh sebesar -0,9503 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang hanya mengalami gaya tekan saja.

o) Batang 15



Gambar IV.82 Garis Pengaruh Batang No. 15

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

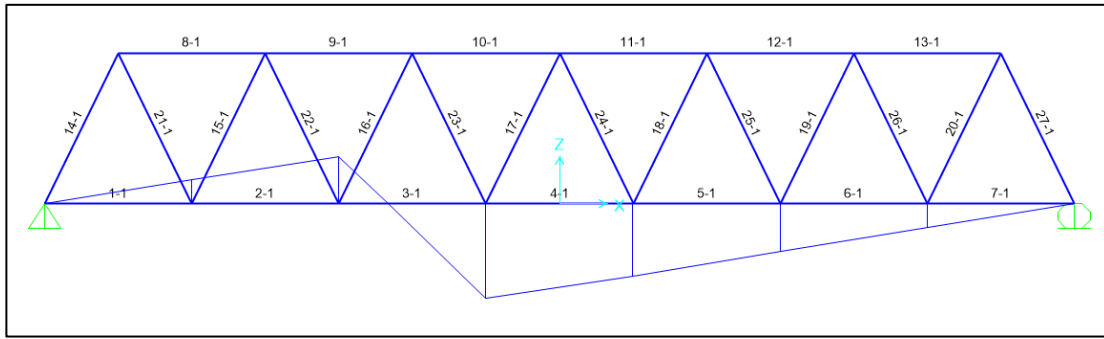
Tabel IV.41 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 15

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,1573
3	PATH1	17,599	-0,7883
4	PATH1	26,399	-0,6364
5	PATH1	35,199	-0,4759
6	PATH1	43,999	-0,3176
7	PATH1	52,799	-0,1587
8	PATH1	61,6	1,730E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 17,599 meter dengan pengaruh sebesar -0,7883 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tarik, lalu mengalami gaya tekan.

p) Batang 16



Gambar IV.83 Garis Pengaruh Batang No. 16

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

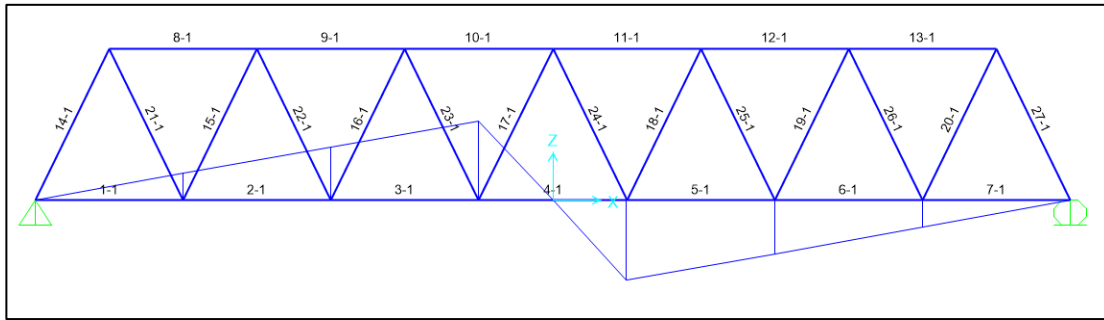
Tabel IV.42 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 16

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,1577
3	PATH1	17,599	0,3139
4	PATH1	26,399	-0,6295
5	PATH1	35,199	-0,478
6	PATH1	43,999	-0,3173
7	PATH1	52,799	-0,1589
8	PATH1	61,6	1,940E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 26,399 meter dengan pengaruh sebesar -0,6295 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tarik, lalu mengalami gaya tekan.

q) Batang 17



Gambar IV.84 Garis Pengaruh Batang No. 17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

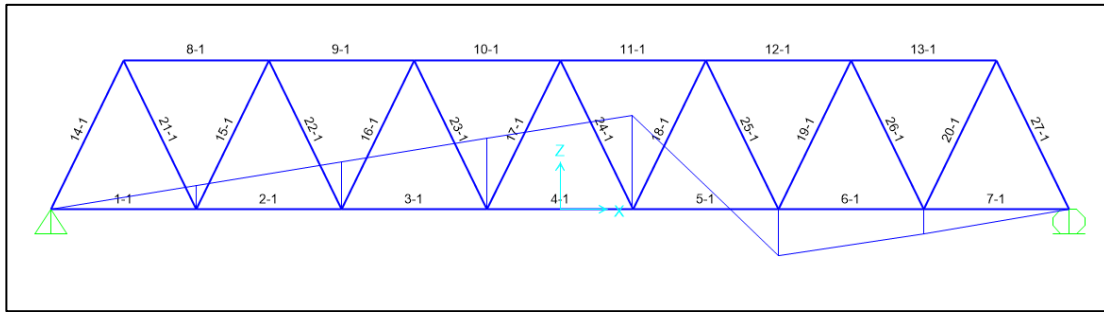
Tabel IV.43 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 17

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,1591
3	PATH1	17,599	0,3171
4	PATH1	26,399	0,4727
5	PATH1	35,199	-0,4705
6	PATH1	43,999	-0,3191
7	PATH1	52,799	-0,1584
8	PATH1	61,6	1,121E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 26,399 meter dengan pengaruh sebesar -0,4727 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tarik, lalu mengalami gaya tekan.

r) Batang 18



Gambar IV.85 Garis Pengaruh Batang No. 18

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

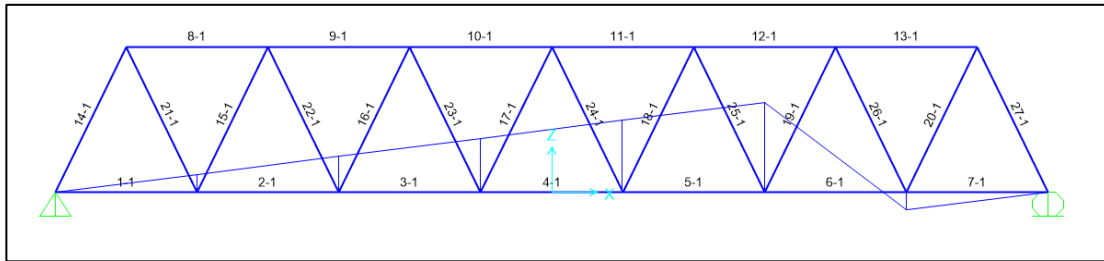
Tabel IV.44 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 18

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,1587
3	PATH1	17,599	0,3177
4	PATH1	26,399	0,4759
5	PATH1	35,199	0,6314
6	PATH1	43,999	-0,3118
7	PATH1	52,799	-0,1604
8	PATH1	61,6	4,323E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 35,199 meter dengan pengaruh sebesar 0,6314 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tarik, lalu mengalami gaya tekan.

s) Batang 19



Gambar IV.86 Garis Pengaruh Batang No. 19

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

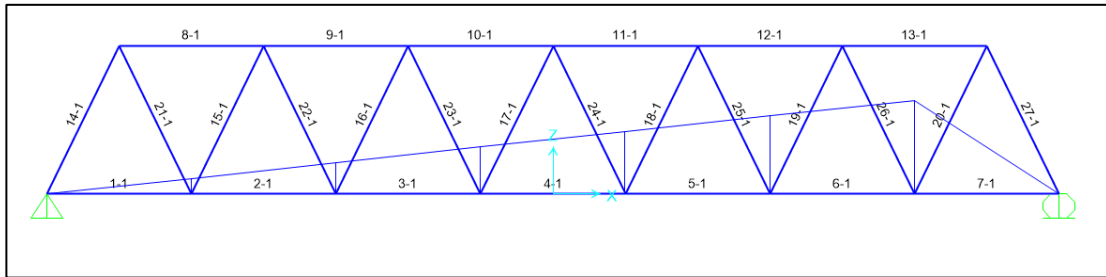
Tabel IV.45 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 19

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,1588
3	PATH1	17,599	0,3176
4	PATH1	26,399	0,4766
5	PATH1	35,199	0,6348
6	PATH1	43,999	0,7903
7	PATH1	52,799	-0,1527
8	PATH1	61,6	-8,186E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 43,999 meter dengan pengaruh sebesar 0,7903 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tarik, lalu mengalami gaya tekan.

t) Batang 20



Gambar IV.87 Garis Pengaruh Batang No. 20

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

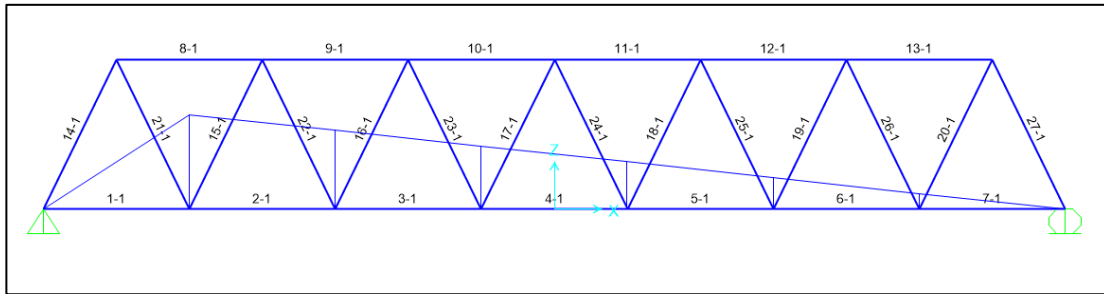
Tabel IV.46 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 20

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,1587
3	PATH1	17,599	0,3175
4	PATH1	26,399	0,4762
5	PATH1	35,199	0,6351
6	PATH1	43,999	0,7933
7	PATH1	52,799	0,9481
8	PATH1	61,6	-2,710E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 52,799 meter dengan pengaruh sebesar 0,9481 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tarik saja.

u) Batang 21



Gambar IV.88 Garis Pengaruh Batang No. 21

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

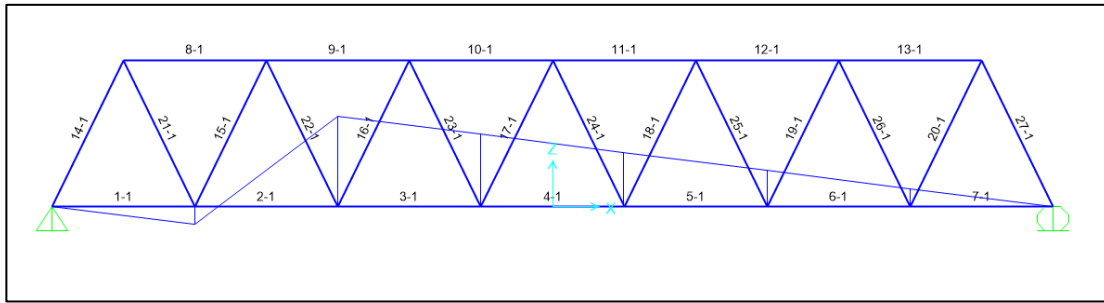
Tabel IV.47 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 21

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	0,9481
3	PATH1	17,599	0,7934
4	PATH1	26,399	0,6351
5	PATH1	35,199	0,4762
6	PATH1	43,999	0,3175
7	PATH1	52,799	0,1588
8	PATH1	61,6	-1,782E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 8,799 meter dengan pengaruh sebesar 0,9481 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tarik saja.

v) Batang 22



Gambar IV.89 Garis Pengaruh Batang No. 22

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

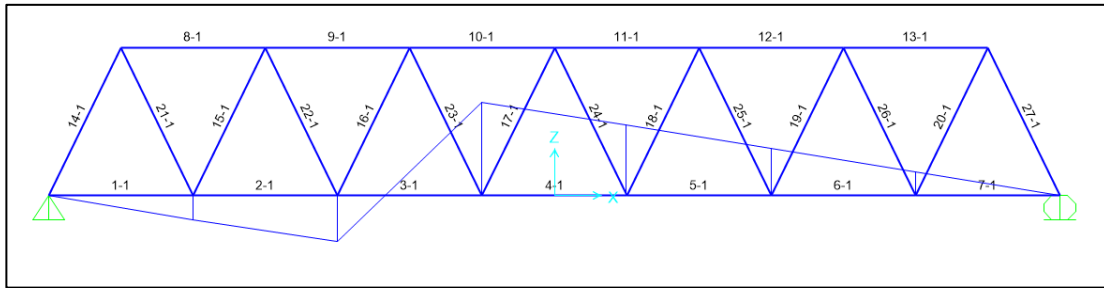
Tabel IV.48 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 22

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,1528
3	PATH1	17,599	0,7902
4	PATH1	26,399	0,6349
5	PATH1	35,199	0,4766
6	PATH1	43,999	0,3176
7	PATH1	52,799	0,1589
8	PATH1	61,6	-1,726E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 17,599 meter dengan pengaruh sebesar 0,7902 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tekan, lalu mengalami gaya tarik.

w) Batang 23



Gambar IV.90 Garis Pengaruh Batang No. 23

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

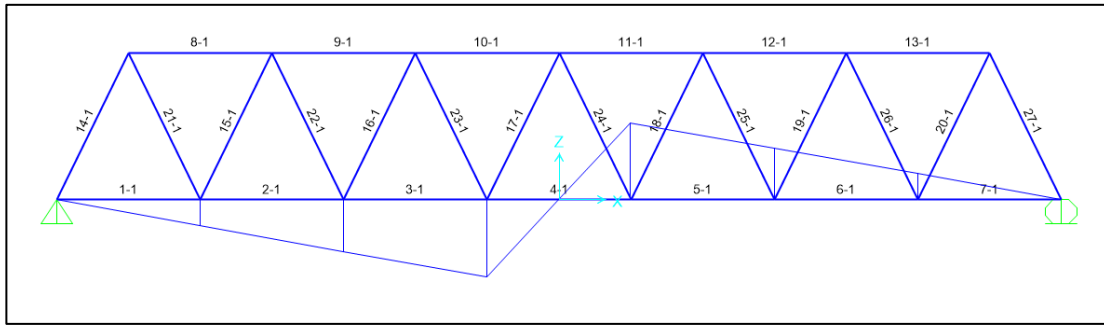
Tabel IV.49 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 23

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,1603
3	PATH1	17,599	-0,3119
4	PATH1	26,399	0,6313
5	PATH1	35,199	0,476
6	PATH1	43,999	0,3177
7	PATH1	52,799	0,1588
8	PATH1	61,6	-1,953E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 26,399 meter dengan pengaruh sebesar 0,6313 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tekan, lalu mengalami gaya tarik.

x) Batang 24



Gambar IV.91 Garis Pengaruh Batang No. 24

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

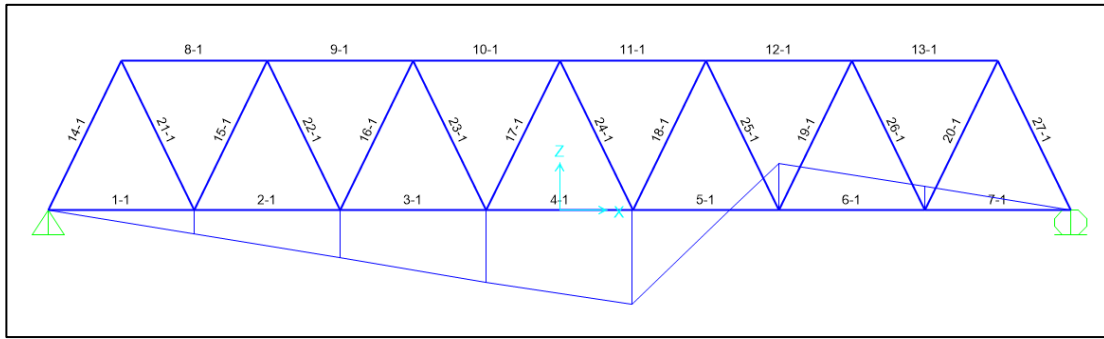
Tabel IV.50 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 24

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,1584
3	PATH1	17,599	-0,3191
4	PATH1	26,399	-0,4707
5	PATH1	35,199	0,4725
6	PATH1	43,999	0,3172
7	PATH1	52,799	0,1591
8	PATH1	61,6	-1,091E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 35,199 meter dengan pengaruh sebesar 0,4725 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tekan, lalu mengalami gaya tarik.

y) Batang 25



Gambar IV.92 Garis Pengaruh Batang No. 25

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

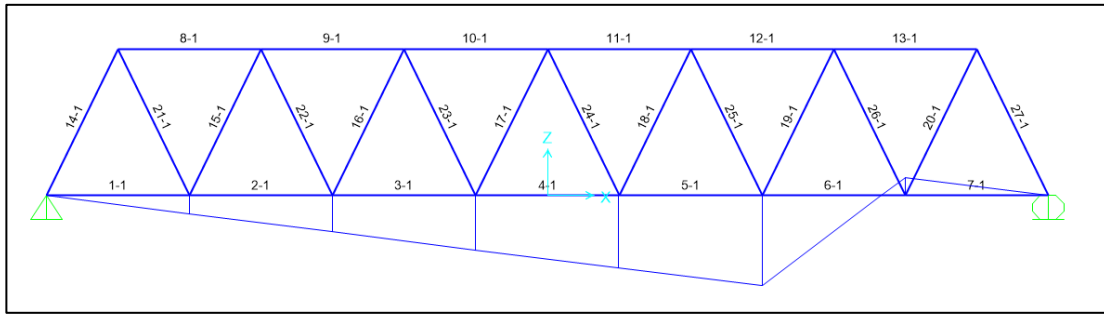
Tabel IV.51 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 25

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,1589
3	PATH1	17,599	-0,3173
4	PATH1	26,399	-0,4779
5	PATH1	35,199	-0,6296
6	PATH1	43,999	0,3137
7	PATH1	52,799	0,1578
8	PATH1	61,6	-4,351E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 35,199 meter dengan pengaruh sebesar -0,6296 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tekan, lalu mengalami gaya tarik.

z) Batang 26



Gambar IV.93 Garis Pengaruh Batang No. 26

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

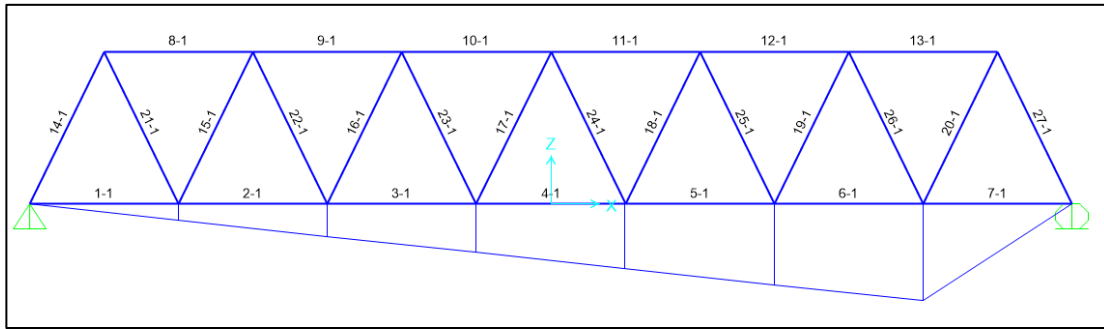
Tabel IV.52 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 26

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,1587
3	PATH1	17,599	-0,3176
4	PATH1	26,399	-0,4759
5	PATH1	35,199	-0,6363
6	PATH1	43,999	-0,7885
7	PATH1	52,799	0,1571
8	PATH1	61,6	8,183E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 43,999 meter dengan pengaruh sebesar -0,7885 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tekan, lalu mengalami gaya tarik.

aa) Batang 27



Gambar IV.94 Garis Pengaruh Batang No. 27

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai dari garis pengaruh diatas didapatkan dari hasil di bawah ini sehingga menghasilkan grafik garis pengaruh seperti gambar di atas.

Tabel IV.53 Hasil Garis Pengaruh Batang no. 27

No.	Path	Jarak (m)	Pengaruh (kN)
1	PATH1	0,	0,
2	PATH1	8,799	-0,1589
3	PATH1	17,599	-0,3178
4	PATH1	26,399	-0,4768
5	PATH1	35,199	-0,6354
6	PATH1	43,999	-0,7953
7	PATH1	52,799	-0,9504
8	PATH1	61,6	2,721E-17

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Hasil garis pengaruh paling maksimum terjadi pada beban yang sedang berada di jarak 52,799 meter dengan pengaruh sebesar -0,9504 kN. Garis tersebut menunjukkan bahwa batang mengalami gaya tekan saja.

bb) Kesimpulan Garis Pengaruh Rangka Batang

Dari garis pengaruh masing-masing batang, hal ini menunjukkan bahwa hasil garis pengaruh memengaruhi efek dari beban bergerak yang melewati rangka batang

tersebut. Dapat mengalami gaya tekan saja, seperti pada batang tepi atas dan dapat mengalami gaya tarik saja, seperti batang tepi bawah. Untuk batang diagonal sendiri dapat mengalami gaya tarik dan tekan, bergantung pada posisi beban bergerak pada saat itu. Semakin beban bergerak mendekati ke arah batang yang ditinjau, maka batang tersebut akan mengalami gaya tarik atau tekan maksimum. Hasil garis pengaruh ini akan terlihat pada pembahasan selanjutnya di bawah ini.

IV.5.2 Kombinasi Pembebanan

- Kombinasi Pembebanan A1

$$A1 = DL + LL + I + CF$$

- Beban mati sendiri

$$DL = 68,2158 \text{ ton}$$

DL didapatkan dari penggunaan profil WF 400.400.16.24, $\pi 479 \times 580 / 87 \times 25 \times 32$, dan $\pi 464 \times 580 / 87 \times 25 \times 32$ untuk rangka batang dan akan dibahas dipenjelasan selanjutnya.

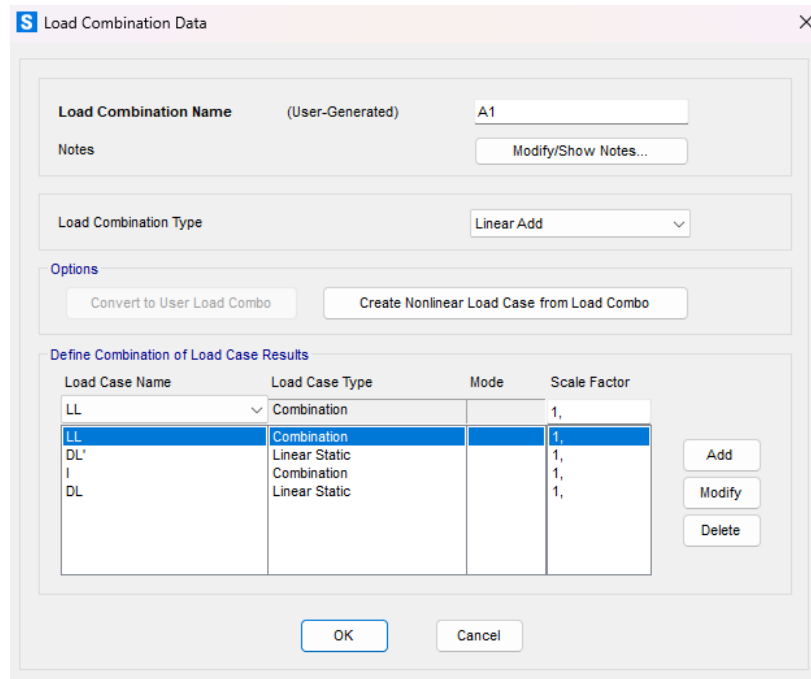
- Beban mati tambahan

$$DL' = 1,697739477 \text{ ton}$$

DL' didapatkan dari hasil DL' pada setiap sendi atau *joint*.

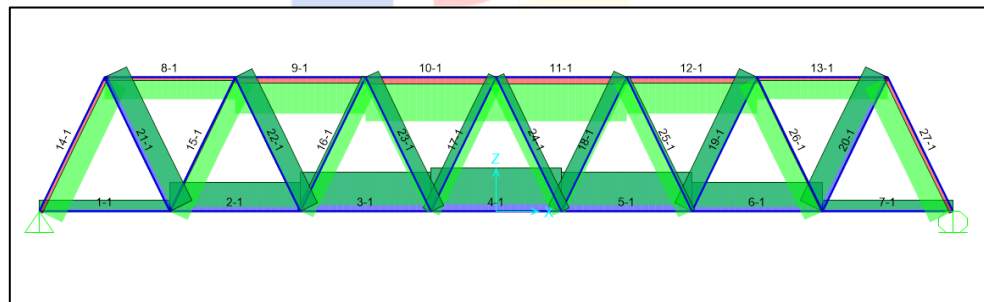
- Untuk beban hidup (LL) dan beban kejut (I) sesuai dengan perhitungan beban di atas.

Berikut adalah gambar dan tabel hasil kombinasi pembebanan A1 pada masing-masing batang.



Gambar IV.95 Data Kombinasi Pembebanan A1

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.96 Hasil Pembebanan A1 pada Rangka Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Tabel IV.54 Hasil Pembebanan A1 pada Rangka Batang

Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tarik Minimum (ton)
1	113,6964	21,8399
2	293,1263	56,7431
3	404,4809	77,34411
4	441,1954	84,2796

5	404,4806	77,3441
6	293,1251	56,7431
7	113,6959	21,8399
19	197,218	14,2592
20	254,3017	45,5069
21	254,3028	45,5069
22	197,2168	14,2488
Nomor Batang	Gaya Tekan Maksimum (ton)	Gaya Tekan Minimum (ton)
8	224,6742	41,1125
9	374,2072	68,7442
10	448,2966	82,5422
11	448,2944	82,5422
12	374,2047	68,7442
13	224,6768	41,1125
14	260,4924	51,3524
15	205,4107	22,2328
26	205,412	22,2463
27	260,4913	51,3524
Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tekan Maksimum (ton)
16	28,2638	148,8116
17	84,6064	92,5071
18	141,046	36,077
23	141,0446	36,0777
24	84,605	92,5086
25	28,2632	148,813

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah gaya tarik dan tekan maksimum pada masing-masing batang yang akan dibandingkan dengan hasil kombinasi pembebanan lainnya. Apabila paling besar, maka nilai tersebut akan menjadi tegangan *allowable* tekan (Pa) atau tarik (Ra) yang akan menjadi syarat minimum untuk tegangan izin tekan (Pn) atau tarik (Rn) dari gaya tarik dan tekannya.

Tabel IV.55 Gaya Tarik dan Tekan Maksimum Batang

Batang Chord Atas dan Bawah (no. 1 - 13)		
Gaya tarik maks.	441	ton
Gaya tekan maks.	448	ton
Batang Diagonal (no. 14 - 27)		
Gaya tarik maks.	254	ton
Gaya tekan maks.	260	ton

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Batang tepi bawah yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 4, sedangkan batang tepi atas yang mengalami gaya tekan maksimum adalah batang no. 10 dan 11. Batang diagonal yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 20 dan 21, sedangkan gaya tekan maksimum dialami oleh batang diagonal no. 14 dan 27.

- Kombinasi Pembebanan A2

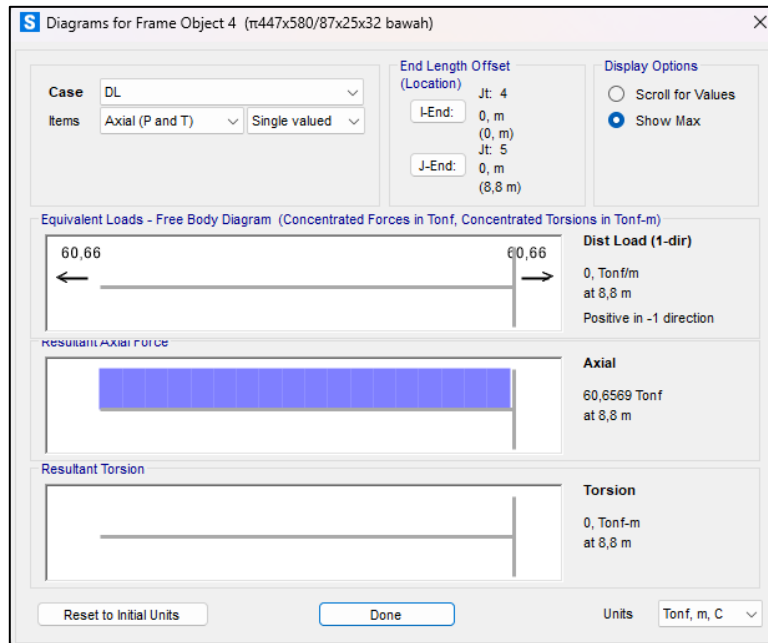
$$A2 = DL + LLT + I + CF$$

Pembebanan ini akan menunjuk satu batang yang paling besar nilainya, yaitu batang no. 4 atau no. 10 yang akan menjadi patokan untuk menentukan LLT.

- Beban mati sendiri

$$DL = 60,6569 \text{ ton}$$

DL didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4



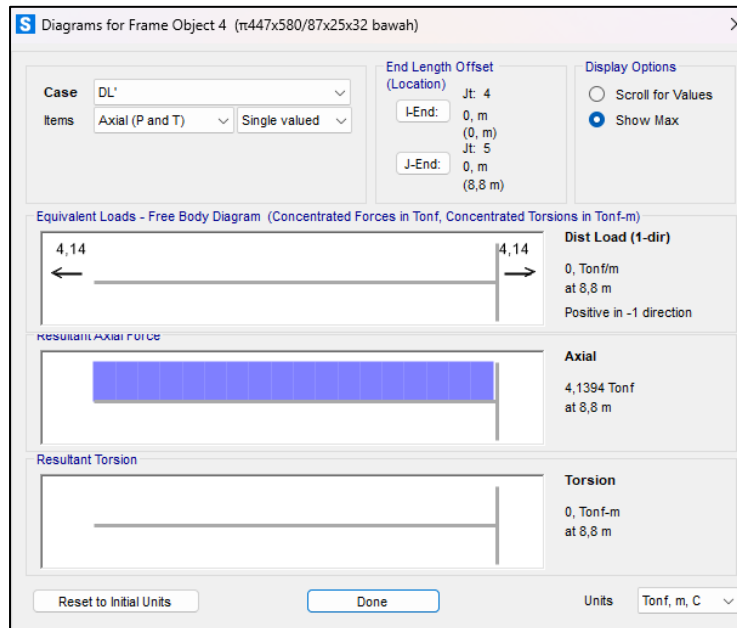
Gambar IV.97 Gaya Aksial Batang No. 4 dari Beban Mati Sendiri

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Beban mati tambahan

$$DL' = 4,1394 \text{ ton}$$

DL' didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4

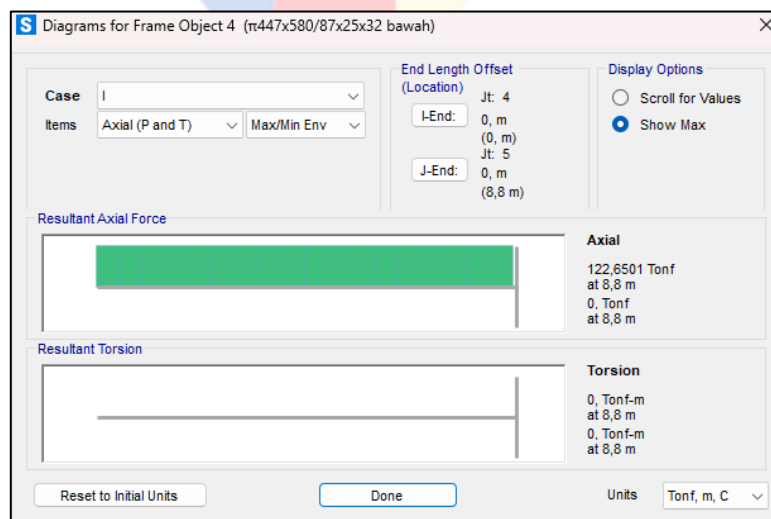


Gambar IV.98 Gaya Aksial Batang No. 4 dari Beban Mati Tambahan
 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Beban kejut

$$I = 122,6501 \text{ ton}$$

I didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4

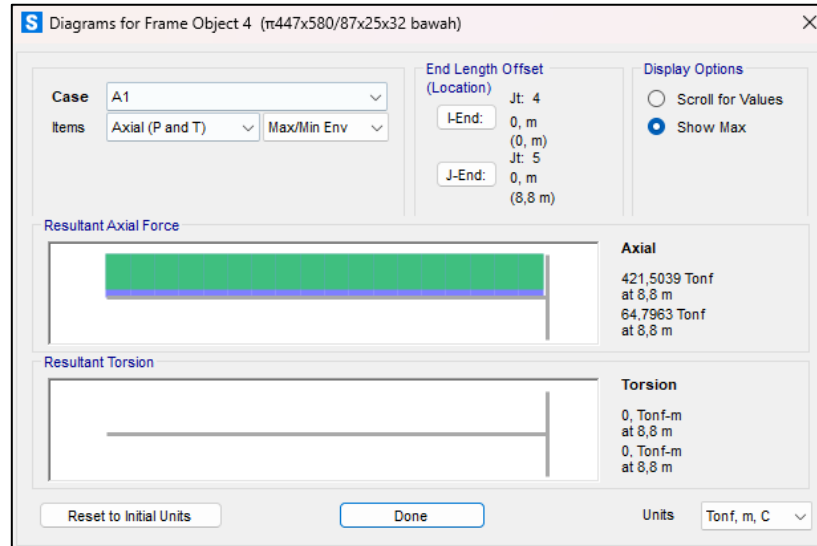


Gambar IV.99 Gaya Aksial Batang No. 4 dari Beban Kejut
 (Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Kombinasi Pembebanan A1

$$A1 = 421,5039 \text{ ton}$$

A1 didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4



Gambar IV.100 Gaya Aksial Batang No. 4 dari Pembebanan A1

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah perhitungan LLT dari kombinasi pembebanan A1 batang no. 4

$$A2 = DL + LLT + I + CF$$

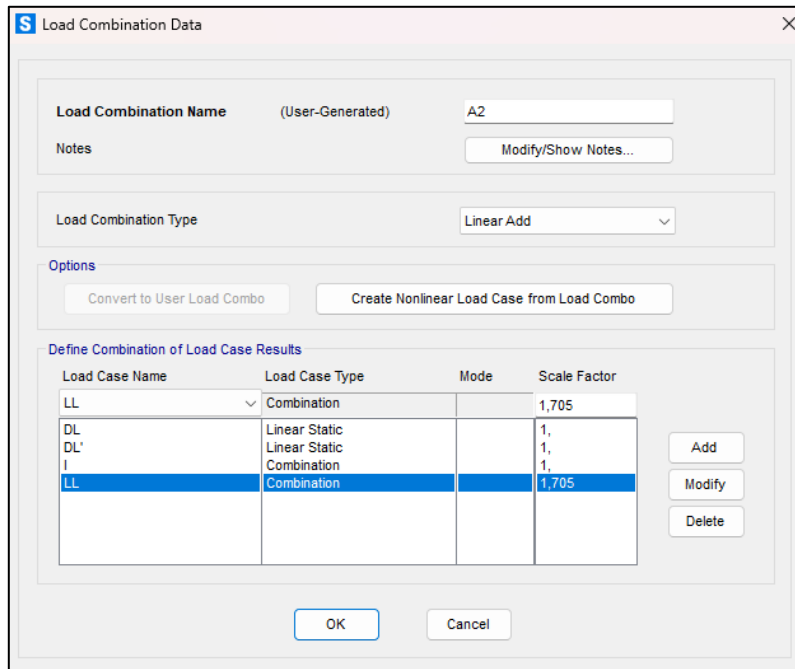
$$1,33 \times A1 = 60,6569 + 122,6501 + LLT + 4,1394$$

$$1,33 \times 421,5039 = 187,4464 + LLT$$

$$586,7899 = 187,4464 + LLT$$

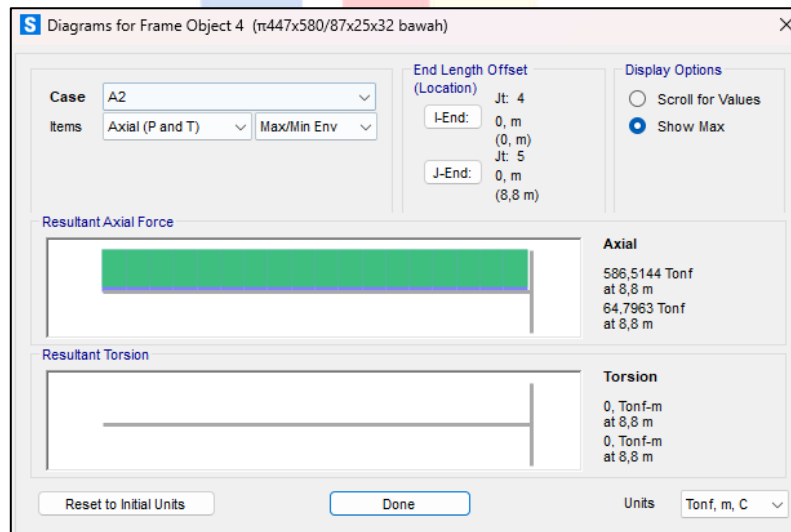
$$LLT = 399,3435 \text{ ton}$$

Maka, hasil kombinasi pembebanan A2 pada batang no. 4 akan sesuai dengan nilai yang telah dihitung di atas, yaitu sebesar 586,7899 ton. Berdasarkan SAP2000, skala faktor LL dinaikan sebesar 1,705 untuk mencapai nilai tersebut.



Gambar IV.101 Skala Faktor Beban Hidup pada Pembebanan A2

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.102 Hasil Gaya Aksial Tarik dari Batang no. 4

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah hasil pembebanan total A2 pada setiap batang dalam bentuk tabel.

Tabel IV.56 Hasil Pembebanan A2 pada Rangka Batang

Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tarik Minimum (ton)
1	150,9508	16,6642
2	389,1445	43,6166
3	537,6383	59,451
4	586,5144	64,7963
5	537,6377	59,451
6	389,1427	43,6166
7	150,9502	16,6642
20	339,8936	34,8211
21	339,895	34,8211
Nomor Batang	Gaya Tekan Maksimum (ton)	Gaya Tekan Minimum (ton)
8	299,8472	31,569
9	499,327	52,8426
10	598,1035	63,4622
11	598,1021	63,4622
12	499,3233	52,8426
13	299,8459	31,569
14	344,5726	38,8268
15	274,0919	6,5673
26	274,0939	6,5824
27	344,5711	38,8268
Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tekan Maksimum (ton)
16	53,1258	202,323
17	124,7192	130,8162
18	196,3404	59,2205
19	267,7144	1,0002
22	267,7126	1,0154
23	196,2284	59,2215
24	124,7171	130,8183
25	53,1249	202,3251

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah gaya tarik dan tekan maksimum pada masing-masing batang yang akan dibandingkan dengan hasil kombinasi pembebanan lainnya. Apabila paling besar, maka nilai tersebut akan menjadi tegangan *allowable* tekan (P_a) atau tarik (R_a) yang akan menjadi syarat minimum untuk tegangan izin tekan (P_n) atau tarik (R_n) dari gaya tarik dan tekannya.

Tabel IV.57 Gaya Tarik dan Tekan Maksimum Batang

Batang Chord Atas dan Bawah (no. 1 - 13)		
Gaya tarik maks.	586	ton
Gaya tekan maks.	598	ton
Batang Diagonal (no. 14 - 27)		
Gaya tarik maks.	339	ton
Gaya tekan maks.	344	ton

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Batang tepi bawah yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 4, sedangkan batang tepi atas yang mengalami gaya tekan maksimum adalah batang no. 10 dan 11. Batang diagonal yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 20 dan 21, sedangkan gaya tekan maksimum dialami oleh batang diagonal no. 14 dan 27.

- Kombinasi Pembebanan B1

$$B1 = DL + LL + I + W + LF + N + CWR$$

- Beban mati sendiri

$$DL = 60,6569 \text{ ton}$$

DL didapatkan dari penggunaan profil WF 400.400.16.24, $\pi 479 \times 580 / 87 \times 25 \times 32$, dan $\pi 464 \times 580 / 87 \times 25 \times 32$ untuk rangka batang dan akan dibahas dipenjelasan selanjutnya.

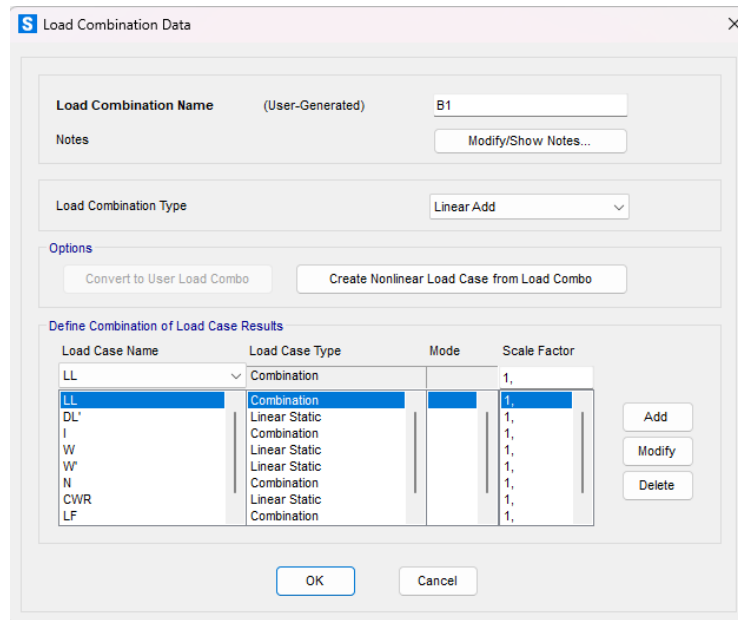
- Beban mati tambahan

$$DL' = 1,61607 \text{ ton}$$

DL' didapatkan dari hasil DL' pada setiap sendi atau *joint*.

- Untuk beban kejut (I), beban hidup (LL), beban pengereman dan traksi (LF), beban lateral kereta (N), dan beban rel panjang longitudinal (CWR) sesuai dengan perhitungan beban di atas.

Berikut adalah gambar dan tabel hasil kombinasi pembebanan B1 pada masing-masing batang.



Gambar IV.103 Data Kombinasi Pembebanan B1

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah hasil pembebanan total B1 pada setiap batang dalam bentuk tabel.

Tabel IV.58 Hasil Pembebanan B1 pada Batang

Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tarik Minimum (ton)
1	146,1782	30,2662
2	377,6758	79,427
3	521,0843	108,3282
4	568,4094	118,0788
5	521,0838	108,3282

6	377,6743	79,427
7	146,1777	30,2662
19	253,7812	23,364
20	329,0663	65,7374
21	329,0676	65,7374
22	253,7796	23,3509
Nomor Batang	Gaya Tekan Maksimum (ton)	Gaya Tekan Minimum (ton)
8	290,3191	58,7498
9	482,6981	97,3068
10	578,2335	116,748
11	578,2323	116,748
12	482,6949	97,3068
13	290,318	58,7498
14	333,7063	69,7962
15	260,11	29,1912
26	260,1116	29,2042
27	333,705	69,7962
Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tekan Maksimum (ton)
16	33,8715	186,8662
17	107,3668	113,4455
18	180,8834	39,951
23	180,8817	39,952
24	107,3651	113,4474
25	33,8707	186,868

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah gaya tarik dan tekan maksimum pada masing-masing batang yang akan dibandingkan dengan hasil kombinasi pembebanan lainnya. Apabila paling besar, maka nilai tersebut akan menjadi tegangan *allowable* tekan (Pa) atau tarik (Ra) yang akan menjadi syarat minimum untuk tegangan izin tekan (Pn) atau tarik (Rn) dari gaya tarik dan tekannya.

Tabel IV.59 Gaya Tarik dan Tekan Maksimum Batang

Batang Chord Atas dan Bawah (no. 1 - 13)		
Gaya tarik maks.	568,4094	ton
Gaya tekan maks.	578,2335	ton
Batang Diagonal (no. 14 - 27)		
Gaya tarik maks.	329,0676	ton
Gaya tekan maks.	333,7063	ton

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Kombinasi Pembebanan B2

$$B2 = DL + LLT + I + W + LF + N + CW$$

Pembebanan ini akan menunjuk satu batang yang paling besar nilainya, yaitu batang no. 4 atau no. 10 yang akan menjadi patokan untuk menentukan LLT.

- Beban mati sendiri

$$DL = 68,2158 \text{ ton}$$

DL didapatkan dari penggunaan profil WF 400.400.16.24, $\pi 479 \times 580 / 87 \times 25 \times 32$, dan $\pi 464 \times 580 / 87 \times 25 \times 32$ untuk rangka batang dan akan dibahas dipenjelasan selanjutnya.

- Beban mati tambahan

$$DL' = 4,1394 \text{ ton}$$

DL' didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4

- Beban kejut

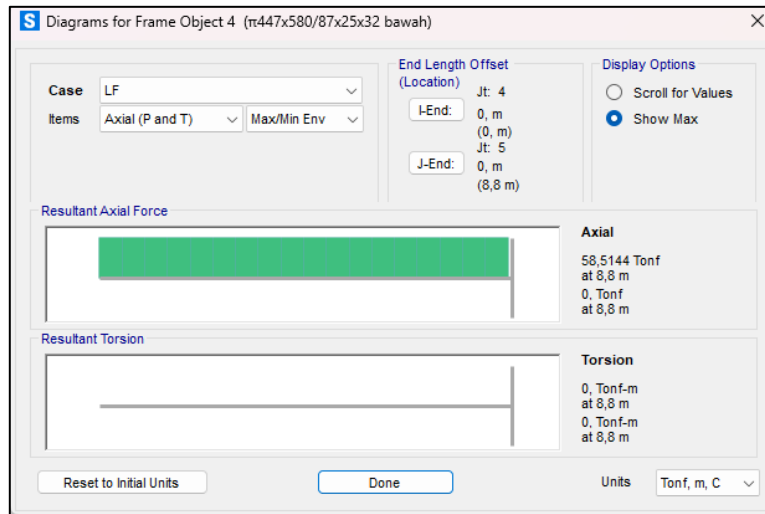
$$I = 122,6501 \text{ ton}$$

I didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4

- Beban pengereman dan traksi

$$LF = 58,5144 \text{ ton}$$

LF didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4



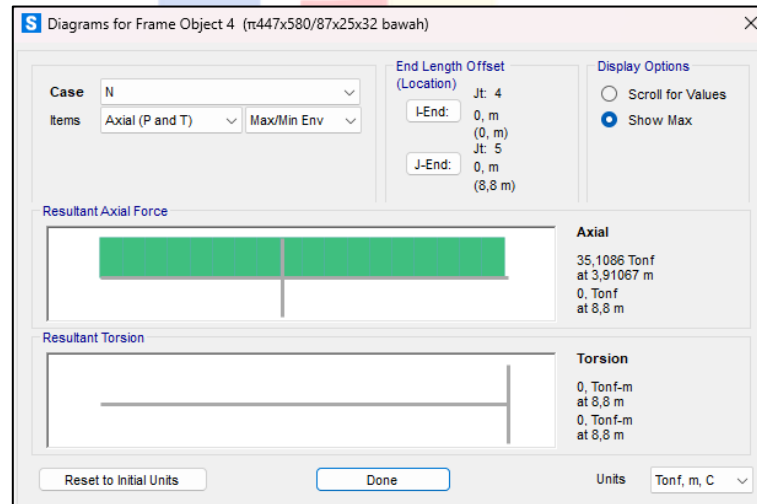
Gambar IV.104 Gaya Aksial Batang No. 4 dari Beban Pengereman-Traksi

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Beban lateral kereta

$$N = 35,1086 \text{ ton}$$

N didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4



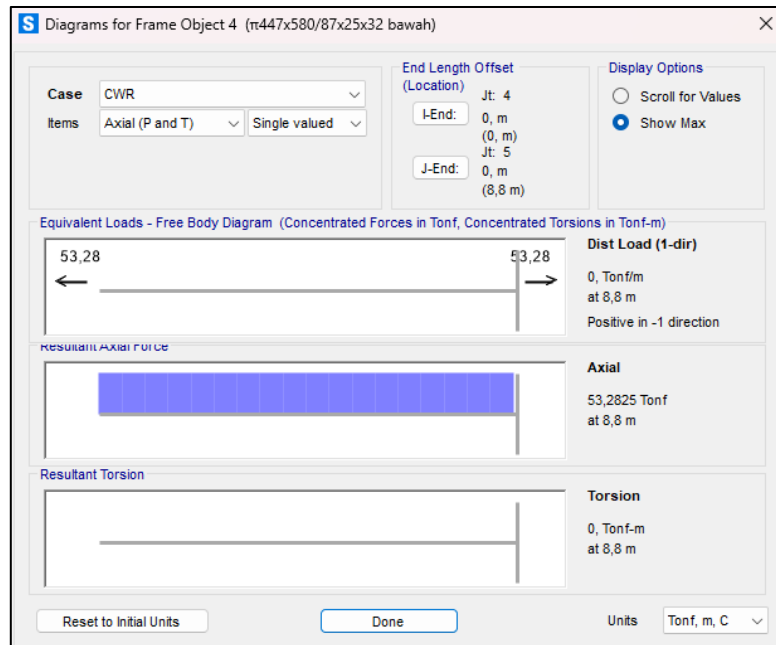
Gambar IV.105 Gaya Aksial Batang No. 4 dari Beban Lateral

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Beban rel panjang longitudinal

$$CWR = 53,2825 \text{ ton}$$

CWR didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4



Gambar IV.106 Gaya Aksial Batang No. 4 dari Beban Longitudinal

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Kombinasi Pembebanan A1

$$A1 = 442,7729 \text{ ton}$$

A1 didapatkan dari hasil gaya aksial untuk batang no. 4

Berikut adalah perhitungan LLT dari kombinasi pembebanan A1 batang no. 4

$$B2 = DL + LLT + I + W + LF + N + CWR$$

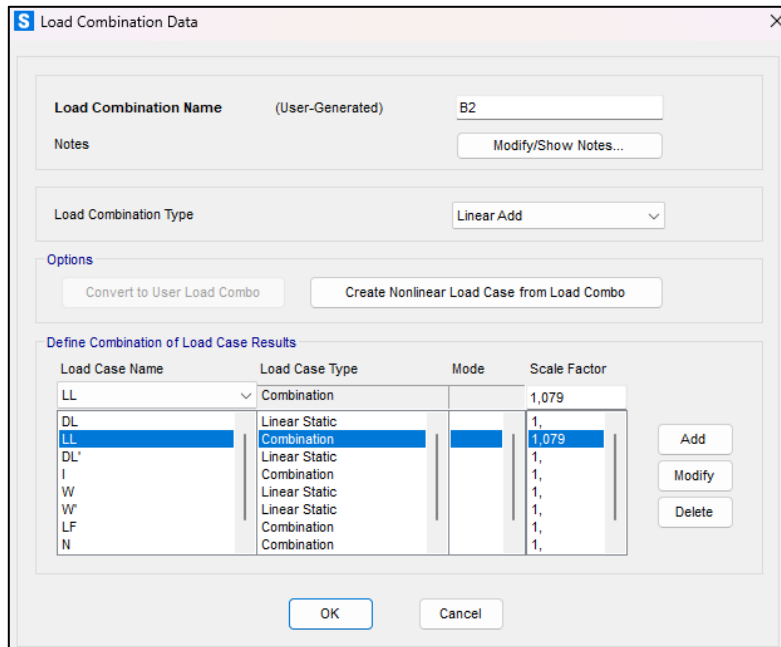
$$1,33 \times A1 = 68,22 + 4,14 + LLT + 122,65 + 58,51 + 35,11 + 53,28$$

$$1,33 \times 441,1954 = 341,9108 + LLT$$

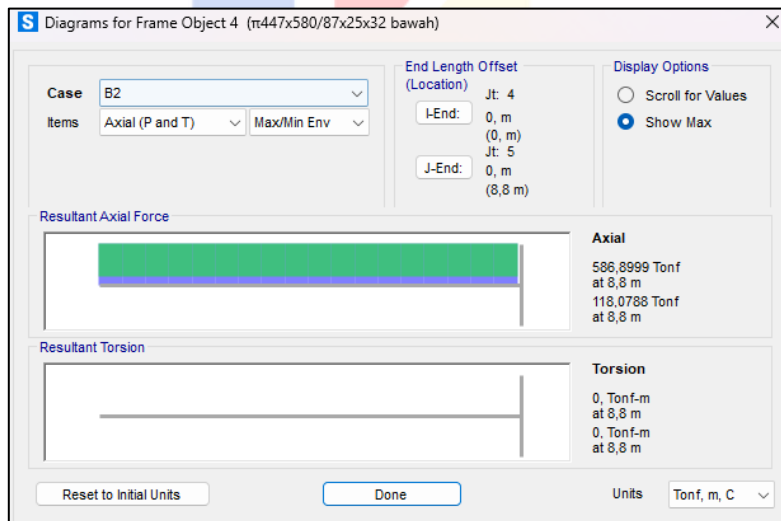
$$586,7899 = 341,9108 + LLT$$

$$LLT = 244,879 \text{ ton}$$

Maka, hasil kombinasi pembebanan B2 pada batang no. 4 akan sesuai dengan nilai yang telah dihitung di atas, yaitu sebesar 586,7899 ton. Berdasarkan SAP2000, skala faktor LL dinaikkan sebesar 1,079 untuk mencapai nilai tersebut.



Gambar IV.107 Skala Faktor Beban Hidup pada Pembebanan B2
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.108 Hasil Gaya Aksial Tarik dari Batang no. 4
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah hasil pembebanan total B2 pada setiap batang dalam bentuk tabel.

Tabel IV.60 Hasil Pembebanan B2 pada Batang

Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tarik Minimum (ton)
1	150,9376	30,2662
2	389,9219	79,427
3	538,032	108,3282
4	586,8999	118,0788
5	538,0316	108,3282
6	389,9203	79,427
7	150,937	30,2662
19	262,4936	22,6155
20	339,8786	65,7374
21	339,8799	65,7374
22	262,4919	22,6018
Nomor Batang	Gaya Tekan Maksimum (ton)	Gaya Tekan Minimum (ton)
8	299,8273	58,7498
9	498,5222	97,3068
10	597,1821	116,748
11	597,1808	116,748
12	498,5189	97,3068
13	299,8261	58,7498
14	344,5424	69,7962
15	268,8207	28,4204
26	268,8224	28,4339
27	344,541	69,7962
Nomor Batang	Gaya Tarik Maksimum (ton)	Gaya Tekan Maksimum (ton)
16	36,2563	193,4722
17	111,8633	117,9428
18	187,487	42,3422
23	187,4851	42,3432
24	111,8615	117,9448
25	36,2554	193,4741

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah gaya tarik dan tekan maksimum pada masing-masing batang yang akan dibandingkan dengan hasil kombinasi pembebanan lainnya. Apabila paling besar, maka nilai tersebut akan menjadi tegangan *allowable* tekan (P_a) atau tarik (R_a) yang akan menjadi syarat minimum untuk tegangan izin tekan (P_n) atau tarik (R_n) dari gaya tarik dan tekannya.

Tabel IV.61 Gaya Tarik dan Tekan Maksimum Batang

Batang Chord Atas dan Bawah (no. 1 - 13)		
Gaya tarik maks.	586	ton
Gaya tekan maks.	597	ton
Batang Diagonal (no. 14 - 27)		
Gaya tarik maks.	339	ton
Gaya tekan maks.	344	ton

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Batang tepi bawah yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 4, sedangkan batang tepi atas yang mengalami gaya tekan maksimum adalah batang no. 10 dan 11. Batang diagonal yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 20 dan 21, sedangkan gaya tekan maksimum dialami oleh batang diagonal no. 14 dan 27.

- Tegangan Tarik dan Tekan yang Dipakai

Setelah mencari kombinasi pembebanan A1, A2, B1, dan B2, maka hasil gaya tarik dan tekan maksimum yang telah ditentukan pada kombinasi pembebanan akan dibandingkan, serta diambil hasil yang paling maksimumnya. Hasil yang paling maksimum akan menjadi tegangan tarik (R_a) dan tekan (P_a) yang akan menjadi syarat untuk mencari tegangan nominal dan mengecek apakah baja-baja yang dipilih sudah memenuhi persyaratan.

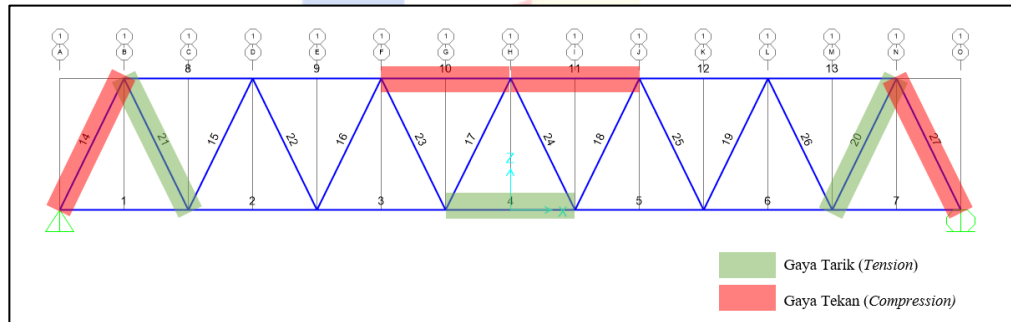
Berikut adalah tabel data untuk gaya tarik dan tekan maksimum dari kombinasi pembebanan.

Tabel IV.62 Gaya Tarik dan Tekan Maksimum dari Kombinasi Pembebanan

Load Case	A1 (ton)	A2 (ton)	B1 (ton)	B2 (ton)	Tegangan yang dipakai (ton)
Batang Chord Atas-Bawah					
Gaya tarik maks.	441	586	568	586	586
Gaya tekan maks.	448	598	578	597	598
Batang Diagonal					
Gaya tarik maks.	254	339	329	339	339
Gaya tekan maks.	260	344	333	344	344

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Batang tepi bawah yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 4, sedangkan batang tepi atas yang mengalami gaya tekan maksimum adalah batang no. 10 dan 11. Batang diagonal yang mengalami gaya tarik maksimum adalah batang no. 20 dan 21, sedangkan gaya tekan maksimum dialami oleh batang diagonal no. 14 dan 27.



Gambar IV.109 Gaya Tekan dan Tarik Maksimum Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.5.3 Penentuan dan Pengecekan Profil Baja pada Batang Diagonal

- Penentuan Penampang Baja

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360-16*, cara menentukan penampang yang akan digunakan sebagai profil baja batang vertikal adalah dengan memperhitungkan area minimum, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{Pa}{A} \leq 0,5fy$$

$$\frac{344,5726 \times 0,5 \times 9,80665 \times 10^3}{A} \leq 0,5 \times 250$$

$$A \geq 13516,41 \text{ mm}^2$$

$$A \geq 135,1641 \text{ cm}^2$$

Maka, dipilihlah profil baja WF 400.400.16.24 sebagai batang diagonal dengan luas area penampang $A_g = 25490 \text{ mm}^2$.

- Pengecekan Tahanan Nominal Tekan

Setelah menentukan profil baja batang diagonal, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tekan. Berikut adalah data mutu dan profil baja WF 400.400.16.24.

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A_g = 25490 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 7,8 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2,62 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 175 \text{ mm}$$

$$r_y = 101 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

Berikut adalah data-data pendukungnya.

$$\text{Panjang batang } (L) = 10017,98 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya tekan } (Pa) = \frac{344,5726 \times 9,80665}{2} \text{ kN}$$

$$\text{Gaya tekan } (Pa) = 1689,55 \text{ kN}$$



Nilai gaya tekan pada batang diagonal dibagi dua karena sebenarnya gaya tersebut ditopang oleh dua batang *truss*. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 1 adalah pengecekan terhadap kelangsingan sayap.

$$b = \frac{\text{lebar}}{2} - \frac{\text{badan}}{2}$$

$$b = \frac{403}{2} - \frac{16}{2}$$

$$b = 193,5 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t_f} \leq \lambda r$$

$$\frac{b}{t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{193,5}{24} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$8,063 \leq 15,839 \text{ (memenuhi persyaratan)}$$

Profil baja WF 400.400.16.24 telah memenuhi persyaratan untuk kelangsingan sayap atau *web*. Selanjutnya adalah pengecekan terhadap kelangsingan badan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 5.

$$h = \text{panjang} - 2 \cdot \text{sayap}$$

$$h = 406 - 2 \times 24$$

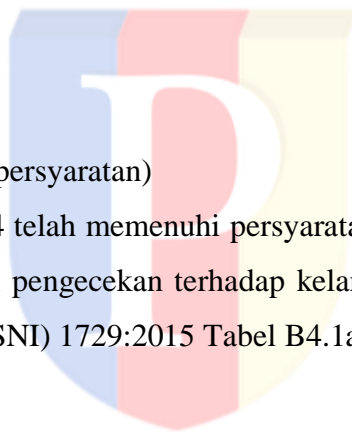
$$h = 358 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda r$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{358}{16} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$22,375 \leq 42,144 \text{ (memenuhi persyaratan)}$$



Karena profil baja WF 400.400.16.24 memenuhi persyaratan kelangsingan sayap dan badan, maka profil termasuk dalam kategori penampang “tidak langsing”. Berdasarkan SNI 1729:2015 Tabel E1.1 Bab E3 dan E4, penampang tidak langsing akan mengalami fenomena tekuk global (*global buckling*). Khusus untuk profil WF, baja akan mengalami tekuk lentur dan torsi. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk lentur.

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-X:

$$\lambda_x = k \cdot \frac{L_x}{r_x}$$

$$\lambda_x = 1 \cdot \frac{10017,98}{175}$$

$$\lambda_x = 57,246$$

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-Y:

$$\lambda_y = k \cdot \frac{L_y}{r_y}$$

$$\lambda_y = 1 \cdot \frac{10017,98}{101}$$

$$\lambda_y = 99,188$$

Karena $\lambda_y > \lambda_x$, maka sumbu Y lebih dominan mengalami tekuk lentur.

Pengecekan syarat tegangan kritis:

$$\lambda_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$99,188 \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$99,188 \leq 133,219 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Pengecekan nilai tegangan tekuk kritis elastis.

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot E)}{\lambda_y^2}$$

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot 200000)}{99,188^2}$$

$$F_e = 201 \text{ MPa}$$

Karena λ_y memenuhi persyaratan syarat tegangan kritis, maka:

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{f_y}{f_e} \right) x f_y$$

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{250}{201} \right) x 250$$

$$F_{cr} = 148 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap lentur:

$$P_n = f_{cr} x A_g$$

$$P_n = 148 x 25490$$

$$P_n = 3783 \text{ kN}$$

Nilai P_n pada tekuk lentur sudah dihitung dan akan dibandingkan dengan nilai P_n pada tekuk torsi. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk torsi.

Perhitungan konstanta torsi:

$$d' = d - tf$$

$$d' = 406 - 24$$

$$d' = 382 \text{ mm}$$

$$J = \frac{(2 x b x tf^3) + (d' x tw^3)}{3}$$

$$J = \frac{(2 x 403 x 24^3) + (382 x 16^3)}{3}$$

$$J = 4235605,333 \text{ mm}^4$$

Perhitungan konstanta pilin:

$$C_w = \frac{d'^2 x b^3 x tf}{24}$$

$$C_w = \frac{382^2 x 403^3 x 24}{24}$$

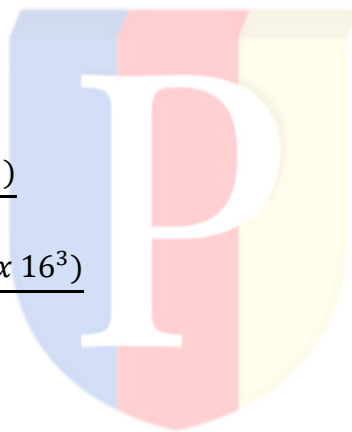
$$C_w = 9,55 x 10^{12} \text{ mm}^6$$

Pengecekan nilai tegangan tekuk kritis elastis untuk komponen struktur simetris ganda.

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 x E x C_w}{(k_z \cdot L)^2} + GJ \right] \cdot \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 x 2 x 9,55 x 10^{12+5}}{(1 x 10017,98)^2} + 77200 x 4235605 \right] \cdot \frac{1}{7,8 x 10^8 + 2,6 x 10^8}$$

$$F_e = 494 \text{ MPa}$$



Karena λy memenuhi persyaratan syarat tegangan kritis, maka:

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{f_y}{f_e} \right) x f_y$$

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{250}{494} \right) x 250$$

$$F_{cr} = 202 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap torsi:

$$P_n = f_{cr} x A_g$$

$$P_n = 202 x 25490$$

$$P_n = 5156 \text{ kN}$$

Karena nilai kuat nominal profil terhadap lentur lebih kecil daripada terhadap torsi, maka profil WF 400.400.16.24 cenderung mengalami tekuk lentur. P_n tekuk lentur akan menjadi acuan dalam pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Section E1.

$$\frac{P_n}{\Omega} \geq P_a$$

$$\frac{3783}{1,67} \geq 1689,551$$

$$2265,153 \text{ kN} \geq 1689,551 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Profil WF 400.400.16.24 memenuhi persyaratan untuk tahanan tekan.

- Pengecekan Tahanan Nominal Tarik

Setelah melakukan pengecekan untuk tahanan tekan, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tarik. Untuk data mutu dan profil baja WF 400.400.16.24 sudah disebutkan di bagian sebelumnya dan berikut adalah gaya tarik *ultimatenya*.

$$\text{Gaya tarik } (R_a) = \frac{339,895 x 9,80665}{2} \text{ kN}$$

$$\text{Gaya tarik } (R_a) = 1666,616 \text{ kN}$$

Nilai gaya tarik pada batang diagonal dibagi dua karena sebenarnya gaya tersebut ditopang oleh dua batang *truss*. Berikut adalah perhitungan untuk mencari kuat leleh tariknya berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (D2-1)

dengan meniadakan luas yang dapat berkurang karena sambungan dan akan dibahas di bagian-bagian selanjutnya.

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 25490 \times 250$$

$$R_n = 6372500 \text{ N}$$

$$R_n = 6372,5 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan RSNI T-03-2005 pada tabel 3

$$R_n \geq R_a$$

$$\frac{6372,5}{1,67} \geq 1666,616 \text{ kN}$$

$$3815,868 \text{ kN} \geq 2095,782 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Profil WF 400.400.16.24 memenuhi persyaratan untuk tahanan tarik.

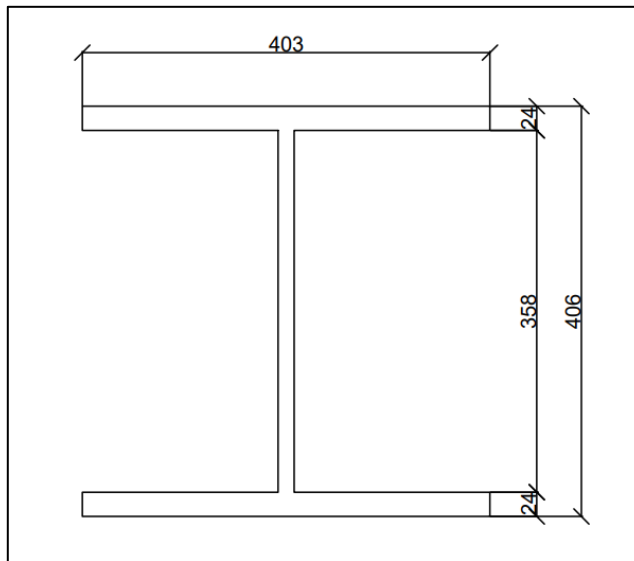
- Kesimpulan dan Profil Baja yang Dipakai

Tabel IV.63 Pengecekan Profil Baja WF 400.400.16.24

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Tahanan Tekan	Ya	
Tahanan Tarik	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka profil Baja WF 400.400.16.24 memenuhi persyaratan untuk batang diagonal rangka batang



Gambar IV.110 Penampang WF 400.400.16.24 dalam Satuan mm

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.5.4 Penentuan dan Pengecekan Profil Baja pada Batang Tepi Atas dan Bawah

- Penentuan Penampang Baja

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360-16*, cara menentukan penampang yang akan digunakan sebagai profil batang tepi atas dan bawah adalah dengan memperhitungkan area minimum, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{Pa}{A} \leq 0,5fy$$

$$\frac{598,1035 \times 0,5 \times 9,80665 \times 10^3}{A} \leq 0,5 \times 250$$

$$A \geq 23461,57 \text{ mm}^2$$

$$A \geq 234,6157 \text{ cm}^2$$

Maka, dipilihlah profil baja $\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$ sebagai batang tepi atas untuk menahan gaya tekan dengan luas area penampang $A_g = 51396 \text{ mm}^4$ dan $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$ sebagai batang tepi bawah dengan luas area penampang $A_g = 45536 \text{ mm}^4$

- Pengecekan Tahanan Nominal Tekan

Setelah menentukan profil baja batang tepi atas dan bawah, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tekan untuk batang tepi atas. Berikut adalah data mutu dan profil baja $\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$.

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A_g = 51396 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1,31 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2,46 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 159,8 \text{ mm}$$

$$r_y = 218,7 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$J = 17137313 \text{ mm}^4$$

$$A_{w12} = 12450 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 20928 \text{ mm}^2$$

$$A_{f12} = 2784 \text{ mm}^2$$

$$y_{w12} = 239,5 \text{ mm}$$

$$y_f = 463 \text{ mm}$$

$$y_{f12} = 16 \text{ mm}$$



Berikut adalah data-data pendukungnya.

$$\text{Panjang batang } (L) = 8800 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya tekan } (Pa) = 2932,696 \text{ kN}$$

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 1 adalah pengecekan terhadap kelangsingan sayap.

$$b = \frac{\text{lebar}}{2} - \frac{\text{badan}}{2}$$

$$b = \frac{654}{2} - \frac{30}{2}$$

$$b = 312 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t_f} \leq \lambda r$$

$$\frac{b}{t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{312}{32} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

9,750 ≤ 15,839 (memenuhi persyaratan)

Profil baja π479x654/87x30x32 telah memenuhi persyaratan untuk kelangsingan sayap atau *web*. Selanjutnya adalah pengecekan terhadap kelangsingan badan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 5.

$h = \text{panjang} - 2 \cdot \text{sayap}$

$$h = 479 - 2 \times 32$$

$$h = 415 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda r$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{415}{30} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

13,83 ≤ 42,144 (memenuhi persyaratan)

Karena profil baja π479x654/87x30x32 memenuhi persyaratan kelangsingan sayap dan badan, maka profil termasuk dalam kategori penampang “tidak langsing”. Berdasarkan SNI 1729:2015 Tabel E1.1 Bab E3 dan E4, penampang tidak langsing akan mengalami fenomena tekuk global (*global buckling*). Khusus untuk profil π, baja akan mengalami tekuk lentur dan torsi-lentur. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk lentur.

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-X:

$$\lambda_x = k \cdot \frac{L_x}{r_x}$$



$$\lambda_x = 1 \cdot \frac{8800}{159,8}$$

$$\lambda_x = 55,069$$

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-Y:

$$\lambda_y = k \cdot \frac{L_y}{r_y}$$

$$\lambda_y = 1 \cdot \frac{8800}{218,7}$$

$$\lambda_y = 40,238$$

Karena $\lambda_y < \lambda_x$, maka sumbu X lebih dominan mengalami tekuk lentur.

Pengecekan syarat tegangan kritis:

$$\lambda_x \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$55,069 \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$55,069 \leq 133,219 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Pengecekan nilai tegangan tekuk kritis elastis.

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot E)}{\lambda_y^2}$$

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot 200000)}{55,069^2}$$

$$F_e = 651 \text{ MPa}$$

Karena λ_x memenuhi persyaratan syarat tegangan kritis, maka:

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{f_y}{f_e} \right) \times f_y$$

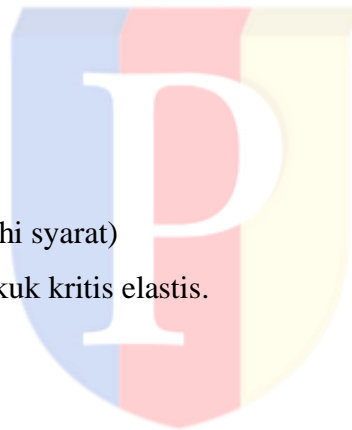
$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{250}{651} \right) \times 250$$

$$F_{cr} = 213 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap lentur:

$$P_n = f_{cr} \times A_g$$

$$P_n = 213 \times 51396$$



$$P_n = 10941 \text{ kN}$$

Nilai P_n pada tekuk lentur sudah dihitung dan akan dibandingkan dengan nilai P_n pada tekuk torsi-lentur. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk torsi-lentur.

Perhitungan titik berat:

$$x_o = 0 \text{ mm}$$

$$y_o = \frac{A_{w12} \cdot y_{w12} + A_{f12} \cdot y_{f12} + A_f \cdot y_f}{(A_{w12} + A_{f12} + A_f)}$$

$$y_o = \frac{12450 \times 239,5 + 2784 \times 16 + 20928 \times 463}{(12450 + 2784 + 20928)}$$

$$y_o = 351,64 \text{ mm}$$

Perhitungan radius girasi polar di pusat geser:

$$r_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$r_o^2 = 0^2 + 351,64^2 + \frac{1,31 \times 10^9 + 2,46 \times 10^9}{51396}$$

$$r_o^2 = 196983 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2}$$

$$H = 1 - \frac{0^2 + 351,64^2}{196983}$$

$$H = 0,3723$$

Untuk komponen struktur tekan

$$C_w = 1 \text{ mm}^6$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{A_g \cdot r_o^2}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{3,14^2 \times 200000 \times 1}{(1 \times 8800)^2} + 77200 \times 17137313 \right) \cdot \frac{1}{51396 \times 196983}$$

$$F_{ez} = 130,678 \text{ MPa}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K_y \cdot L}{r_y} \right)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{40,238^2}$$

$$F_{ey} = 1218 \text{ MPa}$$

Perhitungan tegangan kritis:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

$$F_{cr} = \left(\frac{1218 + 130}{2 \times 0,3723} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 1218 \times 130 \times 0,3723}{(1218 + 130)^2}} \right]$$

$$F_{cr} = 122 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap torsi-lentur:

$$P_n = f_{cr} \times A_g$$

$$P_n = 122 \times 51396$$

$$P_n = 6277 \text{ kN}$$

Karena nilai kuat nominal profil terhadap lentur dan torsi-lentur, maka P_n keduanya akan menjadi acuan dalam pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan (*American Institute of Steel Construction*) AISC 360, Sec. E1.

$$\frac{P_n}{\Omega} \geq P_a$$

$$\frac{6277}{1,67} \geq 2932,696$$

$$3758,77 \text{ kN} \geq 2932,696 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Profil $\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$ memenuhi persyaratan untuk tahanan tekan.

- Pengecekan Tahanan Nominal Tarik

Setelah melakukan pengecekan untuk tahanan tekan, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tarik untuk batang tepi bawah. Untuk data mutu dan profil baja $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$, serta gaya tarik *ultimatenya*.

Berikut adalah data mutu dan profil baja $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$.

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A_g = 45536 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1,208 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 1,661 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 162,8 \text{ mm}$$

$$r_y = 191 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$\text{Gaya tarik } (R_a) = 2877,761 \text{ kN}$$

Berikut adalah perhitungan untuk mencari kuat leleh tariknya berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (D2-1)* dengan meniadakan luas yang dapat berkurang karena sambungan dan akan dibahas di bagian-bagian selanjutnya.

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 45536 \times 250$$

$$R_n = 11384000 \text{ N}$$

$$R_n = 11384 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan tarik

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{11384}{1,67} \geq 2877,761 \text{ kN}$$

$$6816,77 \text{ kN} \geq 2877,61 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

$\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$ memenuhi persyaratan untuk tahanan tarik.

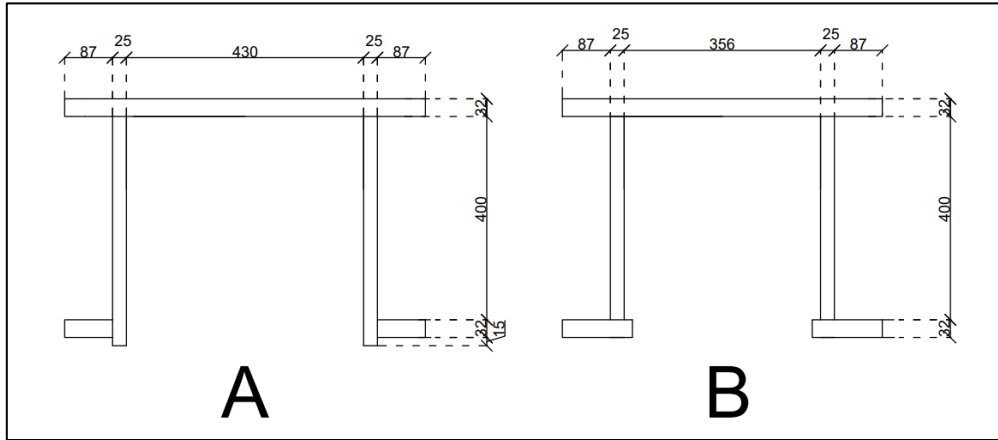
- Kesimpulan dan Profil Baja yang Dipakai

Tabel IV.64 Pengecekan Profil $\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$ dan $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Tahanan Tekan	Ya	
Tahanan Tarik	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

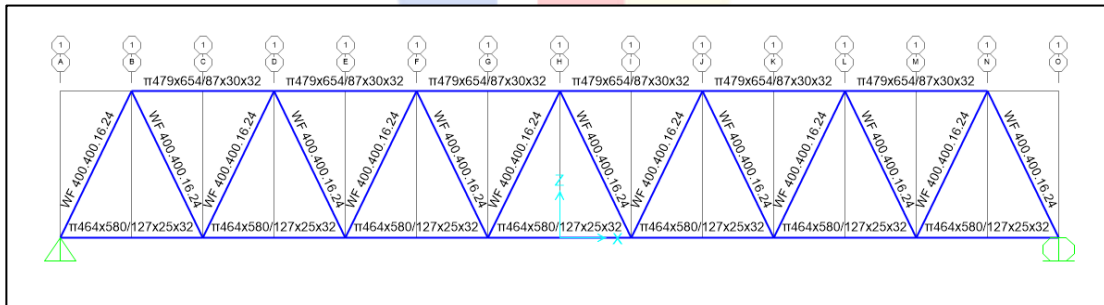
Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka profil Baja $\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$ dan $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$ memenuhi persyaratan untuk batang tepi atas dan bawah.



Gambar IV.111 Penampang Batang Tepi Atas (A) dan Bawah (B)

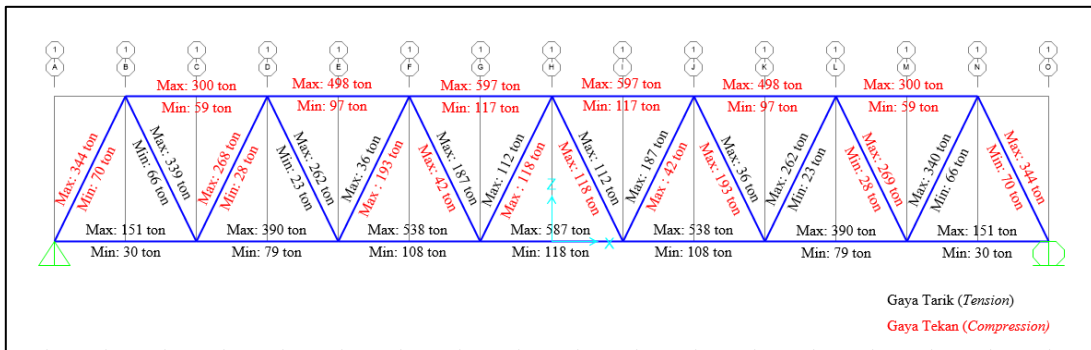
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Berikut adalah profil baja dan juga nilai beban maksimum yang dipikul pada masing-masing batang di SAP2000.



Gambar IV.112 Profil pada Rangka Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



Gambar IV.113 Beban Maksimum yang Dipikul Masing-Masing Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

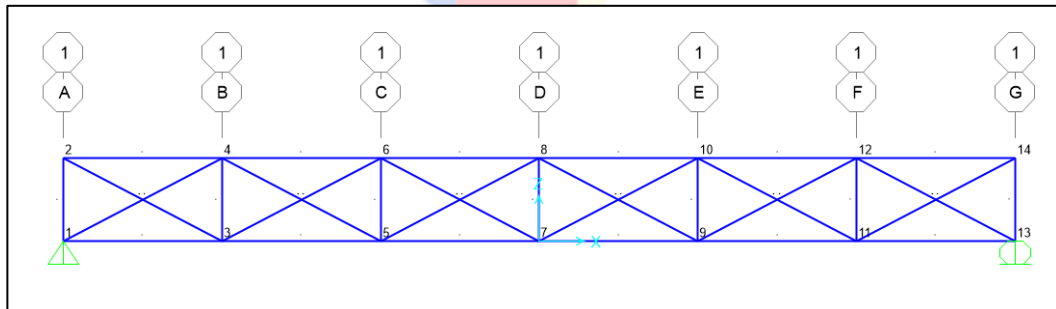
IV.6 Desain dan Pengecekan untuk Ikatan Angin Atas

Dalam mendesain ikatan angin atas, kombinasi pembebanan yang dipakai berdasarkan tabel adalah dengan menggunakan kombinasi pembebanan F sesuai dengan tabel kombinasi pembebanan.

IV.6.1 Kombinasi Pembebanan F

$$F = W$$

Nilai W adalah beban angin dari struktur (W) dan kendaraan (W') yang besar gayanya telah dihitung di atas dan dibagi berdasarkan per *joint* atau sendi



Gambar IV.114 Ikatan Angin Atas dan Nomor Sendinya

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Tabel IV.65 Kombinasi Pembebanan F pada Masing-Masing Sendi

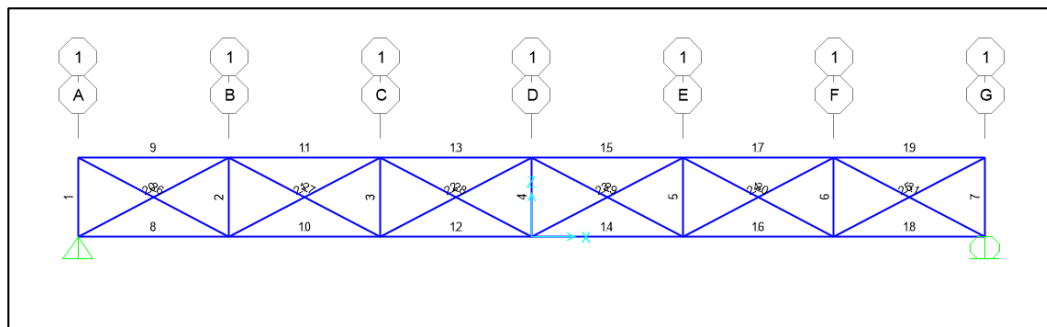
Joint atau Sendi	W atau F (Kn)
2	27,09821332

4	54,19642664
6	54,19642664
8	54,19642664
10	54,19642664
12	54,19642664
14	27,09821332

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.6.2 Gaya Tarik dan Tekan Aksial Batang

Besar gaya pada batang ikatan angin atas dicari dengan menggunakan SAP2000 dan menghasilkan gaya tarik-tekan aksialnya pada masing-masing batang.



Gambar IV.115 Ikatan Angin Atas dan Nomor Batangnya

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Tabel IV.66 Nilai Gaya Tarik-Tekan Aksial Batang

Batang	Tarik (kN)	Tekan (kN)
1		91,485
2		22,419
3		24,297
4		24,256
5		24,297
6		22,419
7		91,485
8	135,632	
9		122,859

10	338,551	
11		333,313
12	442,041	
13		436,596
14	442,041	
15		436,596
16	338,551	
17		333,313
18	135,632	
19		122,859
20		152,187
21		90,066
22		32,101
23		25,957
24	84,155	
25	137,774	
26	137,774	
27	84,155	
28	25,957	
29		32,101
30		90,066
31		152,187

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

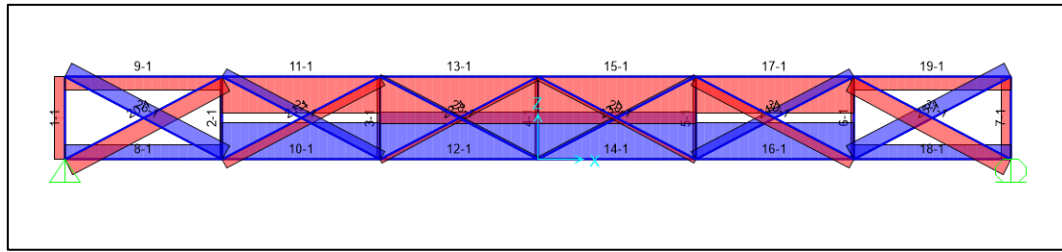
IV.6.3 Gaya Tarik dan Tekan Aksial Batang yang Dipakai

Hasil gaya tarik dan tekan batang yang paling maksimum akan menjadi tegangan tarik (R_a) dan tekan (P_a) yang akan menjadi syarat untuk mencari tegangan nominal dan mengecek apakah baja-baja yang dipilih sudah memenuhi persyaratan.

Berikut adalah nilai gaya tarik dan tekan maksimumnya.

$R_a = 137,774 \text{ kN}$ pada batang 25 dan 26

$P_a = 152,187 \text{ kN}$ pada batang 20 dan 31



Gambar IV.116 Gaya Tarik dan Tekan Masing-Masing Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Untuk batang no. 9 – 19 tidak dipertimbangkan gaya tarik dan tekannya karena termasuk batang tepi atas pada rangka batang, bukan batang ikatan angin atas.

IV.6.4 Penentuan Penampang Baja

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360-16*, cara menentukan penampang yang akan digunakan sebagai profil baja ikatan angin atas adalah dengan memperhitungkan area minimum, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{Pa}{A} \leq 0,5fy$$

$$\frac{152187}{A} \leq 0,5 \times 250$$

$$A \geq 1217,496 \text{ mm}^2$$

$$A \geq 12,17496 \text{ cm}^2$$

Maka, dipilihlah profil baja T 150.200.12.12 sebagai batang ikatan angin atas dengan luas area penampang $A_g = 4056 \text{ mm}^2$.

IV.6.5 Pengecekan Tahanan Nominal Tekan

Setelah menentukan profil baja ikatan angin atas, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tekan. Berikut adalah data mutu dan profil baja T 150.200.12.12.

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A_g = 4056 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 8,17 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 8,02 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 44,9 \text{ mm}$$

$$r_y = 44,5 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$J = 191266,56 \text{ mm}^4$$

$$A_w = 1656 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 2400 \text{ mm}^2$$

$$y_w = 69 \text{ mm}$$

$$y_f = 144 \text{ mm}$$

Berikut adalah data-data pendukungnya.

$$\text{Panjang batang } (L) = 4964,9 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya tekan } (Pa) = 152,187 \text{ kN}$$

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 1 adalah pengecekan terhadap kelangsingan sayap.

$$b = \frac{\text{lebar}}{2} - \frac{\text{badan}}{2}$$

$$b = \frac{200}{2} - \frac{12}{2}$$

$$b = 94 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t_f} \leq \lambda r$$

$$\frac{b}{t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{94}{12} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$7,833 \leq 15,839 \text{ (memenuhi persyaratan)}$$

Profil baja T 150.200.12.12 telah memenuhi persyaratan untuk kelangsingan sayap atau *web*. Selanjutnya adalah pengecekan terhadap kelangsingan badan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 5.

$$h = \text{panjang} - 2 \cdot \text{sayap}$$

$$h = 150 - 2 \times 12$$

$$h = 138 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{tw} \leq \lambda r$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{138}{12} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$11,500 \leq 42,144 \text{ (memenuhi persyaratan)}$$

Karena profil baja T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan kelangsingan sayap dan badan, maka profil termasuk dalam kategori penampang “tidak langsing”. Berdasarkan SNI 1729:2015 Tabel E1.1 Bab E3 dan E4, penampang tidak langsing akan mengalami fenomena tekuk global (*global buckling*). Khusus untuk profil T, baja akan mengalami tekuk lentur dan torsi-lentur. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk lentur.

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-X:

$$\lambda_x = k \cdot \frac{L_x}{r_x}$$

$$\lambda_x = 1 \cdot \frac{4964,9}{44,9}$$

$$\lambda_x = 110,577$$

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-Y:

$$\lambda_y = k \cdot \frac{L_y}{r_y}$$

$$\lambda_y = 1 \cdot \frac{4964,9}{44,5}$$

$$\lambda_y = 111,571$$

Karena $\lambda_y > \lambda_x$, maka sumbu Y lebih dominan mengalami tekuk lentur.

Pengecekan syarat tegangan kritis:

$$\lambda_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$111,571 \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$111,571 \leq 133,219 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Pengecekan nilai tegangan tekuk kritis elastis.

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot E)}{\lambda_y^2}$$

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot 200000)}{111,571^2}$$

$$F_e = 159 \text{ MPa}$$

Karena λ_y memenuhi persyaratan syarat tegangan kritis, maka:

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{f_y}{f_e} \right) \times f_y$$

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{250}{159} \right) \times 250$$

$$F_{cr} = 129 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap lentur:

$$P_n = f_{cr} \times A_g$$

$$P_n = 129 \times 4056$$

$$P_n = 524 \text{ kN}$$

Nilai P_n pada tekuk lentur sudah dihitung dan akan dibandingkan dengan nilai P_n pada tekuk torsi-lentur. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk torsi-lentur.

Perhitungan titik berat:

$$x_o = 0 \text{ mm}$$

$$y_o = \frac{A_w \cdot y_w + A_f \cdot y_f}{A_w + A_f}$$

$$y_o = \frac{1656 \times 69 + 2400 \times 144}{1656 + 2400}$$

$$y_o = 113,379 \text{ mm}$$

Perhitungan radius girasi polar di pusat geser:

$$r_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{Ix + Iy}{Ag}$$

$$r_o^2 = 0^2 + 113,379^2 + \frac{8,17 \times 10^6 + 8 \times 10^6}{4056}$$

$$r_o^2 = 16846,35 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2}$$

$$H = 1 - \frac{0^2 + 113,379^2}{16846,35}$$

$$H = 0,236942612$$

Mencari konstanta pilin

$$d' = d - \frac{tf}{2}$$

$$d' = 150 - \frac{12}{2}$$

$$d' = 144 \text{ mm}$$

$$C_w = \left(\frac{b^3 \cdot t_f^3}{144} \right) + \left(\frac{d'^3 \cdot t_w^3}{36} \right)$$

$$C_w = \left(\frac{200^3 \cdot 12^3}{144} \right) + \left(\frac{144^3 \cdot 12^3}{36} \right)$$

$$C_w = 239327232 \text{ mm}^6$$

Untuk komponen struktur tekan berbentuk T

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{Ag \cdot r_o^2}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{3,14^2 \times 200000 \times 239327232}{(1 \times 4964,9)^2} + 77200 \times 191266 \right) \cdot \frac{1}{4056 \times 16846,34}$$

$$F_{ez} = 216,379 \text{ MPa}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K_y \cdot L}{r_y} \right)^2}$$



$$Fey = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{111,571^2}$$

$$Fey = 158 \text{ MPa}$$

Perhitungan tegangan kritis:

$$Fcr = \left(\frac{Fey + Fez}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4FeyFezH}{(Fey + Fez)^2}} \right]$$

$$Fcr = \left(\frac{158 + 216}{2 \times 0,2369} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 158 \times 216 \times 0,2369}{(158 + 216)^2}} \right]$$

$$Fcr = 97 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap torsi:

$$Pn = fcr \times Ag$$

$$Pn = 97 \times 4056$$

$$Pn = 395 \text{ kN}$$

Karena nilai kuat nominal profil terhadap torsi-lentur lebih besar, maka Pn diambil dari nilai tekuk torsi lentur dalam pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360, Sec. E1*.

$$\frac{Pn}{\Omega} \geq Pa$$

$$\frac{395}{1,67} \geq 152,187$$

$$236,709 \text{ kN} \geq 152,187 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Profil T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan untuk tahanan tekan.

IV.6.6 Pengecekan Tahanan Nominal Tarik

Setelah melakukan pengecekan untuk tahanan tekan, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tarik. Untuk data mutu dan profil baja T 150.200.12.12 sudah disebutkan di bagian sebelumnya dan berikut adalah gaya tarik *ultimatenya*.

$$\text{Gaya tarik } (Ra) = 137,774 \text{ kN}$$

Berikut adalah perhitungan untuk mencari kuat leleh tariknya berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (D2-1) dengan meniadakan luas yang dapat berkurang karena sambungan dan akan dibahas di bagian-bagian selanjutnya.

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 4056 \times 250$$

$$R_n = 1014000 \text{ N}$$

$$R_n = 1014 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (D2-1)

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{1014}{1,67} \geq 137,774 \text{ kN}$$

$$607,186 \text{ kN} \geq 137,774 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan untuk tahanan tarik.

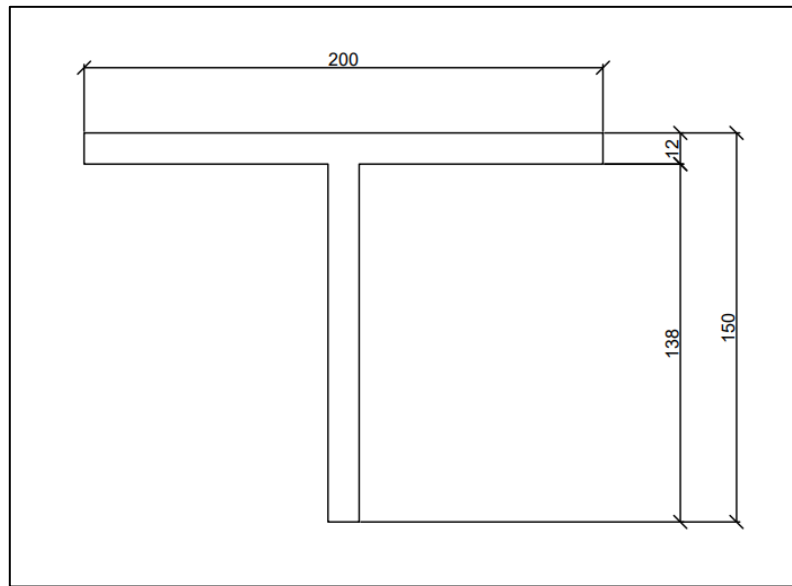
IV.6.7 Kesimpulan dan Profil Baja yang Dipakai

Tabel IV.67 Pengecekan Profil Baja T 150.200.12.12

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Tahanan Tekan	Ya	
Tahanan Tarik	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka profil Baja T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan untuk batang ikatan angin atas.



Gambar IV.117 Penampang T 150.200.12.12 dalam Satuan mm

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

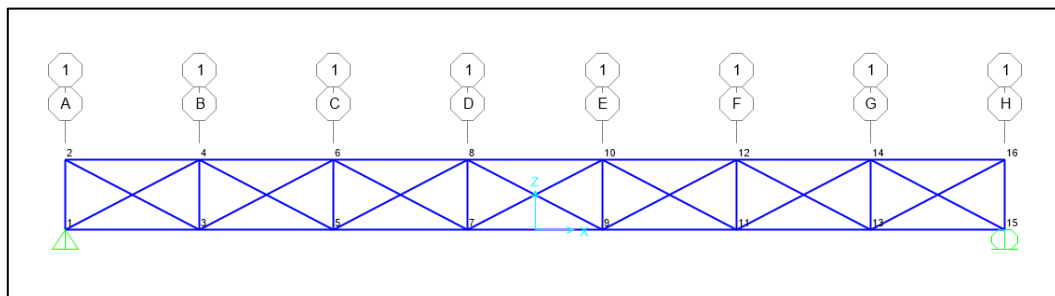
IV.7 Desain dan Pengecekan untuk Ikatan Angin Bawah

Dalam mendesain ikatan angin bawah, kombinasi pembebanan yang dipakai berdasarkan tabel adalah dengan menggunakan kombinasi pembebanan F sesuai dengan tabel kombinasi pembebanan.

IV.7.1 Kombinasi Pembebanan F

$$F = W$$

Nilai W adalah beban angin dari struktur (W) dan kendaraan (W') yang besar gayanya telah dihitung di atas dan dibagi berdasarkan per *joint* atau sendi



Gambar IV.118 Ikatan Angin Bawah dan Nomor Sendinya

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

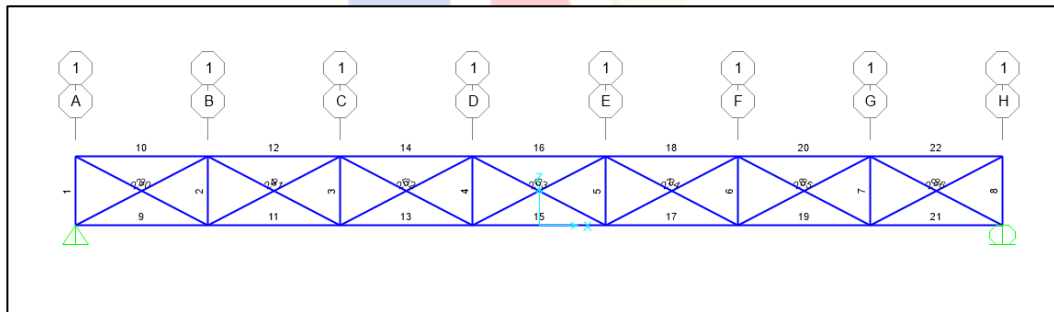
Tabel IV.68 Kombinasi Pembebanan F pada Masing-Masing Sendi

Joint atau Sendi	W atau F (Kn)
2	33,52221332
4	67,04442664
6	67,04442664
8	67,04442664
10	67,04442664
12	67,04442664
14	67,04442664
16	33,52221332

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.7.2 Gaya Tarik dan Tekan Aksial Batang

Besar gaya pada batang ikatan angin bawah dicari dengan menggunakan SAP2000 dan menghasilkan gaya tarik-tekan aksialnya pada masing-masing batang.



Gambar IV.119 Ikatan Angin Bawah dan Nomor Batangnya

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Tabel IV.69 Nilai Gaya Tarik-Tekan Aksial Batang

Batang	Tarik (kN)	Tekan (kN)
1		129,465
2		27,288
3		30,067
4		30,005
5		30,005
6		30,067
7		27,288

8		129,465
9	200,656	
10		183,079
11	514,699	
12		508,267
13	706,691	
14		699,955
15	770,63	
16		763,9
17	706,691	
18		699,955
19	514,699	
20		508,267
21	200,656	
22		183,079
23		225,151
24		147,306
25		75,624
26		3,797
27	68,023	
28	140,049	
29	205,317	
30	205,317	
31	140,049	
32	68,023	
33		3,797
34		75,624
35		147,306
36		225,151

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

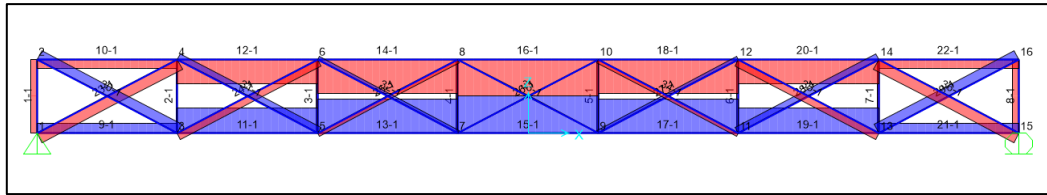
IV.7.3 Gaya Tarik dan Tekan Aksial Batang yang Dipakai

Hasil gaya tarik dan tekan batang yang paling maksimum akan menjadi tegangan tarik (R_a) dan tekan (P_a) yang akan menjadi syarat untuk mencari tegangan nominal dan mengecek apakah baja-baja yang dipilih sudah memenuhi persyaratan.

Berikut adalah nilai gaya tarik dan tekan maksimumnya.

$R_a = 205,317 \text{ kN}$ pada batang 29 dan 30

$P_a = 225,151 \text{ kN}$ pada batang 23 dan 36



Gambar IV.120 Gaya Tarik dan Tekan Masing-Masing Batang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Untuk batang no. 9 – 22 tidak dipertimbangkan gaya tarik dan tekannya karena termasuk batang tepi bawah pada rangka batang, bukan batang ikatan angin bawah.

IV.7.4 Penentuan Penampang Baja

Berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360-16*, cara menentukan penampang yang akan digunakan sebagai profil baja ikatan angin bawah adalah dengan memperhitungkan area minimum, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{P_a}{A} \leq 0,5f_y$$

$$\frac{225151}{A} \leq 0,5 \times 250$$

$$A \geq 1801,208 \text{ mm}^2$$

$$A \geq 18,01208 \text{ cm}^2$$

Maka, dipilihlah profil baja T 150.200.12.12 sebagai batang ikatan angin bawah dengan luas area penampang $A_g = 4056 \text{ mm}^2$.

IV.7.5 Pengecekan Tahanan Nominal Tekan

Setelah menentukan profil baja ikatan angin bawah, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tekan. Berikut adalah data mutu dan profil baja T 150.200.12.12.

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A_g = 4056 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 8,17 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 8,02 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 44,9 \text{ mm}$$

$$r_y = 44,5 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$J = 191266,56 \text{ mm}^4$$

$$A_w = 1656 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 2400 \text{ mm}^2$$

$$y_w = 69 \text{ mm}$$

$$y_f = 144 \text{ mm}$$



Berikut adalah data-data pendukungnya.

$$\text{Panjang batang } (L) = 4964,9 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya tekan } (Pa) = 225,151 \text{ kN}$$

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 1 adalah pengecekan terhadap kelangsingan sayap.

$$b = \frac{\text{lebar}}{2} - \frac{\text{badan}}{2}$$

$$b = \frac{200}{2} - \frac{12}{2}$$

$$b = 94 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{tf} \leq \lambda r$$

$$\frac{b}{tf} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{94}{12} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

7,833 ≤ 15,839 (memenuhi persyaratan)

Profil baja T 150.200.12.12 telah memenuhi persyaratan untuk kelangsingan sayap atau *web*. Selanjutnya adalah pengecekan terhadap kelangsingan badan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1729:2015 Tabel B4.1a Kasus 5.

$h = \text{panjang} - 2 \cdot \text{sayap}$

$$h = 150 - 2 \times 12$$

$$h = 138 \text{ mm}$$

$$\frac{h}{tw} \leq \lambda r$$

$$\frac{h}{tw} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{138}{12} \leq 1,49 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

11,500 ≤ 42,144 (memenuhi persyaratan)

Karena profil baja T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan kelangsingan sayap dan badan, maka profil termasuk dalam kategori penampang “tidak langsing”. Berdasarkan SNI 1729:2015 Tabel E1.1 Bab E3 dan E4, penampang tidak langsing akan mengalami fenomena tekuk global (*global buckling*). Khusus untuk profil T, baja akan mengalami tekuk lentur dan torsi-lentur. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk lentur.

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-X:

$$\lambda_x = k \cdot \frac{L_x}{r_x}$$



$$\lambda_x = 1. \frac{4964,9}{44,9}$$

$$\lambda_x = 110,577$$

Analisa kelangsingan elemen batang sumbu-Y:

$$\lambda_y = k. \frac{L_y}{r_y}$$

$$\lambda_y = 1. \frac{4964,9}{44,5}$$

$$\lambda_y = 111,571$$

Karena $\lambda_y > \lambda_x$, maka sumbu Y lebih dominan mengalami tekuk lentur.

Pengecekan syarat tegangan kritis:

$$\lambda_y \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$111,571 \leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$111,571 \leq 133,219 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Pengecekan nilai tegangan tekuk kritis elastis.

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot E)}{\lambda_y^2}$$

$$F_e = \frac{(\pi^2 \cdot 200000)}{111,571^2}$$

$$F_e = 159 \text{ MPa}$$

Karena λ_y memenuhi persyaratan syarat tegangan kritis, maka:

$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{f_y}{f_e} \right) \times f_y$$

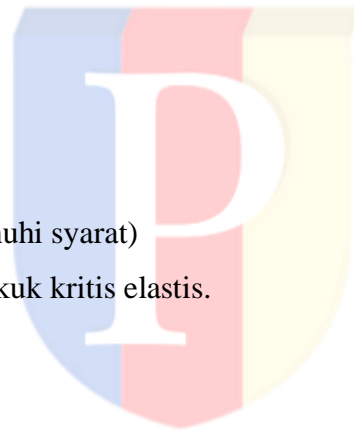
$$F_{cr} = 0,658 \left(\frac{250}{159} \right) \times 250$$

$$F_{cr} = 129 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap lentur:

$$P_n = f_{cr} \times A_g$$

$$P_n = 129 \times 4056$$



$$P_n = 524 \text{ kN}$$

Nilai P_n pada tekuk lentur sudah dihitung dan akan dibandingkan dengan nilai P_n pada tekuk torsi-lentur. Berikut adalah pengecekan terhadap tekuk torsi-lentur.

Perhitungan titik berat:

$$x_o = 0 \text{ mm}$$

$$y_o = \frac{A_w \cdot y_w + A_f \cdot y_f}{A_w + A_f}$$

$$y_o = \frac{1656 \times 69 + 2400 \times 144}{1656 + 2400}$$

$$y_o = 113,379 \text{ mm}$$

Perhitungan radius girasi polar di pusat geser:

$$r_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$r_o^2 = 0^2 + 113,379^2 + \frac{8,17 \times 10^6 + 8 \times 10^6}{4056}$$

$$r_o^2 = 16846,35 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2}$$

$$H = 1 - \frac{0^2 + 113,379^2}{16846,35}$$

$$H = 0,236942612$$

Mencari konstanta pilin

$$d' = d - \frac{t_f}{2}$$

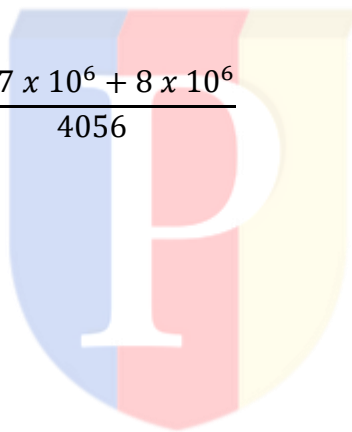
$$d' = 150 - \frac{12}{2}$$

$$d' = 144 \text{ mm}$$

$$C_w = \left(\frac{b^3 \cdot t_f^3}{144} \right) + \left(\frac{d'^3 \cdot t_w^3}{36} \right)$$

$$C_w = \left(\frac{200^3 \cdot 12^3}{144} \right) + \left(\frac{144^3 \cdot 12^3}{36} \right)$$

$$C_w = 239327232 \text{ mm}^6$$



Untuk komponen struktur tekan berbentuk T

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right) \frac{1}{A_g \cdot r_o^2}$$

$$F_{ez} = \left(\frac{3,14^2 \times 200000 \times 239327232}{(1 \times 4964,9)^2} + 77200 \times 191266 \right) \cdot \frac{1}{4056 \times 16846,34}$$

$$F_{ez} = 216,379 \text{ MPa}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K_y \cdot L}{r_y} \right)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{3,14^2 \cdot 200000}{111,571^2}$$

$$F_{ey} = 158 \text{ MPa}$$

Perhitungan tegangan kritis:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

$$F_{cr} = \left(\frac{158 + 216}{2 \times 0,2369} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 158 \times 216 \times 0,2369}{(158 + 216)^2}} \right]$$

$$F_{cr} = 97 \text{ MPa}$$

Untuk komponen struktur tekan berbentuk T

$$F_{crz} = \frac{G \cdot J}{A_g \cdot r_o^2}$$

$$F_{crz} = \frac{77200 \times 191266,56}{4056 \times 16846,35}$$

$$F_{crz} = 216,099 \text{ MPa}$$

$F_{cry} = f_{cr} \text{ tekuk lentur}$

$$F_{cry} = 129 \text{ MPa}$$

Perhitungan tegangan kritis:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

$$F_{cr} = \left(\frac{158 + 216}{2 \times 0,2369} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 158 \times 216 \times 0,2369}{(158 + 216)^2}} \right]$$

$$F_{cr} = 97 \text{ MPa}$$

Sehingga, nilai kuat nominal profil terhadap torsi:

$$P_n = f_{cr} \times A_g$$

$$P_n = 97 \times 4056$$

$$P_n = 395 \text{ kN}$$

Karena nilai kuat nominal profil terhadap torsi-lentur lebih besar, maka P_n diambil dari nilai tekuk torsi lentur dalam pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360, Sec. E1*.

$$\frac{P_n}{\Omega} \geq P_a$$

$$\frac{395}{1,67} \geq 225,151$$

$$236,709 \text{ kN} \geq 225,151 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Profil T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan untuk tahanan tekan.

IV.7.6 Pengecekan Tahanan Nominal Tarik

Setelah melakukan pengecekan untuk tahanan tekan, maka baja ini akan dilakukan pengecekan terhadap tahanan nominal tarik. Untuk data mutu dan profil baja T 150.200.12.12 sudah disebutkan di bagian sebelumnya dan berikut adalah gaya tarik *allowable-nya*.

$$\text{Gaya tarik } (R_a) = 205,317 \text{ kN}$$

Berikut adalah perhitungan untuk mencari kuat leleh tariknya berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (D2-1)* dengan meniadakan luas yang dapat berkurang karena sambungan dan akan dibahas di bagian-bagian selanjutnya.

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 4056 \times 250$$

$$R_n = 1014000 \text{ N}$$

$$R_n = 1014 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (D2-1)*

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{1014}{1,67} \geq 205,317 \text{ kN}$$

$$607,186 \text{ kN} \geq 205,317 \text{ kN} \text{ (memenuhi syarat)}$$

T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan untuk tahanan tarik.

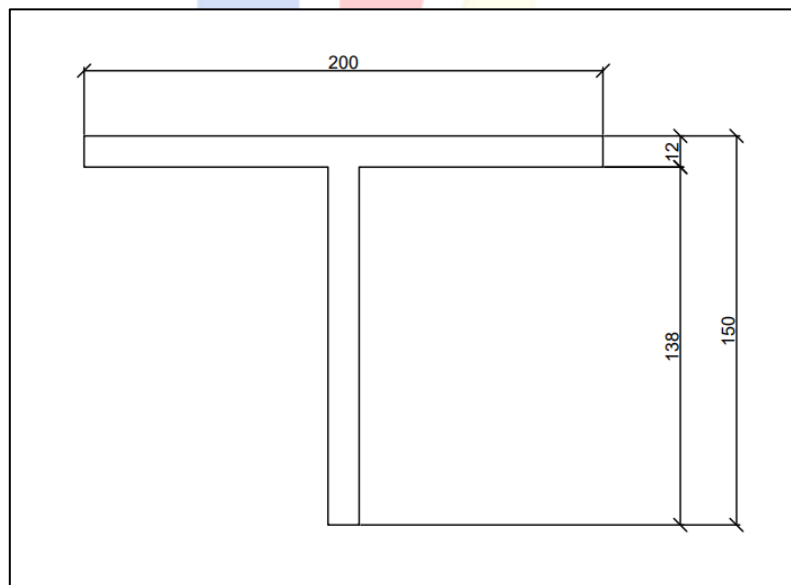
IV.7.7 Kesimpulan dan Profil Baja yang Dipakai

Tabel IV.70 Pengecekan Profil Baja T 150.200.12.12

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Tahanan Tekan	Ya	
Tahanan Tarik	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka profil Baja T 150.200.12.12 memenuhi persyaratan untuk batang ikatan angin bawah.

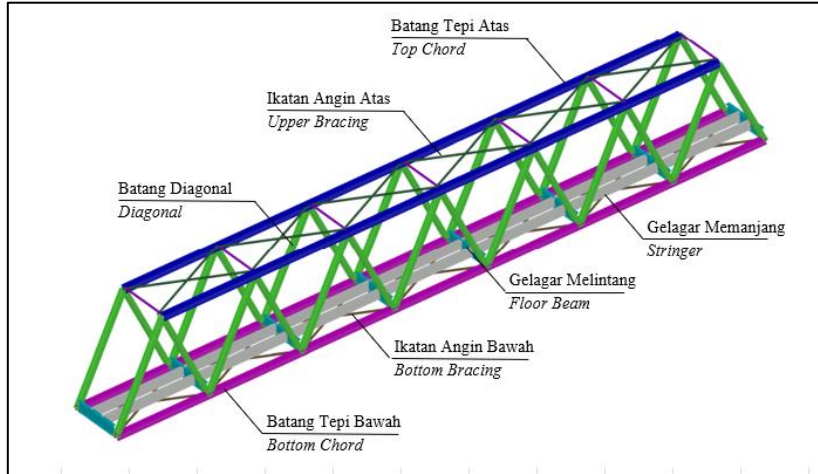


Gambar IV.121 Penampang T 150.200.12.12 dalam Satuan mm

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.8 Gambar Jembatan Kereta Api

Setelah menentukan dan menghitung kekuatan profil dari jembatan kereta api pada masing-masing batang, maka berikut adalah gambar tiga dimensi dari jembatan kereta api, serta tabel profil keseluruhannya.



Gambar IV.122 Tiga Dimensi dari Jembatan Kereta Api

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Tabel IV.71 Rekapitulasi Baja

Nama Komponen	Profil Baja	Kekuatan yang Ditinjau	Besar Tahanan Nominal (kN)
Gelagar Memanjang	WF 900.300.18.34	Kuat Geser	1519,2
		Kuat Lentur	1829,5
Gelagar Melintang	WF 1200.300.18.34	Kuat Geser	2037,6
		Kuat Lentur	2643,7
Batang Tepi Atas	$\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$	Kuat Tekan	3758,8
Batang Tepi Bawah	$\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$	Kuat Tarik	6816,8
Batang Diagonal	WF 400.400.16.24	Kuat Tekan	2265,2
		Kuat Tarik	3815,9
Ikatan Angin Atas	T 150.200.12.12	Kuat Tekan	236,7
		Kuat Tarik	607,2
Ikatan Angin Bawah	T 150.200.12.12	Kuat Tekan	236,7
		Kuat Tarik	607,2

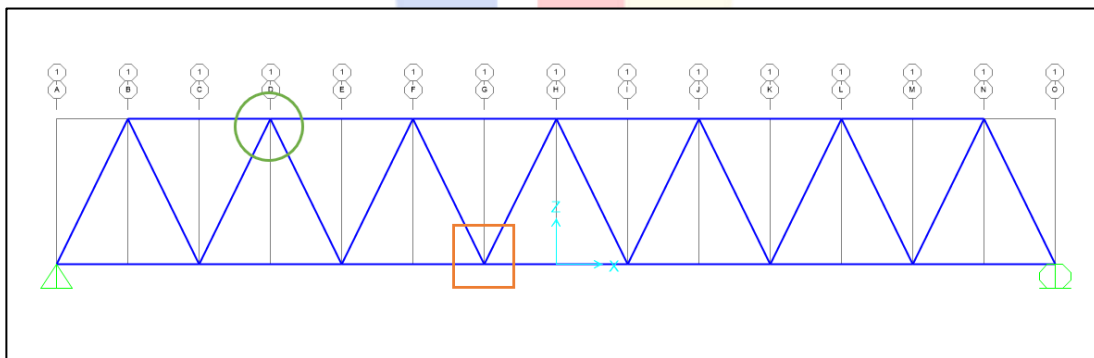
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.9 Sambungan Jembatan Kereta Api

Pada jembatan kereta api ini menggunakan sambungan baut dengan tipe A325 dan perhitungan akan menganggap ulir baut berada dalam daerah geser. Jenis lubang baut yang dipakai adalah tipe *standard*. Pelat-pelat yang akan digunakan untuk tambahan dalam sambungan ini memiliki mutu yang sama dengan profil baja, yaitu mutu ASTM A36 dengan diameter baut 22 mm.

IV.9.1 Detail Sambungan Rangka Batang

Terdapat dua sambungan yang akan didesain untuk sambungan baut, yaitu sambungan pada batang tepi bawah dan batang diagonal (ditandai dengan simbol □), serta sambungan pada batang tepi atas dan batang diagonal (ditandai dengan simbol ○). Sambungan tersebut akan terhubung pada *gusset plate* atau pelat buhul setebal 12 mm. Perhitungan sambungan ini akan dihitung dengan anggapan bahwa tebal pelat baja akan lebih kecil daripada tebal pelat tambahannya agar pelat tambahan tidak terjadi kegagalan pada baut, tumpu, dan geser blok sebelum profil bajanya (jika pelat baja lebih besar, maka akan ada lagi pelat tambahannya).



Gambar IV.123 Sambungan pada Rangka Batang

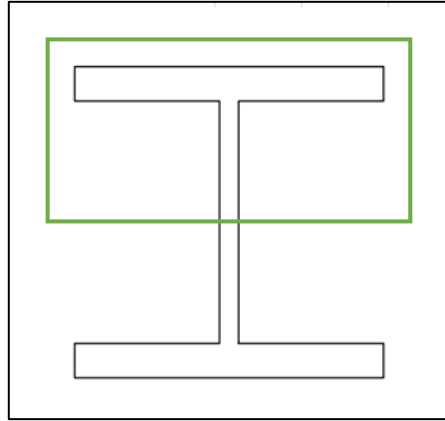
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

a) Sambungan rangka batang bagian bawah (batang diagonal)

- Menentukan jumlah baut

Dalam menentukan jumlah baut yang akan dipasang, perlu ditinjau seberapa besar kekuatan baut untuk mencapai titik putus dan kekuatan pelat/tumpu

hingga mencapai titik sobeknya, lalu ditentukan jumlah baut yang dibutuhkan agar mencapai nilai nominal tegangan tarik baja ($\frac{Tn}{\Omega}$). Peninjauan ini dilakukan hanya di satu sisi saja.



Gambar IV.124 Batang Diagonal yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$d_{tepi} = 28 \text{ mm}$$

Data profil WF 400.400.16.24:

$$t_p = 24 \text{ mm (karena sambungan baut berada di - flange)}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$T_n = 833307,82 \text{ kN}$$

Kekuatan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC)

360 Eq. (J3-1):

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$R_n = 141337,68 \text{ N}$$

$$\frac{Rn}{\Omega} = \frac{141337,68}{2} N$$

$$Rn = 70668,84 N/baut$$

$$Rn = 70,67 kN/baut$$

Kekuatan pelat atau tumpu berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6C) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn = 1,2 \cdot lc \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn = 1,2 \times 28 \times 24 \times 400$$

$$Rn = 322560 N/lubang baut$$

$$Rn = 322,56 kN/lubang baut$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6A) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \max = 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn \max = 2,4 \times 22 \times 24 \times 400$$

$$Rn \max = 506880 N/lubang baut$$

$$Rn \max = 506,88 kN/lubang baut$$

Persyaratan kekuatan tumpu:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \max}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \max}{2}$$

$$161,28 < 253,44$$

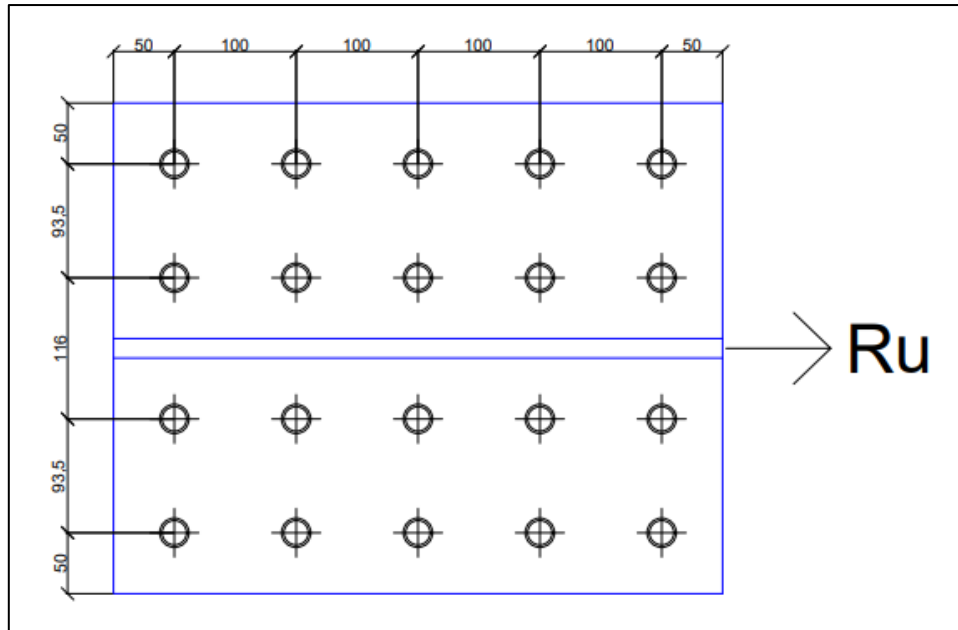
Karena nilai Rn lebih kecil dari $Rn \max$, maka diambil kekuatan tumpu nominalnya sebesar 161,28 kN per lubang bautnya. Jika kekuatan tumpu dibandingkan dengan kekuatan pada bautnya, maka kekuatan nominal yang akan dipakai adalah kekuatan yang nominalnya lebih kecil, yaitu kekuatan baut sebesar 70,67 kN/baut. Maka, jumlah baut yang akan dipasang adalah:

$$n = \frac{Tn}{Rn}$$

$$n = \frac{833307,83}{70,67}$$

$n \approx 12$ baut

Didapatkan bahwa jumlah baut yang dibutuhkan untuk batang diagonal agar tidak mencapai kegagalan baut dan tumpu adalah sebesar 12 baut untuk satu sisi *flange* saja. Setelah mendapatkan jumlah baut yang dipasang, perlu ditinjau dan dihitung kembali dari kuat leleh, kuat putus, geser blok (*block shear*), kekuatan tumpu (*bearing strength*), dan kekuatan baut.



Gambar IV.125 Sambungan Baut dan Arah Gaya Pada Batang Diagonal

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.
 - a) Spasi minimum
$$\text{Spasi minimum} \geq 3db$$
$$\text{Spasi minimum} \geq 3 \times 22$$
$$\text{Spasi minimum} \geq 66 \text{ mm}$$
Pada spasi sambungan batang diagonal adalah 93,5 mm dan 100 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$Spasi\ maksimum \leq 24t_p\ dan \leq 305\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 24 \times 24$$

$$Spasi\ maksimum \leq 576\ mm$$

Karena spasi maksimum $> 305\ mm$, maka spasi maksimum $\leq 305\ mm$.

Pada spasi sambungan batang diagonal adalah $93,5\ mm$ dan $100\ mm$ sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

$$Spasi\ minimum > 28\ mm$$

Pada spasi tepi sambungan batang diagonal adalah $50\ mm$ sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

$$Spasi\ maksimum \leq 12t_p\ dan \leq 150\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 12 \times 24$$

$$Spasi\ maksimum \leq 288\ mm$$

Karena spasi maksimum $> 150\ mm$, maka spasi maksimum $\leq 150\ mm$.

Pada spasi tepi sambungan batang diagonal adalah $50\ mm$ sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan leleh tarik dan geser

Data baut:

$$d_b = 22\ mm$$

$$d_{lubang} = 24\ mm$$

$$F_{nv} = 372\ MPa$$

$$F_{nt} = 620\ MPa$$

Data profil WF 400.400.16.24:

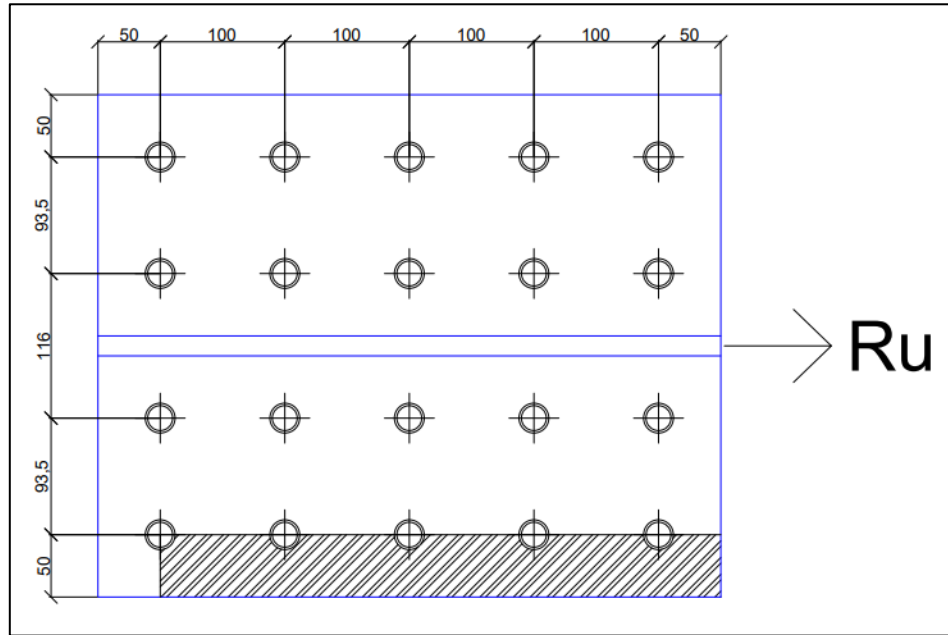
$$t_p = 24\ mm$$

$$F_y = 250\ MPa$$

$$F_u = 400\ MPa$$

$$Ra = 833307,83 \text{ N}$$

Mencari luas:



Gambar IV.126 Luas Area Tarik dan Geser Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$Agv = 450 \times tp = 450 \times 24 = 10800 \text{ mm}^2$$

$$Agt = 50 \times tp = 50 \times 24 = 1200 \text{ mm}^2$$

$$Anv = [450 - (3,5 \times dl)] \times tp = [450 - (3,5 \times 24)] \times 24 = 8208 \text{ mm}^2$$

$$Ant = [50 - (0,5 \times dl)] \times tp = [50 - (0,5 \times 24)] \times 24 = 912 \text{ mm}^2$$

Menganalisa kuat leleh tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel*

Construction (AISC) 360 Eq. (J4-1):

$$Rn = Ag \cdot fy$$

$$Rn = 12745 \times 250$$

$$Rn = 6372500 \text{ N}$$

$$Rn = 6373,5 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan leleh tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{6372500}{2} \geq 833307,8$$

$$1907934,132 N \geq 833307,8 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat leleh geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-3):

$$R_n = 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y$$

$$R_n = 0,6 \times 8400 \times 250$$

$$R_n = 1620000 N$$

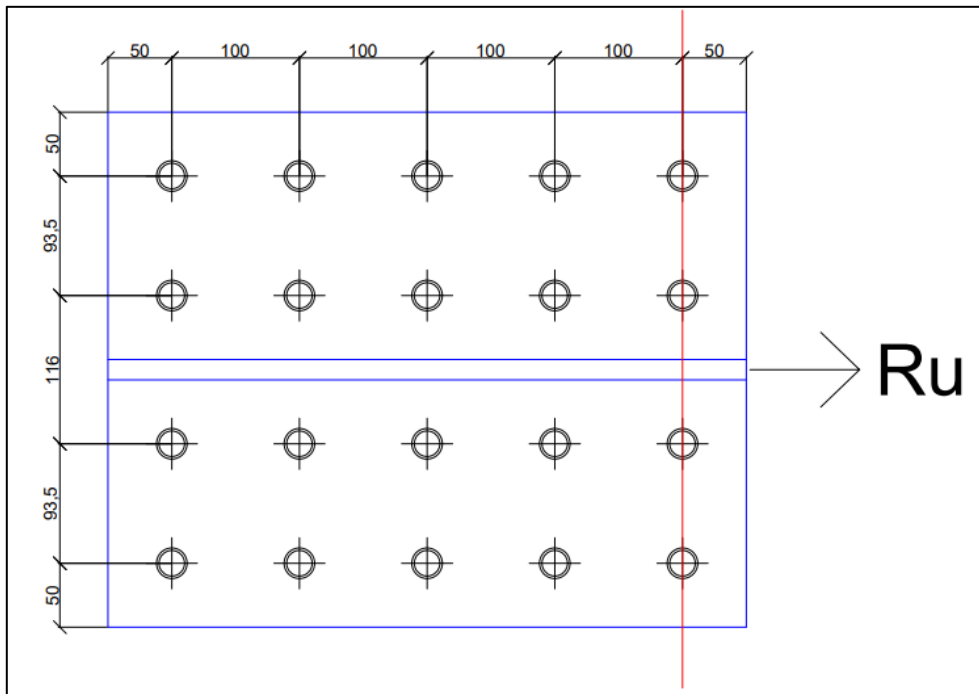
Pengecekan persyaratan kekuatan leleh geser

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{R_n}{1,5} \geq R_a$$

$$1080000 N \geq 833307,8 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan putus tarik dan geser
Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan leleh tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa kuat putus tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-2):



Gambar IV.127 Potongan Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$$

$$A_n = 12745 - 4 \times 24 \times 24$$

$$A_n = 10441 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya mencari luas efektif dengan mengetahui *shear lag* pada batang diagonal. Sambungan baut dan gaya tarik disalurkan oleh baut pada dua sisi tersambung, yaitu *flange*-nya saja, sedangkan *web* tidak terdapat sambungan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) D3 - 1*.

$$U = 1 - \frac{x}{L}$$

$$b \geq \frac{2}{3}d$$

$$303 \geq \frac{2}{3} \times 358$$

$$303 \geq 238,67$$

Apabila $b \geq \frac{2}{3}d$, maka $U = 0,9$

Berarti, luas efektif penampang profil dari batang diagonal ini adalah:

$$Ae = U \cdot An$$

$$Ae = 0,9 \times 10441$$

$$Ae = 9396,9 \text{ mm}^2$$

Kuat putus tarik profil baja:

$$Rn = Ae \cdot fu$$

$$Rn = 9396,9 \times 400$$

$$Rn = 3758760 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$1879380 \text{ N} \geq 833307,8 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat putus geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J4-4)*:

$$Rn = 0,6 \cdot Anv \cdot fu$$

$$Rn = 0,6 \times 6384 \times 400$$

$$Rn = 1969920 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$984960 \text{ N} \geq 833307,8 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap geser blok atau *block shear*

Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan putus tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa geser blok atau *block shear* berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J4-5)*:

$$R_n = (0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u) + (U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt})$$

$$R_n = (0,6 \times 8208 \times 400) + (1 \times 400 \times 912)$$

$$R_n = 2334720 \text{ N}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$R_n \text{ max} = (0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y) + (U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt})$$

$$R_n \text{ max} = (0,6 \times 10800 \times 250) + (1 \times 400 \times 912)$$

$$R_n \text{ max} = 1984800 \text{ N}$$

Persyaratan geser blok profil:

$$\frac{R_n}{\Omega} < \frac{R_n \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{R_n}{2} < \frac{R_n \text{ max}}{2}$$

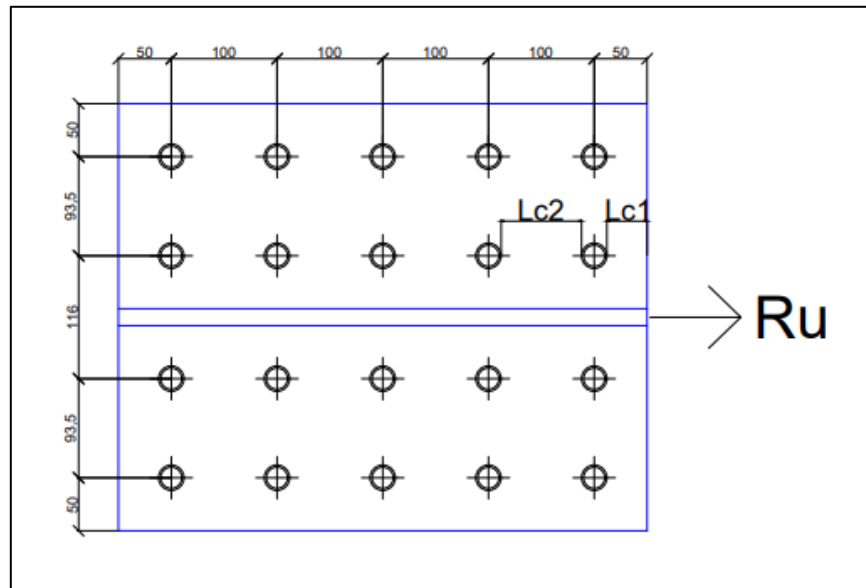
$$1167360 > 992400$$

Maka dipilihlah geser blok profil nominal sebesar 992400 N dan dicek persyaratannya.

$$R_n \geq R_a$$

$$992400 \text{ N} \geq 833307,8 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*
Sambungan memenuhi persyaratan agar tidak terjadi geser blok atau *block shear*. Selanjutnya, menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J-10).



Gambar IV.128 Jarak antar Sambungan Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Jarak antar sambungan baut:

$$Lc1 = 38 \text{ mm}$$

$$Lc2 = 76 \text{ mm}$$

Mencari kuat tumpu ($Rn1$) pada jarak baut $Lc1$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 38 \times 24 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 24 \times 400$$

$$437760 \leq 506880$$

Maka, $Rn1$ yang dipakai adalah sebesar 437760 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn2$) pada jarak baut $Lc2$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot c2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 76 \times 24 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 24 \times 400$$

$$875520 \leq 506880$$

Maka, $Rn2$ yang dipakai adalah sebesar 506880 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$Rn = \sum Rn1 + \sum Rn2$$

$$Rn = 4 \times 437760 + 16 \times 506880$$

$$Rn = 9861120 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$4930560 \text{ N} \geq 833307,8 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-2).

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 20 baut

$$Rn = 70668,84 \times 20$$

$$Rn = 1413376,8 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$Rn \geq Ra$$

$$1413376,8 \text{ N} \geq 833307,8 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Kesimpulan

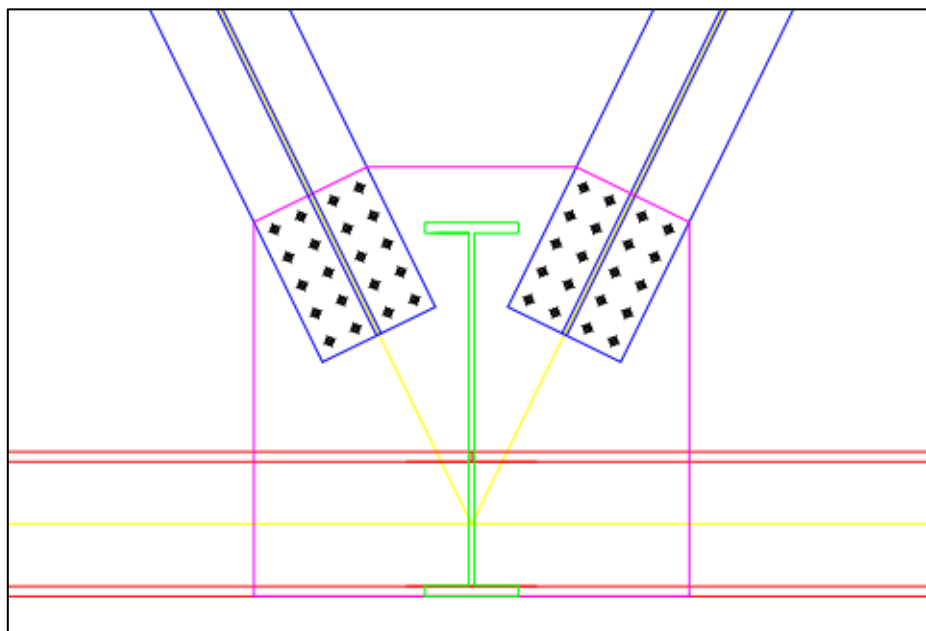
Tabel IV.72 Pengecekan Sambungan Baja WF 400.400.16.24

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Leleh Tarik	Ya	
Kuat Leleh Geser	Ya	

Kuat Putus Tarik	Ya	
Kuat Putus Geser	Ya	
Geser Blok atau <i>Block Shear</i>	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

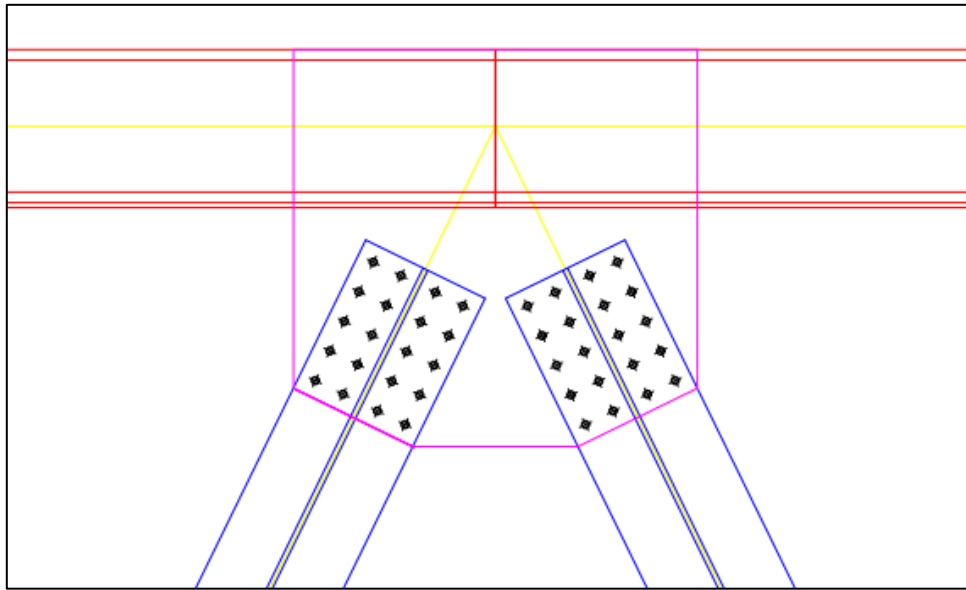
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka sambungan seperti di bawah ini memenuhi persyaratan untuk batang diagonal.



Gambar IV.129 Sambungan Diagonal dan Tepi Bawah

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)



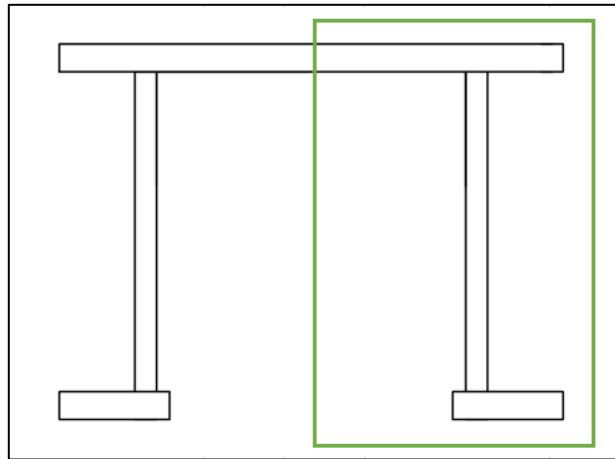
Gambar IV.130 Sambungan Diagonal dan Tepi Atas

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

b) Sambungan rangka batang bagian bawah (batang tepi bawah)

- Menentukan jumlah baut

Dalam menentukan jumlah baut yang akan dipasang, perlu ditinjau seberapa besar kekuatan baut untuk mencapai titik putus dan kekuatan pelat/tumpu hingga mencapai titik sobeknya, lalu ditentukan jumlah baut yang dibutuhkan agar mencapai nilai nominal tegangan tarik baja ($\frac{T_n}{\Omega}$). Peninjauan ini dilakukan hanya di satu sisi saja.



Gambar IV.131 Batang Tepi Bawah yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$d_{tepi} = 28 \text{ mm}$$

Data profil $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$:

$$t_p = 25 \text{ mm}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$T_n = \frac{2877,76}{2} = 1438,88 \text{ kN}$$

Kekuatan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC)

360 Eq. (J3-1):

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$R_n = 141337,68 \text{ N}$$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{141337,68}{2} \text{ N}$$

$$R_n = 70668,84 \text{ N/baut}$$

$$Rn = 70,67 \text{ kN/baut}$$

Kekuatan pelat atau tumpu berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6C) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn = 1,2 \cdot lc \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn = 1,2 \times 28 \times 32 \times 400$$

$$Rn = 430080 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn = 430,08 \text{ kN/lubang baut}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6A) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \text{ max} = 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn \text{ max} = 2,4 \times 22 \times 32 \times 400$$

$$Rn \text{ max} = 675840 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn \text{ max} = 675,84 \text{ kN/lubang baut}$$

Persyaratan kekuatan tumpu:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \text{ max}}{2}$$

$$215,04 < 337,92$$

Karena nilai Rn lebih kecil dari $Rn \text{ max}$, maka diambil kekuatan tumpu nominalnya sebesar 215,04 kN per lubang bautnya. Jika kekuatan tumpu dibandingkan dengan kekuatan pada bautnya, maka kekuatan nominal yang akan dipakai adalah kekuatan yang nominalnya lebih kecil, yaitu kekuatan baut sebesar 70,67 kN/baut. Maka, jumlah baut yang akan dipasang adalah:

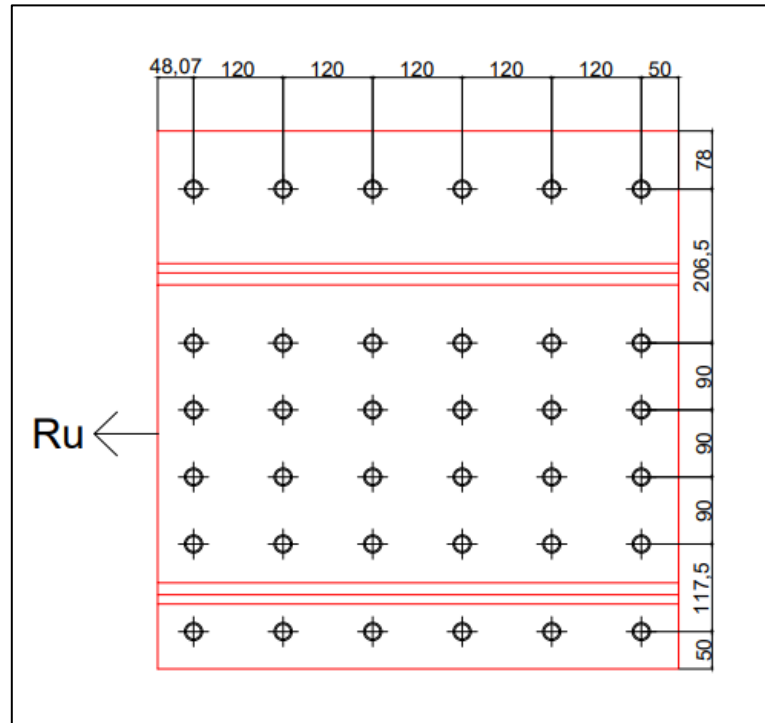
$$n = \frac{Tn}{Rn}$$

$$n = \frac{1438,88}{70,67}$$

$$n \approx 21 \text{ baut}$$

Didapatkan bahwa jumlah baut minimum yang dibutuhkan untuk batang tepi bawah agar tidak mencapai kegagalan baut dan tumpu adalah sebesar 21 baut

untuk satu sisi saja. Setelah mendapatkan jumlah baut yang dipasang, perlu ditinjau dan dihitung kembali dari kuat leleh, kuat putus, geser blok (*block shear*), kekuatan tumpu (*bearing strength*), dan kekuatan baut.



Gambar IV.132 Sambungan Baut dan Arah Gaya Pada Batang Tepi Bawah

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.
 - a) Spasi minimum
 - $Spasi\ minimum \geq 3db$
 - $Spasi\ minimum \geq 3 \times 22$
 - $Spasi\ minimum \geq 66\ mm$
 Pada spasi sambungan batang tepi bawah adalah 90 mm, 117.5 mm, dan 206.5 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.
 - b) Spasi maksimum
 - $Spasi\ maksimum \leq 24tp\ dan \leq 305\ mm$

Spasi maksimum $\leq 24 \times 25$

Spasi maksimum $\leq 600 \text{ mm}$

Karena spasi maksimum $> 305 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 305 \text{ mm}$.

Pada spasi sambungan batang tepi bawah adalah 90 mm, 117.5 mm, dan 206.5 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

Spasi minimum $> 28 \text{ mm}$

Pada spasi tepi sambungan batang tepi bawah adalah 50 mm dan 78 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

Spasi maksimum $\leq 12tp$ dan $\leq 150 \text{ mm}$

Spasi maksimum $\leq 12 \times 25$

Spasi maksimum $\leq 300 \text{ mm}$

Karena spasi maksimum $> 150 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 150 \text{ mm}$.

Pada spasi tepi sambungan batang tepi bawah adalah 50 mm dan 78 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan leleh tarik dan geser

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$F_{nt} = 620 \text{ MPa}$$

Data profil $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$:

$$t_{web} = 25 \text{ mm}$$

$$t_{flange} = 32 \text{ mm}$$

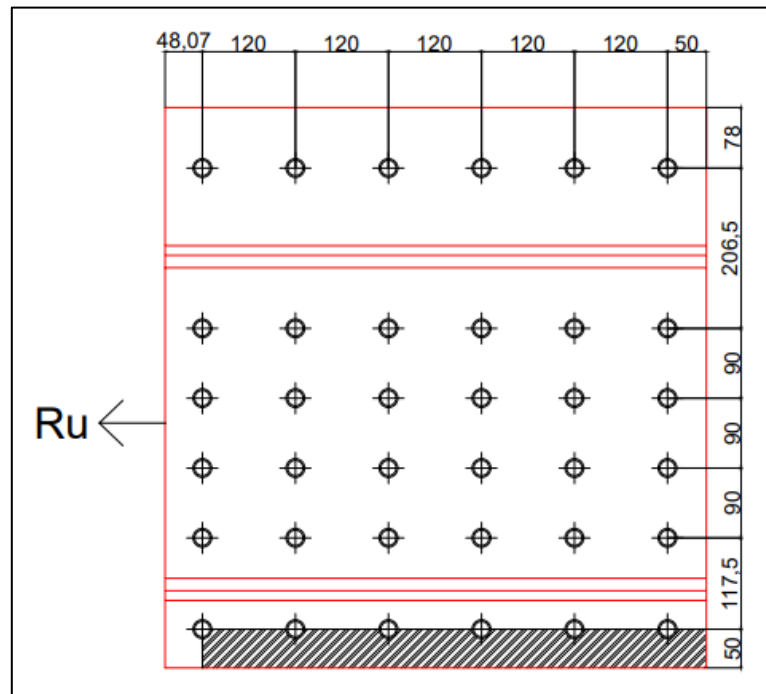
$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$R_a = \frac{2877761}{2} = 1438880 \text{ N}$$

$$A_g = 22768 \text{ mm}^2$$

Mencari luas:



Gambar IV.133 Luas Area Tarik dan Geser Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_{gv} = 650 \times t_p = 650 \times 25 = 16250 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 50 \times t_p = 50 \times 25 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = [650 - (5,5 \times d_l)] \times t_p = [650 - (5,5 \times 24)] \times 25 = 12950 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - (0,5 \times d_l)] \times t_p = [50 - (0,5 \times 24)] \times 25 = 1216 \text{ mm}^2$$

Menganalisa kuat leleh tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-1):

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 22768 \times 250$$

$$R_n = 5692000 \text{ N}$$

$$R_n = 5692 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan leleh tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{5692}{2 \times 2} \geq 1438880,476$$

$$3408383,234 N \geq 1438880,476 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat leleh geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-3):

$$Rn = 0,6 \cdot Agv \cdot fy$$

$$Rn = 0,6 \times 16250 \times 250$$

$$Rn = 2437500 N$$

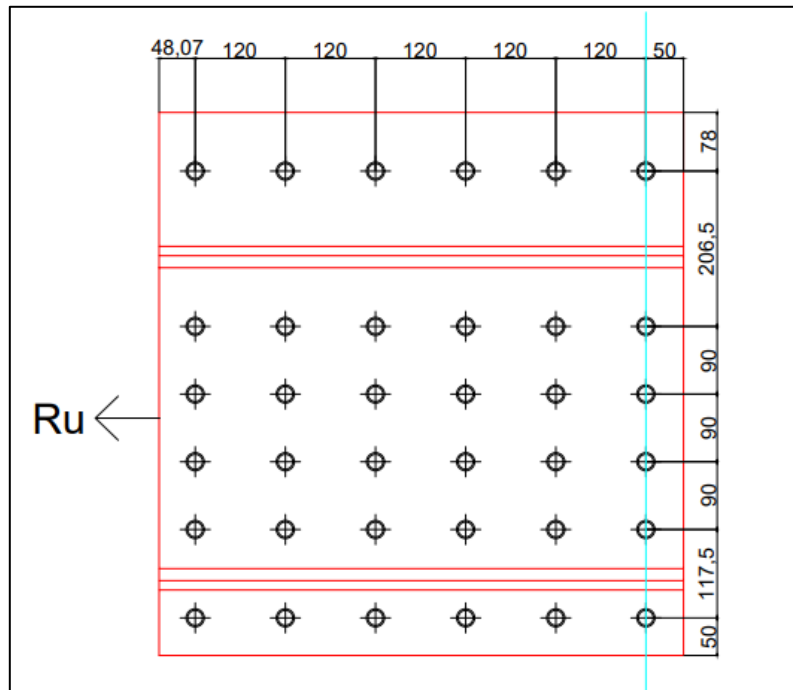
Pengecekan persyaratan kekuatan leleh geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{1,5} \geq Ra$$

$$1625000 N \geq 1438880,476 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan putus tarik dan geser
Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan leleh tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa kuat putus tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-2):



Gambar IV.134 Potongan Sambungan Profil Tepi Bawah

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$$

$$A_n = 22768 - 4 \times 24 \times 25 - 2 \times 24 \times 32$$

$$A_n = 18832 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya, mencari luas efektif dengan mengetahui *shear lag* pada batang tepi bawah. Sambungan baut dan gaya tarik disalurkan oleh baut pada semua sisinya berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) D3 - 1*.

$$U = 1$$

Berarti, luas efektif penampang profil dari batang diagonal ini adalah:

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 1 \times 18832$$

$$A_e = 18832 \text{ mm}^2$$

Kuat putus tarik profil baja:

$$R_n = A_e \cdot f_u$$

$$R_n = 18832 \times 400$$

$$R_n = 7532800 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$3766400 N \geq 1438880,476 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat putus geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-4):

$$Rn = 0,6 \cdot Anv \cdot fu$$

$$Rn = 0,6 \times 12950 \times 400$$

$$Rn = 3108000 N$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$1554000 N \geq 1438880,476 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap geser blok atau *block shear*

Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan putus tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa geser blok atau *block shear* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5):

$$Rn = (0,6 \cdot Anv \cdot fu) + (Ubs \cdot fu \cdot Ant)$$

$$Rn = (0,6 \times 12950 \times 400) + (1 \times 400 \times 1216)]$$

$$Rn = 3594400 N$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \text{ max} = (0,6 \cdot Agv \cdot fy) + (Ubs \cdot fu \cdot Ant)$$

$$Rn \text{ ax} = (0,6 \times 16250 \times 250) + (1 \times 400 \times 1216)$$

$$Rn \text{ max} = 2923900 N$$

Persyaratan geser blok profil:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \max}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \max}{2}$$

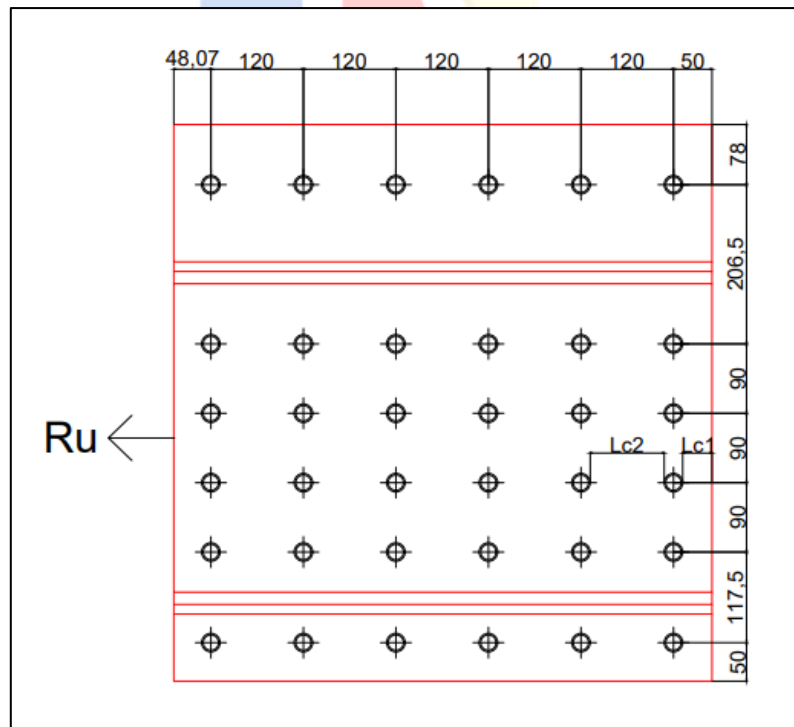
$$1797200 > 1461950$$

Maka dipilihlah geser blok profil nominal sebesar 1461950 N dan dicek persyaratan kekuatannya.

$$Rn \geq Ra$$

$$1461950 \text{ N} \geq 1438880,476 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*
Sambungan memenuhi persyaratan agar tidak terjadi geser blok atau *block shear*. Selanjutnya, menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J-10)*.



Gambar IV.135 Jarak antar Sambungan Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Jarak antar sambungan baut:

$$Lc1 = 36 \text{ mm}$$

$$Lc2 = 96 \text{ mm}$$

Mencari kuat tumpu ($Rn1$) pada jarak baut $Lc1$ dengan tebal *web*:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 36 \times 25 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 25 \times 400$$

$$432000 \leq 528000$$

Maka, $Rn1$ yang dipakai adalah sebesar 432000 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn2$) pada jarak baut $Lc1$ dengan tebal *flange*:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 36 \times 32 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 25 \times 400$$

$$552960 \leq 675840$$

Maka, $Rn2$ yang dipakai adalah sebesar 552960 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn3$) pada jarak baut $Lc2$ dengan tebal *web*:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 96 \times 25 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 25 \times 400$$

$$1152000 \leq 528000$$

Maka, $Rn3$ yang dipakai adalah sebesar 528000 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn4$) pada jarak baut $Lc2$ dengan tebal *flange*:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 96 \times 32 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 32 \times 400$$

$$1474560 \leq 675840$$

Maka, $Rn4$ yang dipakai adalah sebesar 675840 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$Rn = \sum Rn1 + \sum Rn2 + \sum Rn3 + \sum Rn4$$

$$Rn = 4 \times 432000 + 2 \times 552960 + 20 \times 528000 + 10 \times 675840$$

$$Rn = 20152320 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$10076160 \text{ N} \geq 1438880,476 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-2).

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 36 baut

$$Rn = 70668,84 \times 36$$

$$Rn = 2544078,24 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$Rn \geq Ra$$

$$2544078,24 \text{ N} \geq 1438880,476 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Kesimpulan

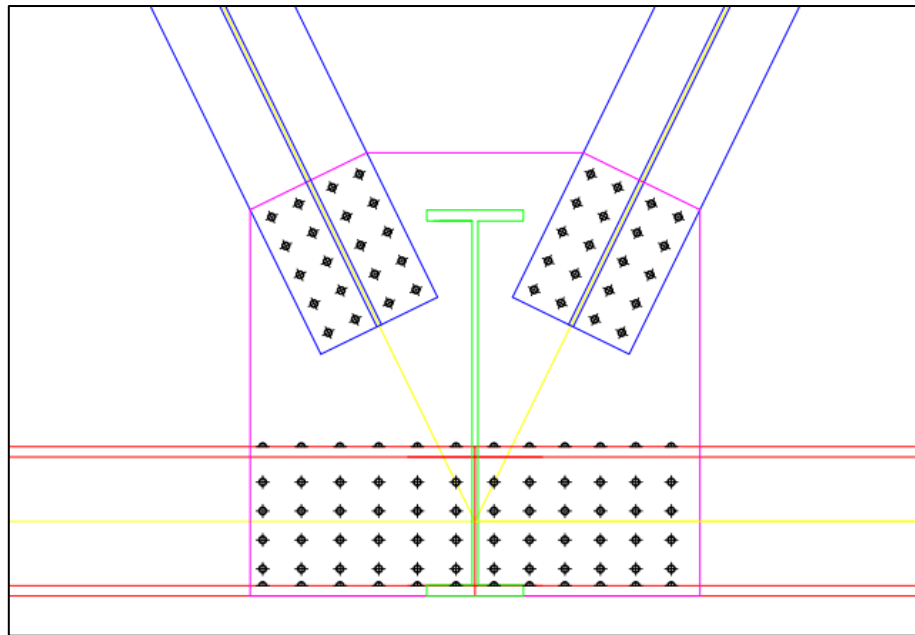
Tabel IV.73 Pengecekan Sambungan Baja $\pi 464 \times 580 / 127 \times 25 \times 32$

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Leleh Tarik	Ya	
Kuat Leleh Geser	Ya	
Kuat Putus Tarik	Ya	

Kuat Putus Geser	Ya	
Geser Blok atau <i>Block Shear</i>	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka sambungan seperti di bawah ini memenuhi persyaratan untuk batang tepi bawah.



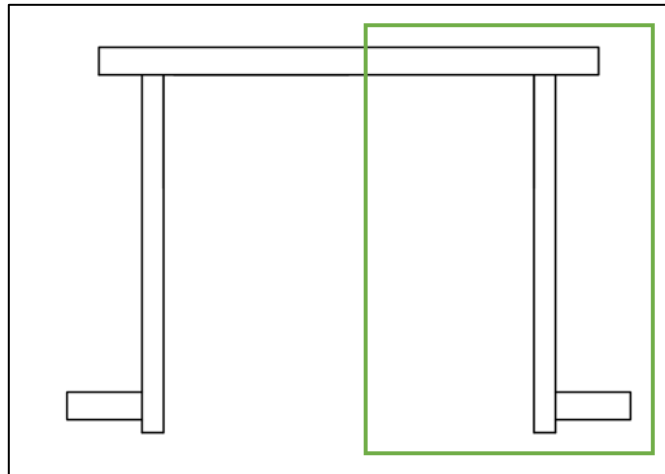
Gambar IV.136 Sambungan Diagonal dan Tepi Bawah

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

c) Sambungan rangka batang bagian atas (batang tepi atas)

- Menentukan jumlah baut

Dalam menentukan jumlah baut yang akan dipasang, perlu ditinjau seberapa besar kekuatan baut untuk mencapai titik putus dan kekuatan pelat/tumpu hingga mencapai titik sobeknya, lalu ditentukan jumlah baut yang dibutuhkan agar mencapai nilai nominal tegangan tarik baja ($\frac{T_n}{\Omega}$). Peninjauan ini dilakukan hanya di satu sisi saja.



Gambar IV.137 Batang Tepi Atas yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$d_{tepi} = 28 \text{ mm}$$

Data profil $\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$:

$$t_p = 30 \text{ mm}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$T_n = \frac{2932,7}{2} = 137,774 \text{ kN}$$

Kekuatan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC)*

360 Eq. (J3-1):

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$R_n = 141337,68 \text{ N}$$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{141337,68}{2} \text{ N}$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

$$Rn = 70,67 \text{ kN/baut}$$

Kekuatan pelat atau tumpu berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6C) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn = 1,2 \cdot lc \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn = 1,2 \times 28 \times 30 \times 400$$

$$Rn = 403200 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn = 403,2 \text{ kN/lubang baut}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6A) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \text{ max} = 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn \text{ max} = 2,4 \times 22 \times 30 \times 400$$

$$Rn \text{ max} = 633600 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn \text{ max} = 633,6 \text{ kN/lubang baut}$$

Persyaratan kekuatan tumpu:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \text{ max}}{2}$$

$$201,6 < 316,8$$

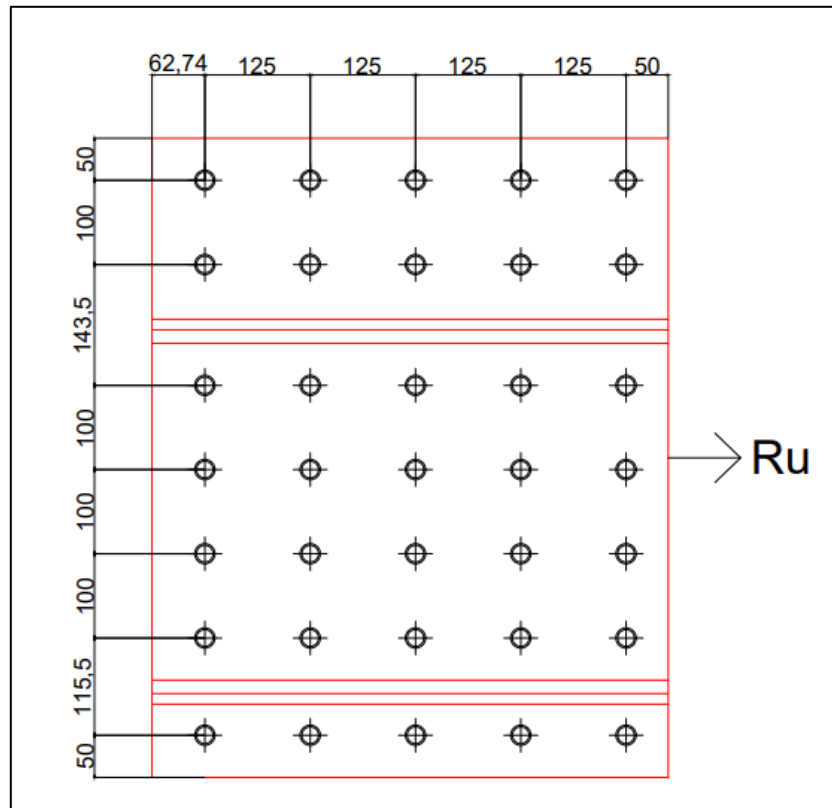
Karena nilai Rn lebih kecil dari $Rn \text{ max}$, maka diambil kekuatan tumpu nominalnya sebesar 201,6 kN per lubang bautnya. Jika kekuatan tumpu dibandingkan dengan kekuatan pada bautnya, maka kekuatan nominal yang akan dipakai adalah kekuatan yang nominalnya lebih kecil, yaitu kekuatan baut sebesar 70,67 kN/baut. Maka, jumlah baut yang akan dipasang adalah:

$$n = \frac{Tn}{Rn}$$

$$n = \frac{1466,35}{70,67}$$

$$n \approx 21 \text{ baut}$$

Didapatkan bahwa jumlah baut minimum yang dibutuhkan untuk batang tepi atas agar tidak mencapai kegagalan baut dan tumpu adalah sebesar 22 baut untuk satu sisi saja. Setelah mendapatkan jumlah baut yang dipasang, perlu ditinjau dan dihitung kembali dari kuat leleh, kuat putus, geser blok (*block shear*), kekuatan tumpu (*bearing strength*), dan kekuatan baut.



Gambar IV.138 Sambungan Baut dan Arah Gaya Pada Batang Tepi Atas

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.

a) Spasi minimum

$$\text{Spasi minimum} \geq 3db$$

$$\text{Spasi minimum} \geq 3 \times 22$$

$$\text{Spasi minimum} \geq 66 \text{ mm}$$

Pada spasi sambungan batang tepi atas adalah 100 mm, 115.5 mm, dan 143.5 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24tp \text{ dan } \leq 305 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24 \times 30$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 720 \text{ mm}$$

Karena spasi maksimum $> 305 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 305 \text{ mm}$.

Pada spasi sambungan batang tepi atas adalah 100 mm, 115.5 mm, dan 143.5 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

$$\text{Spasi minimum} > 28 \text{ mm}$$

Pada spasi tepi sambungan batang tepi atas adalah 50 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

$$\text{Spasi maksimum} \leq 12tp \text{ dan } \leq 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 12 \times 30$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 360 \text{ mm}$$

Karena spasi maksimum $> 150 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 150 \text{ mm}$.

Pada spasi tepi sambungan batang tepi atas adalah 50 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan leleh tarik dan geser

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$F_{nt} = 620 \text{ MPa}$$

Data profil $\pi 479 \times 654 / 87 \times 30 \times 32$:

$$t_{web} = 30 \text{ mm}$$

$$t_{flange} = 32 \text{ mm}$$

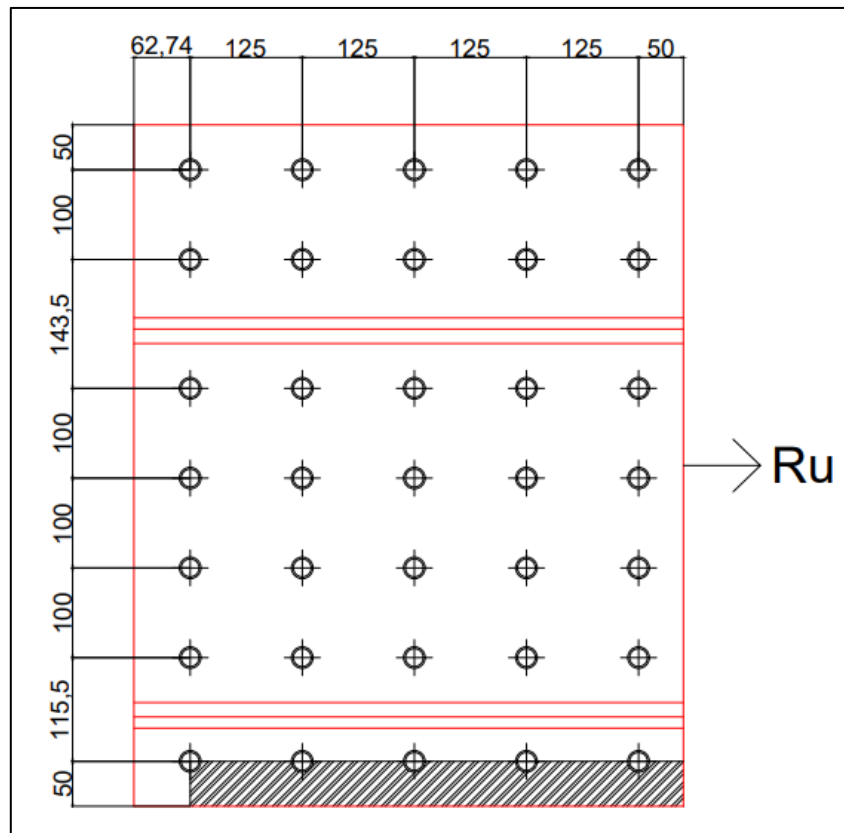
$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$R_a = \frac{2932696}{2} = 1466348 \text{ N}$$

$$A_g = 25698 \text{ mm}^2$$

Mencari luas:



Gambar IV.139 Luas Area Tarik dan Geser Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_{gv} = 550 \times t_p = 550 \times 30 = 16500 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 50 \times t_p = 50 \times 32 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = [550 - (4,5 \times dl)] \times t_p = [550 - (4,5 \times 24)] \times 30 = 13260 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - (0,5 \times dl)] \times t_p = [50 - (0,5 \times 24)] \times 32 = 1216 \text{ mm}^2$$

Menganalisa kuat leleh tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-1):

$$Rn = Ag \cdot fy$$

$$Rn = 25698 \times 250$$

$$Rn = 6372500 \text{ N}$$

$$Rn = 6373,5 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan leleh tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{6372500}{2} \geq 1466347,922$$

$$1907934,132 \text{ N} \geq 1466347,922 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat leleh geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-3):

$$Rn = 0,6 \cdot Agv \cdot fy$$

$$Rn = 0,6 \times 16500 \times 250$$

$$Rn = 2475000 \text{ N}$$

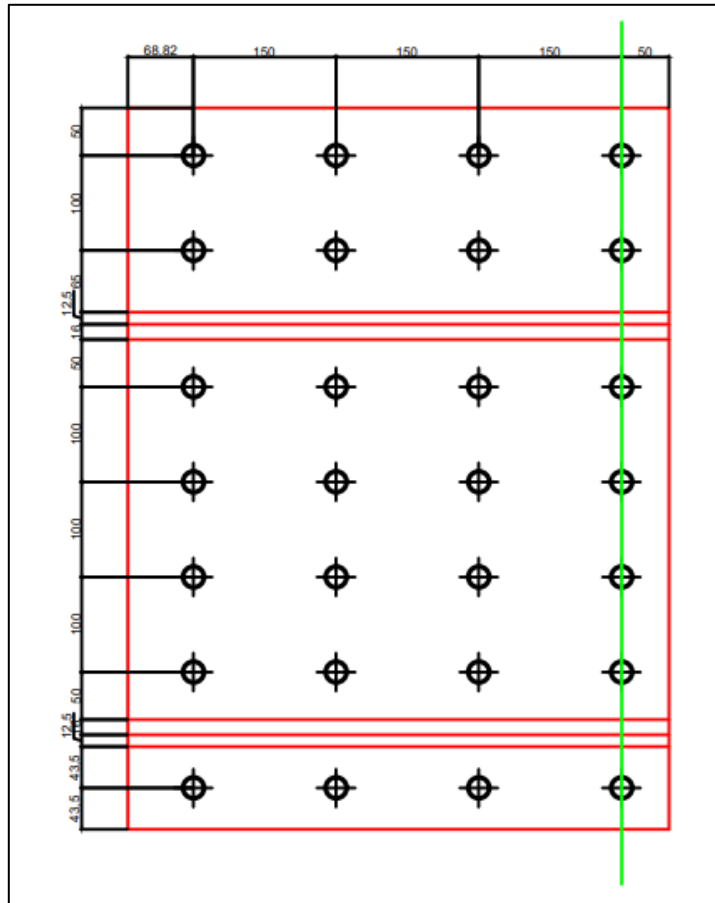
Pengecekan persyaratan kekuatan leleh geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{1,5} \geq Ra$$

$$1650000 \text{ N} \geq 1466347,922 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan putus tarik dan geser
Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan leleh tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa kuat putus tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-2):



Gambar IV.140 Potongan Sambungan Profil Tepi Atas

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$$

$$A_n = 25698 - 4 \times 24 \times 30 - 3 \times 24 \times 32$$

$$A_n = 20514 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya, mencari luas efektif dengan mengetahui *shear lag* pada batang tepi bawah. Sambungan baut dan gaya tarik disalurkan oleh baut pada semua sisinya berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) D3 – 1*.

$$U = 1$$

Berarti, luas efektif penampang profil dari batang diagonal ini adalah:

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 1 \times 20514$$

$$Ae = 20514 \text{ mm}^2$$

Kuat putus tarik profil baja:

$$Rn = Ae \cdot fu$$

$$Rn = 20514 \times 400$$

$$Rn = 8205600 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$4102800 \text{ N} \geq 1466347,92 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat putus geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-4):

$$Rn = 0,6 \cdot Anv \cdot fu$$

$$Rn = 0,6 \times 13260 \times 400$$

$$Rn = 3182400 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$1591200 \text{ N} \geq 1466347,92 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap geser blok atau *block shear*

Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan putus tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa geser blok atau *block shear* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5):

$$Rn = (0,6 \cdot Anv \cdot fu) + (Ubs \cdot fu \cdot Ant)$$

$$Rn = (0,6 \times 13260 \times 400) + (1 \times 400 \times 1216)]$$

$$Rn = 3668800 \text{ N}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \max = (0,6 \cdot Agv \cdot fy) + (Ubs \cdot fu \cdot Ant)$$

$$Rn \max = (0,6 \times 16500 \times 250) + (1 \times 400 \times 1216)$$

$$Rn \max = 2961400 \text{ N}$$

Persyaratan geser blok profil:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \max}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \max}{2}$$

$$1834400 > 1480700$$

Maka dipilihlah geser blok profil nominal sebesar 992400 N dan dicek persyaratan kekuatannya.

$$Rn \geq Ra$$

$$1480700 \text{ N} \geq 1466347,92 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*
Sambungan memenuhi persyaratan agar tidak terjadi geser blok atau *block shear*. Selanjutnya, menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J-10).

$$583680 \leq 675840$$

Maka, $Rn2$ yang dipakai adalah sebesar 583680 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn3$) pada jarak baut $Lc2$ dengan tebal *web*:

$$Rn \leq Rn \max$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 101 \times 30 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 30 \times 400$$

$$1454400 \leq 633600$$

Maka, $Rn3$ yang dipakai adalah sebesar 633600 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn4$) pada jarak baut $Lc2$ dengan tebal *flange*:

$$Rn \leq Rn \max$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 101 \times 32 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 32 \times 400$$

$$1551360 \leq 675840$$

Maka, $Rn4$ yang dipakai adalah sebesar 675840 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$Rn = \sum Rn1 + \sum Rn2 + \sum Rn3 + \sum Rn4$$

$$Rn = 4 \times 547200 + 3 \times 583680 + 16 \times 633600 + 12 \times 675840$$

$$Rn = 22187520 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$11093760 \text{ N} \geq 1466347,92 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-2).

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 35 baut

$$Rn = 70668,84 \times 35$$

$$Rn = 2473409,4 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$Rn \geq Ra$$

$$2473409,4 \text{ N} \geq 1466348 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

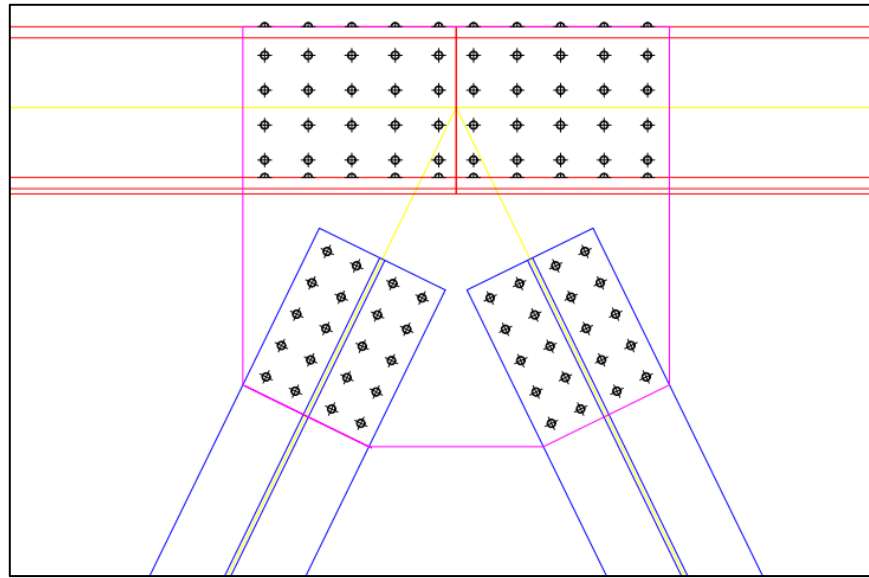
- Kesimpulan

Tabel IV.74 Pengecekan Sambungan Baja $\pi 479 \times 580 / 87 \times 25 \times 32$

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Leleh Tarik	Ya	
Kuat Leleh Geser	Ya	
Kuat Putus Tarik	Ya	
Kuat Putus Geser	Ya	
Geser Blok atau <i>Block Shear</i>	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka sambungan seperti di bawah ini memenuhi persyaratan untuk batang tepi atas.

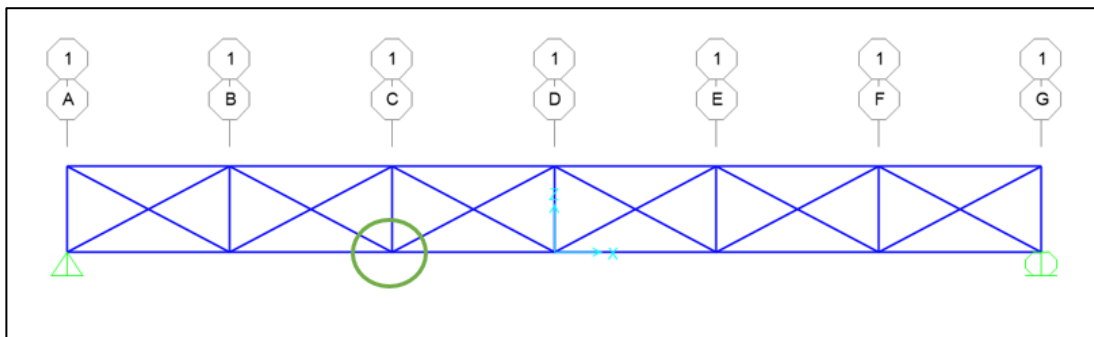


Gambar IV.142 Sambungan Diagonal dan Tepi Atas

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.9.2 Detail Sambungan Ikatan Angin Atas

Sambungan tersebut akan terhubung pada *gusset plate* atau pelat buhul setebal 12 mm. Perhitungan sambungan ini akan dihitung dengan anggapan bahwa tebal pelat baja akan lebih kecil daripada tebal pelat tambahannya agar pelat tambahan tidak terjadi kegagalan pada baut, tumpu, dan geser blok sebelum profil bajanya (jika pelat baja lebih besar, maka akan ada lagi pelat tambahannya).

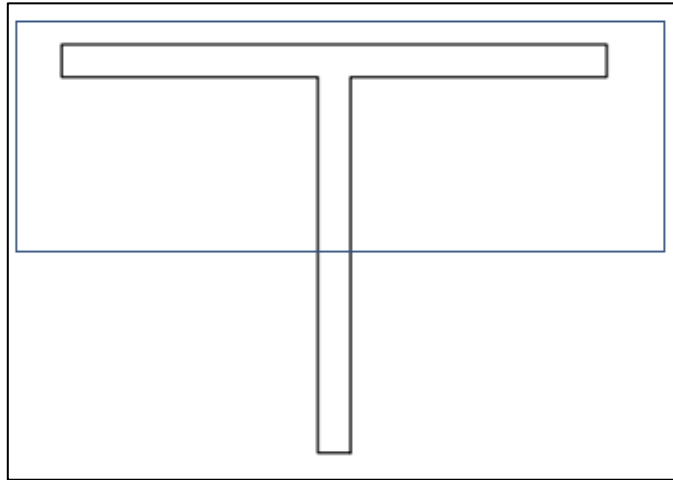


Gambar IV.143 Sambungan pada Ikatan Angin Atas

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Menentukan jumlah baut

Dalam menentukan jumlah baut yang akan dipasang, perlu ditinjau seberapa besar kekuatan baut untuk mencapai titik putus dan kekuatan pelat/tumpu hingga mencapai titik sobeknya, lalu ditentukan jumlah baut yang dibutuhkan agar mencapai nilai nominal tegangan tarik baja (T_n). Peninjauan ini dilakukan hanya di satu sisi saja.



Gambar IV.144 Batang Ikatan Angin Atas yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$d_{tepi} = 28 \text{ mm}$$

Data profil T 150.200.12.12:

$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$T_n = 137,774 \text{ kN}$$

Kekuatan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC)

360 Eq. (J3-1):

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 141337,68 \text{ N}$$

$$\frac{Rn}{\Omega} = \frac{141337,68}{2} \text{ N}$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

$$Rn = 70,67 \text{ kN/baut}$$

Kekuatan pelat atau tumpu berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J3-6C)* untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn = 1,2 \cdot lc \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn = 1,2 \times 28 \times 12 \times 400$$

$$Rn = 161280 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn = 161,28 \text{ kN/lubang baut}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J3-6A)* untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \text{ max} = 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn \text{ max} = 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$Rn \text{ max} = 253440 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn \text{ max} = 253,44 \text{ kN/lubang baut}$$

Persyaratan kekuatan tumpu:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \text{ max}}{2}$$

$$80,64 < 126,72$$

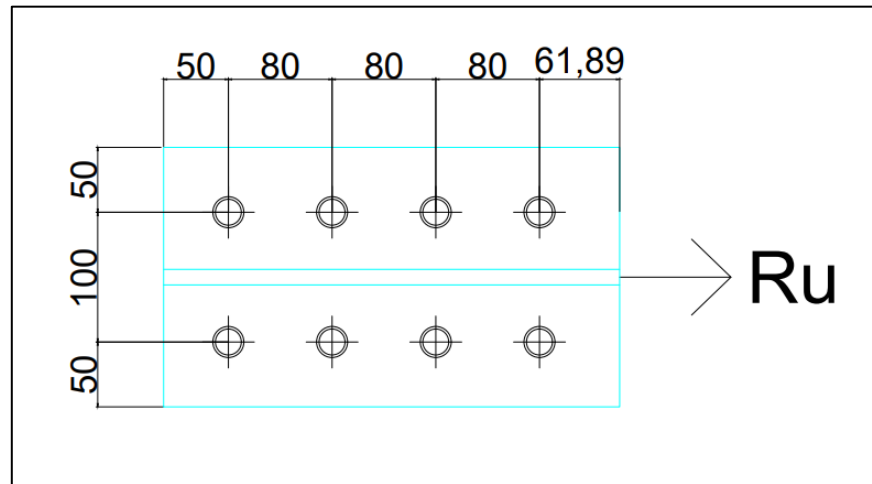
Karena nilai Rn lebih kecil dari $Rn \text{ max}$, maka diambil kekuatan tumpu nominalnya sebesar 80,64 kN per lubang bautnya. Jika kekuatan tumpu dibandingkan dengan kekuatan pada bautnya, maka kekuatan nominal yang akan dipakai adalah kekuatan yang nominalnya lebih kecil, yaitu kekuatan baut sebesar 70,67 kN/baut. Maka, jumlah baut yang akan dipasang adalah:

$$n = \frac{Tn}{Rn}$$

$$n = \frac{137,774}{70,67}$$

$n \approx 2$ baut

Didapatkan bahwa jumlah baut yang dibutuhkan untuk batang ikatan angin atas agar tidak mencapai kegagalan baut dan tumpu adalah sebesar 2 baut untuk sisi *flange* saja. Setelah mendapatkan jumlah baut yang dipasang, perlu ditinjau dan dihitung kembali dari kuat leleh, kuat putus, geser blok (*block shear*), kekuatan tumpu (*bearing strength*), dan kekuatan baut.



Gambar IV.145 Sambungan Baut dan Arah Gaya Pada Ikatan Angin Atas
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- a. Ikatan Angin Atas (Arah Horizontal)
 - Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
- Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.

a) Spasi minimum

$$\text{Spasi minimum} \geq 3db$$

$$\text{Spasi minimum} \geq 3 \times 22$$

$$\text{Spasi minimum} \geq 66 \text{ mm}$$

Pada spasi sambungan batang ikatan angin atas adalah 80 mm dan 100 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24t_p \text{ dan } \leq 305 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24 \times 12$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 288 \text{ mm}$$

Karena spasi maksimum $< 288 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 288 \text{ mm}$.

Pada spasi sambungan batang ikatan angin atas adalah 80 mm dan 100 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

$$\text{Spasi minimum} > 28 \text{ mm}$$

Pada spasi tepi sambungan batang ikatan angin atas adalah 50 mm dan 61.89 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

$$\text{Spasi maksimum} \leq 12t_p \text{ dan } \leq 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 12 \times 12$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 144 \text{ mm}$$

Karena spasi maksimum $> 150 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 150 \text{ mm}$.

Pada spasi tepi sambungan batang ikatan angin atas adalah 50 mm dan 61.89 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan leleh tarik dan geser

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ Ma}$$

$$F_{nt} = 620 \text{ MPa}$$

Data profil T 150.200.12.12:

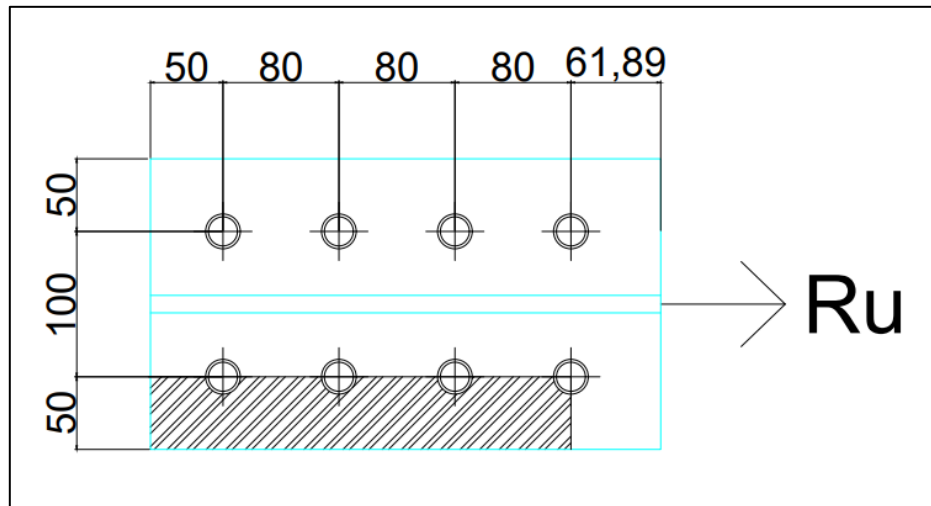
$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$R_a = 137774 \text{ N}$$

Mencari luas:



Gambar IV.146 Luas Area Tarik dan Geser Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_{gv} = 290 \times t_p = 290 \times 12 = 3480 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 50 \times t_p = 50 \times 12 = 600 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = [290 - (3,5 \times d_l)] \times t_p = [290 - (3,5 \times 24)] \times 12 = 2472 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - (0,5 \times d_l)] \times t_p = [50 - (0,5 \times 24)] \times 12 = 456 \text{ mm}^2$$

Menganalisa kuat leleh tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-1):

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 4056 \times 250$$

$$R_n = 1214371 \text{ N}$$

$$R_n = 1214,371 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan leleh tarik

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{1214371}{2} \geq 137774$$

607185 N \geq 137774 N (memenuhi syarat)

Menganalisa kuat leleh geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-3):

$$Rn = 0,6 \cdot Agv \cdot fy$$

$$Rn = 0,6 \times 4056 \times 250$$

$$Rn = 522000 \text{ N}$$

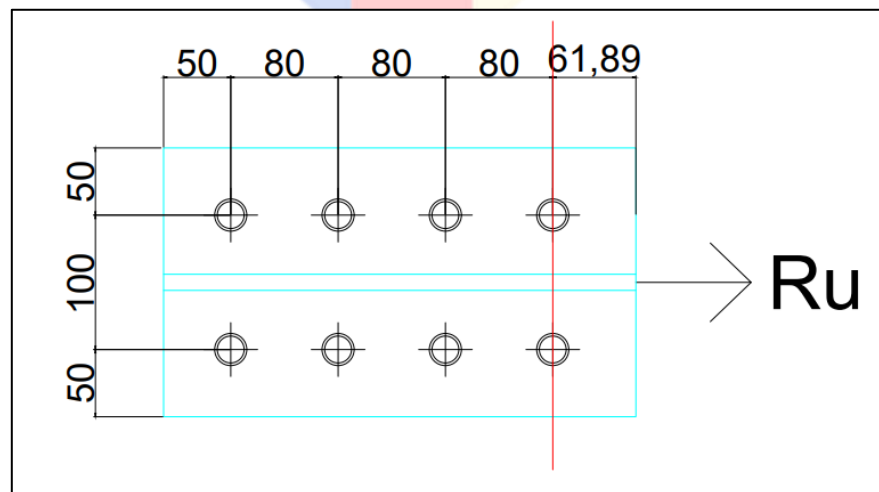
Pengecekan persyaratan kekuatan leleh geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{1,5} \geq Ra$$

348000 N \geq 137774 N (memenuhi syarat)

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan putus tarik dan geser
Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan leleh tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa kuat putus tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-2):



Gambar IV.147 Potongan Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$$

$$A_n = 4056 - 2 \times 24 \times 12$$

$$A_n = 3480 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya mencari luas efektif dengan mengetahui *shear lag* pada batang ikatan angin atas. Sambungan baut dan gaya tarik disalurkan oleh baut pada dua sisi tersambung, yaitu *flange*-nya saja, sedangkan *web* tidak terdapat sambungan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) D3 - 1.

$$U = 1 - \frac{x}{L}$$

$$U = 1 - \frac{2,9}{300}$$

$$U = 0,99$$

Berarti, luas efektif penampang profil dari batang ikatan angin atas ini adalah:

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 0,99 \times 3480$$

$$A_e = 3446,36 \text{ mm}^2$$

Kuat putus tarik profil baja:

$$R_n = A_e \cdot f_u$$

$$R_n = 3446,36 \times 400$$

$$R_n = 1378544 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus tarik

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

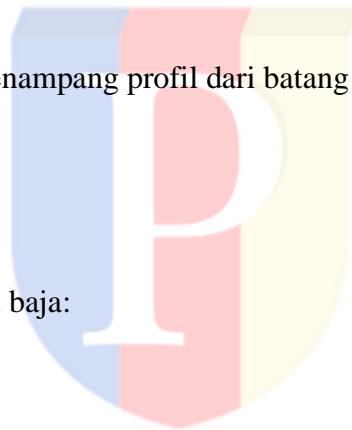
$$\frac{R_n}{2} \geq R_a$$

$$689272 \text{ N} \geq 137774 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat putus geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-4):

$$R_n = 0,6 \cdot A_n \cdot f_u$$

$$R_n = 0,6 \times 2472 \times 400$$



$$R_n = 593280 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus geser

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{R_n}{2} \geq R_a$$

$$296640 \text{ N} \geq 137774 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap geser blok atau *block shear*

Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan putus tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa geser blok atau *block shear* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5):

$$R_n = (0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u) + (U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt})$$

$$R_n = (0,6 \times 2472 \times 400) + (1 \times 400 \times 456)$$

$$R_n = 775680 \text{ N}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$R_n \text{ max} = (0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y) + (U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt})$$

$$R_n \text{ max} = (0,6 \times 3480 \times 250) + (1 \times 400 \times 456)$$

$$R_n \text{ max} = 704400 \text{ N}$$

Persyaratan geser blok profil:

$$\frac{R_n}{\Omega} < \frac{R_n \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{R_n}{2} < \frac{R_n \text{ max}}{2}$$

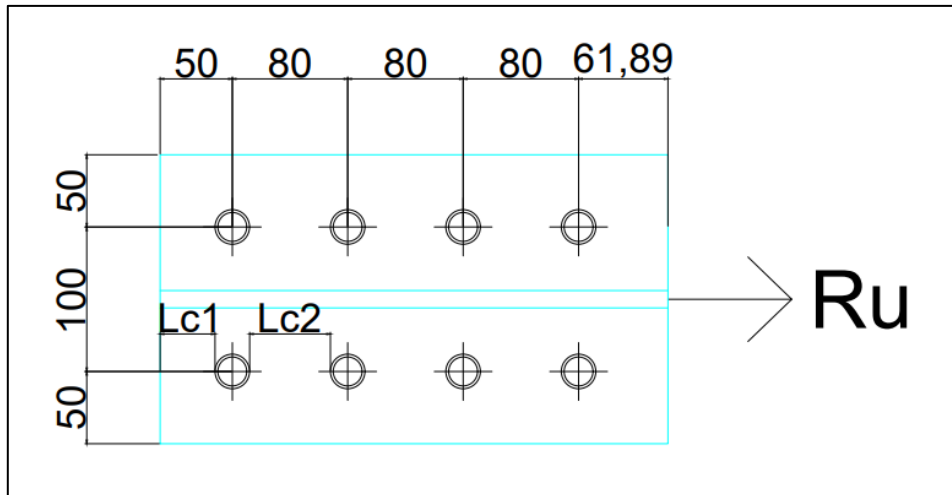
$$387840 > 352200$$

Maka dipilihlah geser blok profil nominal sebesar 352200 N dan dicek persyaratan kekuatannya.

$$R_n \geq R_a$$

$$352200 \text{ N} \geq 137774 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*
Sambungan memenuhi persyaratan agar tidak terjadi geser blok atau *block shear*. Selanjutnya, menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J-10)*.



Gambar IV.148 Jarak antar Sambungan Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Jarak antar sambungan baut:

$$Lc1 = 38 \text{ mm}$$

$$Lc2 = 56 \text{ mm}$$

Mencari kuat tumpu ($Rn1$) pada jarak baut $Lc1$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 38 \times 12 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$218880 \leq 253440$$

Maka, $Rn1$ yang dipakai adalah sebesar 218880 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn2$) pada jarak baut $Lc2$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 56 \times 12 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$322560 \leq 253440$$

Maka, $Rn2$ yang dipakai adalah sebesar 253440 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$Rn = \sum Rn1 + \sum Rn2$$

$$Rn = 2 \times 218880 + 6 \times 253440$$

$$Rn = 1958400 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$979200 \text{ N} \geq 137774 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-2).

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 8 baut

$$Rn = 70668,84 \times 8$$

$$Rn = 565350,72 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$Rn \geq Ra$$

$$565350,72 \text{ N} \geq 137774 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

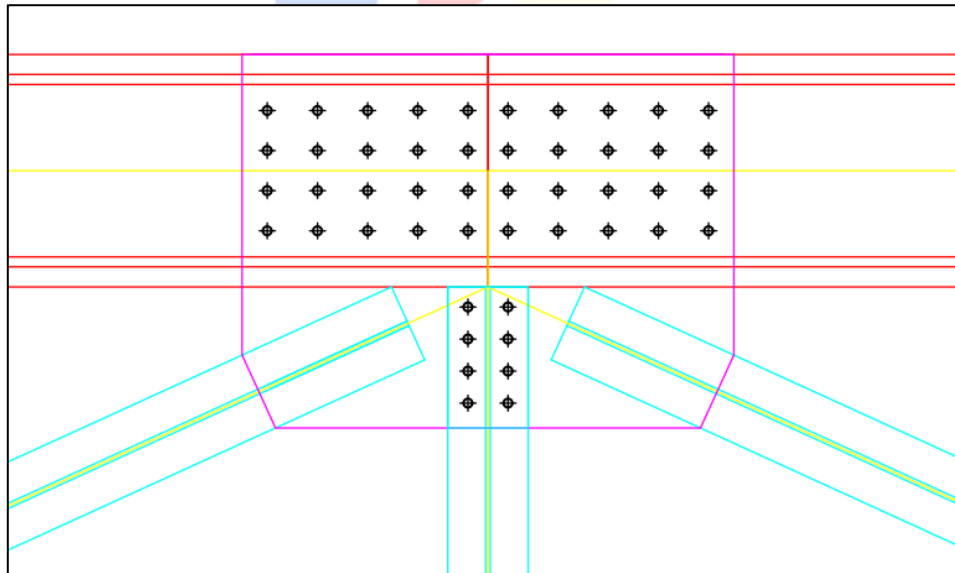
- Kesimpulan

Tabel IV.75 Pengecekan Sambungan Baja T 150.200.12.12

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Leleh Tarik	Ya	
Kuat Leleh Geser	Ya	
Kuat Putus Tarik	Ya	
Kuat Putus Geser	Ya	
Geser Blok atau <i>Block Shear</i>	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

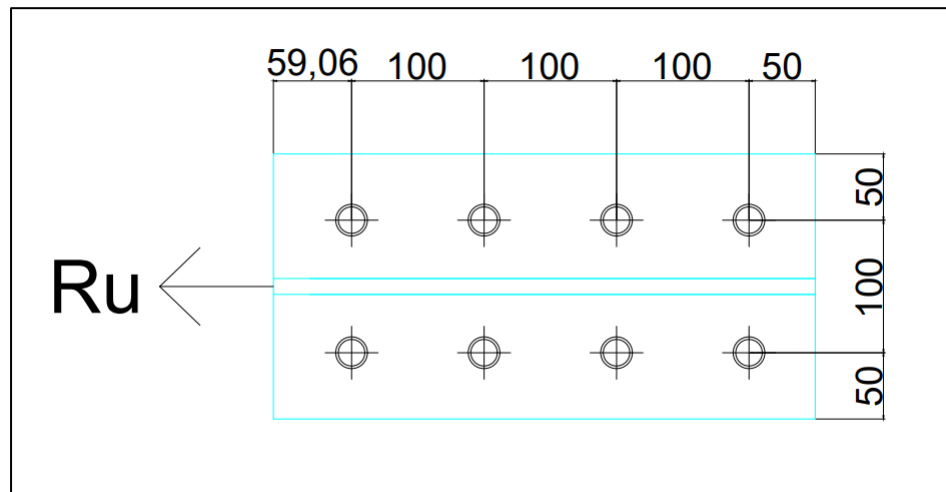
Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka sambungan seperti di bawah ini memenuhi persyaratan untuk batang ikatan angin atas (arah horinzontal)



Gambar IV.149 Sambungan Ikatan Angin Atas dan Tepi Atas

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Terdapat juga ikatan angin atas yang menghadap diagonal dan memiliki dimensi sambungan yang berbeda dengan arah horizontal.



Gambar IV. 150 Sambungan Baut dan Arah Gaya Pada Ikatan Angin Atas
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

b. Ikatan Angin Atas (Arah Diagonal)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.

e) Spasi minimum

$$Spasi\ minimum \geq 3db$$

$$Spasi\ minimum \geq 3 \times 22$$

$$Spasi\ minimum \geq 66\ mm$$

Pada spasi sambungan batang ikatan angin atas adalah 100 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

f) Spasi maksimum

$$Spasi\ maksimum \leq 24tp\ dan \leq 305\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 24 \times 12$$

$$Spasi\ maksimum \leq 288\ mm$$

Karena spasi maksimum < 288 mm, maka spasi maksimum $\leq 288\ mm$.

Pada spasi sambungan batang ikatan angin atas adalah 100 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

g) Spasi minimum tepi

$$Spasi\ minimum > 28\ mm$$

Pada spasi tepi sambungan batang ikatan angin atas adalah 50 mm dan 59.06 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

h) Spasi maksimum tepi

$$Spasi\ maksimum \leq 12t_p\ dan \leq 150\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 12 \times 12$$

$$Spasi\ maksimum \leq 144\ mm$$

Karena spasi maksimum $> 150\ mm$, maka spasi maksimum $\leq 150\ mm$.

Pada spasi tepi sambungan batang ikatan angin atas adalah 50 mm dan 59.06 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan leleh tarik dan geser

Data baut:

$$d_b = 22\ mm$$

$$d_{lubang} = 24\ mm$$

$$F_{nv} = 372\ MPa$$

$$F_{nt} = 620\ MPa$$

Data profil T 150.200.12.12:

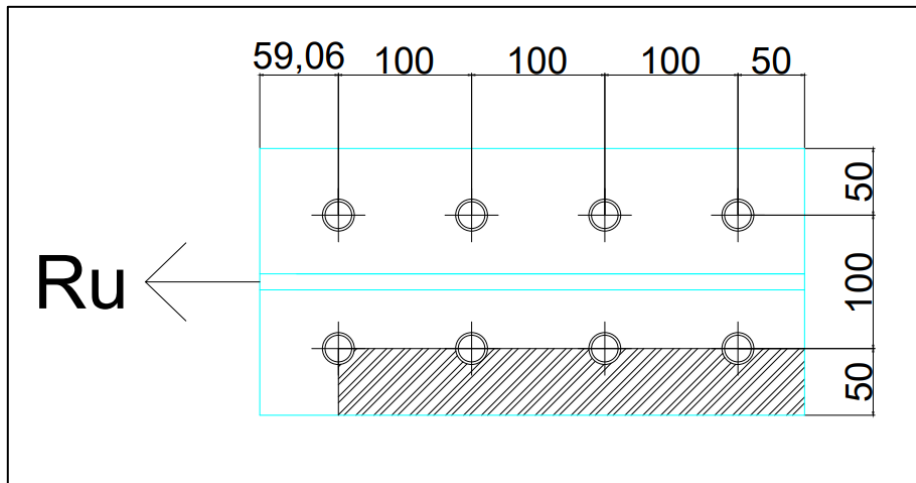
$$t_p = 12\ mm$$

$$F_y = 250\ MPa$$

$$F_u = 400\ MPa$$

$$R_a = 137774\ N$$

Mencari luas:



Gambar IV.151 Luas Area Tarik dan Geser Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_{gv} = 350 \times tp = 350 \times 12 = 4200 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 50 \times tp = 50 \times 12 = 600 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = [350 - (3,5 \times dl)] \times tp = [350 - (3,5 \times 24)] \times 12 = 3192 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - (0,5 \times dl)] \times tp = [50 - (0,5 \times 24)] \times 12 = 456 \text{ mm}^2$$

Menganalisa kuat leleh tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-1):

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 4056 \times 250$$

$$R_n = 1214371 \text{ N}$$

$$R_n = 1214,371 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan leleh tarik

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{1214371}{2} \geq 137774$$

$$607185 \text{ N} \geq 137774 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat leleh geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-3):

$$R_n = 0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y$$

$$Rn = 0,6 \times 4200 \times 250$$

$$Rn = 630000 \text{ N}$$

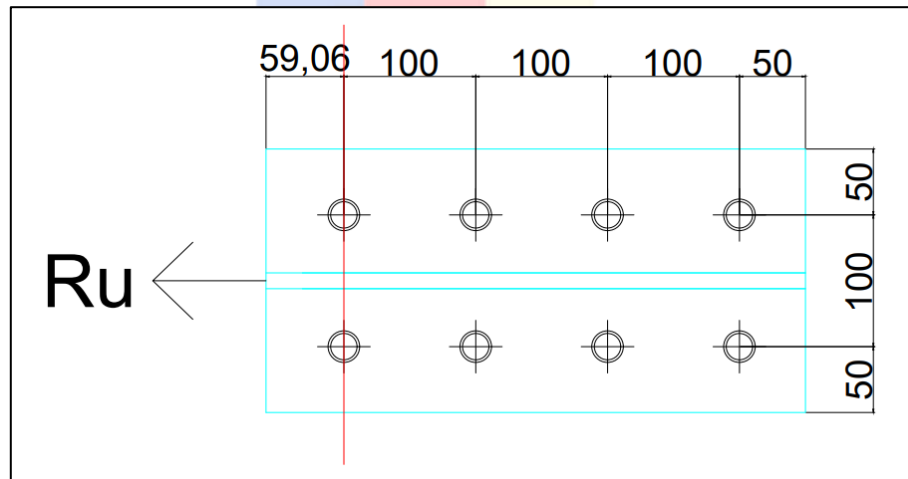
Pengecekan persyaratan kekuatan leleh geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{1,5} \geq Ra$$

$$420000 \text{ N} \geq 137774 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan putus tarik dan geser
Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan leleh tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa kuat putus tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-2):



Gambar IV.152 Potongan Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$$

$$A_n = 4056 - 2 \times 24 \times 12$$

$$A_n = 3480 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya mencari luas efektif dengan mengetahui *shear lag* pada batang ikatan angin atas. Sambungan baut dan gaya tarik disalurkan oleh baut

pada dua sisi tersambung, yaitu *flange*-nya saja, sedangkan *web* tidak terdapat sambungan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) D3 – 1.

$$U = 1 - \frac{x}{L}$$

$$U = 1 - \frac{2,9}{300}$$

$$U = 0,99$$

Berarti, luas efektif penampang profil dari batang ikatan angin atas ini adalah:

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 0,99 \times 3480$$

$$A_e = 3446,36 \text{ mm}^2$$

Kuat putus tarik profil baja:

$$R_n = A_e \cdot f_u$$

$$R_n = 3446,36 \times 400$$

$$R_n = 1378544 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus tarik

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{R_n}{2} \geq R_a$$

$$689272 \text{ N} \geq 137774 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat putus geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-4):

$$R_n = 0,6 \cdot A_n \cdot f_u$$

$$R_n = 0,6 \times 3192 \times 400$$

$$R_n = 766080 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus geser

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

$$\frac{R_n}{2} \geq R_a$$

$$383040 N \geq 137774 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap geser blok atau *block shear*

Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan putus tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa geser blok atau *block shear* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5):

$$R_n = (0,6 \cdot A_{nv} \cdot f_u) + (U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt})$$

$$R_n = (0,6 \times 3192 \times 400) + (1 \times 400 \times 456)$$

$$R_n = 948480 N$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$R_n \text{ max} = (0,6 \cdot A_{gv} \cdot f_y) + (U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt})$$

$$R_n \text{ max} = (0,6 \times 4200 \times 250) + (1 \times 400 \times 456)$$

$$R_n \text{ max} = 812400 N$$

Persyaratan geser blok profil:

$$\frac{R_n}{\Omega} < \frac{R_n \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{R_n}{2} < \frac{R_n \text{ max}}{2}$$

$$474240 > 406200$$

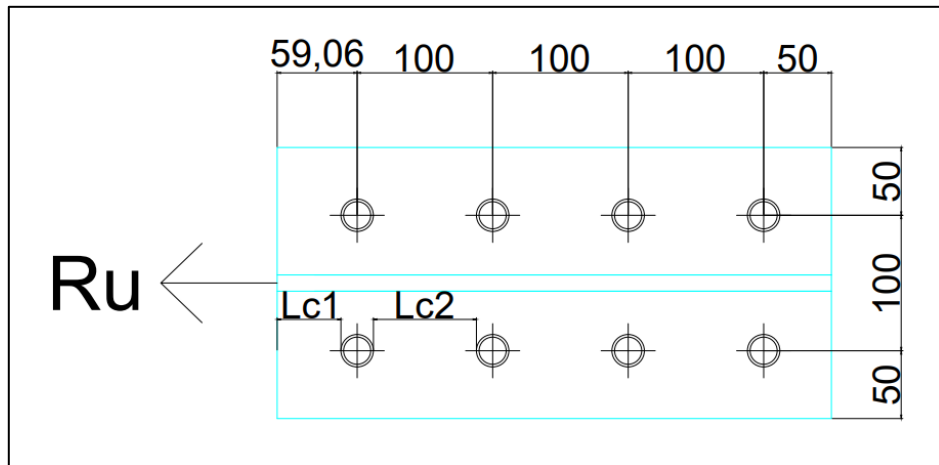
Maka dipilihlah geser blok profil nominal sebesar 406200 N dan dicek persyaratan kekuatannya.

$$R_n \geq R_a$$

$$406200 N \geq 137774 N \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*

Sambungan memenuhi persyaratan agar tidak terjadi geser blok atau *block shear*. Selanjutnya, menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J-10).



Gambar IV.153 Jarak antar Sambungan Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Jarak antar sambungan baut:

$$Lc1 = 38 \text{ mm}$$

$$Lc2 = 76 \text{ mm}$$

Mencari kuat tumpu ($Rn1$) pada jarak baut $Lc1$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 38 \times 12 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$218880 \leq 253440$$

Maka, $Rn1$ yang dipakai adalah sebesar 218880 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn2$) pada jarak baut $Lc2$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 76 \times 12 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$437760 \leq 253440$$

Maka, $Rn2$ yang dipakai adalah sebesar 253440 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$Rn = \sum Rn1 + \sum Rn2$$

$$Rn = 2 \times 218880 + 6 \times 253440$$

$$Rn = 1958400 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$979200 \text{ N} \geq 137774 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-2).

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 8 baut

$$Rn = 70668,84 \times 8$$

$$Rn = 565350,72 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$Rn \geq Ra$$

$$565350,72 \text{ N} \geq 137774 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Kesimpulan

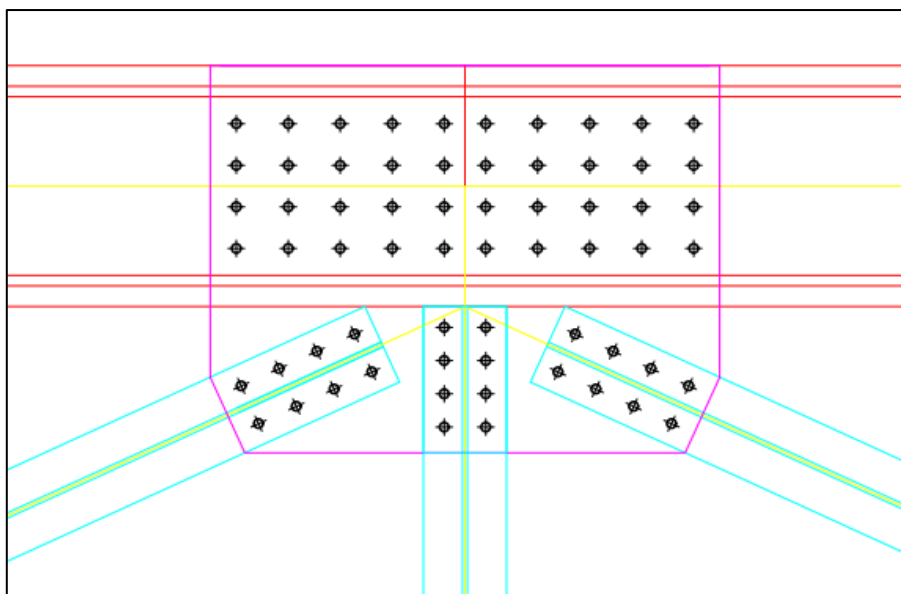
Tabel IV.76 Pengecekan Sambungan Baja T 150.200.12.12

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Leleh Tarik	Ya	
Kuat Leleh Geser	Ya	
Kuat Putus Tarik	Ya	

Kuat Putus Geser	Ya	
Geser Blok atau <i>Block Shear</i>	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka sambungan seperti di bawah ini memenuhi persyaratan untuk batang ikatan angin atas.

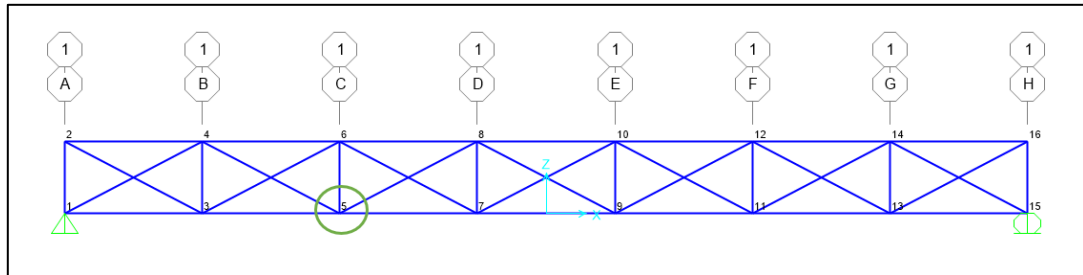


Gambar IV.154 Sambungan Ikatan Angin Atas dan Tepi Atas

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.9.3 Detail Sambungan Ikatan Angin Bawah

Sambungan tersebut akan terhubung pada *gusset plate* atau pelat buhul setebal 12 mm. Perhitungan sambungan ini akan dihitung dengan anggapan bahwa tebal pelat baja akan lebih kecil daripada tebal pelat tambahannya agar pelat tambahan tidak terjadi kegagalan pada baut, tumpu, dan geser blok sebelum profil bajanya (jika pelat baja lebih besar, maka akan ada lagi pelat tambahannya).

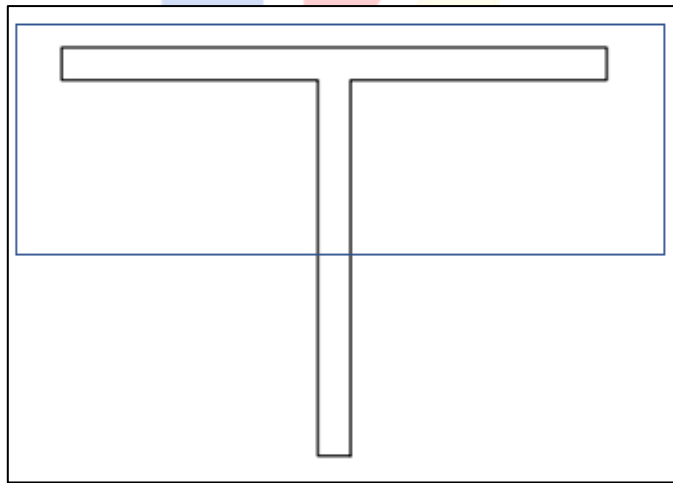


Gambar IV.155 Sambungan pada Ikatan Angin Bawah

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Menentukan jumlah baut

Dalam menentukan jumlah baut yang akan dipasang, perlu ditinjau seberapa besar kekuatan baut untuk mencapai titik putus dan kekuatan pelat/tumpu hingga mencapai titik sobeknya, lalu ditentukan jumlah baut yang dibutuhkan agar mencapai nilai nominal tegangan tarik baja (T_n). Peninjauan ini dilakukan hanya di satu sisi saja.



Gambar IV.156 Batang Ikatan Angin Bawah yang Ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$d_{tepi} = 28 \text{ mm}$$

Data profil T 150.200.12.12:

$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$T_n = 205,317 \text{ kN}$$

Kekuatan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC)*

360 Eq. (J3-1):

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$R_n = 141337,68 \text{ N}$$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{141337,68}{2} \text{ N}$$

$$R_n = 70668,84 \text{ N/baut}$$

$$R_n = 70,67 \text{ kN/baut}$$

Kekuatan pelat atau tumpu berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC)* 360 Eq. (J3-6C) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot T_p \cdot F_u$$

$$R_n = 1,2 \times 28 \times 12 \times 400$$

$$R_n = 161280 \text{ N/lubang baut}$$

$$R_n = 161,28 \text{ kN/lubang baut}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC)* 360 Eq. (J3-6A) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$R_n \text{ max} = 2,4 \cdot d_b \cdot T_p \cdot F_u$$

$$R_n \text{ max} = 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$R_n \text{ max} = 253440 \text{ N/lubang baut}$$

$$R_n \text{ max} = 253,44 \text{ kN/lubang baut}$$

Persyaratan kekuatan tumpu:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \max}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \max}{2}$$

$$80,64 < 126,72$$

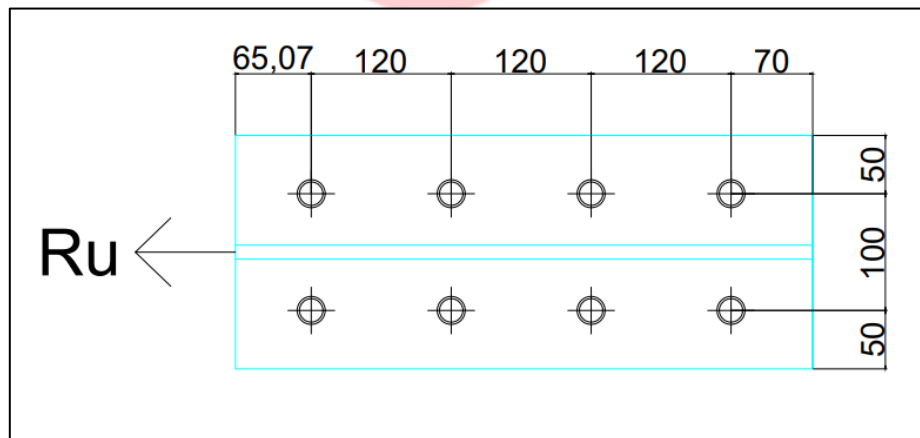
Karena nilai Rn lebih kecil dari $Rn \max$, maka diambil kekuatan tumpu nominalnya sebesar 80,64 kN per lubang bautnya. Jika kekuatan tumpu dibandingkan dengan kekuatan pada bautnya, maka kekuatan nominal yang akan dipakai adalah kekuatan yang nominalnya lebih kecil, yaitu kekuatan baut sebesar 70,67 kN/baut. Maka, jumlah baut yang akan dipasang adalah:

$$n = \frac{Tn}{Rn}$$

$$n = \frac{205,317}{70,67}$$

$$n \approx 3 \text{ baut}$$

Didapatkan bahwa jumlah baut yang dibutuhkan untuk batang ikatan angin bawah agar tidak mencapai kegagalan baut dan tumpu adalah sebesar 3 baut untuk sisi *flange* saja. Setelah mendapatkan jumlah baut yang dipasang, perlu ditinjau dan dihitung kembali dari kuat leleh, kuat putus, geser blok (*block shear*), kekuatan tumpu (*bearing strength*), dan kekuatan baut.



Gambar IV.157 Sambungan Baut dan Arah Gaya Pada Ikatan Angin Bawah

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.

a) Spasi minimum

$$Spasi\ minimum \geq 3db$$

$$Spasi\ minimum \geq 3 \times 22$$

$$Spasi\ minimum \geq 66\ mm$$

Pada spasi sambungan batang ikatan angin bawah adalah 100 mm dan 120 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$Spasi\ maksimum \leq 24tp\ dan \leq 305\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 24 \times 12$$

$$Spasi\ maksimum \leq 288\ mm$$

Karena spasi maksimum < 288 mm, maka spasi maksimum $\leq 288\ mm$.

Pada spasi sambungan batang ikatan angin bawah adalah 100 mm dan 120 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

$$Spasi\ minimum > 28\ mm$$

Pada spasi tepi sambungan batang ikatan angin bawah adalah 50 mm, 70 mm, dan 65.07 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

$$Spasi\ maksimum \leq 12tp\ dan \leq 150\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 12 \times 12$$

$$Spasi\ maksimum \leq 144\ mm$$

Karena spasi maksimum < 144 mm, maka spasi maksimum $\leq 144\ mm$.

Pada spasi tepi sambungan batang ikatan angin bawah adalah 50 mm, 70 mm, dan 65.07 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan leleh tarik dan geser

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$F_{nt} = 620 \text{ MPa}$$

Data profil T 150.200.12.12:

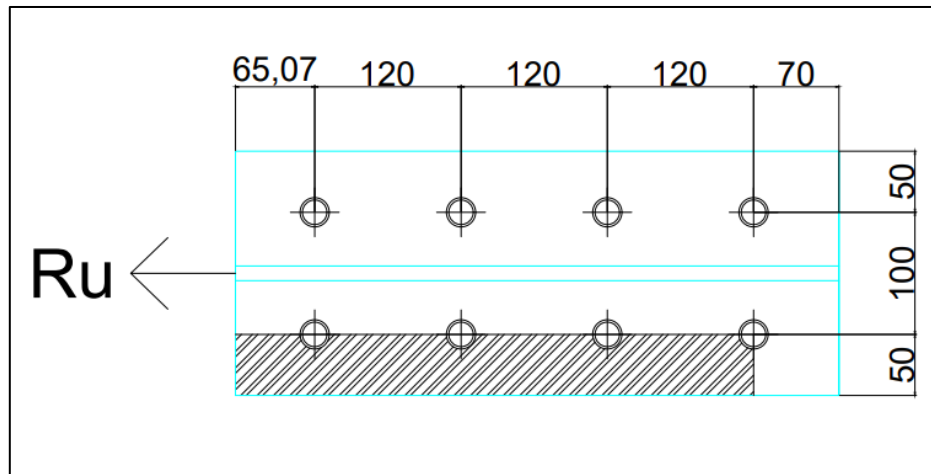
$$t_p = 12 \text{ mm}$$

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$R_a = 205317 \text{ N}$$

Mencari luas:



Gambar IV.158 Luas Area Tarik dan Geser Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_{gv} = 425 \times t_p = 425 \times 12 = 5100 \text{ mm}^2$$

$$A_{gt} = 50 \times t_p = 50 \times 12 = 600 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = [425 - (3,5 \times dl)] \times t_p = [425 - (3,5 \times 24)] \times 12 = 4092 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = [50 - (0,5 \times dl)] \times t_p = [50 - (0,5 \times 24)] \times 12 = 456 \text{ mm}^2$$

Menganalisa kuat leleh tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-1):

$$R_n = A_g \cdot f_y$$

$$R_n = 4056 \times 250$$

$$n = 1014000 \text{ N}$$

$$Rn = 1014 \text{ kN}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan leleh tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{1014000}{2} \geq 205317$$

$$507000 \text{ N} \geq 205317 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat leleh geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-3):

$$Rn = 0,6 \cdot Agv \cdot fy$$

$$Rn = 0,6 \times 5100 \times 250$$

$$Rn = 765000 \text{ N}$$

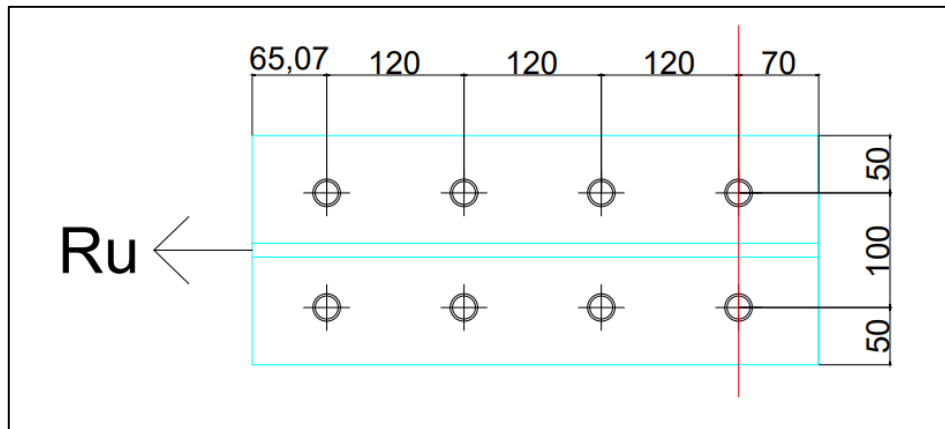
Pengecekan persyaratan kekuatan leleh geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{1,5} \geq Ra$$

$$510000 \text{ N} \geq 205317 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kekuatan putus tarik dan geser
Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan leleh tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa kuat putus tarik profil berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-2).



Gambar IV.159 Potongan Sambungan

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$$

$$A_n = 4056 - 2 \times 24 \times 12$$

$$A_n = 3480 \text{ mm}^2$$

Selanjutnya mencari luas efektif dengan mengetahui *shear lag* pada batang ikatan angin bawah. Sambungan baut dan gaya tarik disalurkan oleh baut pada dua sisi tersambung, yaitu *flange*-nya saja, sedangkan *web* tidak terdapat sambungan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) D3 – 1.

$$U = 1 - \frac{x}{L}$$

$$U = 1 - \frac{2,9}{300}$$

$$U = 0,99$$

Berarti, luas efektif penampang profil dari batang ikatan angin atas ini adalah:

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 0,99 \times 3480$$

$$A_e = 3446,36 \text{ mm}^2$$

Kuat putus tarik profil baja:

$$R_n = A_e \cdot f_u$$

$$R_n = 3446,36 \times 400$$

$$Rn = 1378544 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus tarik

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$689272 \text{ N} \geq 205317 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Menganalisa kuat putus geser berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-4):

$$Rn = 0,6 \cdot Anv \cdot fu$$

$$Rn = 0,6 \times 4092 \times 400$$

$$Rn = 982080 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kekuatan putus geser

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$491040 \text{ N} \geq 205317 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap geser blok atau *block shear*

Sambungan memenuhi persyaratan kekuatan putus tarik dan geser. Selanjutnya, menganalisa geser blok atau *block shear* berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5):

$$Rn = (0,6 \cdot Anv \cdot fu) + (Ubs \cdot fu \cdot Ant)$$

$$Rn = (0,6 \times 4092 \times 400) + (1 \times 400 \times 456)$$

$$Rn = 1164480 \text{ N}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J4-5) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \text{ max} = (0,6 \cdot Agv \cdot fy) + (Ubs \cdot fu \cdot Ant)$$

$$Rn \text{ max} = (0,6 \times 5100 \times 250) + (1 \times 400 \times 456)$$

$$Rn \text{ max} = 947400 \text{ N}$$

Persyaratan geser blok profil:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \max}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \max}{2}$$

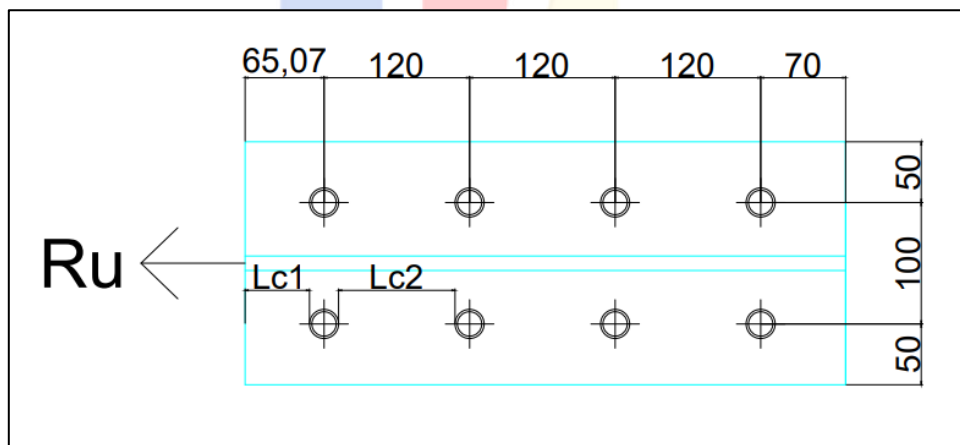
$$582240 > 473700$$

Maka dipilihlah geser blok profil nominal sebesar 473700 N dan dicek persyaratan kekuatannya.

$$Rn \geq Ra$$

$$473700 \text{ N} \geq 205317 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*
Sambungan memenuhi persyaratan agar tidak terjadi geser blok atau *block shear*. Selanjutnya, menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J-10)*.



Gambar IV.160 Jarak antar Sambungan Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Jarak antar sambungan baut:

$$Lc1 = 53 \text{ mm}$$

$$Lc2 = 96 \text{ mm}$$

Mencari kuat tumpu ($Rn1$) pada jarak baut $Lc1$:

$$R_n \leq R_n \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 53 \times 12 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$305280 \leq 253440$$

Maka, R_{n1} yang dipakai adalah sebesar 253440 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu (R_{n2}) pada jarak baut $Lc2$:

$$R_n \leq R_n \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 96 \times 12 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 12 \times 400$$

$$552960 \leq 253440$$

Maka, R_{n2} yang dipakai adalah sebesar 253440 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$R_n = \sum R_{n1} + \sum R_{n2}$$

$$R_n = 2 \times 253440 + 6 \times 253440$$

$$R_n = 2027520 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$R_n \geq R_a$$

$$1013760 \text{ N} \geq 205317 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-2).

$$R_n = Fnv \cdot Ab$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$R_n = 70668,84 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 8 baut

$$R_n = 70668,84 \times 8$$

$$R_n = 565350,72 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$R_n \geq R_a$$

$$565350,72 \text{ N} \geq 205317 \text{ N} \text{ (memenuhi syarat)}$$

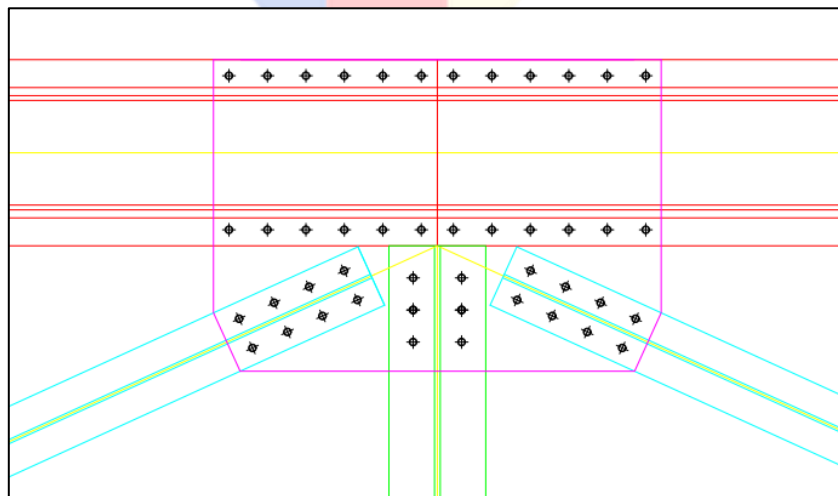
- Kesimpulan

Tabel IV.77 Pengecekan Sambungan Baja T 150.200.12.12

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Leleh Tarik	Ya	
Kuat Leleh Geser	Ya	
Kuat Putus Tarik	Ya	
Kuat Putus Geser	Ya	
Geser Blok atau <i>Block Shear</i>	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Karena seluruh pengecekan telah memenuhi syarat, maka sambungan seperti di bawah ini memenuhi persyaratan untuk batang ikatan angin bawah.

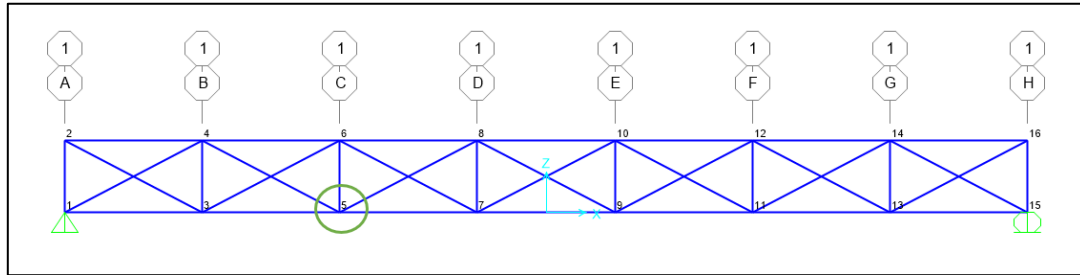


Gambar IV.161 Sambungan Ikatan Angin Bawah dan Tepi Bawah

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.9.4 Detail Sambungan Gelagar Melintang

Sambungan tersebut akan terhubung pada baja siku-siku tidak sama kaki L 100.150.12 dan pelat buhul setebal 12 mm. Perhitungan sambungan ini akan dihitung dengan anggapan bahwa tebal pelat baja akan lebih kecil daripada tebal pelat tambahannya agar pelat tambahan tidak terjadi kegagalan pada baut, tumpu, dan geser blok sebelum profil bajanya (jika pelat baja lebih besar, maka akan ada lagi pelat tambahannya).



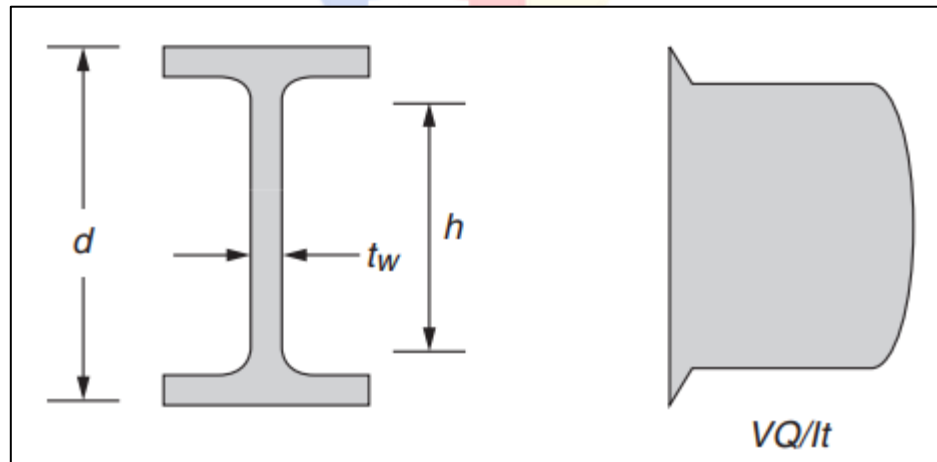
Gambar IV.162 Sambungan pada Gelagar Melintang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

a) Sambungan pada *web*

- Pengecekan tegangan geser pada batang

Tegangan geser maksimum dicari berdasarkan rumus dari mekanika bahan dan akan menghasilkan diagram tegangan geser sebagai berikut.



Gambar IV.163 Diagram Tegangan Geser IWF

(Sumber: Williams, 2011)

Pada diagram di atas, tegangan geser maksimum berada pada sumbu y_o , tepat berada di titik tengah web . Rumus mencari tegangan geser:

$$\tau = \frac{q}{b}$$

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{b \cdot Ix}$$

Maka, dicari tegangan geser pada jarak tertentu terhadap sumbu Y.

Tabel IV.78 Tegangan Geser WF 1200.300.18.34

V (N)	A_f (mm ²)	y_f (mm)	A_w (mm ²)	y_w (mm)	y_c (mm)	A_c (mm ²)	Q (mm ³)	b (mm)	I (mm ⁴)	T (Mpa)
1257235,	0	600	0	0	0	0	0	300	91120	0
11	2550	595,75	0	0	595,75	2550	15191 62,5		00000	0,6986 91993
	5100	591,5	0	0	591,5	5100	30166 50			1,3874 15238
	7650	587,25	0	0	587,25	7650	44924 62,5			2,0661 69734
	10200	583	0	566	583	10200	59466 00			2,7349 55482
	10200	583	2547	495,25	565,46	12747	72080 65215 01,75			3,3150 98359
	10200	583	5094	424,5	530,20	15294	81090 81208 03			3,7294 86128
	10200	583	7641	353,75	484,81	17841	86496 60837 03,75			3,9781 18789
	10200	583	10188	283	433,08	20388	88298 82872 04			4,0609 96343

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai τ_{max} yang didapatkan adalah sebesar 4,061 MPa yang akan sebagai nilai tegangan ijin. Maka, dicari juga tegangan nominal geser pada satu sisi:

$$\frac{0,5Va}{A_w} = \frac{0,5 \times 2037,6}{20376} = 50 \text{ MPa}$$

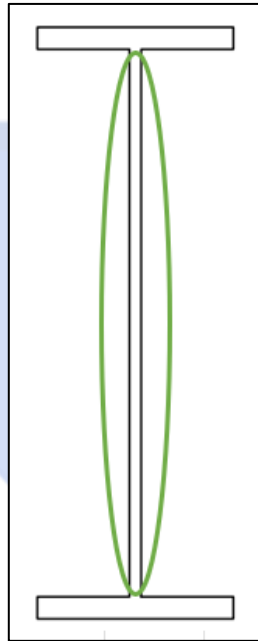
Pengecekan persyaratan tegangan nominal geser batang

$$\tau_n > \tau_{ijin}$$

$$50 \text{ MPa} > 4,061 \text{ MPa (memenuhi syarat)}$$

- Menentukan jumlah baut

Dalam menentukan jumlah baut yang akan dipasang, perlu ditinjau seberapa besar kekuatan baut untuk mencapai titik putus dan kekuatan pelat/tumpu hingga mencapai titik sobeknya, lalu ditentukan jumlah baut yang dibutuhkan agar mencapai nilai nominal tegangan tarik baja (T_n).



Gambar IV.164 Batang Gelagar Melintang yang ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$d_{tepi} = 28 \text{ mm}$$

Data profil WF 1200.300.18.34:

$$t_p = 18 \text{ mm}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$\phi T_n = 1257,23 \text{ kN (diambil dari gaya geser ultimate)}$$

Kekuatan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC)*

360 Eq. J3.7:

$$R_n = F_n v. A_b$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$R_n = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$R_n = 70668,84 \text{ N/baut}$$

$$R_n = 70,669 \text{ kN/baut}$$

Kekuatan pelat atau tumpu berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC)* 360 Eq. (J3-6C) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$R_n = 1,2. l_c. T_p. F_u$$

$$R_n = 1,2 \times 28 \times 18 \times 400$$

$$R_n = 241920 \text{ N/lubang baut}$$

$$R_n = 241,92 \text{ kN/lubang baut}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC)* 360 Eq. (J3-6A) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$R_n \text{ max} = 2,4. d_b. T_p. F_u$$

$$R_n \text{ max} = 2,4 \times 22 \times 18 \times 400$$

$$R_n \text{ max} = 380160 \text{ N/lubang baut}$$

$$R_n \text{ max} = 380,16 \text{ kN/lubang baut}$$

Persyaratan kekuatan tumpu:

$$\frac{R_n}{\Omega} < \frac{R_n \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{R_n}{2} < \frac{R_n \text{ max}}{2}$$

$$120,96 < 190,08$$

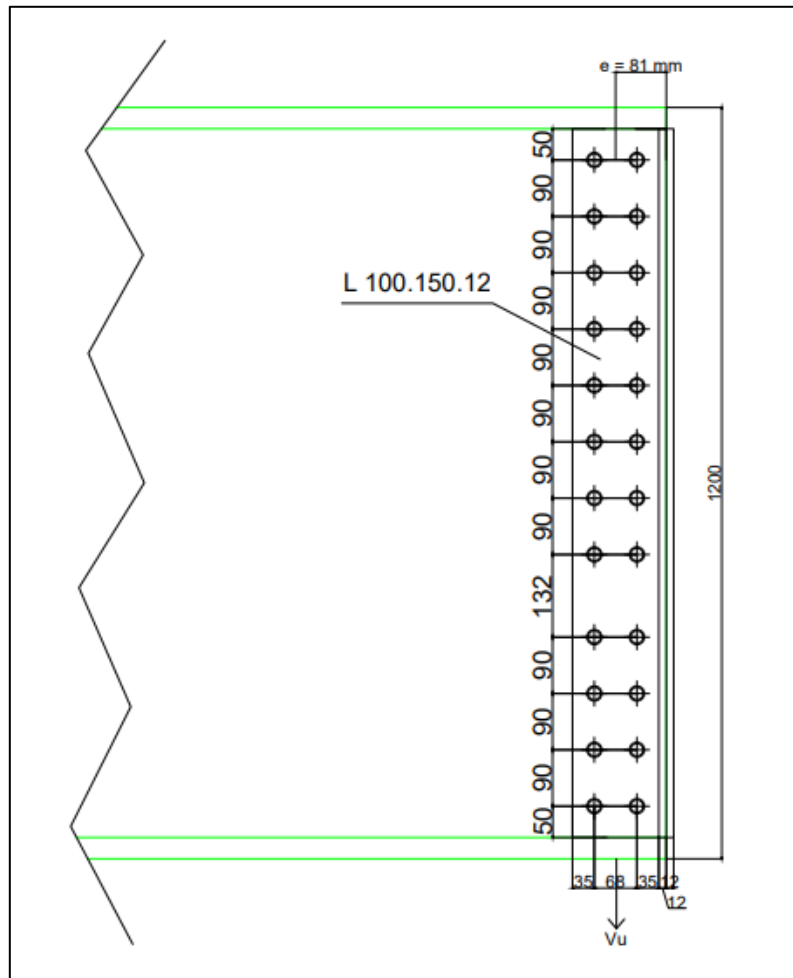
Karena nilai Rn lebih kecil dari Rn_{max} , maka diambil kekuatan tumpu nominalnya sebesar 120,96 kN per lubang bautnya. Jika kekuatan tumpu dibandingkan dengan kekuatan pada bautnya, maka kekuatan nominal yang akan dipakai adalah kekuatan yang nominalnya lebih kecil, yaitu kekuatan baut sebesar 70,669 kN/baut. Maka, jumlah baut yang akan dipasang adalah:

$$n = \frac{Tn}{Rn}$$

$$n = \frac{1257,23}{70,669}$$

$$n \approx 18 \text{ baut}$$

Didapatkan bahwa jumlah baut yang dibutuhkan untuk batang gelagar melintang agar tidak mencapai kegagalan baut dan tumpu adalah sebesar 18 baut. Setelah mendapatkan jumlah baut yang dipasang, perlu ditinjau dan dihitung kembali dari kekuatan tumpu (*bearing strength*) dan kekuatan baut. Kuat leleh, kuat putus, dan geser blok (*block shear*) tidak diperhitungkan karena gaya yang memberikan pengaruh pada sambungan adalah gaya geser, bukan gaya aksial tarik-tekan.



Gambar IV.165 Sambungan Baut Pada *Web* Gelagar Melintang
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.
 - a) Spasi minimum
 - $Spasi\ minimum \geq 3db$
 - $Spasi\ minimum \geq 3 \times 22$
 - $Spasi\ minimum \geq 66\ mm$
 Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 68 mm, 90 mm, dan 132 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24t_p \text{ dan } \leq 305 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24 \times 18$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 432 \text{ mm}$$

Karena spasi maksimum $\geq 305 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 305 \text{ mm}$.

Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 68 mm, 90 mm, dan 132 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

$$\text{Spasi minimum} > 28 \text{ mm}$$

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 35 mm dan 50 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

$$\text{Spasi maksimum} \leq 12t_p \text{ dan } \leq 150 \text{ mm}$$

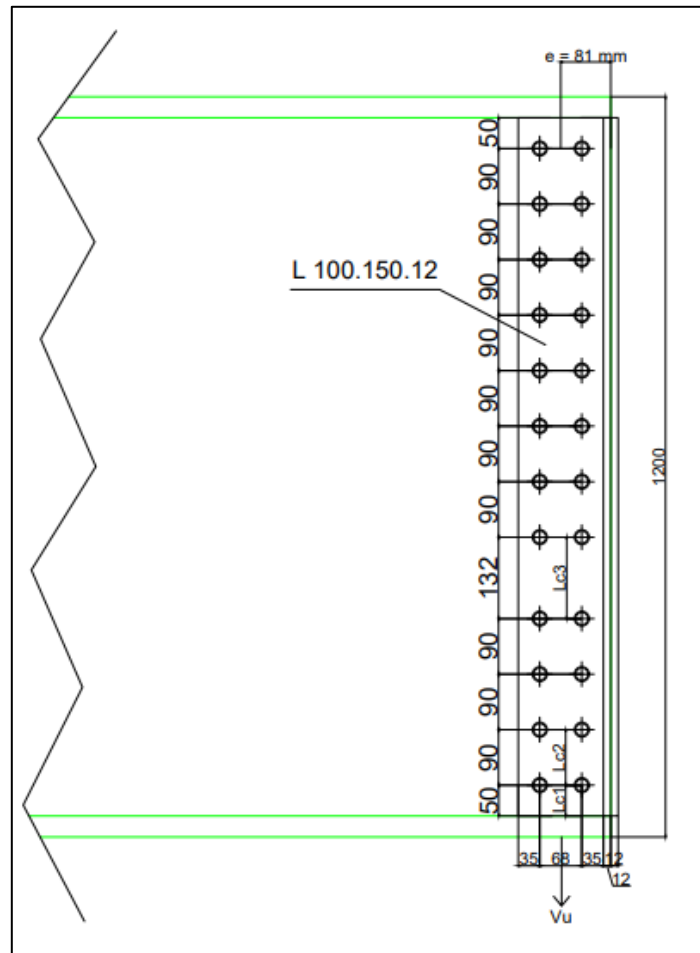
$$\text{Spasi maksimum} \leq 12 \times 18$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 216 \text{ mm}$$

Karena spasi maksimum $\geq 144 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 144 \text{ mm}$.

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 35 mm dan 50 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*
Menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J3-10)*.



Gambar IV.166 Jarak antar Sambungan Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Jarak antar sambungan baut:

$$Lc1 = 38 \text{ mm}$$

$$Lc2 = 66 \text{ mm}$$

$$Lc3 = 108 \text{ mm}$$

Mencari kuat tumpu ($Rn1$) pada jarak baut $Lc1$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot T_p \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot T_p \cdot Fu$$

$$1,2 \times 38 \times 18 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 18 \times 400$$

$$328320 \leq 380160$$

Maka, $Rn1$ yang dipakai adalah sebesar 328320 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn2$) pada jarak baut $Lc2$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 66 \times 18 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 18 \times 400$$

$$570240 \leq 380160$$

Maka, $Rn2$ yang dipakai adalah sebesar 380160 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn3$) pada jarak baut $Lc3$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc3 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 108 \times 18 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 18 \times 400$$

$$933120 \leq 380160$$

Maka, $Rn3$ yang dipakai adalah sebesar 380160 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$Rn = \sum Rn1 + \sum Rn2 + \sum Rn3$$

$$Rn = 4 \times 328320 + 14 \times 380160 + 2 \times 380160$$

$$Rn = 8916480 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{Rn}{2} \geq Ra$$

$$4458240 \text{ N} \geq 1257235,11 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. J3.7.

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 141337,68 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 24 baut

$$\frac{Rn}{\Omega} = \frac{24 \times 141337,68}{2}$$

$$Rn = 1696052,16 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$Rn \geq Ra$$

$$1696052,16 \text{ N} \geq 1257235,11 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Kesimpulan

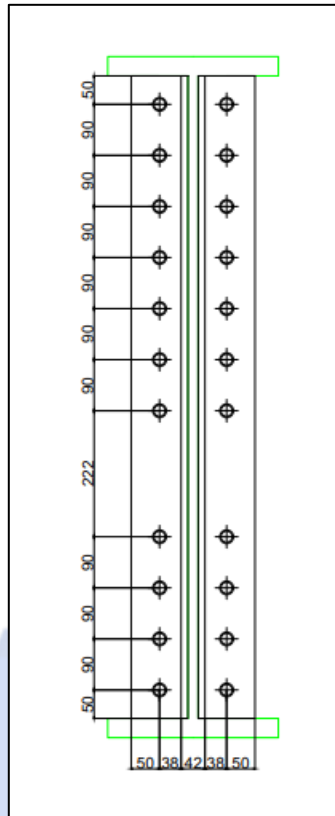
Tabel IV.79 Pengecekan Sambungan Baja WF 1200.300.18.34

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- b) Sambungan pada *gusset plate*

Sambungan ini berada di siku L 100.150.12 yang menghubungkan *web* dari gelagar melintang pada *gusset plate* pada rangka batang bagian bawah. Sambungan ini didesain agar dapat menahan kuat geser dan tarik. Cara mencari persyaratan kekuatan pada sambungan ini berdasarkan peraturan *American Society of Civil Engineers (ASCE) 7 Sections 2.3 dan 2.4*. Diasumsikan bahwa sumbu netral terjadi pada pusat massa dari sambungan baut, gaya yang terjadi pada sambungan adalah sebagai berikut ini:



Gambar IV.167 Sambungan Gelagar Melintang ke *Gusset Plate*

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.

a) Spasi minimum

$$\text{Spasi minimum} \geq 3db$$

$$\text{Spasi inimum} \geq 3 \times 22$$

$$\text{Spasi minimum} \geq 66 \text{ mm}$$

Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 90 mm dan 132 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24tp \text{ dan } \leq 305 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} \leq 24 \times 12$$

Spasi maksimum $\leq 288 \text{ mm}$

Karena spasi maksimum $< 288 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 288 \text{ mm}$.

Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 90 mm dan 132 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

Spasi minimum $> 28 \text{ mm}$

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 50 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

Spasi maksimum $\leq 12tp$ dan $\leq 150 \text{ mm}$

Spasi maksimum $\leq 12 \times 12$

Spasi maksimum $\leq 144 \text{ mm}$

Karena spasi maksimum $< 144 \text{ mm}$, maka spasi maksimum $\leq 144 \text{ mm}$.

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 50 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Momen pada sambungan baut

$$Ma = Vn \cdot e$$

$$Ma = 1257235,11 \times 81$$

$$Ma = 101836043,9 \text{ MPa}$$

Jarak eksentrisitas atau e didapatkan dari jarak titik berat pada *web* sambungan ke *gusset plate*

Nilai n' didapatkan dari jumlah baut yang berada di atas sumbu netral dan dm didapatkan dari jarak lengan momen antara gaya tarik dan gaya tekan pada baut yang terdekat pada sumbu netral.

- Gaya geser pada baut-baut

$$Va = \frac{Vn}{n}$$

$$Va = \frac{1257235,11}{22}$$

$$Va = 57147 \text{ N}$$

- Desain dan pengecekan kekuatan geser nominal baut

Kuat geser nominal baut:

$$\frac{Fnv}{\Omega} = \frac{372}{2}$$

$$Fnv = 186 \text{ MPa/baut}$$

Tegangan geser baut:

$$fv = \frac{Va}{Ab}$$

$$fv = \frac{57147}{0,25 \times 3,14 \times 22^2}$$

$$fv = 150,41 \text{ MPa/baut}$$

Pengecekan baut terhadap kekuatan geser nominal:

$$fv < Fnv$$

$$150,41 < 186 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Desain dan pengecekan kekuatan tarik nominal baut

Kuat tarik nominal baut:

$$\frac{Fnt}{\Omega} = \frac{620}{2}$$

$$Fnt = 310 \text{ MPa/baut}$$

Tegangan tarik baut:



$$f_t = \frac{T_a}{A_b}$$

$$f_t = \frac{34497}{0,25 \times 3,14 \times 22^2}$$

$$f_t = 90,8 \text{ MPa/baut}$$

Pengecekan baut terhadap kekuatan tarik nominal:

$$f_t < F_{nt}$$

$$90,8 < 310 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Desain dan pengecekan kekuatan tarik nominal baut tereduksi

Pengecekan tahanan nominal geser dan tarik baut telah memenuhi syarat, namun akibat dari adanya kombinasi dari gaya geser dan tarik ini menyebabkan efek tahanan nominal tariknya mengalami reduksi berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. J3-3*

$$F'_{nt} = 1,3F_{nt} - \frac{f_v \cdot F_{nt}}{F_{nv}}$$

$$F'_{nt} = 1,3 \times 620 - \frac{150,41 \times 620}{186}$$

$$F'_{nt} = 304,63 \text{ MPa/baut}$$

Pengecekan baut terhadap kekuatan geser nominal tereduksi:

$$f_t < \frac{F'_{nt}}{\Omega}$$

$$124,09 < \frac{304,63}{2}$$

$$90,8 < 152,31 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Kesimpulan

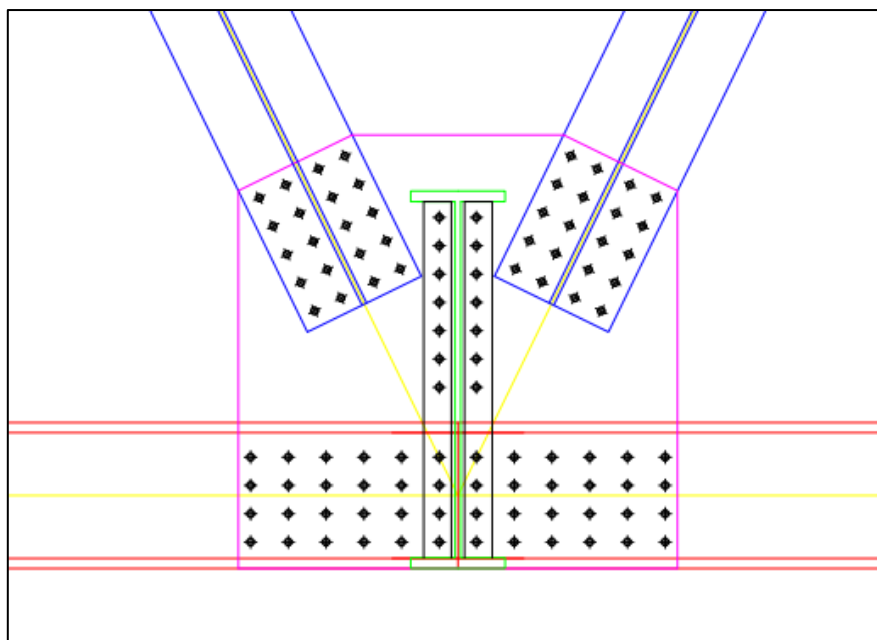
Tabel IV.80 Pengecekan Sambungan Baja WF 1200.300.18.34

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Baut Akibat Geser	Ya	
Kuat Baut Akibat Tarik	Ya	

Kuat Baut Akibat Tarik Tereduksi	Ya	
----------------------------------	----	--

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Sambungan seperti di bawah ini memenuhi persyaratan untuk gelagar melintang yang terhubung dengan *gusset plate* rangka batang bagian bawah.

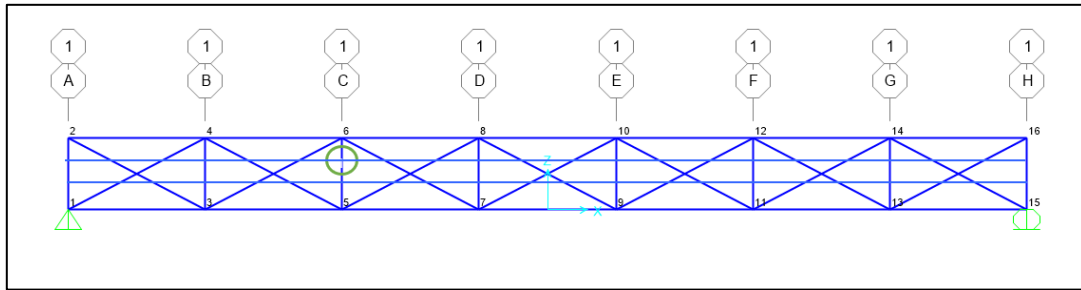


Gambar IV.169 Sambungan Rangka Batang Bawah dan Gelagar Melintang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.9.5 Detail Sambungan Gelagar Memanjang

Sambungan tersebut akan terhubung pada baja siku-siku tidak sama kaki L 100.150.12 dan pelat buhul setebal 12 mm. Perhitungan sambungan ini akan dihitung dengan anggapan bahwa tebal pelat baja akan lebih kecil daripada tebal pelat tambahannya agar pelat tambahan tidak terjadi kegagalan pada baut, tumpu, dan geser blok sebelum profil bajanya (jika pelat baja lebih besar, maka akan ada lagi pelat tambahannya).



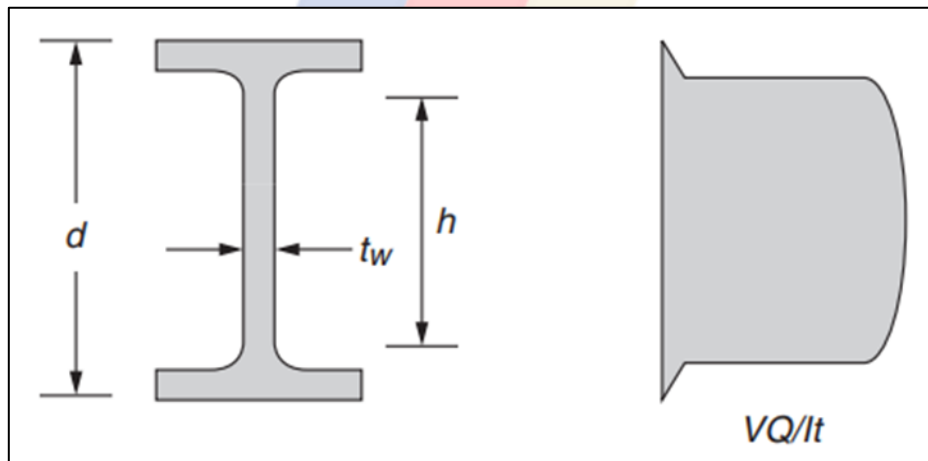
Gambar IV.170 Sambungan pada Gelagar Memanjang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

a) Sambungan pada *web*

- Pengecekan tegangan geser pada batang

Tegangan geser maksimum dicari berdasarkan rumus dari mekanika bahan dan akan menghasilkan diagram tegangan geser sebagai berikut.



Gambar IV.171 Diagram Tegangan Geser IWF

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Pada diagram di atas, tegangan geser maksimum berada pada sumbu y_0 , tepat berada di titik tengah *web*. Rumus mencari tegangan geser:

$$\tau = \frac{q}{b}$$

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{b \cdot I_x}$$

Maka, dicari tegangan geser pada jarak tertentu terhadap sumbu Y.

Tabel IV.81 Tegangan Geser WF 900.300.18.34

V (N)	A _r (mm ²)	y _r (mm)	A _w (mm ²)	y _w (mm)	y _c (mm)	A _c (mm ²)	Q (mm ³)	b (mm)	I (mm ⁴)	T (Mpa)
845308,5	0	456	0	0	0	0	0	302	49800 00000	0
	2567	451,75	0	0	451,75	2567	11596 42,25			0,6517 82927
	5134	447,5	0	0	447,5	5134	22974 65			1,2913 02091
	7701	443,25	0	0	443,25	7701	34134 68,25			1,9185 57492
	10268	439	0	422	439	10268	45076 52			2,5335 49131
	10268	439	1899	369,25	428,11	12167	52088 57,75			2,9276 65451
	10268	439	3798	316,5	405,92	14066	57097 19			3,2091 77108
	10268	439	5697	263,75	376,46	15965	60102 35,75			3,3780 84102
	10268	439	7596	211	342,05	17864	61104 08			3,4343 86434

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Nilai τ_{max} yang didapatkan adalah sebesar 3,434 MPa yang akan sebagai nilai tegangan ijin. Maka, dicari juga tegangan nominal geser pada satu sisi:

$$\frac{0,5Va}{A_w} = \frac{0,5 \times 1519,2}{15192} = 50 \text{ MPa}$$

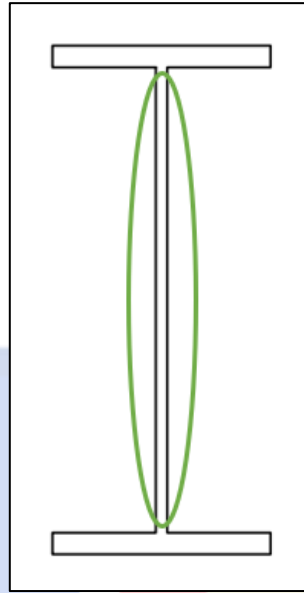
Pengecekan persyaratan tegangan nominal geser batang

$$\tau_n > \tau_{ijin}$$

$$50 \text{ MPa} > 3,434 \text{ MPa} \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Menentukan jumlah baut

Dalam menentukan jumlah baut yang akan dipasang, perlu ditinjau seberapa besar kekuatan baut untuk mencapai titik putus dan kekuatan pelat/tumpu hingga mencapai titik sobeknya, lalu ditentukan jumlah baut yang dibutuhkan agar mencapai nilai nominal tegangan tarik baja (T_n).



Gambar IV.172 Batang Gelagar Memanjang yang ditinjau

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Data baut:

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$d_{lubang} = 24 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$d_{tepi} = 28 \text{ mm}$$

Data profil WF 900.300.18.34:

$$t_p = 18 \text{ mm}$$

$$F_u = 400 \text{ MPa}$$

$$T_n = 845,31 \text{ kN (diambil dari gaya geser ultimate batang)}$$

Kekuatan baut berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. J3.7:

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

$$Rn = 70,669 \text{ kN/baut}$$

Kekuatan pelat atau tumpu berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6C) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn = 1,2 \cdot lc \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn = 1,2 \times 28 \times 18 \times 400$$

$$Rn = 241920 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn = 241,92 \text{ kN/lubang baut}$$

Kekuatan tumpu maksimum berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. (J3-6A) untuk baut dengan jenis lubang *standard*:

$$Rn \text{ max} = 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$Rn \text{ max} = 2,4 \times 22 \times 18 \times 400$$

$$Rn \text{ max} = 380160 \text{ N/lubang baut}$$

$$Rn \text{ max} = 380,16 \text{ kN/lubang baut}$$

Persyaratan kekuatan tumpu:

$$\frac{Rn}{\Omega} < \frac{Rn \text{ max}}{\Omega}$$

$$\frac{Rn}{2} < \frac{Rn \text{ max}}{2}$$

$$120,96 < 190,08$$

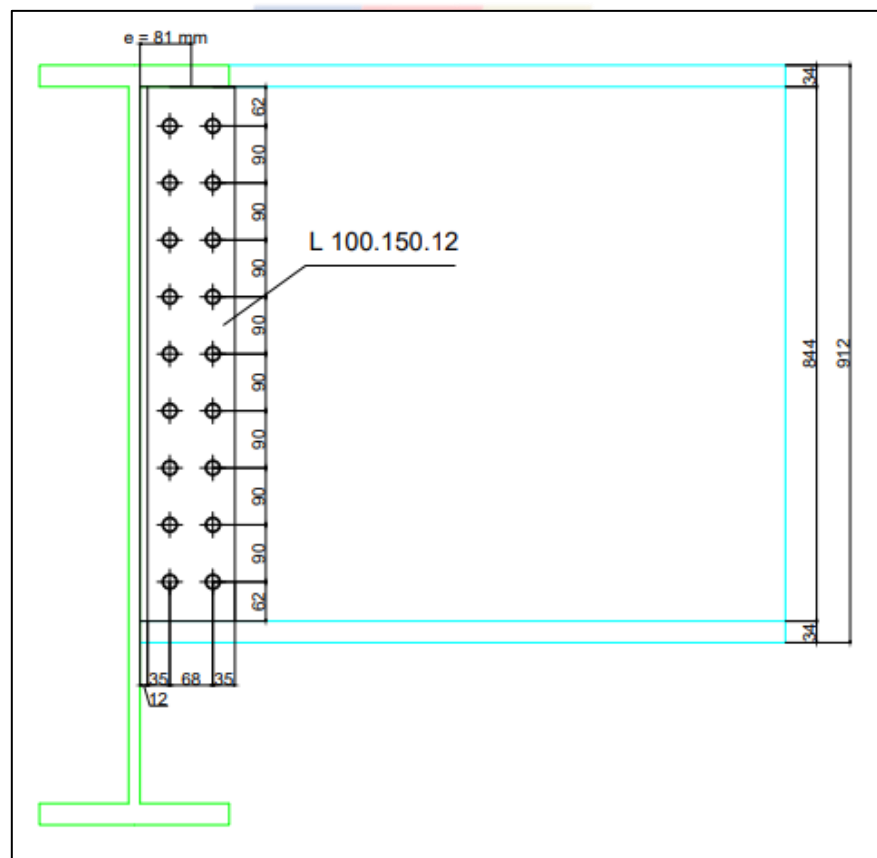
Karena nilai ϕRn lebih kecil dari $\phi Rn \text{ max}$, maka diambil kekuatan tumpu nominalnya sebesar 120,96 kN per lubang bautnya. Jika kekuatan tumpu dibandingkan dengan kekuatan pada bautnya, maka kekuatan nominal yang akan dipakai adalah kekuatan yang nominalnya lebih kecil, yaitu kekuatan baut sebesar 70,669 kN/baut. Maka, jumlah baut yang akan dipasang adalah:

$$n = \frac{Tn}{Rn}$$

$$n = \frac{845,31}{70,669}$$

$$n \approx 12 \text{ baut}$$

Didapatkan bahwa jumlah baut yang dibutuhkan untuk batang gelagar memanjang agar tidak mencapai kegagalan baut dan tumpu adalah sebesar 12 baut untuk sisi *web* saja. Setelah mendapatkan jumlah baut yang dipasang, perlu ditinjau dan dihitung kembali dari kekuatan tumpu (*bearing strength*) dan kekuatan baut. Kuat leleh, kuat putus, dan geser blok (*block shear*) tidak diperhitungkan karena gaya yang memberikan pengaruh pada sambungan adalah gaya geser, bukan gaya aksial tarik-tekan.



Gambar IV.173 Sambungan Baut Pada *Web* Gelagar Memanjang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.

a) Spasi minimum

$$Spasi\ minimum \geq 3db$$

$$Spasi\ minimum \geq 3 \times 22$$

$$Spasi\ minimum \geq 66\ mm$$

Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 68 mm dan 90 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$Spasi\ maksimum \leq 24tp\ dan \leq 305\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 24 \times 18$$

$$Spasi\ maksimum \leq 432\ mm$$

Karena spasi maksimum $\geq 305\ mm$, maka spasi maksimum $\leq 305\ mm$.

Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 68 mm dan 90 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

$$Spasi\ minimum > 28\ mm$$

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 35 mm dan 62 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

$$Spasi\ maksimum \leq 12tp\ dan \leq 150\ mm$$

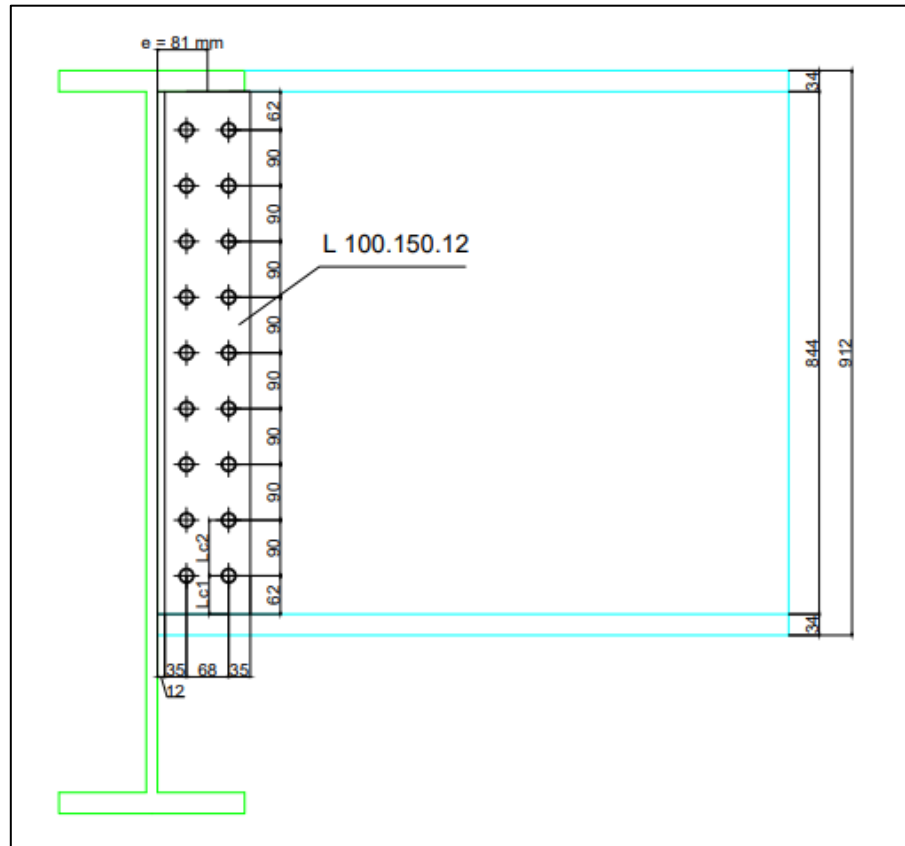
$$Spasi\ maksimum \leq 12 \times 18$$

$$Spasi\ maksimum \leq 216\ mm$$

Karena spasi maksimum $\geq 144\ mm$, maka spasi maksimum $\leq 144\ mm$.

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 35 mm dan 62 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat tumpu atau *bearing strength*
Menganalisa kekuatan pelat/tumpu atau *bearing strength* berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. (J3-10)*.



Gambar IV.174 Jarak antar Sambungan Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Jarak antar sambungan baut:

$$Lc1 = 50 \text{ mm}$$

$$Lc2 = 66 \text{ mm}$$

Mencari kuat tumpu ($Rn1$) pada jarak baut $Lc1$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc1 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 50 \times 18 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 18 \times 400$$

$$432000 \leq 380160$$

Maka, $Rn1$ yang dipakai adalah sebesar 380160 N/lubang baut. Mencari kuat tumpu ($Rn2$) pada jarak baut $Lc2$:

$$Rn \leq Rn \text{ max}$$

$$1,2 \cdot Lc2 \cdot Tp \cdot Fu \leq 2,4 \cdot db \cdot Tp \cdot Fu$$

$$1,2 \times 66 \times 18 \times 400 \leq 2,4 \times 22 \times 18 \times 400$$

$$570240 \leq 380160$$

Maka, $Rn2$ yang dipakai adalah sebesar 380160 N/lubang baut sehingga kuat tumpu total pada sambungan adalah:

$$Rn = \sum Rn1 + \sum Rn2$$

$$Rn = 2 \times 380160 + 16 \times 380160$$

$$Rn = 6842880 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat tumpu

$$\frac{Rn}{\Omega} \geq Ra$$

$$\frac{6842880}{2} \geq 845308,5$$

$$3421440 \text{ N} \geq 845308,5 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Pengecekan sambungan baut terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut dicek berdasarkan *American Institute of Steel Construction* (AISC) 360 Eq. J3.7:

$$Rn = Fnv \cdot Ab$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times \pi \times d_b^2)$$

$$Rn = 372 \times (0,25 \times 3,14 \times 22^2)$$

$$Rn = 70668,84 \text{ N/baut}$$

Kuat nominal untuk 18 baut

$$Rn = 18 \times 70668,84$$

$$Rn = 1272039,12 \text{ N}$$

Pengecekan persyaratan kuat baut

$$Rn \geq Ra$$

$$1272039,12 \text{ N} \geq 845308,5 \text{ N (memenuhi syarat)}$$

- Kesimpulan

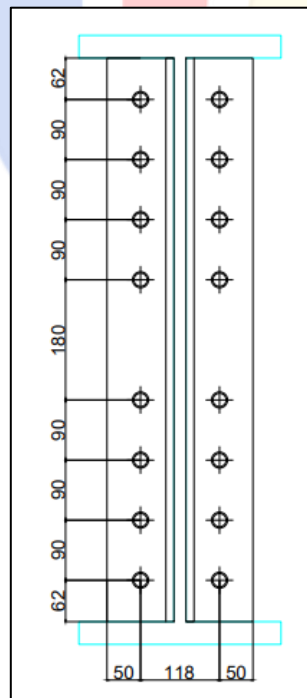
Tabel IV.82 Pengecekan Sambungan Baja WF 900.300.18.34

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Tumpu atau <i>Bearing Strength</i>	Ya	
Kuat Baut	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- b) Sambungan pada *web* gelagar melintang

Sambungan ini berada di siku L 100.150.12 yang menghubungkan *web* dari gelagar memanjang pada *web* gelagar melintang. Sambungan ini didesain agar dapat menahan kuat geser dan tarik. Cara mencari persyaratan kekuatan pada sambungan ini berdasarkan peraturan *American Society of Civil Engineers (ASCE) 7 Sections 2.3 dan 2.4*. Diasumsikan bahwa sumbu netral terjadi pada pusat massa dari sambungan baut, gaya yang terjadi pada sambungan adalah sebagai berikut ini:



Gambar IV.175 Sambungan Gelagar Memanjang ke Gelagar Melintang

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

- Pengecekan terhadap spasi minimum dan maksimum lubang baut
Pengecekan ini dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1729:2015 bab J pasal 3 – 5.

a) Spasi minimum

$$Spasi\ minimum \geq 3db$$

$$Spasi\ minimum \geq 3 \times 22$$

$$Spasi\ minimum \geq 66\ mm$$

Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 90 mm dan 180 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum.

b) Spasi maksimum

$$Spasi\ maksimum \leq 24tp\ dan \leq 305\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 24 \times 12$$

$$Spasi\ maksimum \leq 288\ mm$$

Karena spasi maksimum < 288 mm, maka spasi maksimum $\leq 288\ mm$.

Pada spasi sambungan batang gelagar melintang adalah 90 mm dan 180 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

c) Spasi minimum tepi

$$Spasi\ minimum > 28\ mm$$

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 50 mm dan 62 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi minimum tepi.

d) Spasi maksimum tepi

$$Spasi\ maksimum \leq 12tp\ dan \leq 150\ mm$$

$$Spasi\ maksimum \leq 12 \times 12$$

$$Spasi\ maksimum \leq 144\ mm$$

Karena spasi maksimum < 144 mm, maka spasi maksimum $\leq 144\ mm$.

Pada spasi tepi sambungan batang gelagar melintang adalah 50 mm dan 62 mm sehingga memenuhi persyaratan spasi maksimum.

- Momen pada sambungan baut

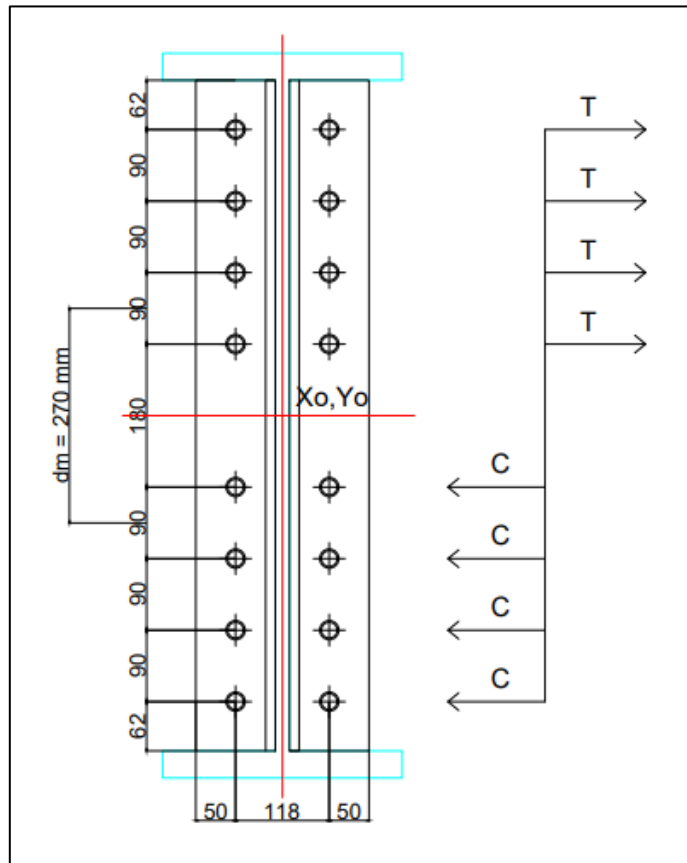
$$Ma = Vn.e$$

$$Ma = 845308,5 \times 81$$

$$Ma = 68469988,5 \text{ MPa}$$

Jarak eksentrisitas atau e didapatkan dari jarak titik berat pada *web* sambungan gelagar memanjang ke antara siku dan *web* gelagar melintang.

- Gaya tarik pada baut-baut (bagian atas sumbu netral)



Gambar IV.176 Reaksi Gaya dari Masing-Masing Baut

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

Keterangan:

x_o, y_o = sumbu netral atau titik pusat pada sambungan

T = reaksi gaya tarik atau *tension* pada baut

C = reaksi gaya tekan atau *compression* pada baut

$$T_a = \frac{Ma}{n' \cdot dm}$$

$$T_a = \frac{68469988,5}{8 \times 270}$$

$$T_a = 31699,07 \text{ N}$$

Nilai n' didapatkan dari jumlah baut yang berada di atas sumbu netral dan dm didapatkan dari jarak lengan momen antara gaya tarik dan gaya tekan pada baut yang terdekat pada sumbu netral.

- Gaya geser pada baut-baut

$$V_a = \frac{Vn}{n}$$

$$V_a = \frac{845308,5}{16}$$

$$V_a = 52831,78 \text{ N}$$

- Desain dan pengecekan kekuatan geser nominal baut

Kuat geser nominal baut:

$$\frac{F_{nv}}{\Omega} = \frac{372}{2}$$

$$F_{nv} = 186 \text{ MPa/baut}$$

Tegangan geser baut:

$$f_v = \frac{V_a}{A_b}$$

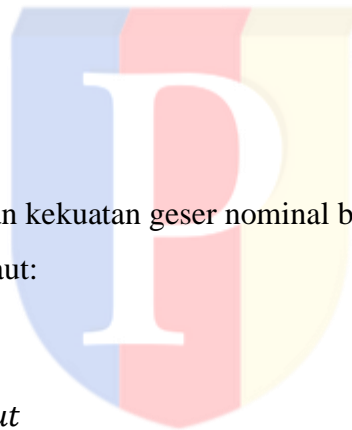
$$f_v = \frac{52831,78}{0,25 \times 3,14 \times 22^2}$$

$$f_v = 139,05 \text{ MPa/baut}$$

Pengecekan baut terhadap kekuatan geser nominal:

$$f_v < F_{nv}$$

$$139,05 < 186 \text{ (memenuhi syarat)}$$



- Desain dan pengecekan kekuatan tarik nominal baut

Kuat tarik nominal baut:

$$\frac{F_{nt}}{\Omega} = \frac{620}{2}$$

$$F_{nt} = 310 \text{ MPa/baut}$$

Tegangan tarik baut:

$$f_t = \frac{T_a}{A_b}$$

$$f_t = \frac{31699,069}{0,25 \times 3,14 \times 22^2}$$

$$f_t = 83,43 \text{ MPa/baut}$$

Pengecekan baut terhadap kekuatan tarik nominal:

$$f_t < F_{nt}$$

$$83,43 < 310 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Desain dan pengecekan kekuatan tarik nominal baut tereduksi

Pengecekan tahanan nominal geser dan tarik baut telah memenuhi syarat, namun akibat dari adanya kombinasi dari gaya geser dan tarik ini menyebabkan efek tahanan nominal tariknya mengalami reduksi berdasarkan *American Institute of Steel Construction (AISC) 360 Eq. J3-3*

$$F'_{nt} = 1,3F_{nt} - \frac{f_v \cdot F_{nt}}{F_{nv}}$$

$$F'_{nt} = 1,3 \times 620 - \frac{139,05 \times 620}{186}$$

$$F'_{nt} = 342,49 \text{ MPa/baut}$$

Pengecekan baut terhadap kekuatan geser nominal tereduksi:

$$f_t < \frac{F'_{nt}}{\Omega}$$

$$83,43 < \frac{342,49}{2}$$

$$83,43 < 171,25 \text{ (memenuhi syarat)}$$

- Kesimpulan

Tabel IV.83 Pengecekan Sambungan Baja WF 900.300.18.34

Pengecekan	Memenuhi Syarat	Tidak Memenuhi Syarat
Spasi Minimum dan Maksimum	Ya	
Kuat Baut Akibat Geser	Ya	
Kuat Baut Akibat Tarik	Ya	
Kuat Baut Akibat Tarik Tereduksi	Ya	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

IV.9.6 Kesimpulan Sambungan

Setelah mendesain dan mencari kekuatan pada sambungan-sambungan pada jembatan, maka berikut adalah kesimpulan dari jumlah, diameter, dan kekuatan nominal sambungan per sisi.

Tabel IV.84 Rekapitulasi Kekuatan Sambungan

Jenis Batang	Jumlah baut (n)	Diameter baut (mm)	Kekuatan yang Ditinjau	Besar Kekuatan Tahanan (N)
Batang diagonal	20	22	Geser Blok	992400
			Kuat Tumpu	4930560
			Kuat Baut	1413376
Batang tepi bawah	36	22	Geser Blok	1461950
			Kuat Tumpu	10076160
			Kuat Baut	2544078
Batang tepi atas	35	22	Geser Blok	1480700
			Kuat Tumpu	11093760
			Kuat Baut	2473409
Batang ikatan angin atas	8	22	Geser Blok	352200
			Kuat Tumpu	979200
			Kuat Baut	565350
Batang ikatan angin bawah	8	22	Geser Blok	473700
			Kuat Tumpu	1013760
			Kuat Baut	565350
Batang gelagar melintang (ke web)	24	22	Kuat Tumpu	4458240
			Kuat Baut	1696052

Batang gelagar melintang (ke pelat buhul)	22	22	Kuat Geser Baut	186 MPa
			Kuat Tarik Baut	310 MPa
			Kombinasi	152,31 MPa
Batang gelagar memanjang (ke web gelagar memanjang)	18	22	Kuat Tumpu	3421440
			Kuat Baut	1272039
Batang gelagar memanjang (ke web gelagar melintang)	16	22	Kuat Geser Baut	186 MPa
			Kuat Tarik Baut	310 MPa
			Kombinasi	171 MPa

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2023)

