

BAB IV PERENCANAAN

4.1 Analisa Pembebanan

4.1.1 Beban Plat Lantai Kendaraan

a. Beban Mati(Qd1)

$$\text{Berat sendiri aspal} : 0,0675 \times 2245 \times 1 \times 1,3 = 196,999 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat sendiri beton} : 0,25 \times 2400 \times 1 \times 1,3 = 780,000 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat steel deck} : 13,48 \times 1 \times 1,1 = 14,828 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Berat air hujan} : 0,05 \times 1000 \times 1 \times 2,0 = \underline{100,000 \text{ Kg/m}}$$

$$Qd1 = 1091,827 \text{ Kg/m}$$

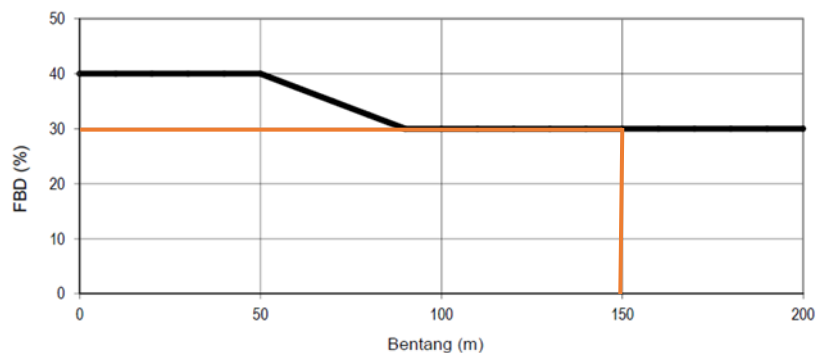
b. Beban Hidup(Q11)

Muatan "T" adalah beban gandar untuk truk maksimum sebesar 225 kN
= 2250 kg atau tekanan roda 112,5 kN = 11250 kg

Faktor Beban : 1,8

Maka P : 11250 x 1,8 = 20250 kg

Faktor beban dinamis (FBD)



Gambar 4.1 Faktor beban dinamis untuk beban T

Untuk pembebanan Truk "T", FBD diambil 30% = 0,3

Sehingga beban T = (1 + 0,3) x 20250 = 26325 kg

4.1.2 Beban Trotoar

a. Beban Mati(Qd2)

$$\text{Berat sendiri beton} : 0,5 \times 2400 \times 1 \times 1,3 = 1560,000 \text{ Kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tegel + spesi} & : 0,05 \times 2400 \times 1 \times 1,3 & = 156,000 \text{ Kg/m} \\
 \text{Berat steel deck} & : 13,48 \times 1 \times 1,1 & = 14,828 \text{ Kg/m} \\
 \text{Berat air hujan} & : 0,05 \times 1000 \times 1 \times 2,0 & = \underline{100,000 \text{ Kg/m}} \\
 \text{Qd2} & & = 1830,828 \text{ Kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Pagar Trotoar(P)

$$\text{Jarak antar pagar} : 1,5 \text{ meter}$$

$$B : 0,2 \text{ meter}$$

$$H : 0,2 \text{ meter}$$

$$t \text{ (tinggi pagar)} : 1,2$$

Jumlah pipa dalam 1 pagar = 2 pipa

$$\text{Diameter pipa baja} : 60,5 \text{ mm}$$

$$\text{Berat pipa baja} : 5,57 \text{ kg/m}$$

$$\text{Jarak sumbu} : y_0 = h/2 = 0,2/2 = 0,1 \text{ m}$$

$$x_0 = b/2 = 0,2/2 = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Berat Kolom Beton} = 0,2 \times 0,2 \times 1,2 \times 2400 \times 1,3 = 149,76 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Besi Sandaran} = 5,57 \times 2 \times 1,5 \times 1,2 = \underline{20,052 \text{ kg}}$$

$$P = 169,812 \text{ kg}$$

c. Beban Hidup(Q12)

Beban hidup trotoar harus mempertimbangkan beban pejalan kaki sebesar $5 \text{ kPa} = 500 \text{ kg/m}^2$.

$$\text{Beban hidup trotoar} = 500 \text{ kg/m}$$

$$\text{Faktor beban} = 1,8$$

$$\text{Maka Q12} = 500 \times 1,8 = 900 \text{ kg/m}$$

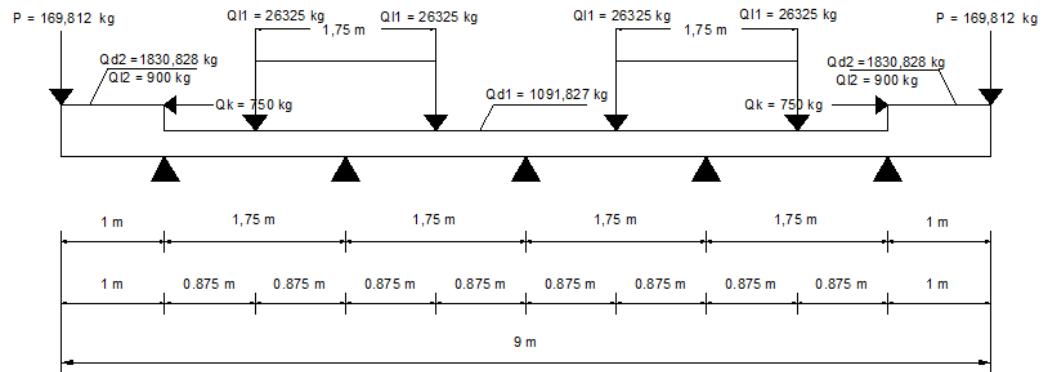
$$\text{Beban Kerb (Qk)} = 1500 \text{ kg/m} \times \text{tebal}_{\text{trotoir}} \times 1 \text{ m}$$

$$= 1500 \times 0,50 \times 1$$

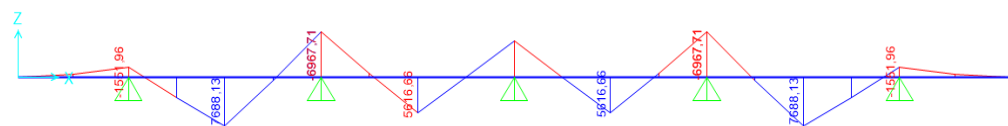
$$= 750 \text{ kgm}$$

4.1.3 Perhitungan Statika

Kondisi I

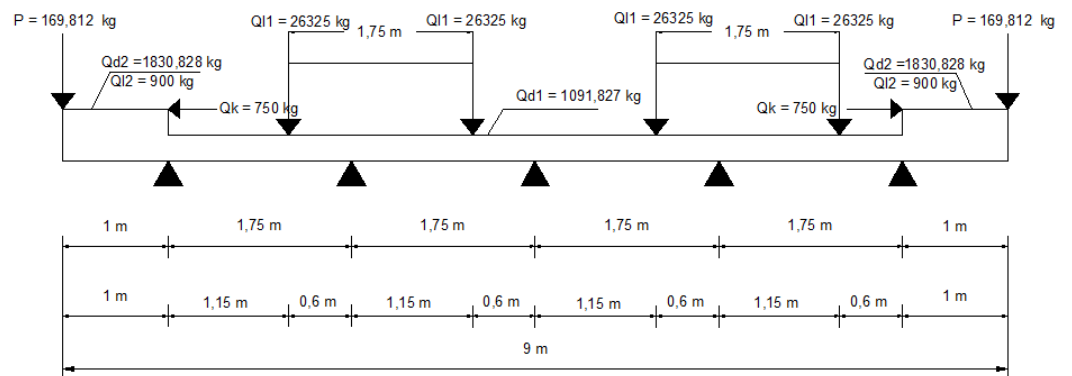


Gambar 4.2 Kondisi Pembebanan I

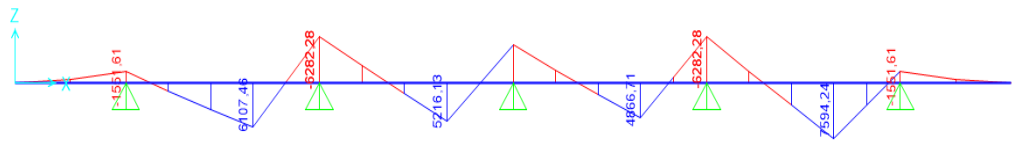


Gambar 4.3 Gaya Momen Pembebanan I

Kondisi II

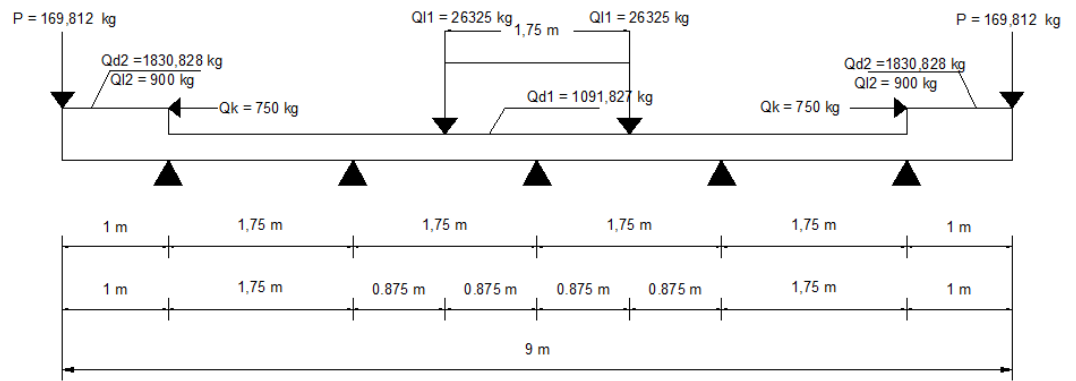


Gambar 4.4 Kondisi Pembebanan II

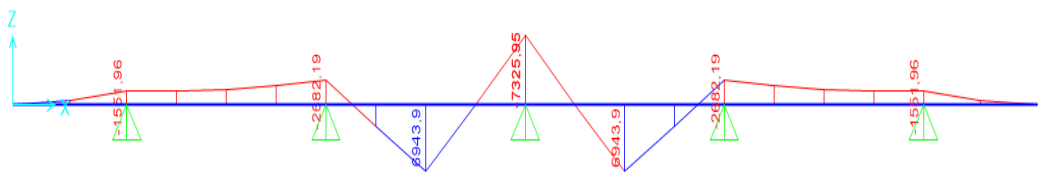


Gambar 4.5 Gaya Momen Pembebanan II

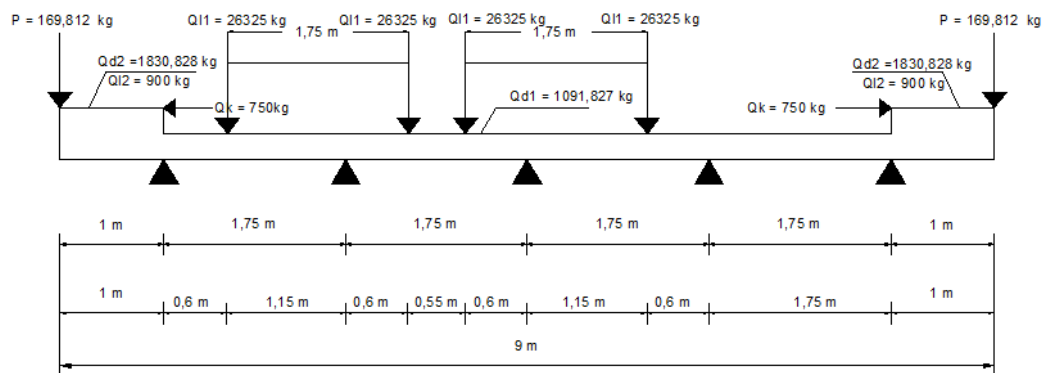
Kondisi III



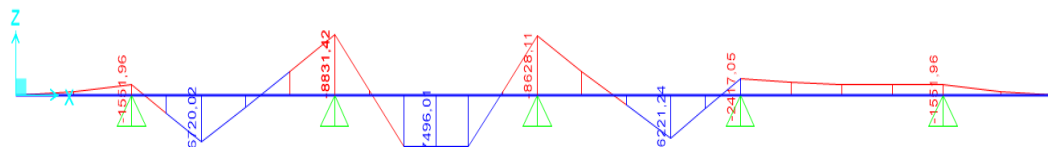
Gambar 4.6 Kondisi Pembebanan III



Gambar 4.7 Gaya Momen Pembebanan III



Gambar 4.8 Kondisi Pembebanan IV



Gambar 4.9 Gaya Momen Pembebanan IV

Tabel 4.1 Momen Maksimum pada Perhitungan Pelat Lantai

No	Tumpuan	Lapangan	Kondisi Pembebanan				Maksimum
			I	II	III	IV	
1	A		0	0	0	0	-
2	B		-1551,96	-1551,96	-1551,96	-1551,96	-1551,96
3	C		-6967,71	-6282,28	-2682,19	-8831,42	-8831,42
4	D		-5694,90	-5170,47	-7325,95	-8628,11	-8628,11
5	E		-6967,71	-6282,28	-2682,19	-2417,05	-6967,71
6	F		-1551,96	-1551,61	-1551,61	-1551,61	-1551,61
7	G		0	0	0	0	-
8		A-B	-430,44	-430,36	-430,44	-430,44	-430,44
9		B-C	7688,13	6107,46	-2076,55	6720,02	7688,13
10		C-D	5616,66	5216,13	6943,90	7496,01	7496,01
11		D-E	5616,66	4866,71	6943,90	6221,24	6943,90
12		E-F	7688,13	7594,24	-2076,55	-1877,69	7688,13
13		F-G	-430,44	-430,36	-430,44	-430,44	-430,44

Jadi didapat momen maksimum untuk daerah tumpuan sebesar **8831,42 Kgm** dan untuk daerah lapangan sebesar **7688,13 Kgm**.

4.2 Perhitungan Penulangan Plat

4.2.1 Perhitungan penulangan pelat pada tumpuan

Dengan menggunakan bantuan program bantu SAP2000 V21, sehingga didapat momen maksimum pada daerah tumpuan pada kondisi pembebanan 4 sebesar 8831,42 Kgm.

$$\begin{aligned} \text{Momen Ultimate (Mu)} &= 8831,42 \quad \text{Kg.m} \\ &= 88314200 \quad \text{N.mm} \\ &= 88,31 \quad \text{KNm} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 16 \quad \text{mm}$$

$$\text{Tinggi plat (h)} = 250 \quad \text{mm}$$

$$\text{Lebar plat (b)} = 1000 \quad \text{mm}$$

Selimut beton = 40 mm
 Mutu beton ($f'c$) = 30 MPa
 Mutu tulangan (f_y) = 490 MPa
 E baja = 200000 MPa

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - 0,5 \times D \\ &= 250 - 40 - 0,5 \times 16 \\ &= 202 \text{ mm} \end{aligned}$$

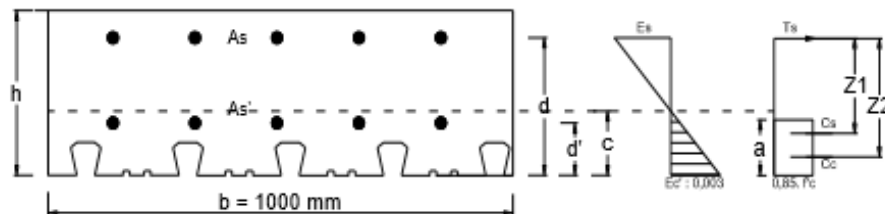
$$\begin{aligned} d' &= h - d \\ &= 250 - 202 \\ &= 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dicoba D16 dengan jarak antar tulangan 200 mm

$$\begin{aligned} A_s = A_{s'} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{200} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 1000}{200} \\ &= 1005,714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mencari Letak Garis Netral

Dimisalkan garis netral $c > d'$



Gambar 4.10 Pemisalan garis netral plat pada daerah tumpuan

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-d'}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{c-48}{c} \cdot 0,003 \cdot 200000 \\ &= \frac{c-48}{c} \cdot 600 \end{aligned}$$

$f_s = 490$ MPa (diambil dari nilai f_y dikarenakan termasuk daerah tarik)

Untuk nilai β_1 ditentukan berdasarkan SNI 2847 – 2019; Tabel 22.2.2.4.3,

jika $28 < f'c < 55$ maka

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

$$= 0,85 - \frac{0,05(30-28)}{7}$$

$$= 0,84$$

$$\sum H = 0$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot (f_s' - 0,85 f_c') - A_s \cdot f_y = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot \beta_1 \cdot c \cdot 1000 + 1005,714 \cdot \left(\frac{c-48}{c} \cdot 600 - 0,85 \cdot f_c'\right) - 1005,714 \cdot 490 = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot 0,84 \cdot 1000 \cdot c + 1005,714 \cdot \left(\frac{c-48}{c} \cdot 600 - 0,85 \cdot 30\right) - 492800 = 0$$

$$21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571c - 28964571,429}{c} - 25645,714\right) - 492800 = 0$$

$$\left(21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571c - 28964571,429}{c} - 25645,714\right) - 492800\right) \cdot c = 0$$

$$21675c^2 + 603428,571c - 28964571,429 - 25645,714c - 492800c = 0$$

$$21675c^2 + 84982,8571c - 28964571,429 = 0$$

$$a \qquad \qquad b \qquad \qquad c$$

Dengan menggunakan rumus ABC didapatkan nilai C sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(84982,857 \pm \sqrt{84982,857^2 - 4 \cdot 21675 \cdot -28964571,429})}{2 \cdot 21675} \\ &= \frac{-110628,571 \pm 1586962,643}{43350} \end{aligned}$$

$$C_1 = 34,648 \text{ mm}$$

$$C_2 = -38,569 \text{ mm}$$

Substitusikan nilai C

$$21675c^2 + 84982,8571c - 28964571,429 = 0$$

$$21675 \cdot (34,648)^2 + 84982,8571 \cdot (34,648) - 28964571,429 = 0$$

$$260210107 + 2944464 - 28964571,429 = 0$$

$$0 = 0 \text{ (nilai C memenuhi)}$$

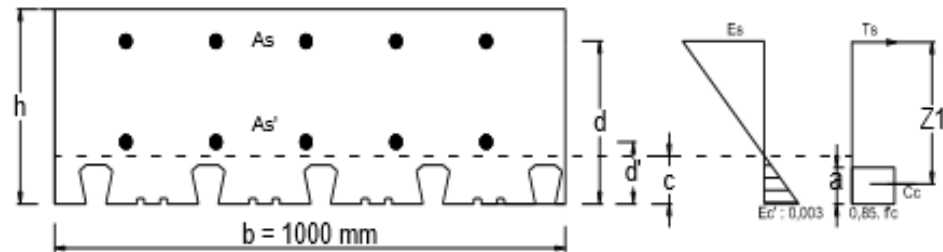
Dari perhitungan diatas nilai $c = 44,385 \text{ mm} < d' = 48 \text{ mm}$

Maka A_s' dianggap seperti A_s terkondisi Tarik.

Karena $c < d'$ maka diasumsikan ulang garis netral.

Mencari Letak Garis Netral Baru

Dimisalkan garis netral $c < d'$



Gambar 4.11 Pemisalan garis netral plat pada daerah tumpuan

$$\sum H = 0$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_y = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot \beta_1 \cdot c \cdot 1000 + 1005,714 \cdot \frac{c-48}{c} \cdot 600 - 1005,714 \cdot 490 = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot 0,84 \cdot 1000 \cdot c + 1005,714 \cdot \frac{c-48}{c} \cdot 600 - 492800 = 0$$

$$21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571 c - 28964571,429}{c} \right) - 492800 = 0$$

$$(21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571 c - 28964571,429}{c} \right) - 492800) \times c = 0$$

$$21675 c^2 + 603428,571 c - 28964571,429 - 492800 c = 0$$

$$21675 c^2 + 110629 c - 28964571,429 = 0$$

$$\begin{matrix} a & b & c \end{matrix}$$

Dengan menggunakan rumus ABC didapatkan nilai C sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(110629 \pm \sqrt{110629^2 - 4 \cdot 21675 \cdot -28964571,429})}{2 \cdot 21675} \\ &= \frac{-110628,571 \pm 1588542,421}{43350} \end{aligned}$$

$$C_1 = 34,093 \quad \text{mm}$$

$$C_2 = -39,197 \quad \text{mm}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{d' - c}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{48 - 34,093}{34,093} \cdot 0,003 \cdot 200000 \end{aligned}$$

$$= 244,758 \text{ MPa} < f_y = 490 \text{ MPa}$$

Karena $c < d'$ maka asumsi benar

$$\begin{aligned} \alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0,84 \cdot 34,093 \\ &= 28,979 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 28,979 \cdot 1000 \\ &= 738956,925 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan Tarik pada serat beton

$$\begin{aligned} T_{s1} &= A_s \cdot f_y \\ &= 1005,714 \cdot 490 \\ &= 492800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{s2} &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 1005,714 \cdot 244,758 \\ &= 246156,925 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} CC &= T_{s1} + T_{s2} \\ 738956,925 \text{ N} &= 492800 \text{ N} + 246156,925 \text{ N} \\ 738956,925 \text{ N} &= 738956,925 \text{ N} \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= d - \frac{1}{2} \alpha \\ &= 202 - \left(\frac{1}{2} \cdot 28,979 \right) \\ &= 187,511 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= CC \cdot Z \\ &= 738956,925 \cdot 187,511 \\ &= 138562292,215 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r &= \phi \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 138562292,215 \\ &= 117777948,382 \text{ Nmm} \\ &= 117,7779 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Kontrol

$$M_r > M_u = 117,7779 \text{ KNm} > 88,31 \text{ KNm}$$

Tulangan Bagi

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10

$$\begin{aligned} \text{As bagi} &= 20\% \cdot \text{As perlu} \\ &= 0,2 \cdot 1005,714 \\ &= 201,143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan bagi tiap meter (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As bagi}}{\text{As ada}} \\ &= \frac{201,143}{78,5} \\ &= 2,562 \text{ digunakan} = 4 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{n} \\ &= \frac{1000}{4} \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas} &= S < 3h \text{ dan } 450 \text{ mm} \\ &= 250 < 3 \times 250 \text{ dan } 450 \text{ mm} \\ &= 250 < 750 \text{ mm dan } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi penulangan pelat pada tumpuan menggunakan D16-200 dan tulangan bagi D10 – 250.

4.2.2 Perhitungan penulangan pelat pada lapangan

Dengan menggunakan bantuan program bantu SAP2000 V21, sehingga didapat momen maksimum pada daerah lapangan pada kondisi pembebanan 1 sebesar 7688,13 Kgm.

$$\begin{aligned} \text{Momen Ultimate (Mu)} &= 7688,13 \quad \text{Kg.m} \\ &= 76881300 \quad \text{N.mm} \\ &= 76,88 \quad \text{KNm} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi plat (h)} = 250 \text{ mm}$$

Lebar plat (b)	= 1000 mm
Selimit beton	= 40 mm
Mutu beton ($f'c$)	= 30 MPa
Mutu tulangan (f_y)	= 490 MPa
E baja	= 200000 MPa

$$d = h - \text{selimit beton} - \frac{1}{2} \times D$$

$$= 250 - 40 - \frac{1}{2} \times 16$$

$$= 202 \text{ mm}$$

$$d' = h - d$$

$$= 250 - 202$$

$$= 48 \text{ mm}$$

Dicoba D16 dengan jarak antar tulangan 200 mm

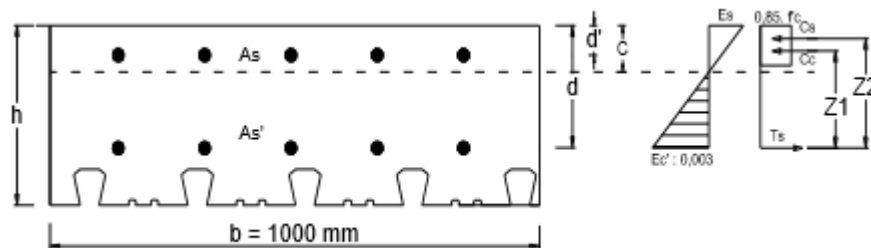
$$A_s = A_s' = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{200}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 1000}{200}$$

$$= 1005,714 \text{ mm}^2$$

Mencari Letak Garis Netral

Dimisalkan garis netral $c > d'$



Gambar 4.12 Pemisalan garis netral plat pada daerah lapangan

$$f_s' = \frac{c-d'}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s$$

$$= \frac{c-48}{c} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

$$= \frac{c-48}{c} \cdot 600$$

$f_s = 490 \text{ MPa}$ (diambil dari nilai f_y dikarenakan termasuk daerah tarik)

Untuk nilai β_1 ditentukan berdasarkan SNI 2847 – 2019; Tabel 22.2.2.4.3,

jika $28 < f'c < 55$ maka

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - \frac{0,05(f'c-28)}{7} \\ &= 0,85 - \frac{0,05(30-28)}{7} \\ &= 0,84\end{aligned}$$

$$\sum H = 0$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot (f_s' - 0,85 f'c) - A_s \cdot f_y = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot \beta_1 \cdot c \cdot 1000 + 1005,714 \cdot \left(\frac{c-48}{c} \cdot 600 - 0,85 \cdot f'c\right) - 1005,714 \cdot 490 = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot 0,84 \cdot 1000 \cdot c + 1005,714 \cdot \left(\frac{c-48}{c} \cdot 600 - 0,85 \cdot 30\right) - 492800 = 0$$

$$21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571c - 28964571,429}{c} - 25645,714\right) - 492800 = 0$$

$$(21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571c - 28964571,429}{c} - 25645,714\right) - 492800) \cdot c = 0$$

$$21675 c^2 + 603428,571 c - 28964571,429 - 25645,714c - 492800 c = 0$$

$$21675 c^2 + 84982,8571 c - 28964571,429 = 0$$

$$\begin{array}{ccc} a & b & c \end{array}$$

Dengan menggunakan rumus ABC didapatkan nilai C sebagai berikut :

$$\begin{aligned}C_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(84982,857 \pm \sqrt{84982,857^2 - 4 \cdot 21675 \cdot -28964571,429})}{2 \cdot 21675} \\ &= \frac{-110628,571 \pm 1586962,643}{43350}\end{aligned}$$

$$C_1 = 34,648 \text{ mm}$$

$$C_2 = -38,569 \text{ mm}$$

Substitusikan nilai C

$$21675 c^2 + 84982,8571 c - 28964571,429 = 0$$

$$21675 \cdot (34,648)^2 + 84982,8571 \cdot (34,648) - 28964571,429 = 0$$

$$260210107 + 2944464 - 28964571,429 = 0$$

$$0 = 0 \text{ (nilai C memenuhi)}$$

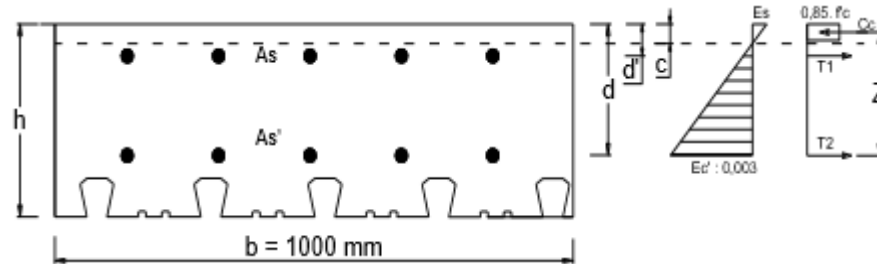
Dari perhitungan diatas nilai $c = 44,385 \text{ mm} < d' = 48 \text{ mm}$

Maka A_s' dianggap seperti A_s terkondisi Tarik.

Karena $c < d'$ maka diasumsikan ulang garis netral.

Mencari Letak Garis Netral Baru

Dimisalkan garis netral $c < d'$



Gambar 4.13 Pemisalan garis netral plat pada daerah lapangan

$$\sum H = 0$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_y = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot \beta_1 \cdot c \cdot 1000 + 1005,714 \cdot \frac{c-48}{c} \cdot 600 - 1005,714 \cdot 490 = 0$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot 0,84 \cdot 1000 \cdot c + 1005,714 \cdot \frac{c-48}{c} \cdot 600 - 492800 = 0$$

$$21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571 c - 28964571,429}{c} \right) - 492800 = 0$$

$$(21675 \cdot c + \left(\frac{603428,571 c - 28964571,429}{c} \right) - 492800) \cdot c = 0$$

$$21675 c^2 + 603428,571 c - 28964571,429 - 492800 c = 0$$

$$21675 c^2 + 110629 c - 28964571,429 = 0$$

$$\begin{matrix} a & b & c \end{matrix}$$

Dengan menggunakan rumus ABC didapatkan nilai C sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-(110629 \pm \sqrt{110629^2 - 4 \cdot 21675 \cdot -28964571,429})}{2 \cdot 21675} \\ &= \frac{-110628,571 \pm 1588542,421}{43350} \end{aligned}$$

$$C_1 = 34,093 \text{ mm}$$

$$C_2 = -39,197 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{d' - c}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{48 - 34,093}{34,093} \cdot 0,003 \cdot 200000 \end{aligned}$$

$$= 244,758 \text{ MPa} < f_y = 490 \text{ MPa}$$

Karena $c < d'$ maka asumsi benar

$$\begin{aligned} \alpha &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0,84 \cdot 34,093 \\ &= 28,979 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot \alpha \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 28,979 \cdot 1000 \\ &= 738956,925 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan Tarik pada serat beton

$$\begin{aligned} T_{s1} &= A_s \cdot f_y \\ &= 1005,714 \cdot 490 \\ &= 492800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{s2} &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 1005,714 \cdot 244,758 \\ &= 246156,925 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} CC &= T_{s1} + T_{s2} \\ 738956,925 \text{ N} &= 492800 \text{ N} + 246156,925 \text{ N} \\ 738956,925 \text{ N} &= 738956,925 \text{ N} \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= d - \frac{1}{2} \alpha \\ &= 202 - \frac{1}{2} \cdot (28,979) \\ &= 187,511 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= CC \cdot Z \\ &= 738956,925 \cdot 187,511 \\ &= 138562292,215 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r &= \phi \cdot M_n \\ &= 0,9 \cdot 138562292,215 \\ &= 117777948,382 \text{ Nmm} \\ &= 117,7779 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Kontrol

$$M_r > M_u = 117,7779 \text{ KNm} > 76,88 \text{ KNm}$$

Tulangan Bagi

Direncanakan menggunakan tulangan bagi D10

$$\begin{aligned} \text{As bagi} &= 20 \% \cdot \text{As perlu} \\ &= 0,2 \cdot 1005,714 \\ &= 201,143 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

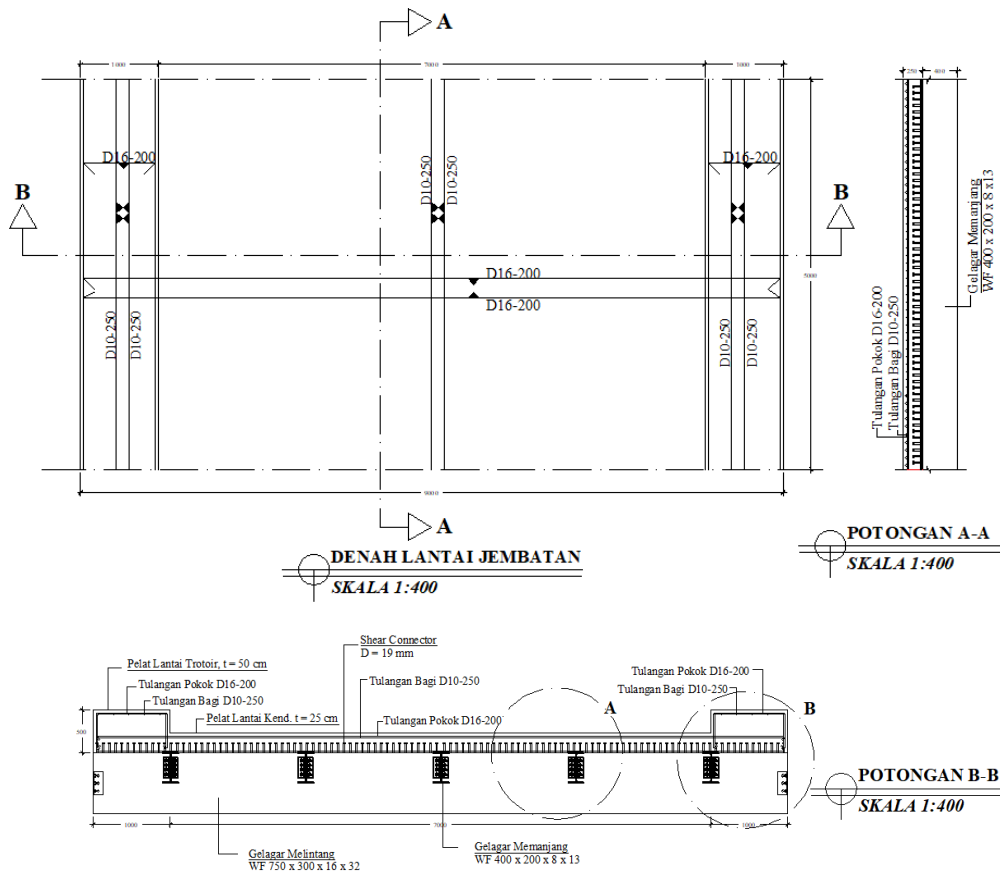
Jumlah tulangan bagi tiap meter (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As bagi}}{\text{As ada}} \\ &= \frac{201,143}{78,5} \\ &= 2,562 \text{ digunakan} = 4 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{n} \\ &= \frac{1000}{4} \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas} &= S < 3h \text{ dan } 450 \text{ mm} \\ &= 250 < 3 \times 250 \text{ dan } 450 \text{ mm} \\ &= 250 < 750 \text{ mm dan } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi penulangan pelat pada lapangan menggunakan D16-200 dan tulangan bagi D10 – 250.



Gambar 4.14 Penulangan plat lantai kendaraan dan trotoir

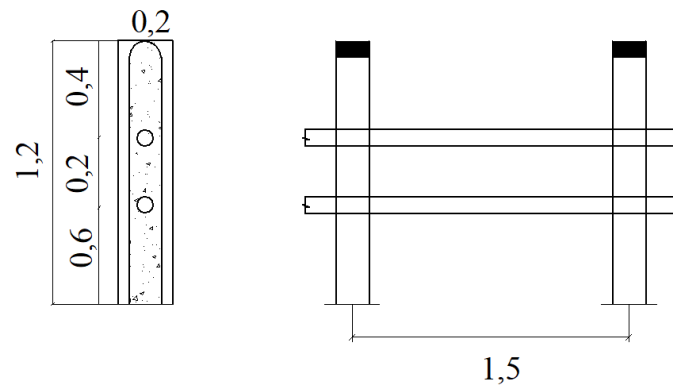
4.2.3 Perhitungan Penulangan Pagar Trotoar

Tiang sandaran jembatan harus dapat menahan beban horizontal 100 kg/m yang bekerja 0,9 m di atas trotoir.

Data Perencanaan :

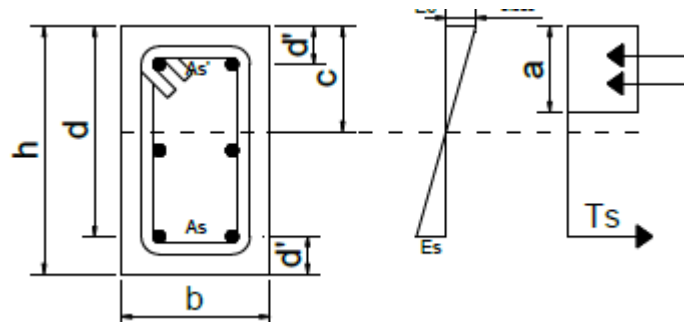
- Jarak antar pagar : 1,5 meter
- B : 0,2 meter = 200 mm
- H : 0,2 meter = 200 mm
- t (tinggi pagar) : 1,2 m
- Jumlah pipa dalam 1 pagar = 2 pipa
- Diameter pipa baja : 60,5 mm
- Berat pipa baja : 5,57 kg/m
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Mutu beton (f_c) = 30 Mpa
- Mutu tulangan = A490

Beban $P = 169,812 \text{ kg/m}$



Gambar 4.15 Detail Pagar Trotoar

$$\begin{aligned} M_u &= P \times \text{jarak antar pagar} \times h \\ &= 169,812 \times 1,5 \times 0,9 \\ &= 229,246 \text{ kgm} \\ &= 22924600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Gambar 4.16 Diagram Regangan dan Tegangan Kolom Pagar

Direncanakan diameter tulangan D10 mm:

$$d = h - \text{Tebal selimut} - 0,5 \times D \text{ Tulangan}$$

$$= 200 - 40 - (0,5 \times 10)$$

$$= 155 \text{ mm}$$

$$d' = d_s = h - d$$

$$= 200 - 155$$

$$= 45 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{M_u}{0,8 \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{2292462}{0,8 \cdot 200 \cdot 24025} \end{aligned}$$

$$= \frac{22924600}{3844000}$$

$$= 5,964$$

$$P \text{ perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f_c}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{490} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{11,927}{0,85 \cdot 30}}\right)$$

$$= 0,0141$$

$$P \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{490} = 0,0028$$

$$P \text{ perlu} = 0,0141 > P \text{ min} = 0,0028$$

$$A_s = P \times B \times d$$

$$= 0,0028 \times 200 \times 155$$

$$= 86,8 \text{ mm}^2$$

Dicoba dengan 6 tulangan D 10 mm :

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \text{Jumlah tulangan}$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 6$$

$$= 471 \text{ mm}^2$$

Kontrol kekuatan komponen kolom :

Dianggap tulangan baja leleh pada saat mulai retak :

$$E_c = 0,003, f_s = f_y$$

$$N_r = ND$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$= \frac{86,8 \times 490}{0,85 \times 30 \times 200}$$

$$= 8,339 \text{ mm}$$

Untuk nilai β_1 ditentukan berdasarkan SNI 2847 – 2019; Tabel 22.2.2.4.3,

jika $28 < f_c' < 55$ maka

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f_c - 28)}{7}$$

$$= 0,85 - \frac{0,05 (30 - 28)}{7}$$

$$= 0,84$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,339}{0,84} = 9,810 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_s &= 600 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \\ &= 600 \times \left(\frac{155-9,810}{9,810}\right) \\ &= 8880,1 > f_y = 490 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_g \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 471 \times 490 \times \left(155 - \frac{8,339}{2}\right) \\ &= 34810286,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

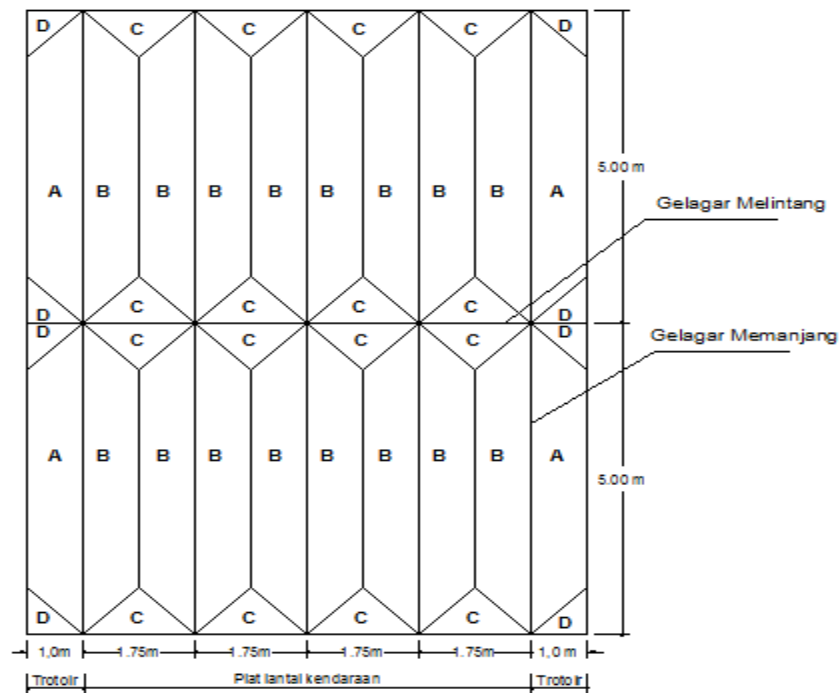
$$\begin{aligned} M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 34810286,49 \\ &= 31329257,841 \text{ Mpa} > 22924600 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Maka, dipakai tulangan geser praktis, Dipakai tulangan sengkang D10-100 mm.

4.3 Perhitungan Gelagar Memanjang dan Melintang

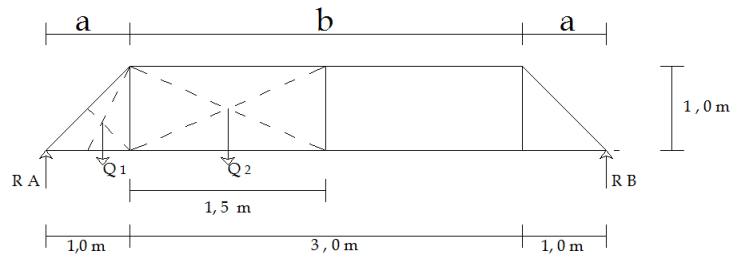
4.3.1 Perhitungan Perataan Beban Gelagar

Perataan beban yaitu meratakan beban yang bekerja pada bidang luasan yang diratakan kepada titik tujuan yang diinginkan. Perhitungan perataan beban seperti pada perhitungan berikut :



Gambar 4.17 Denah perataan beban lantai kendaraan dan trotoir

1. Perataan beban tipe A



Gambar 4.18 Perataan beban tipe A

$$Q1 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 = 0,5$$

$$Q2 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 1 = 1,5$$

$$\begin{aligned} RA &= RB = Q1 + Q2 \\ &= 0,5 + 1,5 = 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= (2,5 RA) - [(Q1 \cdot (\frac{1}{3} \cdot a + \frac{1}{2} \cdot b)) - (Q2 \cdot \frac{1}{4} \cdot b)] \\ &= (2,5 \cdot 2) - [(0,5 (\frac{1}{3} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 3))] - (1,5 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3) \\ &= 5 - 1,917 - 1,125 \\ &= 2,958 \end{aligned}$$

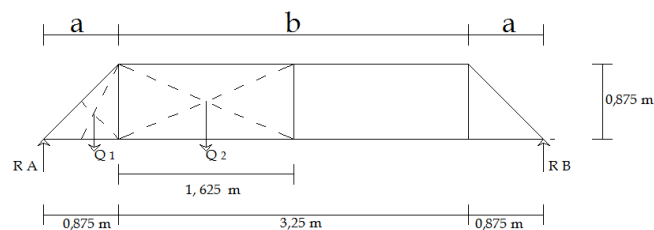
$$\begin{aligned} M2 &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot 5^2 \\ &= 3,125 h \end{aligned}$$

$$M1 = M2$$

$$2,958 = 3,125 h$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{2,958}{3,125} \\ &= \mathbf{0,947 < 1 \text{ m (OK)}} \end{aligned}$$

b. Perataan beban tipe B



Gambar 4.19 Perataan beban tipe B

$$Q1 = \frac{1}{2} \cdot 0,875 \cdot 0,875 = 0,382$$

$$Q2 = \frac{1}{2} \cdot 3,25 \cdot 0,875 = 1,422$$

$$\begin{aligned} RA &= RB = Q1 + Q2 \\ &= 0,382 + 1,422 = 1,805 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= (2,5 RA) - [(Q1 \cdot (\frac{1}{3} \cdot a + \frac{1}{2} \cdot b)) - (Q2 \cdot \frac{1}{4} \cdot b)] \\ &= (2,5 \cdot 1,805) - [(0,382 (\frac{1}{3} \cdot 0,875 + \frac{1}{2} \cdot 3,25))] - (1,422 \times \frac{1}{4} \cdot 3,25) \\ &= 4,512 - 0,732 - 1,155 \\ &= 2,623 \end{aligned}$$

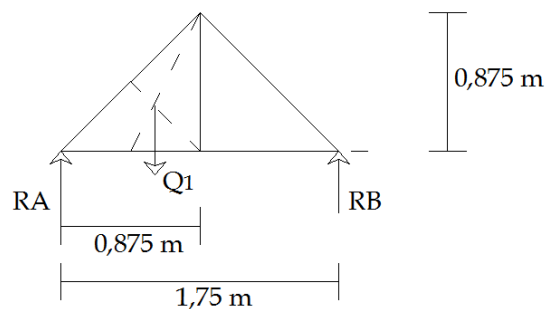
$$\begin{aligned} M2 &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot 5^2 \\ &= 3,125 h \end{aligned}$$

$$M1 = M2$$

$$2,623 = 3,125 h$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{2,623}{3,125} \\ &= \mathbf{0,839 < 0,875 \text{ m (OK)}} \end{aligned}$$

c. Perataan beban tipe C



Gambar 4.20 Perataan beban tipe C

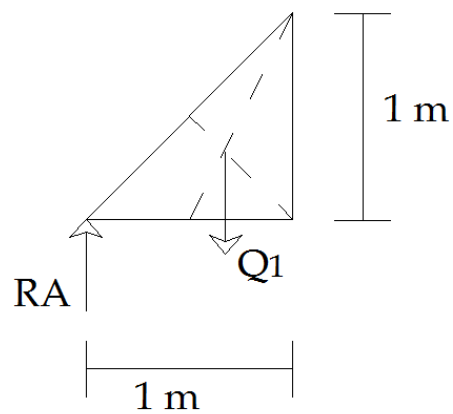
$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{2} \cdot 0,875 \cdot 0,875 \\ &= 0,383 \end{aligned}$$

$$RA = RB = Q = 0,383$$

$$M1 = (RA \cdot 0,875) - (Q1 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,875)$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,383 \cdot 0,875) - (0,383 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,875) \\
 &= 0,335 - 0,112 \\
 &= 0,223 \\
 M2 &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot l^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot 1,75^2 \\
 &= 0,383 h \\
 M1 &= M2 \\
 0,223 &= 0,383 h \\
 h &= \frac{0,223}{0,383} \\
 &= \mathbf{0,583 < 0,875 \text{ (OK)}}
 \end{aligned}$$

d. Perataan beban tipe D



Gambar 4.21 Perataan beban tipe D

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1 \\
 &= 0,50 \\
 R_A &= Q \\
 &= 0,5 \\
 M1 &= Q \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 - (R_A \cdot 0) \\
 &= 0,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 \\
 &= 0,333 \\
 M2 &= \frac{1}{2} \cdot h \cdot l^2
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot h \cdot l^2$$

$$= 0,5 h$$

$$M1 = M2$$

$$0,333 = 0,5 h$$

$$h = \frac{0,333}{0,5}$$

$$= 0,667 < 1 \text{ m (OK)}$$

Hasil :

- a. Pemerataan beban tipe A = 0,947
- b. Pemerataan beban tipe B = 0,839
- c. Pemerataan beban tipe C = 0,583
- d. Pemerataan beban tipe D = 0,667

4.3.2 Perencanaan Gelagar Memanjang

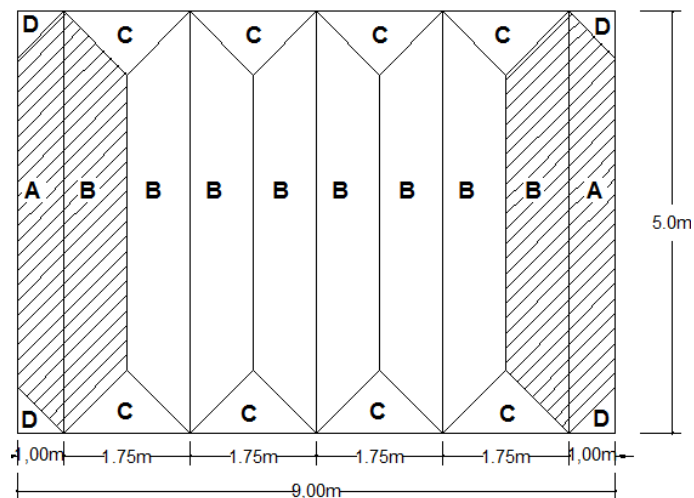
Data perencanaan jembatan :

- a. Jarak antar gelagar memanjang = 1,75 m
- b. Jarak antar gelagar melintang = 5 m
- c. qutr (beban mati trotoar) = 1830,828 kg/m
- d. qult (beban mati rantai kendaraan) = 1091,827kg/m

1. Pembebanan

- a. Beban Mati

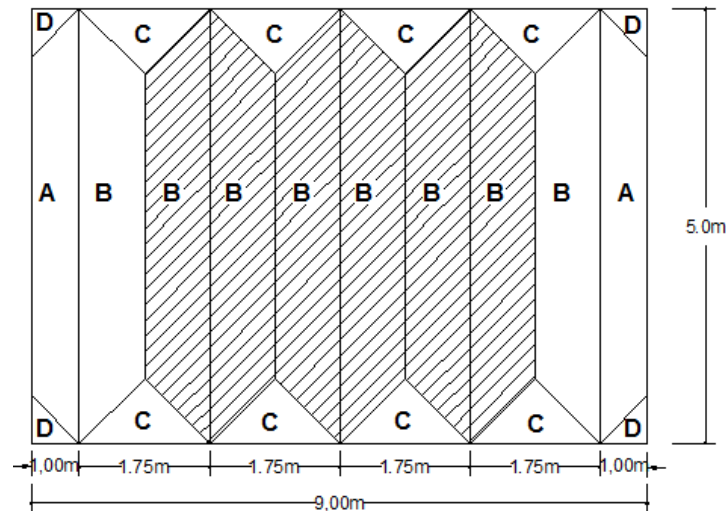
Akibat lantai trotoar (untuk gelagar tepi) :



Gambar 4.22 Perataan beban akibat lantai trotoir

$$\begin{aligned}
 Q_{d_{\text{Tepi}}} &= (\text{Perataan beban A x Q Plat Trotoar}) + (\text{Perataan beban B x Q lantai kendaraan}) \\
 &= (0,947 \times 1830,828) + (0,839 \times 1091,827) \\
 &= 2649,522 \text{ Kg/m}
 \end{aligned}$$

Akibat lantai kendaraan (untuk gelagar tengah) :



Gambar 4.23 Perataan beban akibat lantai kendaraan

$$\begin{aligned}
 Q_{d_{\text{Tengah}}} &= (\text{Perataan beban B x Q lantai kendaraan}) + (\text{Perataan beban B x Q lantai kendaraan}) \\
 &= (0,839 \times 1091,827) + (0,839 \times 1091,827) \\
 &= 1832,677 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Beban Hidup Akibat "D"

Beban D menjadi penentuan dalam perhitungan gelagar memanjang. Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabungkan dengan garis (BGT). (Sumber : SNI 1725-2016, Hal. 38)

➤ Beban Terbagi Rata

$$\begin{aligned}
 Q &= 9 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\
 &= 9 \cdot (0,5 + 15/150) \text{ kPa} \\
 &= 5,400 \text{ Kp} \\
 &= 540 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Akibat lantai trotoar (untuk gelagar tepi) :

$$\text{BTR}_{\text{Tepi}} = Q \times \text{Perataan beban B} \times \left(\frac{1}{2}\right) \times \text{jarak antar gelagar}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{memanjang}) \\
 & = 540 \times 0,839 \times \left(\frac{1}{2} \times 1,75\right) \\
 & = 396,428 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Akibat lantai kendaraan (untuk gelagar tengah) :

$$\begin{aligned}
 \text{BTR}_{\text{Tengah}} &= Q \times (2 \times \text{Perataan beban tipe B}) \times \left(2 \times \frac{1}{2} \times \text{Jarak antar}\right. \\
 & \quad \left.\text{gelagar memanjang}\right) \\
 &= 540 \times (2 \times 0,839) \times \left(2 \times \frac{1}{2} \times 1,75\right) \\
 &= 1585,710 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

➤ **Beban Garis Terpusat**

FBD = 30% untuk L = 150 m (*Lihat gambar 4.1*)

Beban garis (P) = 49,0 kN = 4900 kg

Dilihat dari grafik diatas maka diambil FBD sebesar 30%

$$\begin{aligned}
 \text{BGT}_{\text{Tepi}} &= P \times (1 + \text{FBD}) \times \left(\frac{1}{2} \times \text{Jarak antar gelagar memanjang}\right) \\
 &= 4900 \times (1 + 0,3) \times \left(\frac{1}{2} \times 1,75\right) \\
 &= 5573,750 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

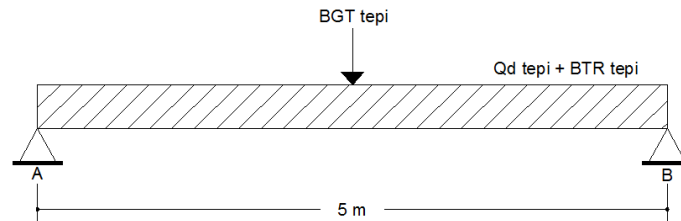
$$\begin{aligned}
 \text{BGT}_{\text{Tengah}} &= P \times (1 + \text{FBD}) \times \left(2 \times \frac{1}{2} \times \text{Jarak antar gelagar}\right. \\
 & \quad \left.\text{memanjang}\right) \\
 &= 4900 \times (1 + 0,3) \times \left(2 \times \frac{1}{2} \times 1,75\right) \\
 &= 11147,500 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Kesimpulan gelagar memanjang

Uraian	Nilai	Faktor Beban	Total
Beban Mati			
Qd _{Tepi}	2649,522 Kg/m		2649,522 Kg/m
Qd _{Tengah}	1832,677 Kg/m		1832,677 Kg/m
Beban Hidup			
BTR _{Tepi}	396,428 Kg/m	2	792,855 Kg/m
BTR _{Tengah}	1585,710 Kg/m	2	3171,420 Kg/m
BGT _{Tepi}	5573,750 Kg	2	11147,5 Kg
BGT _{Tengah}	11147,500 Kg	2	22295 Kg

2. Perhitungan Statika

- Gelagar memanjang tepi akibat beban mati + beban hidup D :



Gambar 4.24 Pembebanan gelagar tepi akibat beban mati + beban hidup D

$$\sum M_n = 0$$

$$R_A \times 5 - BGT_{Tepi} \times 2 - (Qd_{Tepi} + BTR_{Tepi}) \times L \times 1/2L = 0$$

$$R_A \times 5 - 11147,5 \times 2 - 3442,377 \times 5 \times 1/2 \times 5 = 0$$

$$R_A \times 5 - 65324,715 = 0$$

$$R_A \times 5 = 65324,715$$

$$R_A = 13064,943 \text{ Kg}$$

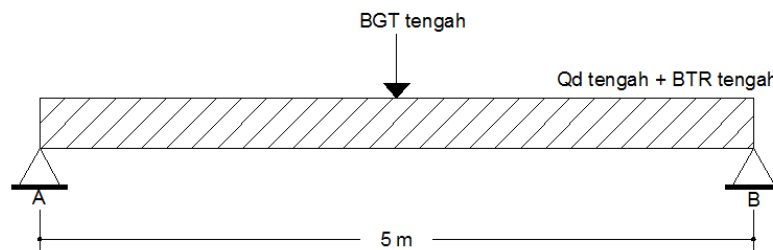
$$M_{maks} = 1/8 (Qd_{Tepi} + BTR_{Tepi}) \times L^2 + 1/4 BGT_{Tepi} \times L$$

$$= 1/8 \times 3442,377 \times 5^2 + 1/4 \times 11147,5 \times 5$$

$$= 10757,4281 + 13933,75$$

$$= 24691,178 \text{ Kgm}$$

- Gelagar memanjang tengah akibat beban mati + beban hidup D :



Gambar 4.25 Pembebanan gelagar tengah akibat beban mati + beban hidup D

$$\sum M_n = 0$$

$$R_A \times 5 - BGT_{Tengah} \times 2 - (Qd_{Tengah} + BTR_{Tengah}) \times L \times 1/2L = 0$$

$$R_A \times 5 - 22295 \times 2 - 5004,097 \times 5 \times 1/2 \times 5 = 0$$

$$R_A \times 5 - 107141,209 = 0$$

$$RA \times 5 = 107141,209$$

$$RA = 21428,242 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{maks}} &= 1/8 (Qd_{\text{Tengah}} + BTR_{\text{Tengah}}) \times L^2 + 1/4 BGT_{\text{Tengah}} \times L \\ &= 1/8 \times 5004,097 \times 5^2 + 1/4 \times 22295 \times 5 \\ &= 15637,802 + 27868,750 \\ &= 43506,552 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan :

$$\text{Momen terbesar } Mu = 43506,552 \text{ Kgm}$$

$$\text{Gaya geser terbesar } Vu = 21428,242 \text{ Kg}$$

3. Perhitungan Dimensi Gelagar Memanjang

Data perencanaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$Mu = 43506,552 \text{ kg.m}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu Baja} = \text{ASTM A572}$$

$$fy = 415 \text{ MPa}$$

$$fu = 520 \text{ MPa}$$

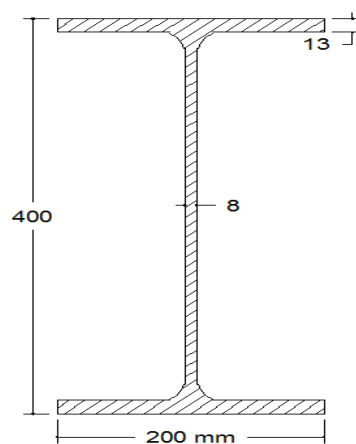
$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

$$L \text{ (panjang gelagar)} = 5 \text{ m} = 500 \text{ cm}$$

$$B_0 \text{ (jarak antar gelagar)} = 1,75 \text{ m} = 175 \text{ cm}$$

$$h \text{ beton} = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

Dicoba menggunakan profil WF 400 x 200 x 8 x 13



Gambar 4.26 Penampang gelagar memanjang

Data Baja WF 400 x 200 x 8 x 13 berdasarkan tabel baja sebagai berikut :

- W = 66 Kg/m
- H = 400 mm
- B = 200 mm
- tw = 8 mm
- tf = 13 mm
- A = 84.12 cm²
- Ix = 23700 cm⁴
- Iy = 1740 cm⁴
- r = 16 mm
- Zx = 1190 cm³
- Zy = 174

Momen beban sendiri baja profil :

$$\begin{aligned} M_b &= \frac{1}{8} \cdot W \cdot L^2 \cdot \text{Faktor beban baja} \\ &= \frac{1}{8} \cdot 66 \cdot 5^2 \cdot 1,1 \\ &= 226,875 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u \text{ total} &= M_u + M_b \\ &= 43506,552 + 226,875 \\ &= 43733,427 \text{ kgm} \end{aligned}$$

a. Kontrol kelangsingan penampang

Cek kelangsingan sayap :

$$\lambda = \frac{b}{2 t_f} = \frac{200}{2 \times 13} = 7,69$$

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}} \\ &= 8,34 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 1,00 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,00 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}} \end{aligned}$$

$$= 21,95$$

Cek kelangsingan badan :

$$\begin{aligned}\lambda_w &= \frac{h-2tf}{tw} \\ &= \frac{400-2 \cdot 13}{8} \\ &= 46,75\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 3,76 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}} \\ &= 82,54\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 5,70 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 5,70 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}} \\ &= 125,13\end{aligned}$$

Persyaratan penampang kompak : $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$

$$\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r = 7,69 < 8,34 \leq 21,95 \quad \mathbf{OK}$$

$$\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r = 46,75 < 82,54 \leq 125,13 \quad \mathbf{OK}$$

Karena kontrol kelangsingan memenuhi syarat, maka penampang dinyatakan kompak.

b. Kontrol kekuatan penampang sebagai balok komposit

Perhitungan bE

$$L = 5,00 \text{ m} = 500 \text{ cm}$$

$$B_o = 1,75 \text{ m} = 175 \text{ cm}$$

$$bE \leq \frac{L}{4} = \frac{500}{4} = 125 \text{ cm}$$

$$bE \leq b_o = 175 \text{ cm}$$

Maka dipakai nilai bE terkecil yaitu 125 cm.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas (n)

$$\begin{aligned}E_{\text{beton}} &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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

Menentukan nilai n

$$\begin{aligned} n &= \frac{E \text{ baja}}{E \text{ beton}} \\ &= \frac{200000}{25742,96} \\ &= 7,769 \end{aligned}$$

Lebar efektif ekuivalen

$$\begin{aligned} \text{Maka } bE' &= \frac{bE}{n} \\ &= \frac{125}{7,769} \\ &= 16,09 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perhitungan properti elastis penampang

Pelat beton :

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (A1)} &= bE' \cdot h \text{ beton} \\ &= 16,09 \cdot 25 \\ &= 402,23 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan momen (Z1)} &= \frac{1}{2} \cdot h \text{ beton} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 25 \\ &= 12,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A1 \cdot Z1 &= 402,23 \times 12,5 \\ &= 5027,92 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Baja :

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (A2)} &= 84,1 \text{ cm}^2 \\ \text{Lengan momen (Z2)} &= \frac{1}{2} \cdot h \text{ baja} + h \text{ beton} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 40 + 25 \\ &= 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A2 \cdot Z2 &= 84,1 \times 45 \\ &= 3784,50 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Maka disimpulkan dengan tabel berikut :

Tabel 4.3 Perhitungan properti elastis penampang komposit

	Luas Penampang (A) cm ²	Lengan Momen (Z) cm	StatisMomen A.Z Cm ³
Beton	402,23	12,5	5027,92
Baja	84,1	45	3784,50
Σ	486,334		8812,422

Diukur dari bagian atas pelat :

$$Y_a = \frac{\Sigma A.Z}{\Sigma A} \qquad Y_b = h \text{ beton} + h \text{ baja} - Y_a$$

$$= \frac{8812,422}{486,334} \qquad = 25 + 40 - 18,12$$

$$= 18,12 \text{ cm} \qquad = 46,88 \text{ cm}$$

Beton :

$$I_o = \frac{1}{12} \cdot bE \cdot h \text{ plat beton}^3 \qquad d_1 = Y_a - \frac{1}{2} \cdot h \text{ beton}$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 16,09 \cdot 25^3 \qquad = 18,12 - \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 20949,67 \text{ cm}^4 \qquad = 5,62 \text{ cm}$$

Baja :

$$I_o = 23700 \text{ cm}^4$$

$$d_2 = Y_b - \frac{1}{2} \cdot h \text{ baja}$$

$$= 46,88 - \frac{1}{2} \cdot 40$$

$$= 26,88 \text{ cm}$$

Tabel 4.4 Perhitungan properti elastis penampang komposit

No	Keterangan	A	I _o	d	I _o + A x d ²
		cm ²	cm ⁴	cm	cm ⁴
1	Pelat beton	402,23	20949,67	5,62	33654,49
2	Baja	84,1	23700	26,88	84464,64
I komposit					118119,13

Diketahui :

$$f_y \text{ profil baja} = 415 \text{ MPa}$$

$$A_s \text{ profil baja} = 8412 \text{ mm}^2$$

$$b_E = 1250 \text{ mm}$$

Menentukan resultan gaya kopel maksimum :

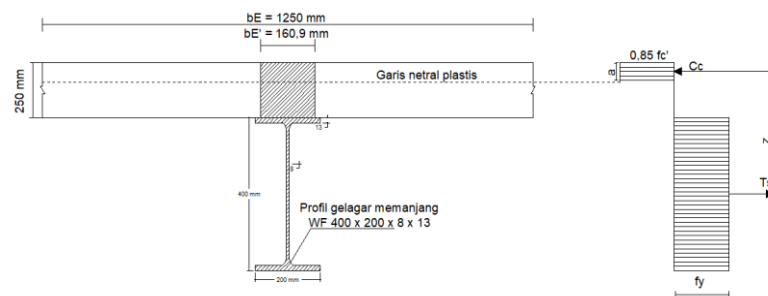
- Resultan gaya tekan maksimum (C)

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \times f_c \times A_c \\ &= 0,85 \times 30 \times (250 \times 1250) \\ &= 7968750 \text{ N} \end{aligned}$$

- Resultan gaya tarik maksimum (T)

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 8412 \times 415 \\ &= 3490980 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena $C > T$, maka garis netral plastis berada di pelat beton.



Gambar 4.27 Distribusi tegangan plastis penampang komposit

Keseimbangan gaya $C = T$, maka diperoleh :

$$\begin{aligned} a &= \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f_c' \times b_E} \leq h \text{ beton} \\ &= \frac{415 \times 8412}{0,85 \times 30 \times 1250} \leq h \text{ beton} \\ &= 109,520 \leq 250 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Dapat disimpulkan jika nilai $a < h$ beton, maka pelat beton dapat mengimbangi gaya tarik yang terjadi pada profil baja.

Menentukan nilai C_c dan T_s :

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c \times a \times B_e \\ &= 0,85 \times 30 \times 109,520 \times 1250 \\ &= 3490980 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 8412 \times 415 \end{aligned}$$

$$= 3490980 \text{ N}$$

Kontrol:

$$C_c - T_s = 0$$

$$3490980 - 3490980 = 0 \text{ (OK)}$$

Maka kapasitas momen nominal (M_n):

$$\begin{aligned} M_n &= T_s \times Z \\ &= 3490150 \times \left(\left(\frac{1}{2} \times 400 \right) + \left(250 - \frac{1}{2} \times 109,520 \right) \right) \\ &= 1379773292,386 \text{ Nmm} \\ &= 137977,329 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kuat lentur rencana

$$\begin{aligned} M_r &= \phi M_n \\ &= 0,9 \times 137977,329 \\ &= 124179,596 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Kontrol

$$M_r > M_u$$

$$124179,596 \text{ kgm} > 43506,552 \text{ kgm (OK)}$$

c. Kontrol terhadap lendutan

Besarnya lendutan yang terjadi pada balok dihitung terhadap kondisi layan akibat beban hidup (tanpa faktor beban) dan lendutan maksimumnya dibatasi $L/360$.

$$\Delta_{ijin} = 5000/360 = 13,9 \text{ mm}$$

Menghitung elastisitas komposit :

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_c \times \left(\frac{A_c}{A_c + A_s} \right) + E_s \times \left(\frac{A_s}{A_c + A_s} \right)}{2} \\ &= \frac{25742,96 \times \left(\frac{312500}{312500 + 8412} \right) + 200000 \times \left(\frac{8412}{312500 + 8412} \right)}{2} \\ &= 15155,36 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Momen inersia komposit :

$$I = 118119,12 \text{ cm}^4 = 1181191294 \text{ mm}^4$$

Maka lendutan maksimum :

$$M_u \text{ total} = 43733,427 \text{ Kgm} = 437334271,6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}\Delta_D &= \frac{Mu_{total} \times L^2}{48 \times E \times I} \\ &= \frac{437334271,6 \times 5000^2}{48 \times 15155,36 \times 1181191294} \\ &= 12,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\Delta_D < \Delta_{ijin}$$

$$12,7 \text{ mm} < 13,9 \text{ mm (OK)}$$

d. Kontrol kekuatan geser

$$V_u = 21428,242 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}d &= h_{baja} - 2r - 2t_f \\ &= 400 - 2.16 - 2.13 \\ &= 342 \text{ mm}\end{aligned}$$

Luas total pelat badan :

$$\begin{aligned}A_w &= d \times t_w \\ &= 342 \times 8 \\ &= 2736\end{aligned}$$

Koefisien geser pelat badan :

$$\text{Jika } h/t_w \leq 2,24 \sqrt{E/F_y}$$

$$d/t_w < 2,24 \sqrt{E/F_y}$$

$$342/8 < 2,24 \cdot \sqrt{200000/415}$$

$$42,75 < 49,174 \text{ (OK)}$$

Maka :

$$C_{v1} = 1$$

$$\phi_v = 0,9$$

Kapasitas geser penampang

$$\begin{aligned}V_n &= \phi_v \cdot 0,6 f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\ &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 415 \cdot 2736 \cdot 1 \\ &= 613137,6 \text{ N} \\ &= 61313,8 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kontrol :

$$V_n > V_u$$

$$61313,8 > 21428,242 \text{ kg (OK)}$$

e. Perencanaan penghubung geser

Tabel 4.5 Ukuran penghubung geser

Alat Penyambung
Stud pancing atau berkepala 2'' dengan diameter ½ ''
Stud Pancing atau berkepala 2 ½ '' dengan diameter 5/8''
Stud pancing atau berkepala 3'' dengan diameter ¾ ''
Stud pancing atau berkepala 3 ½ '' dengan diameter 7/8''

Sumber : Charles G Salmon Jilid 2 Edisi ke 2 hal .38

Untuk tinggi stud minimum adalah ½ dari tebal pelat lantai

$$h = \frac{1}{2} \times 250$$

$$= 125 \text{ mm}$$

Maka digunakan tinggi stud 125 mm.

Diameter maksimum stud yang diijinkan

$$2,5 \times t_f = 2,5 \times 13$$

$$= 32,5 \text{ mm}$$

Digunakan shear connector berkepala dengan $\varnothing \frac{3}{4}$ (D = 19 mm)

Luasan satu buah shear connector

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

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2$$

$$= 283,643 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 25742,96 \text{ MPa}$$

Kuat nominal 1 stud

$$Q_n = 0,5 \times A_s \times \sqrt{f_c'} \times E_c \leq R_g \times R_p \times A_s \times F_u$$

$$= 0,5 \times 283,643 \times \sqrt{30 \times 25742,96} \leq 1 \times 0,75 \times 283,643 \times 520$$

$$= 124632,620 \text{ N} > 110620,714 \text{ N}$$

$$\sum Q_n = 110620,714 \text{ N}$$

Gaya geser horizontal (V_h) adalah yang terkecil dari :

- Kehancuran beton

$$C_{\max} = 0,85 \times f_c \times b_E \times t_s$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1250 \times 250$$

$$= 7968750 \text{ N}$$

- Leleh tarik dari penampang baja

$$T_{\max} = f_y \times A_s$$

$$= 415 \times 8410$$

$$= 3490150 \text{ N}$$

Maka digunakan yang terkecil $V_h = 3490150 \text{ N}$

Jumlah penghubung geser yang dibutuhkan :

$$n = \frac{V_h}{Q_n}$$

$$= \frac{3490150}{110620,714}$$

$$= 31,55 = 50 \text{ buah}$$

Jarak konektor geser yang harus dipasang pada gelagar memanjang:

- Jarak minimum longitudinal

$$S_{\min} = 6 \times D$$

$$= 6 \times 19$$

$$= 114 \text{ mm}$$

- Jarak maksimum longitudinal

$$S_{\max} = 8 \times t_s$$

$$= 8 \times 250$$

$$= 2000 \text{ mm}$$

- Jarak minimum transversal

$$4 \times D = 4 \times 19$$

$$= 76 \text{ mm}$$

Jika dipasang 2 baris stud sepanjang bentang gelagar, maka jarak stud berkepala arah sumbu transversal:

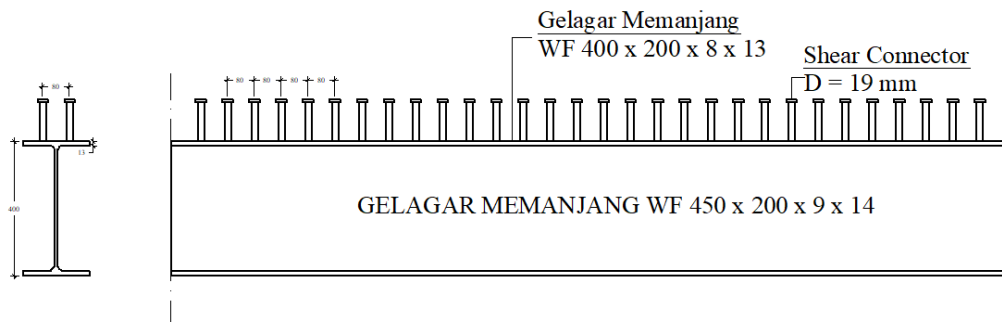
$$\begin{aligned} S &= \frac{B}{2} \\ &= \frac{200}{2} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan, $S = 80 \text{ mm}$.

Karena pemasangan shear connector dipasang sebanyak 2 baris, maka dalam satu baris per setengah bentang dipasang shear connector sebanyak, $n = 25$ buah. Maka, jarak pemasangan angkur baja stud berkepala arah sumbu longitudinal gelagar adalah:

$$\begin{aligned} S &= \frac{L/2}{n} \\ &= \frac{5000/2}{25} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai, $S = 80 \text{ mm}$.



Gambar 4.28 Pemasangan stud gelagar memanjang

4.3.3 Perencanaan Gelagar Melintang

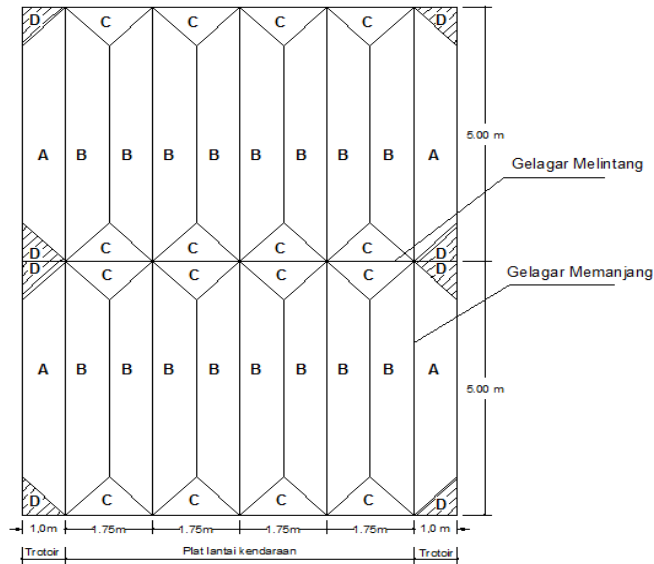
Data perencanaan jembatan :

Jarak antar gelagar memanjang	= 1,75 m
Jarak antar gelagar melintang	= 5 m
qu _{tr} (beban mati trotoir)	= 1830,828 kg/m
qu _{lt} (beban mati lantai kendaraan)	= 1091,827 kg/m

1. Pembebanan

a. Beban Mati

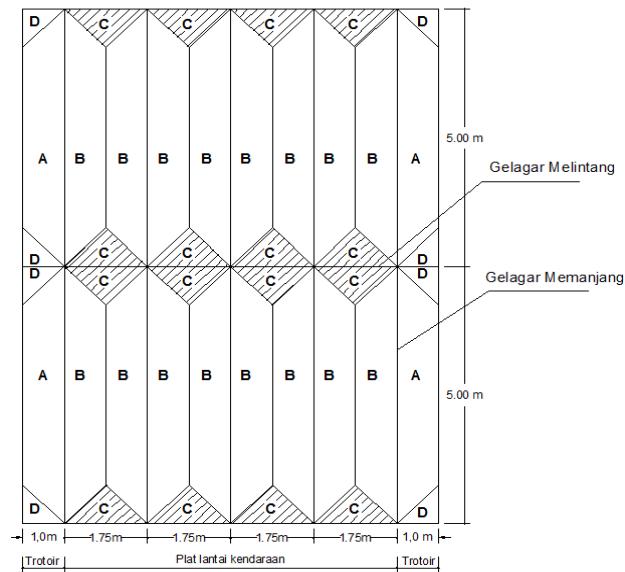
Akibat lantai trotoar :



Gambar 4.29 Perataan beban akibat lantai trotoar

$$\begin{aligned}
 Q_{dtr} &= (\text{Perataan beban tipe D} \times 2) \times Q \text{ Lantai trotoir} \\
 &= (0,667 \times 2) \times 1830,828 \\
 &= 2441,104 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Akibat lantai kendaraan :



Gambar 4.30 Perataan beban akibat lantai kendaraan

$$\begin{aligned}
 Q_{dlt} &= (\text{Perataan beban tipe C} \times 2) \times Q \text{ Lantai kendaraan} \\
 &= (0,583 \times 2) \times 1091,827 \\
 &= 1273,798 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Berat Sendiri Profil Gelagar Memanjang

Profil WF 400 x 200 x 8 x 13

Berat profil W = 66 kg/m

$$\begin{aligned}
 P_1 &= W \times \text{panjang gelagar memanjang} \\
 &= 66 \times 5 \\
 &= 330 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Beban Hidup Akibat "D"

- Beban Terbagi Rata (BTR)

$$\begin{aligned}
 Q &= 9 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\
 &= 9 \cdot (0,5 + 15/150) \text{ kPa} \\
 &= 5,400 \text{ Kp} \\
 &= 540 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban terbagi rata pada gelagar melintang tengah

$$\begin{aligned}
 \text{BTR} &= (\text{Perataan beban C} \times 2) \times Q \times \text{Lebar lantai kendaraan} \\
 &= (0,583 \times 2) \times 540 \times 7 \\
 &= 4407 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$P_{BGT} = 49,0 \text{ kN} = 4900 \text{ kg}$$

FBD = 30 % untuk L= 150 m (*Lihat gambar 4.1*)

$$\begin{aligned}
 \text{BGT} &= P_{BGT} \times (1 + \text{FBD}) \\
 &= 4900 \times (1 + 30\%) \\
 &= 6370 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

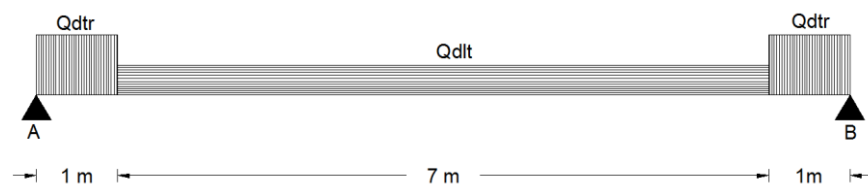
Tabel 4.6 Kesimpulan gelagar melintang

Uraian	Nilai	Faktor Beban	Total
Beban mati			
Qd _{tr}	2441,104 kg/m		2441,104 kg/m
Qd _{lt}	1273,798 kg/m		1273,798 kg/m
P ₁	330 kg	1,1	363 kg
Beban hidup			
BTR	4407 kg/m	2,0	8814,96 kg/m
BGT	6370 kg	2,0	12740 kg

2. Perhitungan Statika

a. Beban mati

- Beban mati trotoar dan lantai kendaraan



Gambar 4.31 Beban mati gelagar melintang

$$RAV1 \times 9 = (Q_{dtr} \times L \times (1/2 L)) + (Q_{dlt} \times L \times (1/2 L + 8)) + (Q_{dtr} \times L \times (1/2 L + 8))$$

$$RAV1 \times 9 = (2441,104 \times 1 \times (1/2 \times 1)) + (1273,798 \times 7 \times (1/2 \times 7 + 1)) + (2441,104 \times 1 \times (1/2 \times 1 + 8))$$

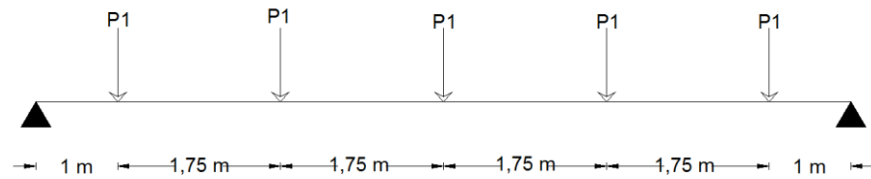
$$RAV1 \times 9 = 1220,6 + 40124,6 + 20749,4$$

$$RAV1 = 62094,569/9$$

$$RAV1 = 6899,396 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} Mu1 &= (RAV1 \times 4,5) - (Q_{dlt} \times 3,5 \times (1/2 \times 3,5)) - (Q_{dtr} \times 1 \times 4) \\ &= (6899,396 \times 4,5) - (1273,798 \times 3,5 \times 1,75) - (2441,104 \times 4) \\ &= 31047,28 - 7802,01 - 9764,42 \\ &= 13480,86 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Berat gelagar memanjang



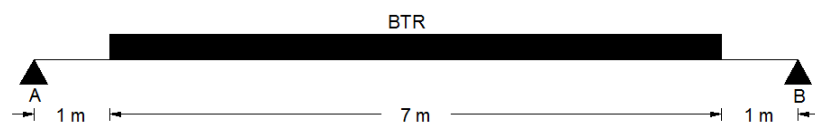
Gambar 4.32 Beban mati gelagar melintang

$$\begin{aligned} \text{RAV2} \times 9 &= P1 \times 8 + P1 \times 6,25 + P1 \times 4,5 + P1 \times 2,75 + P1 \times 1 \\ \text{RAV2} \times 9 &= 363 \times 8 + 363 \times 6,25 + 363 \times 4,5 + 363 \times 2,75 + 363 \times 1 \\ \text{RAV2} \times 9 &= 2904 + 2268,75 + 1633,5 + 998,3 + 363 \\ \text{RAV2} &= 8167,5/9 \\ \text{RAV2} &= 907,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu2} &= (\text{RAV2} \times 4,5) - (P1 \times 3,5) - (P1 \times 1,75) \\ &= (907,5 \times 4,5) - (363 \times 3,5) - (363 \times 1,75) \\ &= 4083,8 - 1270,50 - 635,25 \\ &= 2178 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Beban hidup

- Beban Terbagi Rata (BTR)

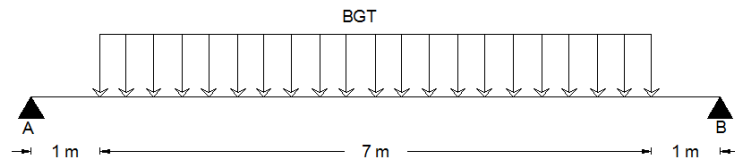


Gambar 4.33 Beban BTR pada gelagar melintang

$$\begin{aligned} \text{RAV3} \times 9 &= (\text{BTR} \times 7) \times (\frac{1}{2} \times 7 + 1) \\ \text{RAV3} \times 9 &= 8814,96 \times 7 \times (\frac{1}{2} \times 7 + 1) \\ \text{RAV3} &= 277671,24 / 9 \\ &= 30852,36 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu3} &= (\text{RAV3} \times 4,5) - (\text{BTR} \times \frac{1}{2} \times 7 \times 1,75) \\ &= (30852,36 \times 4,5) - (8814,96 \times 3,5 \times 1,75) \\ &= 138835,62 - 53991,63 \\ &= 84843,99 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)



Gambar 4.34 Beban BGT pada gelagar melintang

$$RAV4 \times 9 = BGT \times 7 \times 4,5$$

$$RAV4 \times 9 = 12740 \times 7 \times 4,5$$

$$RAV4 = 401310 / 9$$

$$RAV4 = 44590 \text{ kg}$$

$$Mu4 = (RA \times 4,5) - (BGT \times 3,5 \times \frac{1}{2} \times 3,5)$$

$$= (44590 \times 4,5) - (12740 \times 3,5 \times 1,75)$$

$$= 200655 - 78032,5$$

$$= 122622,5 \text{ kgm}$$

Dari hasil total semua gaya yang bekerja :

Beban mati dan beban hidup D

$$\begin{aligned} \text{Momen maksimum (Mu)} &= Mu1 + Mu2 + Mu3 + Mu4 \\ &= 13480,86 + 2178 + 84843,99 + 122622,5 \\ &= 223125,347 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reaksi Vertikal (RV)} &= RAV1 + RAV2 + RAV3 + RAV4 \\ &= 6899,396 + 907,5 + 30852,36 + 44590 \\ &= 83249,257 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Dimensi Gelagar Melintang

Data perencanaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$Mu = 223125,347 \text{ kgm}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa}$$

ASTM A572

$$fy = 415 \text{ MPa}$$

$$fu = 520 \text{ MPa}$$

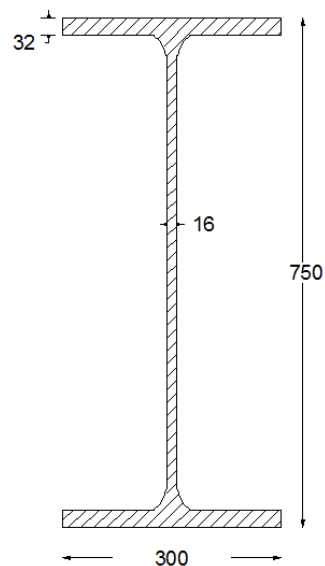
$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

L (panjang gelagar) = 9 m = 900 cm

B0 (jarak antar gelagar)= 5 m = 500 cm

h beton = 0,25 m = 25 cm

Dicoba menggunakan profil WF 750 x 300 x 16 x 32



Gambar 4.35 Penampang gelagar melintang

Data Baja WF 750 x 300 x 16 x 32 berdasarkan tabel baja sebagai berikut :

- W = 239 Kg/m
- H = 750 mm
- B = 300 mm
- tw = 16 mm
- tf = 32 mm
- A = 304,5 cm²
- Ix = 294000 cm⁴
- Iy = 14400 cm⁴
- r = 18 mm
- Zx = 8870 cm³
- Zy = 1490 cm³

Momen beban sendiri baja profil :

$$M_b = \frac{1}{8} \cdot W \cdot L^2 \cdot \text{Faktor beban baja}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 239 \cdot 9^2 \cdot 1,1$$

$$= 2661,863 \text{ kgm}$$

$$\text{Mu total} = \text{Mu} + \text{Mb}$$

$$= 223125,347 + 2661,863$$

$$= 225787,210 \text{ kgm}$$

a. Kontrol kelangsingan penampang

Cek kelangsingan sayap :

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{300}{2 \cdot 32} = 4,69$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$= 8,34$$

$$\lambda_r = 1,00 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,00 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$= 21,95$$

Cek kelangsingan badan :

$$\lambda_w = \frac{h - 2t_f}{t_w}$$

$$= \frac{750 - 2 \cdot 32}{16}$$

$$= 42,88$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 3,76 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$= 82,54$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 5,70 \cdot \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$= 125,13$$

Persyaratan penampang kompak : $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$

$$\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r = 4,69 < 8,34 \leq 21,95 \quad \mathbf{OK}$$

$$\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r = 42,88 < 82,54 \leq 125,13 \quad \mathbf{OK}$$

Karena kontrol kelangsingan memenuhi syarat, maka penampang dinyatakan kompak.

b. Kontrol kekuatan penampang sebagai balok komposit

Perhitungan bE

$$L = 9,00 \text{ m} = 900 \text{ cm}$$

$$B_o = 5,00 \text{ m} = 500 \text{ cm}$$

$$bE \leq \frac{L}{4} = \frac{900}{4} = 225 \text{ cm}$$

$$bE \leq b_o = 500 \text{ cm}$$

Maka dipakai nilai bE terkecil yaitu 225 cm.

Menentukan nilai rasio modulus elastisitas (n)

$$\begin{aligned} E_{\text{beton}} &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

Menentukan nilai n

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_{\text{baja}}}{E_{\text{beton}}} \\ &= \frac{200000}{25742,96} \\ &= 7,769 \end{aligned}$$

Lebar efektif ekuivalen

$$\begin{aligned} \text{Maka } bE' &= \frac{bE}{n} \\ &= \frac{225}{7,769} \\ &= 28,96 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perhitungan properti elastis penampang komposit

Pelat beton :

$$\text{Luas Penampang (A1)} = bE' \cdot h_{\text{beton}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 28,96 \cdot 25 \\
 &= 724,021 \text{ cm}^2 \\
 \text{Lengan momen (Z1)} &= \frac{1}{2} \cdot h \text{ beton} \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 25 \\
 &= 12,5 \text{ cm} \\
 A1 \cdot Z1 &= 724,021 \times 12,5 \\
 &= 9050,259 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Baja :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang (A2)} &= 304,5 \text{ cm}^2 \\
 \text{Lengan momen (Z2)} &= \frac{1}{2} \cdot h \text{ baja} + h \text{ beton} \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 75 + 25 \\
 &= 63 \text{ cm} \\
 A2 \cdot Z2 &= 304,5 \times 63 \\
 &= 19031,250 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Maka disimpulkan dengan tabel berikut :

Tabel 4.7 Perhitungan properti elastis penampang komposit

	Luas Penampang (A) cm ²	Lengan Momen (Z) cm	StatisMomen A.Z Cm ³
Beton	724,021	12,5	9050,259
Baja	304,5	63	19031,250
Σ	1028,521		28081,509

Diukur dari bagian atas pelat :

$$\begin{aligned}
 Y_a &= \frac{\Sigma A \cdot Z}{\Sigma A} & Y_b &= h \text{ beton} + h \text{ baja} - Y_a \\
 &= \frac{28081,509}{1028,521} & &= 25 + 75 - 27,30 \\
 &= 27,30 \text{ cm} & &= 72,70 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Beton :

$$\begin{aligned}
 I_o &= \frac{1}{12} \cdot bE' \cdot h \text{ plat beton}^3 & d_1 &= Y_a - \frac{1}{2} \cdot h \text{ beton} \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 28,96 \cdot 25^3 & &= 27,30 - \frac{1}{2} \cdot 25
 \end{aligned}$$

$$= 226256,486 \text{ cm}^4 \qquad = 14,80 \text{ cm}$$

Baja :

$$I_o = 294000 \text{ cm}^4$$

$$d_2 = Y_b - \frac{1}{2} \cdot h \text{ baja}$$

$$= 72,70 - \frac{1}{2} \cdot 75$$

$$= 35,20 \text{ cm}$$

Tabel 4.8 Perhitungan properti elastis penampang komposit

No	Keterangan	A	I _o	d	I _o + A x d ²
		cm ²	cm ⁴	cm	cm ⁴
1	Pelat beton	724,021	226256,486	14,80	384906,275
2	Baja	304,5	294000	35,20	671227,389
I komposit					1056133,664

Diketahui :

$$f_y \text{ profil baja} = 415 \text{ MPa}$$

$$A_s \text{ profil baja} = 30450 \text{ mm}^2$$

$$b_E = 2250 \text{ mm}$$

Menentukan resultan gaya kopel maksimum :

Resultan gaya tekan maksimum (C)

$$C = 0,85 \times f_c \times A_c$$

$$= 0,85 \times 30 \times (250 \times 2250)$$

$$= 14343750 \text{ N}$$

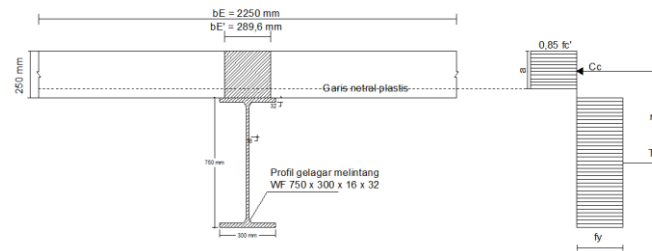
Resultan gaya tarik maksimum (T)

$$T = A_s \times f_y$$

$$= 30450 \times 415$$

$$= 12636750 \text{ N}$$

Karena $C > T$, maka garis netral plastis berada di pelat beton.



Gambar 4.36 Distribusi tegangan plastis penampang komposit
Keseimbangan gaya $C = T$, maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{f_y \times A_s}{0,85 \times f_{c'} \times b_E} \leq h \text{ beton} \\
 &= \frac{415 \times 30450}{0,85 \times 30 \times 2250} \leq h \text{ beton} \\
 &= 220,248 \leq 250 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Dapat disimpulkan jika nilai $a < h$ beton, maka pelat beton dapat mengimbangi gaya tarik yang terjadi pada profil baja.

Menentukan nilai C_c dan T_s :

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \times f_{c'} \times a \times B_e \\
 &= 0,85 \times 30 \times 220,248 \times 2250 \\
 &= 12636750 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s \times f_y \\
 &= 30450 \times 415 \\
 &= 12636750 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned}
 C_c - T_s &= 0 \\
 12636750 - 12636750 &= 0 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka kapasitas momen nominal (M_n):

$$\begin{aligned}
 M_n &= T_s \times Z \\
 &= 12636750 \times \left(\frac{750}{2} \right) + \left(250 - \frac{220,248}{2} \right) \\
 &= 6506359293 \text{ Nmm} \\
 &= 650635,929 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= \phi M_n \\
 &= 0,9 \times 650635,929
 \end{aligned}$$

$$= 585572,336 \text{ kgm}$$

Kontrol

$$M_r > M_u$$

$$585572,336 \text{ kgm} > 225787,210 \text{ kgm (OK)}$$

c. Kontrol terhadap lendutan

Besarnya lendutan yang terjadi pada balok dihitung terhadap kondisi layan akibat beban hidup (tanpa faktor beban) dan lendutan maksimumnya dibatasi $L/360$.

$$\Delta_{\text{ijin}} = 9000/360 = 25 \text{ mm}$$

Menghitung elastisitas komposit :

$$\begin{aligned} E &= \frac{E_c \times \left(\frac{A_c}{A_c + A_s}\right) + E_s \times \left(\frac{A_s}{A_c + A_s}\right)}{2} \\ &= \frac{25742,96 \times \left(\frac{562500}{562500 + 30450}\right) + 200000 \times \left(\frac{30450}{562500 + 30450}\right)}{2} \\ &= 17345,83 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Momen inersia komposit :

$$I = 1056133,664 \text{ cm}^4 = 10561336643 \text{ mm}^4$$

$$M_u \text{ total} = 225787,210 \text{ kgm} = 2257872095 \text{ Nmm}$$

Maka, lendutan maksimum:

$$\begin{aligned} \Delta_D &= \frac{M_u \text{ total} \times L^2}{48 \times E \times I} \\ &= \frac{2257872095 \times 9000^2}{48 \times 17345,83 \times 10561336643} \\ &= 20,798 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\Delta_D < \Delta_{\text{ijin}}$$

$$20,798 \text{ mm} < 25 \text{ mm (OK)}$$

d. Kontrol kekuatan geser

$$V_u = 83249,257 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} d &= h \text{ baja} - 2r - 2t_f \\ &= 750 - 2.18 - 2.32 \\ &= 650 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas total pelat badan :

$$\begin{aligned}
 A_w &= d \times t_w \\
 &= 650 \times 16 \\
 &= 10400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Koefisien geser pelat badan :

$$\text{Jika } h/t_w \leq 2,24 \sqrt{E/F_y}$$

$$d/t_w < 2,24 \sqrt{E/F_y}$$

$$650/16 < 2,24 \cdot \sqrt{200000/415}$$

$$40,62 < 49,174 \text{ (OK)}$$

Maka :

$$C_{v1} = 1$$

$$\phi_v = 0,9$$

Kapasitas geser penampang

$$\begin{aligned}
 V_n &= \phi_v \cdot 0,6 f_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \\
 &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 415 \cdot 10400 \cdot 1 \\
 &= 2330640 \text{ N} \\
 &= 233064 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$V_n > V_u$$

$$233064 > 83249,257 \text{ kg (OK)}$$

e. Perencanaan penghubung geser

Tabel 4.9 Ukuran penghubung geser

Alat Penyambung
Stud pancing atau berkepala 2'' dengan diameter ½ ''
Stud Pancing atau berkepala 2 ½ '' dengan diameter 5/8''
Stud pancing atau berkepala 3'' dengan diameter ¾ ''
Stud pancing atau berkepala 3 ½ '' dengan diameter 7/8''

Sumber : Charles G Salmon Jilid 2 Edisi ke 2 hal .38

Untuk tinggi stud minimum adalah $\frac{1}{2}$ dari tebal pelat lantai

$$\begin{aligned} h &= \frac{1}{2} \times 250 \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tinggi stud 125 mm.

Diameter maksimum stud yang diijinkan

$$\begin{aligned} 2,5 \times t_f &= 2,5 \times 32 \\ &= 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Didunakan shear connector berkepala dengan $\varnothing \frac{3}{4}$ (D = 19 mm)

Luasan satu buah shear connector

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 283,643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 25742,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kuat nominal 1 stud

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \times A_s \times \sqrt{f_c'} \times E_c \leq R_g \times R_p \times A_s \times F_u \\ &= 0,5 \times 283,643 \times \sqrt{30} \times 25742,96 \leq 1 \times 0,75 \times 283,643 \times 520 \\ &= 124632,620 \text{ N} > 110620,714 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum Q_n = 110620,714 \text{ N}$$

Gaya geser horizontal (V_h) adalah yang terkecil dari :

- Kehancuran beton

$$\begin{aligned} C_{\max} &= 0,85 \times f_c \times b \times E \times t_s \\ &= 0,85 \times 30 \times 2250 \times 250 \\ &= 14343750 \text{ N} \end{aligned}$$

- Leleh tarik dari penampang baja

$$\begin{aligned} T_{\max} &= f_y \times A_s \\ &= 415 \times 30450 \\ &= 12636750 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan yang terkecil V_h = 12636750 N

Jumlah penghubung geser yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} n &= \frac{Vh}{Qn} \\ &= \frac{12636750}{110620,714} \\ &= 114,23 = 115 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak konektor geser yang harus dipasang pada gelagar memanjang:

- Jarak minimum longitudinal

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 6 \times D \\ &= 6 \times 19 \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jarak maksimum longitudinal

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 8 \times t_s \\ &= 8 \times 250 \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jarak minimum transversal

$$\begin{aligned} 4 \times D &= 4 \times 19 \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika dipasang 2 baris stud sepanjang bentang gelagar, maka jarak stad berkepala arah sumbu transversal:

$$\begin{aligned} S &= \frac{B}{2} \\ &= \frac{300}{2} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

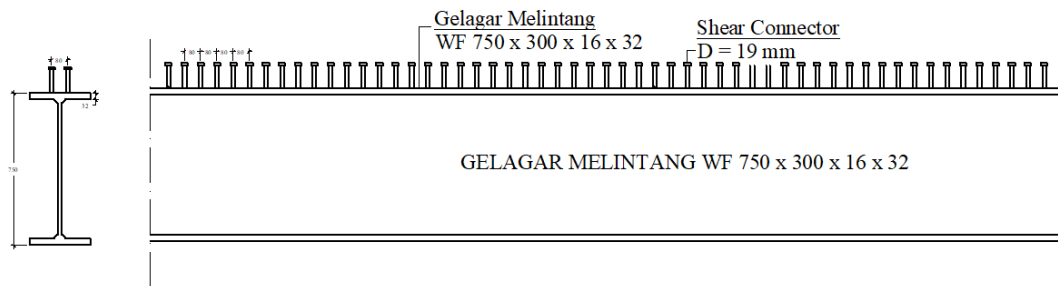
Digunakan, $S = 80 \text{ mm}$ (Disesuaikan dengan jarak longitudinal shear connector gelagar memanjang).

Karena pemasangan shear connector dipasang sebanyak 2 baris, maka dalam satu baris per setengah bentang dipasangkan shear connector sebanyak, $n = 50$ buah. Maka, jarak pemasangan angkur baja stad berkepala arah sumbu longitudinal gelagar adalah:

$$\begin{aligned} S &= \frac{L/2}{n/2} \\ &= \frac{9000}{50/2} \end{aligned}$$

$$= 90 \text{ mm}$$

Dipakai, $S = 80 \text{ mm}$ (Disesuaikan dengan jarak longitudinal shear connector gelagar memanjang).



Gambar 4.37 Pemasangan Stud Gelagar Melintang

4.4 Perhitungan Struktur Utama

4.4.1 Pembebanan Struktur Utama Jembatan

Pembebanan yang digunakan dalam menganalisa pembebanan jembatan ini mengacu pada peraturan SNI 1725-2016 tentang Pembebanan Pada Jembatan. Adapun beban – beban yang bekerja adalah sebagai berikut :

1. Beban Mati

a. Berat sendiri (MS)

Dalam analisa berat sendiri struktur, penyusun menggunakan program bantu SAP2000.

b. Beban mati akibat lantai kendaraan

$$Qd1 = 1091,827 \text{ Kg/m (hasil perhitungan pembebanan pelat lantai)}$$

$$\text{Lebar lantai kendaraan (b)} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Bentang jembatan (L)} = 150 \text{ m}$$

Maka,

$$P1 = Qd1 \times b \times L$$

$$= 1091,827 \times 7 \times 150$$

$$= 1146418,35 \text{ kg}$$

c. Beban mati akibat lantai trotoir

$$Qd2 = 1830,828 \text{ Kg/m (hasil perhitungan pembebanan pelat trotoar)}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar lantai trotoir (b)} &= 1 \text{ m} \\ \text{Bentang jembatan (L)} &= 150 \text{ m} \\ \text{Jumlah trotoir (n)} &= 2\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}P2 &= n \times Qd2 \times b \times L \\ &= 2 \times 1830,828 \times 1 \times 150 \\ &= 549248,4 \text{ kg}\end{aligned}$$

- d. Beban mati akibat pagar trotoar

Untuk tiang sandaran :

$$\begin{aligned}\text{Bentang jembatan (L)} &= 150 \text{ m} \\ \text{Berat 1 tiang sandaraan(l)} &= 149,76 \text{ kg} \\ \text{Jarak antar tiang sandaran} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Jumlah tiang sandaran sepanjang bentang jembatan (n)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{L \times 2}{l} \\ &= \frac{150 \times 2}{1,5} \\ &= 200 \text{ tiang (per 1 sisi)}\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}P3 &= n \times \text{berat 1 tiang sandaraan} \times 2 \\ &= 200 \times 149,76 \times 2 \\ &= 59904 \text{ kg}\end{aligned}$$

Untuk pipa sandaran :

$$\begin{aligned}\text{Bentang jembatan (L)} &= 150 \text{ m} \\ \text{Berat pipa sandaraan (G)} &= 5,57 \text{ kg/m} \\ \text{Jumlah pipa (n)} &= 2 \text{ buah (1 sisi)} \\ \text{Faktor beban} &= 1,1\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}P4 &= G \times L \times n \times 2 \times \text{Faktor beban} \\ &= 5,57 \times 150 \times 2 \times 2 \times 1,1 \\ &= 3676,2 \text{ kg}\end{aligned}$$

Sehingga total beban mati yang bekerja adalah :

$$\begin{aligned}
 P \text{ total} &= P1 + P2 + P3 + P4 \\
 &= 1146418,35 + 549248,4 + 59904 + 3676,2 \\
 &= 1759246,95 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban mati yang dipikul per gelagar induk adalah :

$$P_u = \frac{P \text{ total}}{n}$$

Dimana: $n = 2$ (jumlah gelagar induk)

Maka,

$$\begin{aligned}
 P_u &= \frac{1759246,95}{2} \\
 &= 879623,475 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban mati yang dipikul tiap titik buhul :

$$P = \frac{P_u}{n}$$

Dengan : $n = 31$ (jumlah titik buhul)

Maka,

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{879623,475}{31} \\
 &= 28374,951 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban mati yang dipikul ditiap titik buhul tepi:

$$\begin{aligned}
 P \text{ tepi} &= \frac{28374,951}{2} \\
 &= 14187,475 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

a. Beban pejalan kaki (TP)

Beban hidup trotoar harus mempertimbangkan beban pejalan kaki sebesar, $q = 5 \text{ kPa} = 500 \text{ kg/m}^2$

Bentang jembatan (L) = 150 m

Lebar trotoir (l) = 1 m

Jumlah trotoir (n) = 2

Maka,

$$\begin{aligned}
 P \text{ total} &= n \times q \times L \times l \\
 &= 2 \times 500 \times 150 \times 1 \\
 &= 150000 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban hidup trotoir yang dipikul tiap gelagar induk :

$$P_u = \frac{P_{total}}{n}$$

Dengan : $n = 2$ (jumlah gelagar induk)

Maka,

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{150000}{2} \\ &= 75000 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban hidup trotoar yang dipikul tiap titik buhul :

$$P = \frac{P_u}{n}$$

Dengan : $n = 31$ (jumlah titik buhul)

Maka,

$$\begin{aligned} P &= \frac{75000}{31} \\ &= 2419,355 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban hidup trotoar yang dipikul ditiap titik buhul tepi:

$$P \text{ tepi} = \frac{P}{2}$$

$$\begin{aligned} P \text{ tepi} &= \frac{2419,355}{2} \\ &= 1209,677 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Beban hidup D (TD)

- Beban Terbagi Rata (BTR)

Panjang jembatan (L) = 150 m

Jarak antar gelagar memanjang (l) = 1,75 m

Untuk $L > 30$ m, maka :

$$\begin{aligned} q &= 9 (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\ &= 9 (0,5 + 15/150) \text{ kPa} \\ &= 5,4 \text{ kPa} = 540 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Karena jarak antar gelagar memanjang = 1,75 m

Maka,

$$\begin{aligned} q_{BTR} &= q \times l \\ &= 540 \times 1,75 \\ &= 945 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Beban Garis Terpusat (BGT)

Panjang jembatan (L) = 150 m

$P_{BGT} = 49 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m}$

FBD = 30% untuk L = 150 m (*Lihat gambar 4.1*)

$P = 4900 \times (1 + \text{FBD})$

$= 4900 \times (1 + 30\%)$

$= 6370 \text{ kg/m}$

- c. Beban Rem (TB)

Gaya rem diambil perhitungan terbesar dari :

- 25 % dari beban gandar

$25\% \times (5000 + 22500 + 22500) = 12500 \text{ kg}$

- 5 % dari beban truk rencana ditambah BTR

$5\% \times (50000 + (\text{BTR} \times \text{luas lantai kendaraan}))$

$5\% \times (50000 + (540 \times 7 \times 150)) = 30850 \text{ kg}$

Digunakan gaya rem yang paling besar yaitu 30850 kg.

Beban rem yang diterima setiap gelagar induk :

$TB = \frac{30850}{2}$ Dengan, 2 adalah jumlah gelagar induk

$= 15425 \text{ kg}$

Karena beban rem ini bekerja secara horizontal sejarak 1,8 m di atas permukaan jalan pada arah longitudinal jembatan, kemudian beban ini dibebankan pada masing-masing titik buhul atas maupun bawah jembatan dengan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

Tebal pelat lantai (h pelat) = 0,25 m

Tebal lapisan aspal (h aspal) = 0,0675 m

Tinggi profil gelagar induk memanjang tepi (d) = 2,1 m (menggunakan box 2100 x 1600 x 65 x 65)

Tinggi pelengkung jembatan (H) = 25 m

Menghitung titik tangkap rem (y1) :

$y1 = \frac{1}{2} \times d + h \text{ pelat} + h \text{ aspal} + 1,8$

$= \frac{1}{2} \times 2,1 + 0,25 + 0,0675 + 1,8$

$$= 3,167 \text{ m}$$

Maka, gaya rem pada masing-masing titik buhul adalah sebagai berikut :

Untuk titik buhul bawah :

$$\text{PB bawah} = \left(\frac{TB \times (H-y_1)}{H} \right) \times \frac{1}{n}$$

Dimana $n = 31$ (jumlah titik buhul bawah)

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{PB bawah} &= \left(\frac{15425 \times (25-3,167)}{25} \right) \times \frac{1}{31} \\ &= 441,513 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya rem yang dipikul pada titik buhul tepi bawah, adalah :

$$\begin{aligned} \text{PB bawah (tepi)} &= \frac{441,513}{2} \\ &= 220,757 \text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk titik buhul atas :

$$\text{PB atas} = \left(\frac{TB \times y_1}{H} \right) \times \frac{1}{n}$$

Dimana $n = 31$ (jumlah titik buhul atas)

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{PB atas} &= \left(\frac{15425 \times 3,167}{25} \right) \times \frac{1}{31} \\ &= 56,067 \text{ kg} \end{aligned}$$

d. Beban Angin

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Dimana :

Kecepatan angin pada elevasi 1000 mm $V_{10} = 100 \text{ km/jam}$

Kecepatan angin rencana $V_B = 100 \text{ km/jam}$

Elevasi struktur diukur dari $Z = 14000 \text{ mm}$

permukaan tanah atau permukaan air

Kecepatan gesekan angin $V_0 = 13,2 \text{ km/jam}$

Panjang gesekan di hulu jembatan $Z_0 = 70 \text{ mm}$

Nilai V_0 dan Z_0 didapatkan dari Tabel 2.9 dengan kondisi permukaan hulu adalah lahan terbuka.

Tabel 4.10 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

$$V_{DZ} = 2,5 \times 13,2 \left(\frac{100}{100} \right) \ln \left(\frac{14000}{70} \right)$$

$$= 174,8 \text{ km/jam}$$

- Beban Angin Struktur (EWs)

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

Dimana :

P_D = Tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 4.11

Tabel 4.11 Tekanan angin dasar

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

$$P_{D \text{ Tekan}} = A_b \times P_{B \text{ Tekan}} \times \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \times 30\%$$

$$= \frac{2 \times 10^6 \text{ mm}^2 \times 0,0024 \text{ MPa} \times \left(\frac{174,8}{100} \right)^2 \times 30\%}{1000}$$

$$= 4,400 \text{ kN}$$

$$P_{D \text{ Hisap}} = A_b \times P_{B \text{ Hisap}} \times \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \times 15\%$$

$$= \frac{2 \times 10^6 \text{ mm}^2 \times 0,0012 \text{ MPa} \times \left(\frac{174,8}{100} \right)^2 \times 15\%}{1000}$$

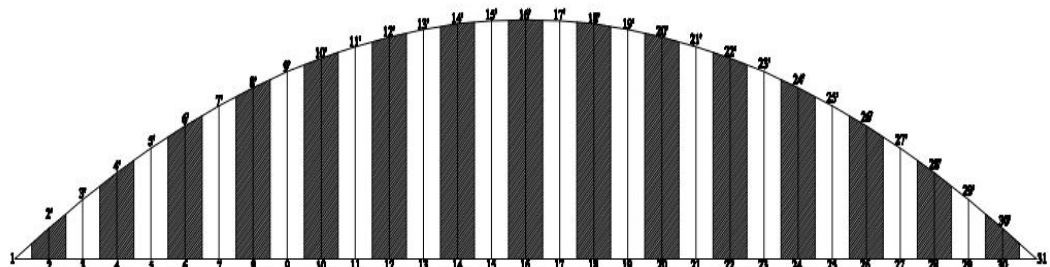
$$= 1,100 \text{ kN}$$

Dimana A_b merupakan luas daerah yang menerima beban angin.

Untuk perhitungan beban angin dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.12 Perhitungan beban angin struktur (EWs)

Bidang	Luasan	Vdz	Vb	Pd tekan	Pd hisap	Beban angin pertitik (kN)	
	(m ²)	(km/jam)	(km/jam)	(kN)	(kN)	Pd tekan	Pd hisap
1&31	2	174,8	100	4,400	1,100	2,200	0,550
2-2'&30-30'	15,875	174,8	100	34,924	8,731	17,462	4,366
3-3'&29-29'	30,875	174,8	100	67,924	16,981	33,962	8,490
4-4'&28-28'	44,875	174,8	100	98,723	24,681	49,362	12,340
5-5'&27-27'	57,812	174,8	100	127,184	31,796	63,592	15,898
6-6'&26-26'	69,375	174,8	100	152,622	38,156	76,311	19,078
7-7'&25-25'	79,875	174,8	100	175,722	43,931	87,861	21,965
8-8'&24-24'	89,375	174,8	100	196,622	49,155	98,311	24,578
9-9'&23-23'	97,812	174,8	100	215,183	53,796	107,591	26,898
10-10'&22-22'	104,875	174,8	100	230,721	57,680	115,361	28,840
11-11'&21-21'	110,875	174,8	100	243,921	60,980	121,960	30,490
12-12'&20-20'	115,875	174,8	100	254,921	63,730	127,460	31,865
13-13'&19-19'	119,875	174,8	100	263,721	65,930	131,860	32,965
14-14'&18-18'	122,812	174,8	100	270,182	67,545	135,091	33,773
15-15'&17-17'	124,375	174,8	100	273,620	68,405	136,810	34,203
16-16'	124,875	174,8	100	274,720	68,680	137,360	34,340



Gambar 4.38 Pembagian bidang untuk beban angin pada struktur

- Beban Angin Kendaraan (EW_L)

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.

Diketahui:

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

$$\text{Bentang jembatan (L)} = 150 \text{ m}$$

$$\text{Tebal pelat lantai (h pelat)} = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar as roda truk (l)} = 1,75 \text{ m}$$

Tebal lapisan aspal (h aspal) = 0,0675 m

Tinggi profil gelagar induk memanjang tepi (d) = 2,1 m
(menggunakan Box 2100 x 1600 x 65 x 65)

Menghitung titik tangkap beban angin kendaraan (y1) :

$$\begin{aligned} y1 &= \frac{1}{2} \times d + h \text{ pelat} + h \text{ aspal} + 1,8 \\ &= \frac{1}{2} \times 2,1 + 0,25 + 0,0675 + 1,8 \\ &= 3,167 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka, beban angin akibat kendaraan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PB &= \left(\frac{P_u \times L \times y1}{l} \right) \\ &= \frac{1,46 \times 150000 \times 3167}{1750} \\ &= 352527,429 \text{ N} \\ &= 35252,743 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga, beban angin yang diterima di tiap titik buhul:

$$P(EWL) = \frac{P}{n}$$

Dimana, n = 31 (jumlah titik buhul)

$$\begin{aligned} P(EWL) &= \frac{35252,743}{31} \\ &= 1137,185 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban angin yang diterima pada titik buhul tepi :

$$\begin{aligned} P(EWL)_{\text{tepi}} &= \frac{P(EWL)}{2} \\ &= \frac{1016,079}{2} \\ &= 568,593 \text{ kg} \end{aligned}$$

e. Beban Gempa

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times Wt$$

Perencanaan beban gempa jembatan disesuaikan dengan SNI 2833 – 2016, dengan menggunakan metode statik ekuivalen.

Lokasi jembatan Kadahang : Desa Rambangaru, Kecamatan Haharu, Kabupaten Sumba Timur, Provinsi Nusa Tenggara Timur.

Koordinat lokasi :

$$\text{Lintang} = -9.4062605$$

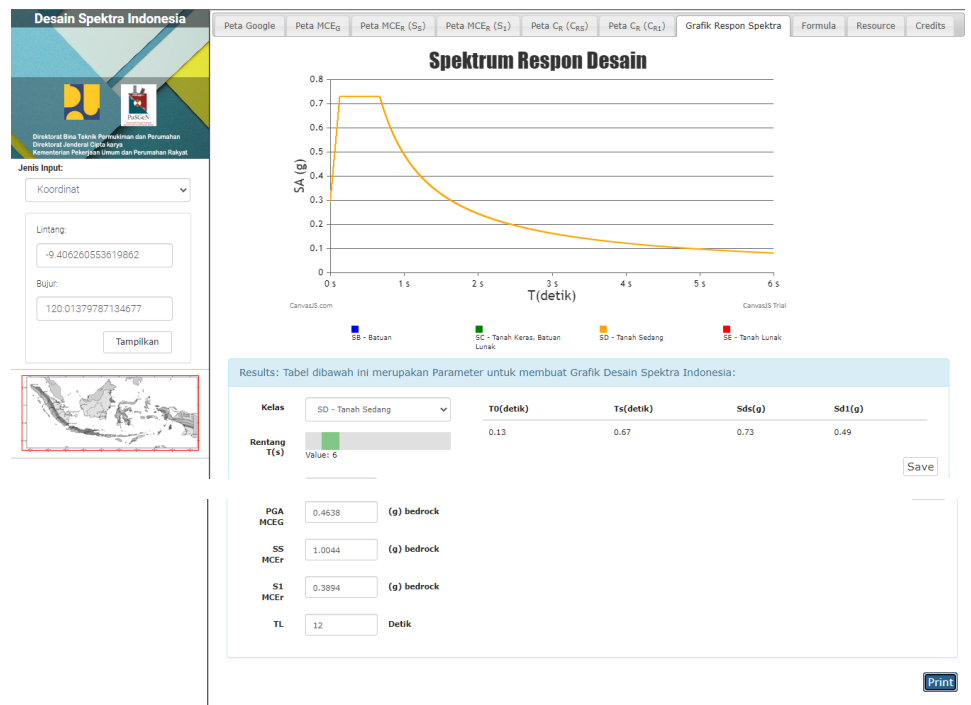
Bujur = 120.0137978

1. Menentukan kelas situs tanah

Kelas situs tanah pada Jembatan kadahang diasumsikan sebagai kelas situs **Tanah Sedang (SD)**.

2. Menentukan Parameter Percepatan Gempa

Penentuan parameter percepatan gempa didapatkan dari www.rsa.ciptakarya.pu.go.id, dengan memasukkan lokasi jembatan dan kategori tanah. Dengan memasukkan koordinat lokasi studi maka didapatkan data seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.39 Paramater Percepatan Gempa

(Sumber : www.rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Didapatkan data sebagai berikut :

Percepatan puncak batuan kasar (PGA):

$$PGA = 0.4638 \text{ g}$$

Respon spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T = 0,2$ detik):

$$Ss = 1.0044 \text{ g}$$

Respon spectra percepatan gempa untuk periode 1 detik :

$$S1 = 0.3894 \text{ g}$$

3. Penentuan Faktor Situs

a. Menentukan nilai FPGA

Diketahui :

$$PGA = 0.4638 \text{ g}$$

Kelas situs tanah = Tanah Sedang (SD)

Maka, nilai FPGA ditentukan menggunakan interpolasi.

Tabel 4.13 Penentuan Nilai FPGA

Kelas situs	PGA ≤ 0,1 S _s ≤ 0.25	PGA = 0,2 S _s = 0.5	PGA = 0,3 S _s = 0.75	PGA = 0,4 S _s = 1.0	PGA > 0,5 S _s ≥ 1.25
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

(Sumber : SNI 2833 : 2016, Badan standarisai Nasional, 2016: 16)

$$PGA = 0,4 \qquad \qquad \qquad FPGA = 1,1$$

$$PGA = 0.4638 \text{ g} \qquad \qquad \qquad FPGA = x$$

$$PGA = 0,5 \qquad \qquad \qquad FPGA = 1$$

Maka,

$$\begin{aligned} FPGA &= 1,1 - \frac{(0,4638-0,4)}{(0,5-0,4)} \times (1,1 - 1) \\ &= 1,0362 \end{aligned}$$

b. Menentukan Nilai Fa

Diketahui :

$$S_s = 1.0044 \text{ g}$$

Kelas situs tanah = Tanah Sedang (SD)

Maka, nilai Fa ditentukan menggunakan interpolasi.

Tabel 4.14 Penentuan Nilai Fa

Kelas situs	PGA ≤ 0,1 S _s ≤ 0.25	PGA = 0,2 S _s = 0.5	PGA = 0,3 S _s = 0.75	PGA = 0,4 S _s = 1.0	PGA > 0,5 S _s ≥ 1.25
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

(Sumber : SNI 2833 : 2016, Badan standarisai Nasional, 2016: 16)

$$S_s = 0,75 \quad F_a = 1,2$$

$$S_s = 1.0044 \quad F_a = x$$

$$S_s = 1,25 \quad F_a = 1$$

Maka,

$$F_a = 1,2 - \frac{(1,0044-0,75)}{(1,25-0,75)} \times (1,2 - 1)$$

$$= 1,0984$$

Penentuan factor situs untuk periode 1 detik berdasarkan SNI 2833:2016

Tabel 5 hal.16 adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$S_1 = 0.3894 \text{ g}$$

Kelas situs tanah = Tanah Sedang (SD)

Maka, nilai F_v ditentukan menggunakan interpolasi.

Tabel 4.15 Penentuan Nilai F_v

Kelas situs	$S_T \leq 0.1$	$S_T = 0.2$	$S_T = 0.3$	$S_T = 0.4$	$S_T \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

(Sumber : SNI 2833 : 2016, Badan standarisai Nasional, 2016: 16)

$$S_1 = 0,3 \quad F_v = 1,8$$

$$S_1 = 0.3894 \quad F_v = x$$

$$S_1 = 0,4 \quad F_v = 1,6$$

Maka,

$$F_v = 1,8 - \frac{(0,3894-0,3)}{0,4-0,3} \times (1,8 - 1,6)$$

$$= 1,6212$$

4. Penentuan respon Spektra Rencana

$$A_s = F_{PGA} \times P_{GA}$$

$$= 1,0362 \times 0.4638$$

$$= 0,480 \text{ g}$$

$$SDS = F_a \times S_s$$

$$= 1,0984 \times 1.0044$$

$$=1,103 \text{ g}$$

$$SD1 = F_v \times S1$$

$$= 1,6212 \times 0.3894$$

$$= 0,631 \text{ g}$$

5. Perhitungan Waktu Getar Alami struktur

$$T0 = 0,2 T_s$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

Sehingga,

$$T_s = \frac{0,631}{1,103}$$

$$= 0,572 \text{ s}$$

$$T0 = 0,2 \times 0,572$$

$$= 0,1144 \text{ s}$$

Periode alami dari SAP 2000 v21 didapatkan:

$$T = 1,777 \text{ s}$$

6. Menghitung Nilai Koefisien Respon Gempa Elastik

a. Jika $T0 > T$, maka

$$C_{sm} = (SDS - A_s) \times \frac{T}{T0} + A_s$$

b. Jika $T0 \leq T \leq T_s$, maka

$$C_{sm} = SDS$$

c. Jika $T > T_s$, maka

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T}$$

Karena:

$$T0 = 0,1144 \text{ s} < T = 1,777 \text{ s} > T_s = 0,572 \text{ s}$$

Maka,

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T}$$

$$= \frac{0,631}{1,777}$$

$$= 0,355$$

7. Menentukan Faktor Modifikasi Respon

Tabel 4.16 Penentuan Nilai R

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

(Sumber : SNI 2833 : 2016, Badan standarisai Nasional, 2016: 19)

Maka, nilai R untuk bangunan atas jembatan ditentukan sebesar $R = 0,8$

8. Perhitungan Beban Gempa Statik Ekuivalen pada Struktur

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Dimana:

$$C_{sm} = 0,355$$

$$R_d = 0,8$$

$$W_t = 4333638,31 \text{ Kg (berat jembatan didapatkan dari SAP2000)}$$

Sehingga beban gempa yang terjadi pada jembatan adalah:

$$\begin{aligned} EQ &= \frac{0,355}{0,8} \times 4333638,31 \\ &= 1923052 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kemudian nilai beban gempa (EQ) tersebut didistribusikan ke masing-masing joint gelagar induk pelengkung pada arah sumbu x dan y.

Diketahui:

$$\text{Jumlah joint (n)} = 62$$

Maka, beban gempa yang bekerja pada joint gelagar induk pelengkung:

$$\begin{aligned} EQ &= \frac{1923052}{62} \\ &= 32052,87 \text{ Kg} \end{aligned}$$

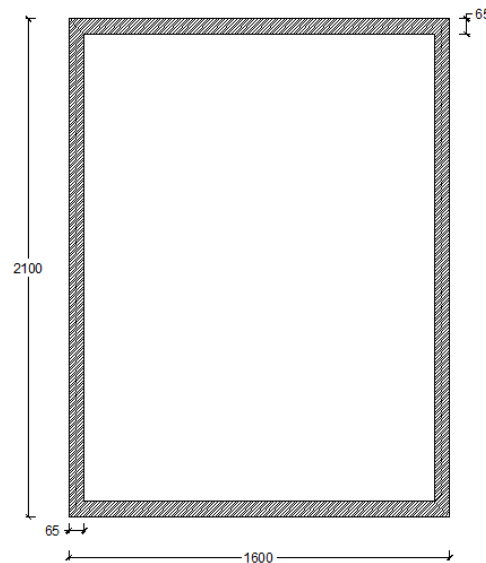
Beban gempa yang diterima pada titik buhul tepi pelengkung:

$$\begin{aligned} EQ_{\text{tepi}} &= \frac{32052,87}{2} \\ &= 16026,435 \text{ Kg} \end{aligned}$$

4.4.2 Perhitungan dimensi gelagar induk

Setelah dilakukan pembebanan dan analisa 3D menggunakan program SAP2000, maka selanjutnya melakukan pendimensionian untuk penampang gelagar induk sebagai berikut :

1. Pendimensionian Gelagar Induk Pelengkung



Gambar 4.40 Dimensi Gelagar Induk Pelengkung

Gelagar induk pelengkung menggunakan profil BOX 2100 x 1600 x 65 x 65 dengan properti material sebagai berikut :

$A = 464100 \text{ mm}^2$	$I_x = 298241810000 \text{ mm}^4$	$r_x = 801,638 \text{ mm}$
$d = 2100 \text{ mm}$	$I_y = 195320810000 \text{ mm}^4$	$r_y = 648,737 \text{ mm}$
$b = 1600 \text{ mm}$	$S_x = 284039820 \text{ mm}^3$	ASTM A572
$t_f = 65 \text{ mm}$	$S_y = 244151010 \text{ mm}^3$	$f_y = 415 \text{ MPa}$
$t_w = 65 \text{ mm}$	$Z_x = 337769300 \text{ mm}^3$	$f_u = 520 \text{ MPa}$
$h = 1970 \text{ mm}$	$Z_y = 279756750 \text{ mm}^3$	$E = 200000 \text{ MPa}$
$a = 1470 \text{ mm}$		

Perhitungan kekuatan penampang gelagar induk pelengkung:

Dari hasil permodelan 3D menggunakan SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

$$P_u = 5732523,090 \text{ Kgm (Gaya tekan)}$$

$$M_{ux} = 1595104,260 \text{ Kgm}$$

$$M_{uy} = 3320391,520 \text{ Kgm}$$

$$V_u = 165547,580 \text{ Kg}$$

$$T_u = 1278721,490 \text{ Kgm}$$

a) Kontrol penampang terhadap tekan

- Cek klasifikasi penampang gelagar induk pelengkung

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t. sehingga :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{a-3tf}{tw} \\ &= \frac{1470 - (3 \times 65)}{65} \\ &= 19,62\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1,40 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,40 \sqrt{\frac{200000}{415}} \\ &= 30,734\end{aligned}$$

Kontrol

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$19,62 \leq 30,734 \text{ (nonlangsing)}$$

- Cek kelangsingan penampang

Menurut SNI 1729 – 2020 pasal E2 catatan pengguna hal. 34, untuk perencanaan batang tekan rasio kelangsingan (L_c/r) tidak melebihi 200.

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r}$$

$$K = 1 \text{ (perletakan sendi – sendi)}$$

$$L = 5947 \text{ mm (panjang penampang)}$$

$$r_y = 648,737 \text{ mm (nilai terkecil dari } r_x \text{ dan } r_y)$$

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r} \leq 200$$

$$\frac{1 \times 5947}{648,737} \leq 200$$

$$9,2 \leq 200 \text{ (OK)}$$

- Menghitung kuat tekan nominal (P_n)

Perencanaan batan tekan untuk penampang box non langsing dihitung berdasarkan SNI 1729 2020 Tabel catatan pengguna E1.1 hal.33, keadaan batas yang ditinjau adalah tekuk lentur (FB) atau pasal E3.

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

Menghitung nilai f_e :

$$\begin{aligned} f_e &= \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \\ &= \frac{3,14^2 \times 200000}{(9,2)^2} \\ &= 23465,551 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Menghitung nilai F_{cr} :

$$\begin{aligned} \frac{L_c}{r} &\leq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ 9,2 &\leq 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} \\ 9,2 &\leq 103,398 \text{ OK} \end{aligned}$$

Maka, nilai F_{cr} :

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y \\ &= \left(0,658 \frac{415}{23465,551}\right) \times 415 \\ &= 411,939 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka, kuat tekan nominal P_n :

$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 411,939 \times 464100 \\ &= 191181074,9 \text{ N} \\ &= 19118107,494 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$\begin{aligned} 0,9 \times 19118107,494 &\geq 5732523,090 \\ 17206296,744 \text{ Kg} &\geq 5732523,090 \text{ Kg (OK)} \end{aligned}$$

b) Kontrol penampang terhadap lentur

- Cek klasifikasi penampang

- Sayap (*Flange*)

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t. sehingga :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{a-3tf}{tw} \\ &= \frac{1470-(3 \times 65)}{65} \\ &= 19,62\end{aligned}$$

$$\lambda_p = 1,12 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,12 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 24,587$$

$$\lambda_r = 1,40 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,40 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 30,734$$

Kontrol :

Profil dinyatakan kompak apabila memenuhi syarat:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$19,62 \leq 30,734 \text{ (**kompak**)}$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$19,62 \leq 24,587 \text{ (**kompak**)}$$

- Badan (*Web*)

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t. sehingga :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h-3tf}{tw} \\ &= \frac{1970-(3 \times 65)}{65} \\ &= 27,31\end{aligned}$$

$$\lambda_p = 2,42 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,42 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 53,126$$

$$\lambda_r = 5,70 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 5,70 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 125,131$$

Kontrol :

Profil dinyatakan kompak apabila memenuhi syarat:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$27,31 \leq 53,126 \text{ (**kompak**)}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$27,31 \leq 125,131 \text{ (**kompak**)}$$

Penampang tergolong kompak, sehingga tekuk lokal sayap dan badan tidak terjadi.

- Menghitung kuat lentur nominal (M_n)

Perhitungan kuat lentur nominal (M_n) ditentukan berdasarkan SNI 1729 – 2020 pasal F7.

Penampang tergolong kompak maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_{nx} = M_{px} &= Z_x \times f_y \\ &= 337769300 \times 415 \\ &= 140174259500 \text{ Nmm} \\ &= 14293796,324 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} = M_{py} &= Z_y \times f_y \\ &= 279756750 \times 415 \\ &= 116099051250 \text{ Nmm} \\ &= 11838808,336 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Kontrol :

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

$$0,9 \times 14293796,324 > 1595104,260 \text{ Kgm}$$

$$12864416,691 \text{ Kgm} > 1595104,260 \text{ Kgm (**OK**)}$$

$$\phi M_{ny} > M_{uy}$$

$$0,9 \times 11838808,336 > 3320391,520 \text{ Kgm}$$

$$10654927,503 \text{ Kgm} > 3320391,520 \text{ Kgm (**OK**)}$$

c) Kontrol penampang terhadap geser

Penentuan kuat geser nominal (V_n) penampang box ditentukan berdasarkan SNI 1729 -2020 Pasal G4 adalah sebagai berikut :

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v2$$

Menentukan nilai A_w :

$$\begin{aligned} A_w &= 2 \times h \times t \\ &= 2 \times (h - 3 \times t_w) \times t \\ &= 2 \times (1970 - 3 \times 65) \times 65 \\ &= 230750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan koefisien tekuk geser badan (C_v2):

$$\frac{h-3tf}{tw} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v \times E}{f_y}}$$

$$\frac{1775}{65} \leq 1,1 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{415}}$$

$$27,31 \leq 53,997 \text{ Maka, nilai } C_v2 = 1$$

Kuat geser nominal (V_n) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v2 \\ &= 0,6 \times 415 \times 230750 \times 1 \\ &= 57456750 \text{ N} \\ &= 5745675 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\Phi V_n \geq V_u$$

$$0,9 \times 5745675 \text{ Kg} \geq 165547,580 \text{ Kg}$$

$$5171108 \text{ Kg} \geq 165547,580 \text{ Kg (OK)}$$

d) Kontrol penampang terhadap torsi

Perhitungan kuat torsi nominal (T_n) ditentukan berdasarkan SNI 1729 2020

Pasar H3.1 adalah sebagai berikut:

$$T_n = F_{cr} \times C$$

- Periksa terhadap syarat tegangan kritis (SNI 1729 – 2020, ps H3-1b)

$$\frac{h}{tw} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{h-3tf}{tw} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{1970-3 \times 65}{65} \leq 2,45 \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$27,31 \leq 53,784 \text{ (OK)}$$

Maka nilai F_{cr} ditentukan:

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,6 \times f_y \text{ (SNI 1729 – 2020, ps H3-3)} \\ &= 0,6 \times 415 \\ &= 249 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Konstanta torsi C untuk PSR persegi panjang ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C &= 2 (B - t) (H - t) t - 4,5 (4 - \pi) t^3 \\ &= 2 (1600 - 65) (2100 - 65) 65 - 4,5 (4 - 3,14) 65^3 \\ &= 405024982,143 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Maka, nilai torsi nominal (T_n):

$$\begin{aligned} T_n &= F_{cr} \times C \\ &= 249 \times 405024982,143 \\ &= 100851220553,571 \text{ Nmm} \\ &= 10283962,339 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\Phi T_n \geq T_u$$

$$0,9 \times 10283962,339 \text{ Kgm} \geq 1278721,490 \text{ Kgm}$$

$$9255566,105 \text{ Kgm} \geq 1278721,490 \text{ Kgm (OK)}$$

e) Kontrol terhadap kombinasi torsi, lentur, geser, dan gaya aksial tekan

- Periksa apakah gaya torsi dapat diabaikan

$$\begin{aligned} \frac{T_u}{\Phi T_n} &\leq 0,20 \\ \frac{1278721,490}{9255566,105} &\leq 0,20 \\ 0,1382 &\leq 0,20 \end{aligned}$$

Maka gaya torsi dapat diabaikan (SNI 1729 – 2020, ps H3-2)

Interaksi lentur, geser, dan gaya aksial ditentukan oleh Pasal H1 SNI 1729 – 2020.

$$\begin{aligned} \frac{P_u}{\Phi P_n} &\geq 0,20 \\ \frac{5732523,090}{17206296,744} &\geq 0,20 \\ 0,333 &\geq 0,20 \end{aligned}$$

Karena $P_u/\Phi P_n \geq 0,20$, maka sesuai dengan Pasal H1.1.(a) kombinasi gaya yang terjadi ditentukan sebagai berikut:

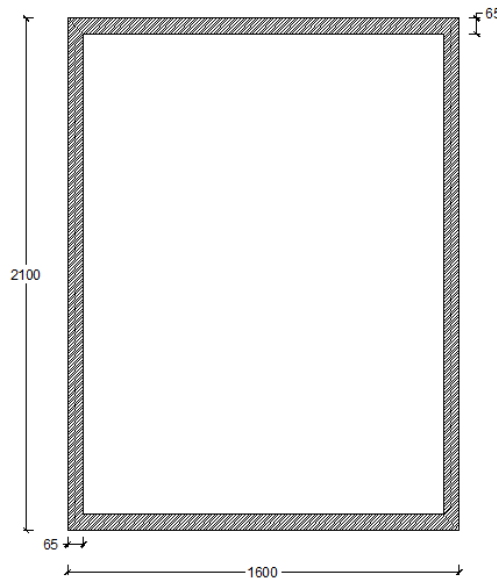
$$\frac{P_u}{\Phi P_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{ux}}{\Phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\Phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{55732523,090}{17206296,744} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{1595104,260}{12864416,691} + \frac{3320391,520}{10654927,503} \right) \leq 1$$

$$0,333 + 0,889 (0,124 + 0,312) \leq 1$$

$$0,720 \leq 1 \text{ (OK)}$$

2. Pendimensian Gelagar Induk Memanjang Tepi



Gambar 4.41 Dimensi Gelagar Induk Memanjang Tepi

Gelagar induk memanjang tepi menggunakan profil BOX 2100 x 1600 x 65 x 65 dengan properti material sebagai berikut :

$A = 464100 \text{ mm}^2$	$I_x = 298241810000 \text{ mm}^4$	$r_x = 801,638 \text{ mm}$
$d = 2100 \text{ mm}$	$I_y = 195320810000 \text{ mm}^4$	$r_y = 648,737 \text{ mm}$
$b = 1600 \text{ mm}$	$S_x = 284039820 \text{ mm}^3$	ASTM A572
$t_f = 65 \text{ mm}$	$S_y = 244151010 \text{ mm}^3$	$f_y = 415 \text{ MPa}$
$t_w = 65 \text{ mm}$	$Z_x = 337769300 \text{ mm}^3$	$f_u = 520 \text{ MPa}$
$h = 1970 \text{ mm}$	$Z_y = 279756750 \text{ mm}^3$	$E = 200000 \text{ MPa}$
$a = 1470 \text{ mm}$		

Perhitungan kekuatan penampang gelagar induk memanjang tepi:

Dari hasil permodelan 3D menggunakan SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

$$P_u = 808786,450 \text{ Kgm (Gaya tarik)}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 1710468,450 \text{ Kgm} \\ M_{uy} &= 2316160,490 \text{ Kgm} \\ V_u &= 153699,430 \text{ Kg} \\ T_u &= 6316,050 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

a) Kontrol penampang terhadap tarik

- Cek kelangsingan penampang

Menurut SNI 1729 – 2020 Pasal. D1, Untuk komponen struktur yang didesain berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r}$$

$K = 1$ (perletakan sendi – sendi)

$L = 5000 \text{ mm}$ (panjang penampang)

$r_y = 648,737 \text{ mm}$ (nilai terkecil dari r_x dan r_y)

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r} \leq 300$$

$$\frac{1 \times 5000}{648,737} \leq 300$$

$$7,71 \leq 300 \text{ (OK)}$$

- Menghitung leleh tarik penampang(SNI 1729 – 2020, pasal D2-1a)

$$P_n = F_y \times A_g$$

$$= 415 \times 464100$$

$$= 192601500 \text{ N}$$

$$= 19260150 \text{ Kg}$$

Kontrol

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$0,9 \times 19260150 \geq 808786,450$$

$$17334135 \text{ Kg} \geq 808786,450 \text{ Kg (OK)}$$

- Menghitung keruntuhan tarik penampang (SNI 1729 – 2020, pasal D2-1b)

$$P_n = f_u \times A_e \rightarrow A_e = A_n \times U$$

$$A_n = 0,85 \times A_g = 0,85 \times 464100 = 394485 \text{ mm}^2$$

$$U = 1 - \frac{x}{l}$$

$$x = 1 - \frac{B^2}{4(B+H)} = 1 - \frac{1600^2}{4(1600+2100)} = 172,973$$

$$U = 1 - \frac{172,973}{2100} = 0,918$$

$$A_e = A_n \times U = 394485 \times 0,918 = 361992,027 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_u \times A_e \\ &= 520 \times 361992,027 \\ &= 188235854,054 \text{ N} \\ &= 18823585,405 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$0,75 \times 18823585,405 \geq 808786,450$$

$$14117689,054 \text{ Kg} \geq 808786,450 \text{ Kg (OK)}$$

b) Kontrol penampang terhadap lentur

- Cek klasifikasi penampang

- Sayap (*Flange*)

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t. sehingga :

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{a-3tf}{tw} \\ &= \frac{1470 - (3 \times 65)}{65} \\ &= 19,62 \end{aligned}$$

$$\lambda_p = 1,12 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,12 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 24,587$$

$$\lambda_r = 1,40 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,40 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 30,734$$

Kontrol :

Profil dinyatakan kompak apabila memenuhi syarat:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$19,62 \leq 30,734 \text{ (kompak)}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$19,62 \leq 24,587 \text{ (kompak)}$$

- Badan (*Web*)

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t. sehingga :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h-3tf}{tw} \\ &= \frac{1970-(3 \times 65)}{65} \\ &= 27,31\end{aligned}$$

$$\lambda_p = 2,42 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,42 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 53,126$$

$$\lambda_r = 5,70 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,70 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 125,131$$

Kontrol :

Profil dinyatakan kompak apabila memenuhi syarat:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$27,31 \leq 53,126 \text{ (**kompak**)}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$27,31 \leq 125,131 \text{ (**kompak**)}$$

Penampang tergolong kompak, sehingga tekuk lokal sayap dan badan tidak terjadi.

- Menghitung kuat lentur nominal (M_n)

Perhitungan kuat lentur nominal (M_n) ditentukan berdasarkan SNI 1729 – 2020 pasal F7.

Penampang tergolong kompak maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned}M_{nx} &= M_{px} = Z_x \times f_y \\ &= 337769300 \times 415 \\ &= 140174259500 \text{ Nmm} \\ &= 14293796,324 \text{ Kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ny} &= M_{py} = Z_y \times f_y \\ &= 279756750 \times 415 \\ &= 116099051250 \text{ Nmm} \\ &= 11838808,336 \text{ Kgm}\end{aligned}$$

Kontrol :

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

$$0,9 \times 14293796,324 > 1710468,450 \text{ Kgm}$$

$$12864416,691 \text{ Kgm} > 1710468,450 \text{ Kgm (OK)}$$

$$\phi M_{ny} > M_{uy}$$

$$0,9 \times 11838808,336 > 2316160,490 \text{ Kgm}$$

$$11838808,336 \text{ Kgm} > 2316160,490 \text{ Kgm (OK)}$$

c) Kontrol penampang terhadap geser

Penentuan kuat geser nominal (V_n) penampang box ditentukan berdasarkan SNI 1729 -2020 Pasal G4 adalah sebagai berikut :

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v2$$

Menentukan nilai A_w :

$$A_w = 2 \times h \times t$$

$$= 2 \times (h - 3 \times t_w) \times t$$

$$= 2 \times (1970 - 3 \times 65) \times 65$$

$$= 230750 \text{ mm}^2$$

Menentukan koefisien tekuk geser badan (C_v2) :

$$\frac{h-3tf}{tw} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v \times E}{f_y}}$$

$$\frac{1775}{65} \leq 1,1 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{415}}$$

$$27,31 \leq 53,997 \text{ Maka, nilai } C_v2 = 1$$

Kuat geser nominal (V_n) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v2$$

$$= 0,6 \times 415 \times 230750 \times 1$$

$$= 57456750 \text{ N}$$

$$= 5745675 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\Phi V_n \geq V_u$$

$$0,9 \times 5745675 \text{ Kg} \geq 153699,430 \text{ Kg}$$

$$5171108 \text{ Kg} \geq 153699,430 \text{ Kg (OK)}$$

d) Kontrol penampang terhadap torsi

Perhitungan kuat torsi nominal (T_n) ditentukan berdasarkan SNI 1729 2020

Pasar H3.1 adalah sebagai berikut:

$$T_n = F_{cr} \times C$$

- Periksa terhadap syarat tegangan kritis (SNI 1729 – 2020, ps H3-1b)

$$\frac{h}{tw} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{h-3tf}{tw} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{1970-3 \times 65}{65} \leq 2,45 \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$27,31 \leq 53,784 \text{ (OK)}$$

Maka nilai F_{cr} ditentukan:

$$F_{cr} = 0,6 \times f_y \text{ (SNI 1729 – 2020, pasal H3-3)}$$

$$= 0,6 \times 415$$

$$= 249 \text{ MPa}$$

Konstanta torsi C untuk PSR persegi panjang ditentukan sebagai berikut:

$$C = 2 (B - t) (H - t) t - 4,5 (4 - \pi) t^3$$

$$= 2 (1600 - 65) (2100 - 65) 65 - 4,5 (4 - 3,14) 65^3$$

$$= 405024982,143 \text{ mm}^3$$

Maka, nilai torsi nominal (T_n):

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$= 249 \times 405024982,143$$

$$= 100851220553,571 \text{ Nmm}$$

$$= 10283962,339 \text{ Kgm}$$

Kontrol :

$$\Phi T_n \geq T_u$$

$$0,9 \times 10283962,339 \text{ Kgm} \geq 6316,050 \text{ Kgm}$$

$$9255566,105 \text{ Kgm} \geq 6316,050 \text{ Kgm (OK)}$$

e) **Kontrol terhadap kombinasi torsi, lentur, geser, dan gaya aksial tekan**

- Periksa apakah gaya torsi dapat diabaikan

$$\frac{T_u}{\Phi T_n} \leq 0,20$$

$$\frac{6316,050}{9255566,1} \leq 0,20$$

$$0,000682 \leq 0,20$$

Maka gaya torsi dapat diabaikan (SNI 1729 – 2020, ps H3-2)

Interaksi lentur, geser, dan gaya aksial ditentukan oleh Pasal H1 SNI 1729 – 2020.

$$\frac{P_u}{\Phi P_n} \leq 0,20$$

$$\frac{808786,450}{14117689,054} \leq 0,20$$

$$0,0573 \leq 0,20$$

Karena $P_u/\Phi P_n \leq 0,20$, maka sesuai dengan Pasal H1.1.(b) kombinasi gaya yang terjadi ditentukan sebagai berikut:

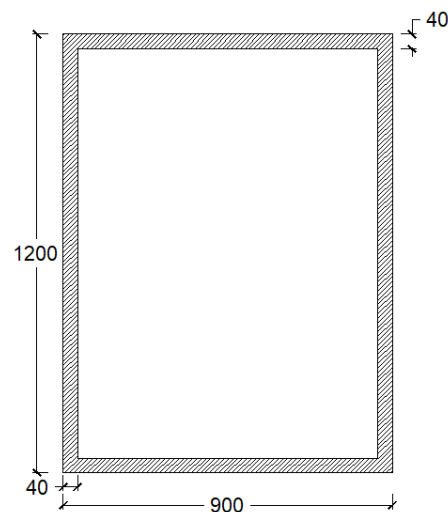
$$\frac{P_u}{2\Phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\Phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\Phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{808786,450}{2 \times 14117689,054} + \left(\frac{1710468,450}{12864416,691} + \frac{2316160,490}{10654927,503} \right) \leq 1$$

$$0,029 + (0,133 + 0,217) \leq 1$$

$$0,379 \leq 1 \text{ (OK)}$$

3. Pendimensian Gelagar Melintang Atas



Gambar 4.42 Dimensi Gelagar Melintang Atas

Gelagar melintang atas menggunakan profil BOX 1200 x 900 x 40 x 40 dengan properti material sebagai berikut :

$A = 161600 \text{ mm}^2$	$I_x = 33596590000 \text{ mm}^4$	$r_x = 455,960 \text{ mm}$
$d = 1200 \text{ mm}$	$I_y = 21438987000 \text{ mm}^4$	$r_y = 364,234 \text{ mm}$
$b = 900 \text{ mm}$	$S_x = 55994311 \text{ mm}^3$	ASTM A572
$t_f = 40 \text{ mm}$	$S_y = 4764219 \text{ mm}^3$	$f_y = 415 \text{ MPa}$
$t_w = 40 \text{ mm}$	$Z_x = 66848000 \text{ mm}^3$	$f_u = 520 \text{ MPa}$
$h = 1120 \text{ mm}$	$Z_y = 54728000 \text{ mm}^3$	$E = 200000 \text{ MPa}$
$a = 820 \text{ mm}$		

Perhitungan kekuatan penampang gelagar melintang atas:

Dari hasil permodelan 3D menggunakan SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

P_u	$= 339761,110 \text{ Kgm}$ (Gaya tekan)
M_{ux}	$= 1343984,160 \text{ Kgm}$
M_{uy}	$= 643311,160 \text{ Kgm}$
V_u	$= 303747,120 \text{ Kg}$
T_u	$= 44522,550 \text{ Kgm}$

a) Kontrol penampang terhadap tekan

- Cek klasifikasi penampang gelagar melintang atas

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t , sehingga :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{a-3t_f}{t_w} \\ &= \frac{820-(3 \times 40)}{40} \\ &= 17,50\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1,40 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{200000}{415}} \\ &= 30,734\end{aligned}$$

Kontrol

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$17,50 \leq 30,734 \text{ (nonlangsing)}$$

- Cek kelangsingan penampang

Menurut SNI 1729 – 2020 pasal E2 catatan pengguna hal. 34, untuk perencanaan batang tekan rasio kelangsingan (L_c/r) tidak melebihi 200.

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r}$$

$$K = 1 \text{ (perletakan sendi – sendi)}$$

$$L = 9000 \text{ mm (panjang penampang)}$$

$$r_y = 364,234 \text{ mm (nilai terkecil dari } r_x \text{ dan } r_y)$$

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r} \leq 200$$

$$\frac{1 \times 9000}{364,234} \leq 200$$

$$24,7 \leq 200 \text{ (OK)}$$

- Menghitung kuat tekan nominal (P_n)

Perencanaan batan tekan untuk penampang box non langsing dihitung berdasarkan SNI 1729 2020 Tabel catatan pengguna E1.1 hal.33,keadaan batas yang ditinjau adalah tekuk lentur (FB) atau pasal E3.

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

Menghitung nilai f_e :

$$f_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2}$$

$$= \frac{3,14^2 \times 200000}{(24,7)^2}$$

$$= 3229,723 \text{ MPa}$$

Menghitung nilai F_{cr} :

$$\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$24,7 \leq 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$24,7 \leq 103,398 \text{ (OK)}$$

Maka, nilai F_{cr} :

$$F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) \times F_y$$

$$= \left(0,658^{\frac{415}{3229,723}}\right) \times 415$$

$$= 393,270 \text{ MPa}$$

Maka, kuat tekan nominal Pn :

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

$$= 393,270 \times 161600$$

$$= 63552489,956 \text{ N}$$

$$= 6355248,996 \text{ Kg}$$

Kontrol

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$0,9 \times 6355248,996 \geq 339761,110$$

$$5719724,096 \text{ Kg} \geq 339761,110 \text{ Kg (OK)}$$

b) Kontrol penampang terhadap lentur

- Cek klasifikasi penampang

- Sayap (*Flange*)

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t. sehingga :

$$\lambda = \frac{a-3tf}{tw}$$

$$= \frac{820-(3 \times 40)}{40}$$

$$= 17,50$$

$$\lambda_p = 1,12 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,12 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 24,587$$

$$\lambda_r = 1,40 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,40 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 30,734$$

Kontrol :

Profil dinyatakan kompak apabila memenuhi syarat:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$17,50 \leq 30,734 \text{ (kompak)}$$

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$17,50 \leq 24,587 \text{ (kompak)}$$

- Badan (*Web*)

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Ps 4.1b.(d) hal. 17, jika radius sudut bagian dalam tidak diketahui, a dan h harus diambil sebagai dimensi terluar yang sesuai dikurangi tiga kali ketebalan, t. sehingga :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h-3tf}{tw} \\ &= \frac{1120-(3 \times 40)}{40} \\ &= 25\end{aligned}$$

$$\lambda_p = 2,42 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2,42 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 53,126$$

$$\lambda_r = 5,70 \times \sqrt{\frac{E}{fy}} = 5,70 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} = 125,131$$

Kontrol :

Profil dinyatakan kompak apabila memenuhi syarat:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$25 \leq 53,126 \text{ (**kompak**)}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$25 \leq 125,131 \text{ (**kompak**)}$$

Penampang tergolong kompak, sehingga tekuk lokal sayap dan badan tidak terjadi.

- Menghitung kuat lentur nominal (M_n)

Perhitungan kuat lentur nominal (M_n) ditentukan berdasarkan SNI 1729 – 2020 pasal F7.

Penampang tergolong kompak maka $M_n = M_p$

$$\begin{aligned}M_{nx} &= M_{px} = Z_x \times f_y \\ &= 66848000 \times 415 \\ &= 27741920000 \text{ Nmm} \\ &= 2828889 \text{ Kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ny} &= M_{py} = Z_y \times f_y \\ &= 54728000 \times 415 \\ &= 22712120000 \text{ Nmm} \\ &= 2315991,670 \text{ Kgm}\end{aligned}$$

Kontrol :

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

$$0,9 \times 2828889 > 1343984,160 \text{ Kgm}$$

$$2545999,672 \text{ Kgm} > 1343984,160 \text{ Kgm (OK)}$$

$$\phi M_{ny} > M_{uy}$$

$$0,9 \times 2315991,670 > 643311,160 \text{ Kgm}$$

$$2084392,503 \text{ Kgm} > 643311,160 \text{ Kgm (OK)}$$

c) Kontrol penampang terhadap geser

Penentuan kuat geser nominal (V_n) penampang box ditentukan berdasarkan SNI 1729 -2020 Pasal G4 adalah sebagai berikut :

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v2$$

Menentukan nilai A_w :

$$A_w = 2 \times h \times t$$

$$= 2 \times (h - 3 \times t_w) \times t$$

$$= 2 \times (1120 - 3 \times 40) \times 40$$

$$= 80000 \text{ mm}^2$$

Menentukan koefisien tekuk geser badan (C_v2) :

$$\frac{h-3tf}{tw} \leq 1,1 \sqrt{\frac{K_v \times E}{f_y}}$$

$$\frac{1000}{60} \leq 1,1 \sqrt{\frac{5 \times 200000}{415}}$$

$$25 \leq 53,997 \text{ Maka, nilai } C_v2 = 1$$

Kuat geser nominal (V_n) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v2$$

$$= 0,6 \times 415 \times 80000 \times 1$$

$$= 19920000 \text{ N}$$

$$= 1992000 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\Phi V_n \geq V_u$$

$$0,9 \times 1992000 \text{ Kg} \geq 303747,120 \text{ Kg}$$

$$1792800 \text{ Kg} \geq 303747,120 \text{ Kg (OK)}$$

d) Kontrol penampang terhadap torsi

Perhitungan kuat torsi nominal (T_n) ditentukan berdasarkan SNI 1729 2020

Pasar H3.1 adalah sebagai berikut:

$$T_n = F_{cr} \times C$$

- Periksa terhadap syarat tegangan kritis (SNI 1729 – 2020, ps H3-1b)

$$\frac{h}{tw} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{h-3tf}{tw} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{1120-3 \times 40}{40} \leq 2,45 \sqrt{\frac{200000}{415}}$$

$$25 \leq 53,7845 \text{ (OK)}$$

Maka nilai F_{cr} ditentukan:

$$F_{cr} = 0,6 \times f_y \text{ (SNI 1729 – 2020, ps H3-3)}$$

$$= 0,6 \times 415$$

$$= 249 \text{ MPa}$$

Konstanta torsi C untuk PSR persegi panjang ditentukan sebagai berikut:

$$C = 2 (B - t) (H - t) t - 4,5 (4 - \pi) t^3$$

$$= 2 (900 - 40) (1200 - 40) 40 - 4,5 (4 - 3,14) 40^3$$

$$= 79561142,857 \text{ mm}^3$$

Maka, nilai torsi nominal (T_n):

$$T_n = F_{cr} \times C$$

$$= 249 \times 79561142,857$$

$$= 19810724571,429 \text{ Nmm}$$

$$= 2020131,678 \text{ Kgm}$$

Kontrol :

$$\Phi T_n \geq T_u$$

$$0,9 \times 2020131,678 \text{ Kgm} \geq 44522,550 \text{ Kgm}$$

$$1818118,510 \text{ Kgm} \geq 44522,550 \text{ Kgm (OK)}$$

e) Kontrol terhadap kombinasi torsi, lentur, geser, dan gaya aksial tekan

- Periksa apakah gaya torsi dapat diabaikan

$$\frac{T_u}{\Phi T_n} \leq 0,20$$

$$\frac{44522,550}{1818118,510} \leq 0,20$$

$$0,024 \leq 0,20$$

Maka gaya torsi dapat diabaikan (SNI 1729 – 2020, ps H3-2)

Interaksi lentur, geser, dan gaya aksial ditentukan oleh Pasal H1 SNI 1729 – 2020.

$$\frac{P_u}{\Phi P_n} \leq 0,20$$

$$\frac{339761,110}{5719724,096} \leq 0,20$$

$$0,059 \leq 0,20$$

Karena $P_u/\Phi P_n \leq 0,20$, maka sesuai dengan Pasal H1.1.(a) kombinasi gaya yang terjadi ditentukan sebagai berikut:

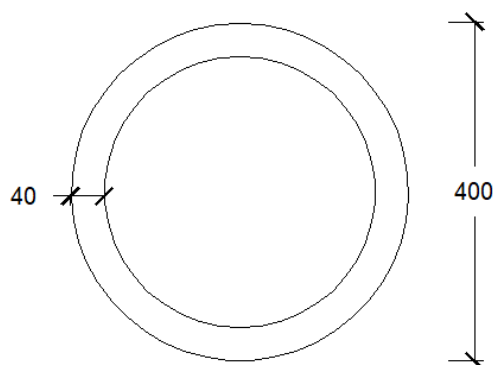
$$\frac{P_u}{2 \times \Phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\Phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\Phi M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\frac{339761,110}{2 \times 5719724,096} + \left(\frac{1343984,160}{2545999,672} + \frac{643311,160}{2084392,503} \right) \leq 1$$

$$0,030 + (0,528 + 0,309) \leq 1$$

$$0,866 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4. Pendimensionian Ikatang Angin Atas



Gambar 4.43 Dimensi Ikatang Angin Atas

Ikatan angin atas menggunakan profil pipa Ø400 dengan properti material sebagai berikut.

$A = 45238,930 \text{ mm}^2$	$I_x = 741918500 \text{ mm}^4$	$r_x = 128,062 \text{ mm}$
$D = 400 \text{ mm}$	$I_y = 741918500 \text{ mm}^4$	$r_y = 128,062 \text{ mm}$
$t = 40 \text{ mm}$	$S_x = 3709593 \text{ mm}^3$	ASTM A572
$E = 200000 \text{ MPa}$	$S_y = 3709593 \text{ mm}^3$	$f_y = 415 \text{ MPa}$
	$Z_x = 5205333 \text{ mm}^3$	$f_u = 520 \text{ MPa}$
	$Z_y = 5205333 \text{ mm}^3$	

Dari hasil permodelan 3D menggunakan SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

$$P_u = 443943,830 \text{ Kgm (Gaya tekan)}$$

Kontrol penampang sebagai batang tekan

- Cek klasifikasi penampang ikatan angin atas

$$\frac{D}{t} \leq 0,11 \times \frac{E}{F_y}$$

$$\frac{400}{40} \leq 0,11 \times \frac{200000}{415}$$

$$10 \leq 53,012 \text{ (nonlangsing)}$$

- Cek kelangsingan penampang

Menurut SNI 1729 – 2020 pasal E2 catatan pengguna hal. 34, untuk perencanaan batang tekan rasio kelangsingan (L_c/r) tidak melebihi 200.

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r}$$

$$K = 1 \text{ (perletakan sendi – sendi)}$$

$$L = 6727 \text{ mm (panjang penampang)}$$

$$r_y = 128,062 \text{ mm (nilai terkecil dari } r_x \text{ dan } r_y)$$

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r} \leq 200$$

$$\frac{1 \times 6727}{128,062} \leq 200$$

$$52,5 \leq 200 \text{ (OK)}$$

- Menghitung kuat tekan nominal (P_n)

Perencanaan batan tekan untuk penampang PSR bundar atau pipa dengan elemen non langsing dihitung berdasarkan SNI 1729 2020 Tabel catatan

pengguna E1.1 hal.33,keadaan batas yang ditinjau adalah tekuk lentur (FB) atau pasal E3.

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

Menghitung nilai f_e :

$$\begin{aligned} f_e &= \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \\ &= \frac{3,14^2 \times 200000}{(52,5)^2} \\ &= 714,639 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Menghitung nilai F_{cr} :

$$\begin{aligned} \frac{L_c}{r} &\leq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ 52,5 &\leq 4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{415}} \\ 52,5 &\leq 103,398 \text{ OK} \end{aligned}$$

Maka, nilai F_{cr} :

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(0,658^{\frac{F_y}{f_e}}\right) \times F_y \\ &= \left(0,658^{\frac{415}{714,639}}\right) \times 415 \\ &= 325,454 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka, kuat tekan nominal P_n :

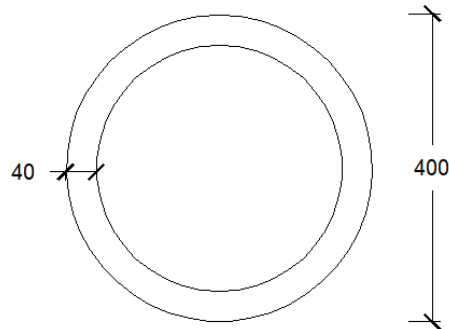
$$\begin{aligned} P_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 325,454 \times 45238,930 \\ &= 14723190,908 \text{ N} \\ &= 1472319,091 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$\begin{aligned} 0,9 \times 1472319,091 &\geq 443943,830 \\ 1325087,182 \text{ Kg} &\geq 443943,830 \text{ Kg (OK)} \end{aligned}$$

5. Pendimensionian Ikatan Angin Bawah



Gambar 4.44 Dimensi Ikatan Angin Bawah

Ikatan angin bawah menggunakan profil pipa Ø400 dengan properti material sebagai berikut.

$A = 45238,930 \text{ mm}^2$	$I_x = 741918500 \text{ mm}^4$	$r_x = 128,062 \text{ mm}$
$D = 400 \text{ mm}$	$I_y = 741918500 \text{ mm}^4$	$r_y = 128,062 \text{ mm}$
$t = 40 \text{ mm}$	$S_x = 3709593 \text{ mm}^3$	ASTM A572
$E = 200000 \text{ MPa}$	$S_y = 3709593 \text{ mm}^3$	$f_y = 415 \text{ MPa}$
	$Z_x = 5205333 \text{ mm}^3$	$f_u = 520 \text{ MPa}$
	$Z_y = 5205333 \text{ mm}^3$	

Dari hasil permodelan 3D menggunakan SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

$P_u = 161030,340 \text{ Kgm}$ (Gaya tarik)

Kontrol penampang sebagai batang tarik

- Cek kelangsingan penampang

Menurut SNI 1729 – 2020 Pasal. D1, Untuk komponen struktur yang didesain berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300.

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r}$$

$K = 1$ (perletakan sendi – sendi)

$L = 5147 \text{ mm}$ (panjang penampang)

$r_y = 128,062 \text{ mm}$ (nilai terkecil dari r_x dan r_y)

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r} \leq 300$$

$$\frac{1 \times 5147}{128,062} \leq 300$$

$$40,19 \leq 300 \text{ (OK)}$$

- Menghitung leleh tarik penampang(SNI 1729 – 2020, pasal D2-1a)

$$\begin{aligned} P_n &= F_y \times A_g \\ &= 415 \times 45238,930 \\ &= 18774155,950 \text{ N} \\ &= 1877415,595 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$0,9 \times 1877415,595 \geq 161030,340$$

$$1689674,036 \text{ Kg} \geq 161030,340 \text{ Kg (OK)}$$

- Menghitung keruntuhan tarik penampang (SNI 1729 – 2020, pasal D2-1b)

$$P_n = f_u \times A_e \rightarrow A_e = A_n \times U$$

$$A_n = 0,85 \times A_g = 0,85 \times 45238,930 = 38453,091 \text{ mm}^2$$

$$U = 1 - \frac{x}{l}$$

$$x = \frac{D}{\pi} = \frac{400}{3,14} = 127,389$$

$$U = 1 - \frac{127,389}{400} = 0,682$$

$$A_e = A_n \times U = 38453,091 \times 0,682 = 26206,883 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_u \times A_e \\ &= 520 \times 26206,883 \\ &= 13627579,334 \text{ N} \\ &= 1362757,933 \text{ Kg} \end{aligned}$$

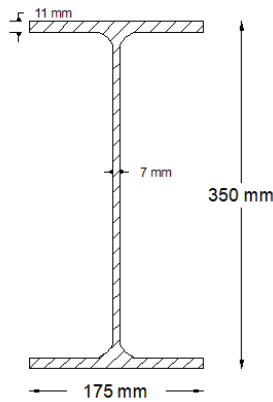
Kontrol

$$\Phi P_n \geq P_u$$

$$0,9 \times 1362757,933 \geq 161030,340$$

$$1022068,450 \text{ Kg} \geq 161030,340 \text{ Kg (OK)}$$

6. Pendimensionian Batang Penggantung



Gambar 4.45 Dimensi Batang Penggantung WF

Batang penggantung menggunakan profil WF 350 x 175 x 7 x 11 dengan properti material sebagai berikut.

$A = 6146 \text{ mm}^2$	$I_x = 131234690 \text{ mm}^4$	$r_x = 146,126 \text{ mm}$
$d = 350 \text{ mm}$	$I_y = 9834896 \text{ mm}^4$	$r_y = 40,002 \text{ mm}$
$b = 175 \text{ mm}$	$S_x = 749912,5 \text{ mm}^3$	ASTM A572
$t_w = 7$	$S_y = 112398,81 \text{ mm}^3$	$f_y = 415 \text{ MPa}$
$T_f = 11$	$Z_x = 840847 \text{ mm}^3$	$f_u = 520 \text{ MPa}$
$E = 200000 \text{ MPa}$	$Z_y = 172455,5 \text{ mm}^3$	

Dari hasil permodelan 3D menggunakan SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

$$P_u = 86590,410 \text{ Kgm}$$

- Cek kelangsingan penampang

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r}$$

$$K = 1 \text{ (perletakan sendi – sendi)}$$

$$L = 11560 \text{ mm (panjang penampang)}$$

$$r_y = 40,002 \text{ mm (nilai terkecil dari } r_x \text{ dan } r_y)$$

$$\frac{L_c}{r} = \frac{K L}{r} = \frac{1 \times 11560}{40,002} = 288,99 < 300$$

- Menghitung luas penampang bersih:

$$\text{dicoba menggunakan baut (} d_b \text{)} = 12,70 \text{ mm}$$

$$\text{dimana lubang baut} = 17,46 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_g - n \cdot d_l \cdot t_f \\
 &= 6146 - (2 \times 17,46 \times 11) \\
 &= 5761,88 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Faktor shear - lag

$$\begin{aligned}
 \text{Jika } b &\geq 2/3 d, U = 0,9 \\
 b &\leq 2/3 d \quad U = 0,85
 \end{aligned}$$

Maka :

$$175 \leq 2/3 \times 350$$

$$175 \leq 233,333$$

Maka yang digunakan $U = 0,85$

- Menghitung luas efektif :

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_n \times U \\
 &= 5761,880 \times 0,85 \\
 &= 4897,598 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Kekuatan desain untuk kondisi leleh :

$$\begin{aligned}
 P_n &= \Phi \times f_y \times A_g \\
 &= 0,9 \times 415 \times 6146 \\
 &= 2295531 \text{ N} \\
 &= 229553,1 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

- Kekuatan desain untuk kondisi fraktur :

$$\begin{aligned}
 P_n &= \Phi \times f_u \times A_e \\
 &= 0,75 \times 520 \times 4897,598 \\
 &= 1910063,220 \text{ N} \\
 &= 191006,322 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Dari dua kondisi diatas diambil kekuatan desain yang terkecil: 191006,322 N

Kontrol :

$$P_n \geq P_u$$

$$191006,322 \text{ Kg} \geq 86590,410 \text{ Kg (OK)}$$

Rasio kekuatan :

$$\frac{P_u}{P_n} = \frac{86590,410}{191006,322} = 0,453 \leq 1 \text{ (OK)}$$

4.5 Perencanaan Sambungan

4.5.1. Perencanaan Sambungan Gelagar Memanjang - Melintang

A. Data Profil Baja

Profil gelagar memanjang	WF 400 x 200 x 8 x 13
Mutu baja profil	ASTM A572
Tegangan leleh baja	$f_y = 415 \text{ Mpa}$
Tegangan tarik baja	$f_u = 520 \text{ Mpa}$

B. Beban yang bekerja

Gaya geser gelagar melintang	$V_u = 21428,242 \text{ Kg}$
------------------------------	------------------------------

C. Data material baut

Tipe baut	A490 (Ulir bidang geser)
Kuat geser nominal baut	$F_{nv} = 469 \text{ Mpa}$
Kuat tarik nominal baut	$F_{nt} = 780 \text{ Mpa}$
Diameter baut (3/4 inch)	$d_b = 19,1 \text{ mm}$
Diameter lubang baut ($d_b + 2 \text{ mm}$)	$d_h = 21,1 \text{ mm}$
Luas baut ($A_b = 1/4\pi d_b^2$)	$A_b = 286,376 \text{ mm}^2$
Gaya pratarik minimum baut	$T_b = 156 \text{ Kn}$ $= 15907,3 \text{ Kg}$
Jumlah bidang geser	$n_s = 2$

D. Parameter sambungan slip kritis

Koefisien slip rata-rata	$\mu = 0,5$
Koefisien gesek	$D_u = 1,13$
Faktor untuk pelat pengisi (filler)	$h_f = 1$
Faktor reduksi	$\phi = 1$

E. Data profil siku

Dimensi profil siku	L 90 x 90 x 9
Mutu profil siku	ASTM A572
tegangan leleh profil siku	$f_y = 415 \text{ MPa}$
Tegangan tarik profil siku	$f_u = 520 \text{ Mpa}$
Luas profil siku	$A_g = 1900 \text{ mm}^2$

F. Perencanaan Sambungan

1. Menghitung tahanan slip kritis baut

$$R_n = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$$

$$R_n = 1 \times 1 \times 1 \times 15907,3 \times 2$$

$$= 17975,3 \text{ Kn}$$

$$\phi R_n = 1 \times 17975,3$$

$$= 17975,3 \text{ Kg}$$

2. Menghitung jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{21428,2}{17975,3} = 1,19 \approx 4 \text{ baut}$$

3. Menentukan jarak pemasangan baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$1,5 \text{ db} < S1 < 12 \text{ tp}$$

$$1,5 \text{ } 19,1 < S1 < 12 \text{ } 9$$

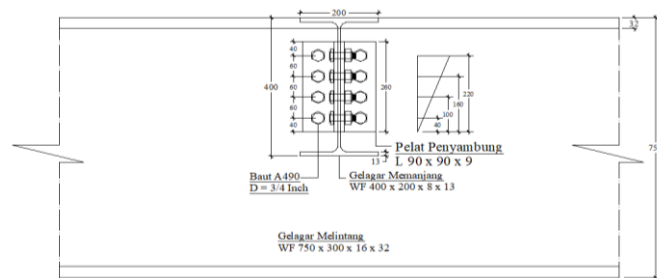
$$28,7 \text{ mm} < 40 < 108 \text{ mm} \quad \text{OKE}$$

Jarak antar baut

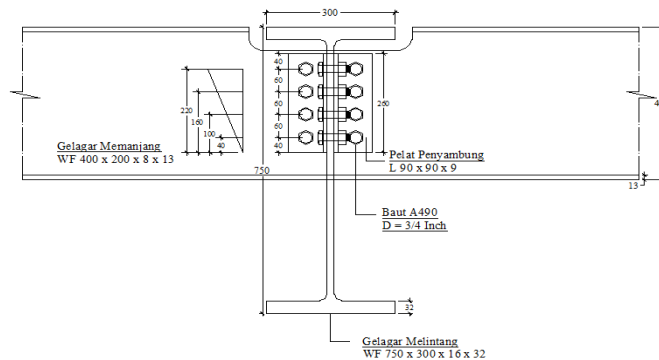
$$3 \text{ db} < S1 < 12 \text{ tp}$$

$$3 \text{ } 19,1 < S1 < 12 \text{ } 9$$

$$57,3 \text{ mm} < 60 < 108 \text{ mm} \quad \text{OKE}$$



Gambar 4.46 Sambungan Gelagar Memanjang - Melintang



Gambar 4.47 Sambungan Gelagar Melintang - Memanjang

G. Evaluasi kekuatan sambungan

1. Beban yang bekerja

- Gaya geser tiap baut

$$R_u = \frac{V_u}{n} = \frac{21428,2}{4} = 5357,061 \text{ Kg}$$

- Gaya tarik pada baut akibat eksentrisitas grup baut

$$\text{Eksentrisitas } e = 2,54 \text{ cm} = 25,4 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah grup baut ngrup} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Momen akibat eksentrisitas } M_u &= V_u \times e \\ &= 21428,2 \times 25,4 \\ &= 544277 \text{ Kgmm} \end{aligned}$$

Jarak tiap baut terhadap serat bawah pelat siku (y_i) :

$$\text{Baut 1 } y_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Baut 2 } y_2 = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Baut 3 } y_3 = 160 \text{ mm}$$

Baut 4 $y_4 = 220$ mm

$$\begin{aligned} \text{Total kumulatif jarak } \Sigma y_i &= n_{\text{grup}} \times (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2) \\ &= 2 \times (1600 + 10000 + 25600 + 48400) \\ &= 171200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tarik pada baut baris teratas (Baut No. 4) :

$$T_u = \frac{\mu \times y_4}{n_{\text{grup}}} = \frac{544277 \times 220}{2} = 349,711 \text{ Kg}$$

2. Kekuatan geser baut

$$R_n = F_{nv} \times A_b \times n_s$$

$$\begin{aligned} R_n &= 469 \times 286,4 \times 2 \\ &= 268621 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 268621 \\ &= 201465 \text{ N} \\ &= 20146,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol : } \phi R_n > R_u$$

$$20146,5 \text{ Kg} > 5357,061 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

3. Kekuatan tarik baut

$$T_n = F_{nt} \times A_b$$

$$\begin{aligned} T_n &= 780 \times 286,376 \\ &= 223373 \text{ N} \end{aligned}$$

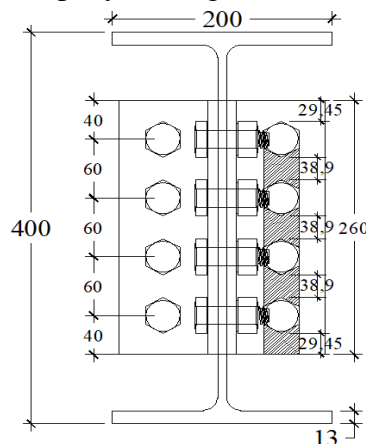
$$\begin{aligned} \phi T_n &= 0,75 \times 223373,16 \\ &= 167530 \text{ N} \\ &= 16753 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi T_n > T_u$$

$$16752,987 \text{ Kg} > 349,711 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

4. Kekuatan tumpu pelat penyambung



Gambar 4.48 Kuat Tumpu Pelat Penyambung Memanjang - Melintang

Kuat Tumpu Sambungan Profil Siku $tp = 9 \text{ mm}$
 Jarak bersih baut ke tepi pelat $lc = 29,45 \text{ mm}$ (menentukan)
 Jarak bersih antar baut $lc = 38,9 \text{ mm}$

Kapasitas tumpu baut :

$$R_n = \phi 1,2 lc tp fu \leq \phi 2,4 db tp fu$$

$$R_n = 0,75 \cdot 1,2 \cdot 29,5 \cdot 9 \cdot 520 \leq 0,75 \cdot 2,4 \cdot 19,1 \cdot 9 \cdot 520$$

$$= 124043,4 \text{ N} \leq 160898 \text{ N}$$

Digunakan nilai terkecil $R_n = 160898 \text{ N} = 16089,84 \text{ Kg}$

Kontrol : $\phi R_n > R_u$
 $16089,84 \text{ Kg} > 5357,061 \text{ Kg}$ **OKE**

5. Kombinasi gaya tarik dan geser pada sambungan slip kritis

Tahanan slip kritis awal $\phi R_n = 17975,272 \text{ Kg}$

Koefisien sambungan slip kritis akibat kombinasi gaya tarik dan geser (SNI 1729 – 2020; pers J3-5a) :

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u \times T_b \times n_b} \geq 0$$

$$K_{sc} = 1 - \frac{349,711}{1 \cdot 15907,3 \cdot 1} \geq 0$$

$$= 0,981 \geq 0$$

Tahanan slip kritis akhir

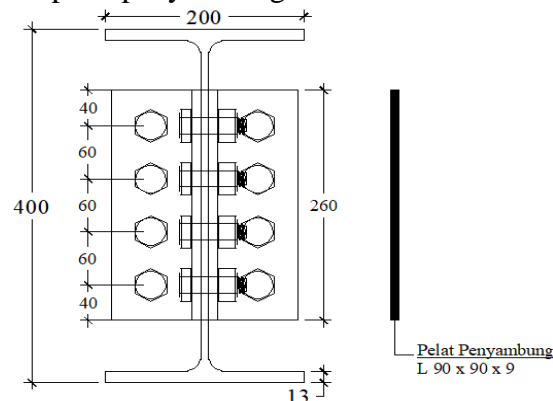
$$\phi R_n = \phi R_n \times K_{sc}$$

$$= 17975,272 \times 0,981$$

$$= 17625,561 \text{ Kg}$$

Kontrol : $\phi R_n > R_u$
 $17625,561 \text{ Kg} > 5357,061 \text{ Kg}$ **OKE**

6. Leleh geser pelat penyambung



Gambar 4.49 Leleh Geser Pelat Penyambung
 Memanjang - Melintang

Luas bruto bidang geser :

$$A_{gv} = (\ell \times tp) \times 2$$

$$= [260 \times 9] \times 2$$

$$= 4680 \text{ mm}^2$$

Kapasitas leleh geser :

$$\phi R_n = \phi 0,6 f_y A_{gv}$$

$$= 1 \times 0,6 \times 415 \times 4680$$

$$= 1165320 \text{ N}$$

$$= 116532 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\phi R_n > V_u$$

$$116532 \text{ Kg} > 21428,242 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

7. Geser fraktur profil siku

Luas neto bidang geser :

$$A_{nv} = A_{gv} - 2(n \text{ dl } t_p)$$

$$= 4680 - 2 \times [2 \times 21,1 \times 9]$$

$$= 3920,4 \text{ mm}^2$$

Kapasitas geser fraktur :

$$\phi R_n = \phi 0,6 f_{up} A_{nv}$$

$$= 0,75 \times 0,6 \times 520 \times 3920,4$$

$$= 917374 \text{ N}$$

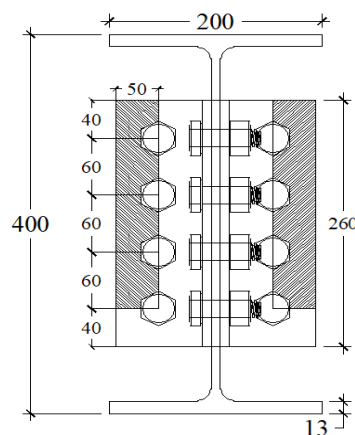
$$= 91737,4 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\phi R_n > V_u$$

$$91737,360 \text{ Kg} > 21428,242 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

8. Blok geser pelat penyambung



Gambar 4.50 Blok Geser Pelat Penyambung
Memanjang - Melintang

Luas bruto bidang geser :

$$A_{gv} = \ell \times t_p \times 2$$

$$= 220 \times 9 \times 2$$

$$= 3960 \text{ mm}^2$$

Luas neto bidang geser :

$$\begin{aligned} Anv &= (29,5 + 38,9) \times 2 \times tp \times 2 \\ &= (29,5 + 38,9) \times 2 \times 9 \times 2 \\ &= 1930,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas neto bidang tarik :

$$\begin{aligned} Ant &= (50 \times tp) \times 2 \\ &= (50 \times 9) \times 2 \\ &= 900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Faktor distribus tegangan $U_{bs} = 1,1$

Tahanan nominal blok geser diambil yang terkecil dari :

$$\begin{aligned} Rn &= 0,60 fu Anv + U_{bs} fu Ant \\ &= 0,6 \times 520 \times 1930,5 + 1 \times 520 \times 900 \\ &= 1070316 \text{ N} \\ &= 107031,6 \text{ Kg} \quad (\text{Menentukan}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= 0,60 fu Agv + U_{bs} fu Ant \\ &= 0,6 \times 520 \times 3960 + 1 \times 520 \times 900 \\ &= 1703520 \text{ N} \\ &= 170352 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas blok geser desain } \phi Rn &= 0,75 \times 107032 \\ &= 80274 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi Rn &> Vu \\ 80273,7 \text{ Kg} &> 21428,242 \text{ Kg} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

4.5.2 Perencanaan Sambungan Gelagar Induk Memanjang Tepi - Gelagar Melintang

A. Data Profil Baja

Profil gelagar melintang	WF 750 x 300 x 16 x 32
Mutu baja profil	ASTM A572
Tegangan leleh baja	$f_y = 415 \text{ Mpa}$
Tegangan tarik baja	$f_u = 520 \text{ Mpa}$

B. Beban yang bekerja

Gaya geser gelagar melintang	$V_u = 83249,257 \text{ Kg}$
------------------------------	------------------------------

C. Data material baut

Tipe baut	A490(Ulir bidang geser)
Kuat geser nominal baut	$F_{nv} = 469 \text{ Mpa}$
Kuat tarik nominal baut	$F_{nt} = 780 \text{ Mpa}$
Diameter baut (3/4 inch)	$d_b = 19,1 \text{ mm}$
Diameter lubang baut ($d_b + 2 \text{ mm}$)	$d_h = 21,1 \text{ mm}$
Luas baut ($A_b = 1/4\pi d_b^2$)	$A_b = 286 \text{ mm}^2$
Gaya pratarik minimum baut	$T_b = 156 \text{ Kn}$ $= 15907,320 \text{ Kg}$
Jumlah bidang geser	$n_s = 2$

D. Parameter sambungan slip kritis

Koefisien slip rata-rata	μ	=	1
Koefisien gesek	Du	=	1
Faktor untuk pelat pengisi (filler)	hf	=	1
Faktor reduksi	ϕ	=	1

E. Data profil siku

Dimensi profil siku	L 130 x 130 x 15
Mutu profil siku	ASTM A572
tegangan leleh profil siku	fyp = 415 MPa
Tegangan tarik profil siku	fup = 520 Mpa
Luas profil siku	Ag = 4274 mm ²

F. Perencanaan Sambungan

1. Menghitung tahanan slip kritis baut

$$\begin{aligned} R_n &= \mu \times Du \times hf \times T_b \times n_s \\ R_n &= 1 \times 1 \times 1 \times 15907,320 \times 2 \\ &= 17975,272 \text{ Kg} \\ \phi R_n &= 1 \times 17975,272 \\ &= 17975,272 \text{ Kg} \end{aligned}$$

2. Menghitung jumlah baut

$$\begin{aligned} n &= \frac{V_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{83249,3}{17975,3} = 4,63 \approx 6 \text{ baut} \end{aligned}$$

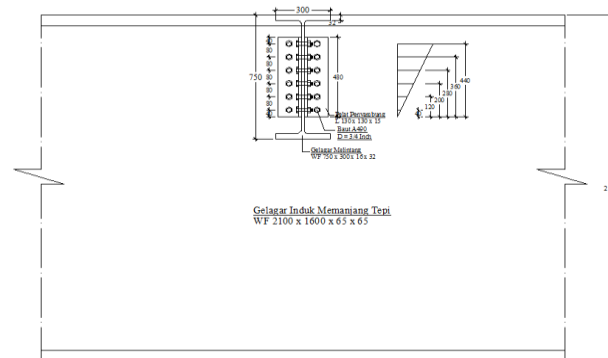
3. Menentukan jarak pemasangan baut

Jarak baut ke tepi pelat

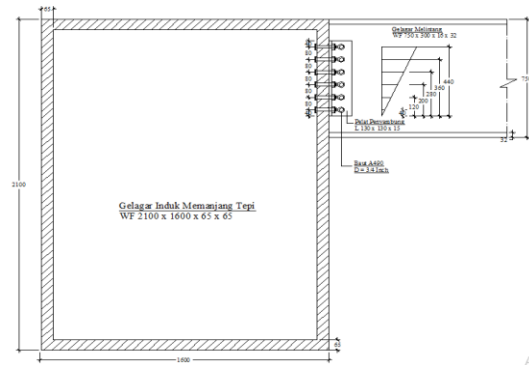
$$\begin{aligned} 1,5 \text{ db} &< S1 < 12 \text{ tp} \\ 1,5 \text{ } 19,1 &< S1 < 12 \text{ } 15 \\ 28,7 \text{ mm} &< 40 < 180 \text{ mm} \quad \mathbf{OKE} \end{aligned}$$

Jarak antar baut

$$\begin{aligned} 3 \text{ db} &< S1 < 12 \text{ tp} \\ 3 \text{ } 19,1 &< S1 < 12 \text{ } 15 \\ 57,3 \text{ mm} &< 80 < 180 \text{ mm} \quad \mathbf{OKE} \end{aligned}$$



Gambar 4.51 Sambungan Gelagar Melintang - Induk Memanjang Tepi



Gambar 4.52 Sambungan Induk Memanjang Tepi - Gelagar Melintang

G. Evaluasi kekuatan sambungan

1. Beban yang bekerja

- Gaya geser tiap baut

$$R_u = \frac{V_u}{n} = \frac{83249,3}{6} = 13875 \text{ Kg}$$

- Gaya tarik pada baut akibat eksentrisitas grup baut

$$\text{Eksentrisitas } e = 3,76 \text{ cm} = 37,6 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah grup baut } n_{\text{grup}} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Momen akibat eksentrisitas } M_u &= V_u \times e \\ &= 83249,257 \times 37,6 \\ &= 3130172,063 \text{ Kgmm} \end{aligned}$$

Jarak tiap baut terhadap serat bawah pelat siku (y_i) :

$$\text{Baut } y_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Baut } y_2 = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Baut } y_3 = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Baut } y_4 = 280 \text{ mm}$$

$$\text{Baut } y_5 = 360 \text{ mm}$$

$$\text{Baut } y_6 = 440 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Total kumulatif jarak } \Sigma y_i &= n_{\text{grup}} \times (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2 + y_6^2) \\ &= 2 \times \begin{pmatrix} 1600 & + & 14400 & + & 40000 \\ 78400 & + & 129600 & + & 193600 \end{pmatrix} \\ &= 915200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tarik pada baut baris teratas (Baut No. 4) :

$$T_u = \frac{M_u \times y_6}{n_{\text{grup}} \times \Sigma y_i} = \frac{3130172 \times 440}{2 \times 915200} = 752,445 \text{ Kg}$$

2. Kekuatan geser baut

$$R_n = F_{nv} \times A_b \times n_s$$

$$R_n = 469 \times 286,376 \times 2$$

$$= 268621 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 268620,55$$

$$= 201465 \text{ N}$$

$$= 20146,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Kontrol } \phi R_n > R_u \rightarrow 20146,5 \text{ Kg} > 13874,9 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

3. Kekuatan tarik baut

$$T_n = F_{nt} \times A_b$$

$$T_n = 780 \times 286$$

$$= 223373 \text{ N}$$

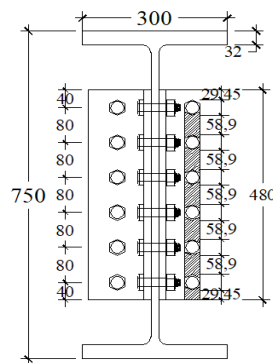
$$\phi T_n = 0,75 \times 223373,16$$

$$= 167530 \text{ N}$$

$$= 16753 \text{ Kg}$$

$$\text{Kontrol } \phi T_n > T_u \rightarrow 16753 \text{ Kg} > 752,445 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

4. Kekuatan tumpu pelat penyambung



Gambar 4.53 Kuat Tumpu Pelat Penyambung Melintang-Induk Memanjang Tepi

Tebal pelat penyambung $t_p = 15 \text{ mm}$

Jarak bersih baut ke tepi pelat $l_c = 29,45 \text{ mm}$ (menentukan)

Jarak bersih antar baut $l_c = 58,9 \text{ mm}$

Kapasitas tumpu baut :

$$R_n = \phi 1,2 l_c t_p f_u \leq \phi 2,4 d_b t_p f_u$$

$$R_n = 0,75 \cdot 1,2 \cdot 29,5 \cdot 15 \cdot 520 \leq 0,75 \cdot 2,4 \cdot 19,1 \cdot 15 \cdot 520$$

$$= 206739 \text{ N} \leq 268164 \text{ N}$$

Digunakan nilai terkecil $206739 \text{ N} = 20673,9 \text{ Kg}$

$$\text{Kontrol } \phi R_n > R_u \rightarrow 20673,9 \text{ Kg} > 13874,9 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

5. Kombinasi gaya tarik dan geser pada sambungan slip kritis

Tahanan slip kritis awal $\phi R_n = 17975,272 \text{ Kg}$

Koefisien sambungan slip kritis akibat kombinasi gaya tarik dan geser (SNI 1729 – 2020; pers J3-5a) :

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u \times T_b \times n_b} \geq 0$$

$$K_{sc} = 1 - \frac{752,445}{1 \times 15907,3 \times 1} \geq 0$$

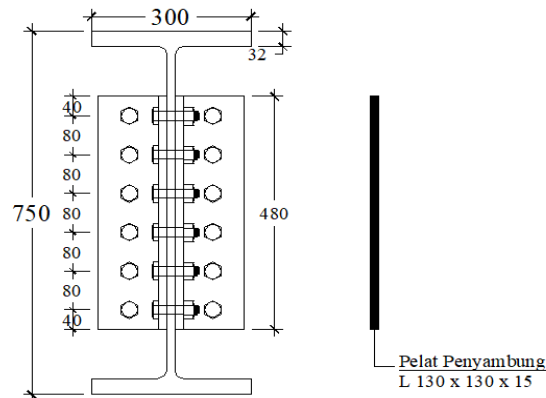
$$= 0,958 \geq 0$$

Tahanan slip kritis akhir

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi R_n \times K_{sc} \\ &= 17975,3 \times 0,958 \\ &= 17222,8 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\text{Kontrol } \phi R_n > R_u \rightarrow 17222,826 > 13874,9 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

6. Leleh geser pelat penyangung



Gambar 4.54 Leleh Geser pelat Penyangung Gelagar Melintang - Induk Memanjang Tepi

Luas bruto bidang geser :

$$\begin{aligned}A_{gv} &= [1 \times t_p \times 2] \\ &= 480 \times 15 \times 2 \\ &= 14400 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kapasitas leleh geser :

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi 0,6 f_y A_{gv} \\ &= 1 \times 0,6 \times 415 \times 14400 \\ &= 3585600 \text{ N} \\ &= 358560 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\text{Kontrol } \phi R_n > V_u \rightarrow 358560 \text{ Kg} > 83249,3 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

7. Geser fraktur profil siku

Luas neto bidang geser :

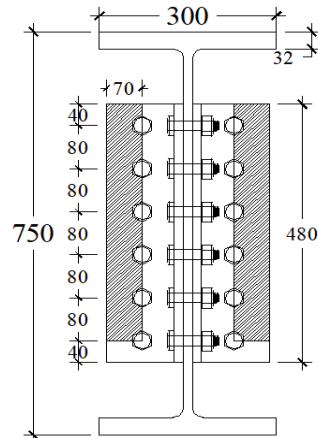
$$\begin{aligned}A_{nv} &= A_{gv} - 2(n d_l t_p) \\ &= 14400 - 2 \times [3 \times 21,1 \times 15] \\ &= 12501 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kapasitas geser fraktur :

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi 0,6 f_{up} A_{nv} \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 520 \times 12501 \\ &= 2925234 \text{ N} \\ &= 292523,400 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\text{Kontrol } \phi R_n > V_u \rightarrow 292523 \text{ Kg} > 83249,3 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

8. Blok geser pelat penyambung



Gambar 4.55 Blok Geser Pelat Penyambung Gelagar
Melintang -Induk Memanjang Tepi

Luas bruto bidang geser :

$$\begin{aligned} A_{gv} &= (l \times t_p) \times 2 \\ &= 200 \times 15 \times 2 \\ &= 6000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas neto bidang geser :

$$\begin{aligned} A_{nv} &= [29 + 58,9] \times 2 \times t_p \times 2 \\ &= [29 + 58,9] \times 2 \times 15 \times 2 \\ &= 4417,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas neto bidang tarik :

$$\begin{aligned} A_{nt} &= 70 \times t_p \times 2 \\ &= 70 \times 15 \times 2 \\ &= 2100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Faktor distribus tegangan $U_{bs} = 1,0$ (tegangan merata)

Tahanan nominal blok geser diambil yang terkecil dari :

$$\begin{aligned} R_n &= 0,60 f_u A_{nv} + U_{bs} f_u A_{nt} \\ &= 0,6 \times 520 \times 4417,5 + 1 \times 520 \times 2100 \\ &= 2470260 \text{ N} \\ &= 247026 \text{ Kg} \quad (\text{Menentukan}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= 0,60 f_u A_{gv} + U_{bs} f_u A_{nt} \\ &= 0,6 \times 520 \times 6000 + 1 \times 520 \times 2100 \\ &= 2964000 \text{ N} \\ &= 296400 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas blok geser desain } \phi R_n &= 0,75 \times 247026 \\ &= 185270 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{Kontrol } \phi R_n > V_u \rightarrow 185270 \text{ Kg} > 83249,3 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

4.5.3 Perencanaan Sambungan Gelagar Induk Pelengkung

A. Data Profil Baja

Profil gelagar induk pelengkung	BOX 2100 x 1600 x 65 x 65		
d = 2100 mm	h = 1970 mm	tw = 65 mm	
b = 1600 mm	a = 1470 mm	tf = 65 mm	
Ag = 464100 mm ²			

Mutu baja profil	ASTM A572		
Tegangan leleh baja	fy	= 415	Mpa
Tegangan tarik baja	fu	= 520	Mpa

B. Beban yang bekerja

Gaya aksial maksimum	Pu	= 5732523,09	Kg
Gaya geser maksimum sumbu x	Vux	= 466633,69	Kg
Gaya geser maksimum sumbu y	Vuy	= 165547,58	Kg
Momen maksimum sumbu x	Mux	= 1595104,26	Kgm
Momen maksimum sumbu y	Muy	= 3320391,52	Kgm
Torsi maksimum	Tu	= 1278721,49	Kgm

C. Data material baut

Tipe baut	A490 (Ulir bidang geser)		
Kuat geser nominal baut	Fnv	= 469	Mpa
Kuat tarik nominal baut	Fnt	= 780	Mpa
Diameter baut (1 1/4 inch)	db	= 31,8	mm
Diameter lubang baut (db + 2 mm)	dl	= 33,8	mm
Luas baut ($Ab = 1/4\pi db^2$)	Ab	= 793,823	mm ²
Gaya pratarik minimum baut	Tb	= 454	Kn
		= 46294,4	Kg
Jumlah bidang geser	ns	= 2	

D. Parameter sambungan slip kritis

Koefisien slip rata-rata	μ	= 0,5
Koefisien gesek	Du	= 1,13
Faktor untuk pelat pengisi (filler)	hf	= 1
Faktor reduksi	ϕ	= 1

E. Data pelat penyambung

Tebal pelat penyambung	Tp	= 50	mm
Mutu baja	ASTM A572		
tegangan leleh pelat	fyp	= 415	MPa
Tegangan tarik pelat	fup	= 520	Mpa

F. Perencanaan Sambungan

1. Menghitung resultan gaya yang bekerja

Pada arah sumbu X:

$$Pu = 5732523,09 \text{ Kg}$$

$$Pu \text{ sayap} = \frac{Muy}{d} = \frac{3320391,52}{2,1} = 1581138,8 \text{ Kg}$$

$$Pu \text{ badan} = Mux = \frac{1595104,26}{1,6} = 996940,16 \text{ Kg}$$

$$X \text{ sayap} = Pu \text{ sayap} + Pu \left(\frac{b}{d+b} \right) \\ = 1581138,8 + 5732523,1 \left(\frac{1,6}{3,7} \right)$$

$$= 4060067,72 \text{ Kg} \\ X \text{ badan} = Pu \text{ badan} + Pu \left(\frac{d}{d+b} \right) \\ = 996940,16 + 5732523,1 \left(\frac{2,1}{3,7} \right) \\ = 4250534,349 \text{ Kg}$$

Pada arah sumbu Y :

$$Vux = 466633,69 \text{ Kg}$$

$$Vuy = 165547,58 \text{ Kg}$$

$$Y \text{ sayap} := Vuy + \left(\frac{Tu}{d} \times \frac{b}{d+b} \right) \\ = 165547,58 + \left[\frac{1278721,49}{2,1} \times \frac{1,6}{3,7} \right] \\ = 428862,173 \text{ Kg}$$

$$Y \text{ badan} := Vux + \left(\frac{Tu}{b} \times \frac{d}{d+b} \right) \\ = 466634 + \left(\frac{1278721,5}{1,6} \right) \times \frac{2,1}{3,7} \\ = 920234,219 \text{ Kg}$$

Sehingga resultan gaya yg bekerja pada badan adalah sebagai berikut:

$$Vu \text{ sayap} = \sqrt{X \text{ sayap}^2 + Y \text{ sayap}^2} \\ = \sqrt{44060067,72^2 + 428862,173^2} \\ = 4082655,1 \text{ Kg}$$

Maka masing masing sayap menerima gaya geser (Vu sayap)

$$\text{sebesar : } 2041327,551 \text{ Kg}$$

$$Vu \text{ badan} = \sqrt{X \text{ badan}^2 + Y \text{ badan}^2} \\ = \sqrt{4384719,37^2 + 920280,05^2} \\ = 4349008,3 \text{ Kg}$$

Maka masing masing badan menerima gaya geser (Vu badan)

$$\text{sebesar : } 2174504,154 \text{ Kg}$$

2. Menghitung kuat slip kritis baut

$$Rn = \mu \times Du \times hf \times Tb \times ns$$

$$Rn = 0,5 \times 1,13 \times 1 \times 46294,38 \times 2 \\ = 52312,649 \text{ Kg}$$

$$\phi Rn = 1 \times 52312,649$$

$$= 52312,649 \text{ Kg}$$

3. Menghitung jumlah baut

$$n \text{ badan} = \frac{V_u \text{ badan}}{\phi R_n} = \frac{2174504,154}{52312,6494} = 41,567 = 48 \text{ Baut}$$

$$n \text{ sayap} = \frac{V_u \text{ sayap}}{\phi R_n} = \frac{2041327,551}{52312,6494} = 39,022 = 42 \text{ Baut}$$

4. Menentukan jarak pemasangan baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$1,5 \text{ db} < S1 < 12 \text{ tp}$$

$$1,5 \cdot 31,8 < S1 < 12 \cdot 50$$

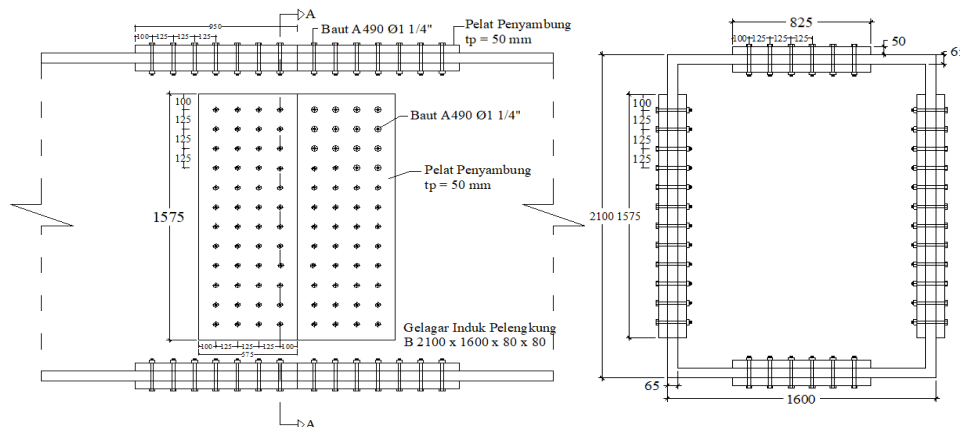
$$47,7 \text{ mm} < 100 < 600 \text{ mm} \text{ Memenuhi}$$

Jarak antar baut

$$3 \text{ db} < S1 < 14 \text{ tp}$$

$$3 \cdot 31,8 < S1 < 14 \cdot 50$$

$$95,4 \text{ mm} < 125 < 700 \text{ mm} \text{ Memenuhi}$$



Gambar 4.56 Sambungan Gelagar Induk Pelengkung

5. Analisa pada sambungan pelat sayap

Pada komponen pelat sayap didapatkan gaya yang bekerja sebesar: $V_u \text{ sayap} = 2041327,551 \text{ Kg}$

a. Proporsi luas pelat sayap terhadap gaya yang bekerja

$$\begin{aligned} \text{Pelat sayap profil (Af)} &= b \times t_f \\ &= 1600 \times 65 \\ &= 104000 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{100 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pelat sisi atas (Af1)} &= b_1 \times t_{f1} \\ &= 825 \times 50 \\ &= 41250 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{39,7 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pelat sisi bawah (Af2)} &= Af1 \\ &= 41250 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{39,7 \%} \end{aligned}$$

Pada pelat sisi atas dan bawah direncanakan untuk menerima 50% dari gaya kopel. Akan tetapi karna luas pelat sisi atas

dan bawah kurang dari 50% luas sayap profil, Maka bagian yang paling kritis adalah pelat sisi atas dan bawah tersebut.

b Perhitungan komponen tarik pelat penyambung (sayap)

1. Leleh tarik penampang bruto

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Pasal D2.a hal.127, leleh tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_n &= F_y \times A_g \\ &= 415 \times 41250 \\ &= 17118750 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 17118750 \\ &= 15406875 \text{ N} \\ &= 1540687,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

2. Keruntuhan tarik penampang neto

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Pasal D2.b hal.127, keruntuhan tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_l \times t_p) \\ &= 41250 - [6 \times 33,8 \times 50] \\ &= 31110 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

U = 1,0 sehingga $A_n = A_e$.

$$\begin{aligned} P_n &= F_u \times A_e \\ &= 520 \times 31110 \\ &= 16177200 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times P_n \\ &= 0,9 \times 16177200 \\ &= 14559480 \text{ N} \\ &= 1455948 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Antar leleh tarik penampang bruto dan keruntuhan tarik

penampang neto diambil nilai terkecil, $\phi P_n = 1455948 \text{ Kg}$

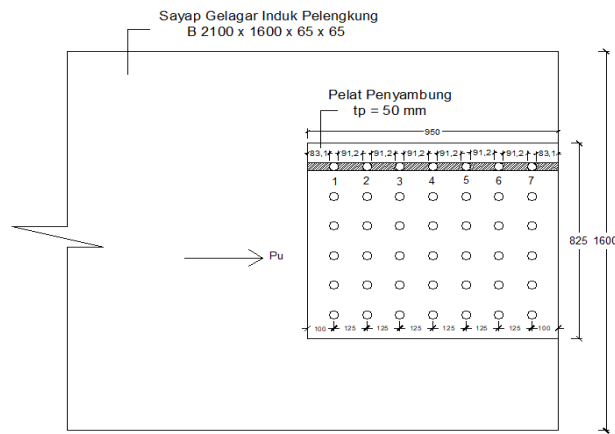
Kontrol :

$$\phi P_n \geq 50\% \times V_u \text{ sayap}$$

$$1455948 \geq 50\% \times 2041327,551$$

$$1455948 \geq 1020663,8 \text{ Kg} \text{ memenuhi}$$

c. Perhitungan Kapasitas Tumpu Pelat Penyambung (sayap)



Gambar 4.57 Kuat Tumpu Pelat Penyambung Sayap Gelagar Induk Pelengkung

Tebal pelat penyambung $tp = 50 \text{ mm}$
 Jarak bersih baut ke tepi pelat $lc = 83,1 \text{ mm}$ (menentukan)
 Jarak bersih antar baut $lc = 91,2 \text{ mm}$

Kuat tumpu dan sobek pelat :

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t_p \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

$$R_n = 1,2 \cdot 83,1 \cdot 50 \cdot 520 \leq 2,4 \cdot 31,8 \cdot 50 \cdot 520$$

$$= 2592720 \text{ N} \leq 1984320 \text{ N}$$

Digunakan nilai terkecil, $R_n = 1984320 \text{ N} = 198432 \text{ Kg}$

Maka kapasitas tumpu pelat total adalah sebagai berikut:

$$\sum R_n = 7 \cdot 6 \cdot R_n$$

$$= 7 \cdot 6 \cdot 198432$$

$$= 8334144 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 8334144$$

$$= 6250608 \text{ Kg}$$

Kontrol

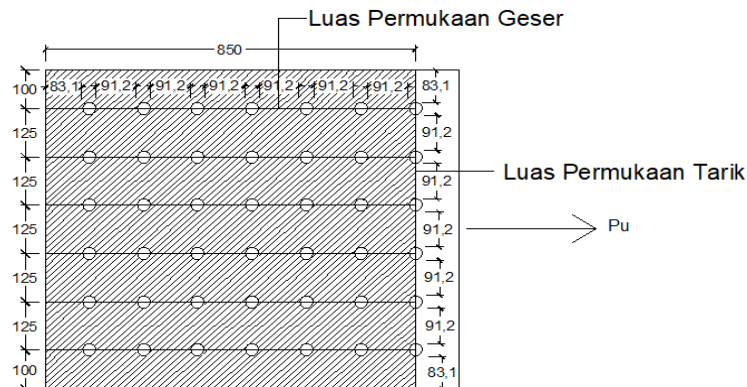
$$\phi R_n > 50 \% V_u \text{ sayap}$$

$$6250608 > 1020663,8 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

d Perhitungan Kapasitas Geser Blok

Keruntuhan geser blok berdasarkan SNI 1729 -2020 Pasal J4.3 hal.136, diambil sebesar:

$$R_n = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt} \leq 0,60 \cdot f_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot f_u \cdot A_{nt}$$



Gambar 4.58 Tinjauan keruntuhan geser blok sayap gelagar induk pelengkung

1. Menghitung luas neto yang memikul geser (A_{nv})

$$\begin{aligned} A_{nv} &= 6 \times (l_c + l_c \text{ tepi}) \times t_p \times \text{jmlh bidang geser} \\ &= 6 \times (91,2 + 83,1) \times 50 \times 6 \\ &= 313740 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung luas neto yang memikul tarik (A_{nt})

Untuk luas permukaan tarik bagian tepi

$$\begin{aligned} A_{nt1} &= l_c \text{ tepi} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tepi} \\ &= 83,1 \times 50 \times 2 \\ &= 8310 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk luas permukaan tarik bagian tengah

$$\begin{aligned} A_{nt2} &= l_c \text{ tengah} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tengah} \\ &= 91,2 \times 50 \times 5 \\ &= 22800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, luas permukaan tarik total:

$$\begin{aligned} A_{nt} &= A_{nt1} + A_{nt2} \\ &= 8310 + 22800 \\ &= 31110 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3. Menghitung luas bruto yang memikul geser (A_{gv})

Diketahui :

$$\text{Panjang bidang blok geser (l)} = 850 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t_p \times \ell \times \text{Jmlh bidang bruto} \\ &= 50 \times 850 \times 6 \\ &= 255000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai keruntuhan blok geser

$$U_{bs} = 0,5 \text{ (Karena tegangan tarik yang terjadi tidak seragam)}$$

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,60 \times f_y \times A_{gv} + U_{bs} \times f_{up} \times A_{nt}$$

$$R_n = 0,6 \times 520 \times 313740 + 0,5 \times 520 \times 31110 \leq 0,6 \times 415$$

$$255000 + 1 \cdot 520 \cdot 31110 = 105975480 \leq 71583600$$

Diambil nilai yang terkecil yaitu $R_n = 71583600 \text{ N}$
 $= 7158360 \text{ Kg}$

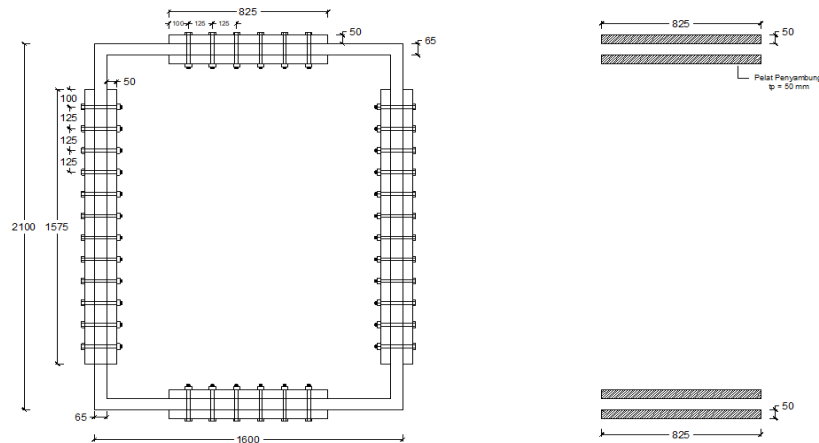
5. Kontrol geser blok baut (Block shear)

$$\phi R_n \geq 50 \% V_u \text{ sayap}$$

$$0,75 \times 7158360 \text{ Kg} \geq 1020663,775 \text{ Kg}$$

$$5368770 \text{ Kg} \geq 1020663,775 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

e. Perhitungan Kuat Geser Pelat Penyambung (Sayap)



Gambar 4.59 Komponen pelat penyambung pada sayap profil Gelagar Induk Pelengkung

1. Menghitung Luas Bruto yang Memikul Geser (A_{gv})

$$A_{gv} = t_p \times \ell \times \text{jmlh pelat penyambung}$$

$$= 50 \times 825 \times 2$$

$$= 82500 \text{ mm}^2$$

2. Menghitung Luas Neto yang Memikul Geser (A_{nv})

$$A_{nv} = A_{gv} - (n \cdot d_l \cdot t_p) \quad \text{dimana } n = \text{jumlah}$$

$$= 82500 - 6 \times 33,8 \times 50 \quad \text{lubang dlm sebaris}$$

$$= 72360 \text{ mm}^2$$

Maka, kuat elemen pelat penyambung yang mengalami geser adalah sebagai berikut:

a. Leleh geser

$$R_n = 0,6 \times F_y \times A_{gv}$$

$$= 0,6 \times 415 \times 82500$$

$$= 20542500 \text{ N}$$

b. Keruntuhan Geser

$$R_n = 0,6 \times F_u \times A_{nv}$$

$$= 0,6 \times 520 \times 72360$$

$$= 22576320 \text{ N}$$

Diambil nilai terkecil : $R_n = 20542500 \text{ N} = 2054250 \text{ Kg}$

Kontrol :

$$\phi R_n \geq 50 \% V_u \text{ sayap}$$

$$0,75 \quad 2054250 \geq 1020663,775 \quad \text{Kg}$$

$$1540687,5 \geq 1020663,775 \quad \text{Kg} \quad \text{OKE}$$

6. Analisa Sambungan Pada Pelat Badan

Gaya geser yang bekerja pada badan profil adalah sebesar :

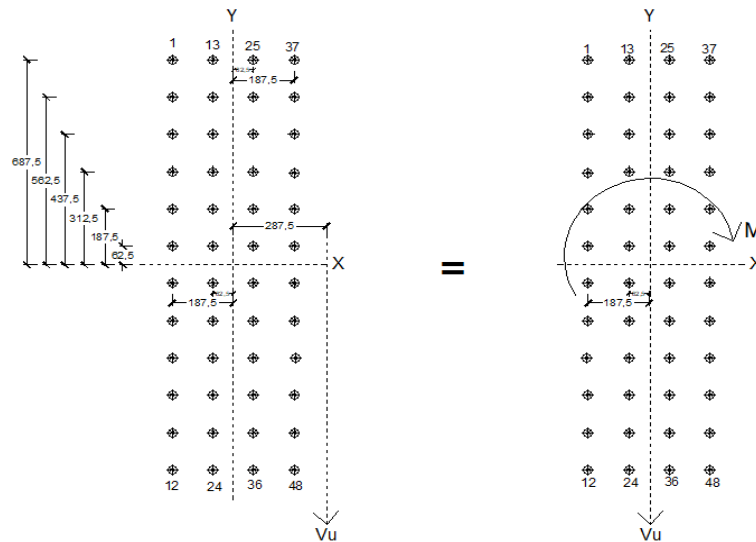
$$V_u \text{ badan} = 2174504,154 \text{ Kg} = 21324,601 \text{ Kn}$$

Gaya bekerja pada titik berat baut atau simetri terhadap sambungan. Sehingga timbul eksentrisitas, $e = 287,5 \text{ mm}$, maka beratnya momen yang terjadi jika gaya geser bekerja pada titik berat grup baut adalah :

$$M_u = \text{badan} \times e$$

$$= 21324,60 \times 287,5$$

$$= 6130822,8 \text{ Knmm}$$



Gambar 4.60 Beban Eksentris dan Konsentris Ekuivalen pada Grup Baut Pelengkung

a. Perhitungan Properti Baut

Perhitungan properti baut dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.17 Perhitungan Properti Baut pelengkung

No	x	y	x ²	y ²	x ² + y ²
	mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²
1	-187,5	687,5	35156,25	472656,25	507812,5
2	-187,5	562,5	35156,25	316406,25	351562,5
3	-187,5	437,5	35156,25	191406,25	226562,5
4	-187,5	312,5	35156,25	97656,25	132812,5
5	-187,5	187,5	35156,25	35156,25	70312,5
6	-187,5	62,5	35156,25	3906,25	39062,5
7	-187,5	-62,5	35156,25	3906,25	39062,5
8	-187,5	-187,5	35156,25	35156,25	70312,5
9	-187,5	-312,5	35156,25	97656,25	132812,5
10	-187,5	-437,5	35156,25	191406,25	226562,5
11	-187,5	-562,5	35156,25	316406,25	351562,5
12	-187,5	-687,5	35156,25	472656,25	507812,5
13	-62,5	687,5	3906,25	472656,25	476562,5
14	-62,5	562,5	3906,25	316406,25	320312,5
15	-62,5	437,5	3906,25	191406,25	195312,5
16	-62,5	312,5	3906,25	97656,25	101562,5
17	-62,5	187,5	3906,25	35156,25	39062,5
18	-62,5	62,5	3906,25	3906,25	7812,5
19	-62,5	-62,5	3906,25	3906,25	7812,5
20	-62,5	-187,5	3906,25	35156,25	39062,5
21	-62,5	-312,5	3906,25	97656,25	101562,5
22	-62,5	-437,5	3906,25	191406,25	195312,5
23	-62,5	-562,5	3906,25	316406,25	320312,5
24	-62,5	-687,5	3906,25	472656,25	476562,5
Total					4937500

Tabel diatas hanya menghitung satu grup baut, maka total daripada property baut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Sigma(x^2 + y^2) &= 2 \times 4937500 \\ &= 9875000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Terhadap Momen:

$$Q = \frac{M}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{6130822,8}{9875000} = 0,621$$

b. Perhitungan Gaya Geser pada Baut (p)

$$\begin{aligned}R_n &= F_{nv} \times A_b \times n_s \\ &= 469 \times 793,823 \times 2 \\ &= 744606,35 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 744606,3492$$

$$= 558454,76 \text{ N}$$

$$= 558,455 \text{ Kn}$$

Tabel 4.18 Gaya Geser Baut Pelengkung

No	x	y	pcy	pmx	pmy	ΣPx	ΣPy
1	-187,5	687,5	478,2	426,8	-116,4	426,8	361,8
2	-187,5	562,5	478,2	349,2	-116,4	349,2	361,8
3	-187,5	437,5	478,2	271,6	-116,4	271,6	361,8
4	-187,5	312,5	478,2	194,0	-116,4	194,0	361,8
5	-187,5	187,5	478,2	116,4	-116,4	116,4	361,8
6	-187,5	62,5	478,2	38,8	-116,4	38,8	361,8
7	-187,5	-62,5	478,2	-38,8	-116,4	-38,8	361,8
8	-187,5	-187,5	478,2	-116,4	-116,4	-116,4	361,8
9	-187,5	-312,5	478,2	-194,0	-116,4	-194,0	361,8
10	-187,5	-437,5	478,2	-271,6	-116,4	-271,6	361,8
11	-187,5	-562,5	478,2	-349,2	-116,4	-349,2	361,8
12	-187,5	-687,5	478,2	-426,8	-116,4	-426,8	361,8
13	-62,5	687,5	478,2	426,8	-38,8	426,8	439,4
14	-62,5	562,5	478,2	349,2	-38,8	349,2	439,4
15	-62,5	437,5	478,2	271,6	-38,8	271,6	439,4
16	-62,5	312,5	478,2	194,0	-38,8	194,0	439,4
17	-62,5	187,5	478,2	116,4	-38,8	116,4	439,4
18	-62,5	62,5	478,2	38,8	-38,8	38,8	439,4
19	-62,5	-62,5	478,2	-38,8	-38,8	-38,8	439,4
20	-62,5	-187,5	478,2	-116,4	-38,8	-116,4	439,4
21	-62,5	-312,5	478,2	-194,0	-38,8	-194,0	439,4
22	-62,5	-437,5	478,2	-271,6	-38,8	-271,6	439,4
23	-62,5	-562,5	478,2	-349,2	-38,8	-349,2	439,4
24	-62,5	-687,5	478,2	-426,8	-38,8	-426,8	439,4
25	62,5	687,5	478,2	426,8	38,8	426,8	517,0
26	62,5	562,5	478,2	349,2	38,8	349,2	517,0
27	62,5	437,5	478,2	271,6	38,8	271,6	517,0
28	62,5	312,5	478,2	194,0	38,8	194,0	517,0
29	62,5	187,5	478,2	116,4	38,8	116,4	517,0
30	62,5	62,5	478,2	38,8	38,8	38,8	517,0
31	62,5	-62,5	478,2	-38,8	38,8	-38,8	517,0
32	62,5	-187,5	478,2	-116,4	38,8	-116,4	517,0
33	62,5	-312,5	478,2	-194,0	38,8	-194,0	517,0
34	62,5	-437,5	478,2	-271,6	38,8	-271,6	517,0
35	62,5	-562,5	478,2	-349,2	38,8	-349,2	517,0
36	62,5	-687,5	478,2	-426,8	38,8	-426,8	517,0
37	187,5	687,5	478,2	426,8	116,4	426,8	594,6
38	187,5	562,5	478,2	349,2	116,4	349,2	594,6

39	187,5	437,5	478,2	271,6	116,4	271,6	594,6
40	187,5	312,5	478,2	194,0	116,4	194,0	594,6
41	187,5	187,5	478,2	116,4	116,4	116,4	594,6
42	187,5	62,5	478,2	38,8	116,4	38,8	594,6
43	187,5	-62,5	478,2	-38,8	116,4	-38,8	594,6
44	187,5	-187,5	478,2	-116,4	116,4	-116,4	594,6
45	187,5	-312,5	478,2	-194,0	116,4	-194,0	594,6
46	187,5	-437,5	478,2	-271,6	116,4	-271,6	594,6
47	187,5	-562,5	478,2	-349,2	116,4	-349,2	594,6
48	187,5	-687,5	478,2	-426,8	116,4	-426,8	594,6

Tabel 4.19 Gaya Geser Baut Pelengkung (lanjutan)

p	$p/\phi R_n$
559,6	1,0
502,9	0,9
452,4	0,8
410,6	0,7
380,1	0,7
363,9	0,7
363,9	0,7
380,1	0,7
410,6	0,7
452,4	0,8
502,9	0,9
559,6	1,0
612,6	1,1
561,3	1,0
516,6	0,9
480,4	0,9
454,6	0,8
441,1	0,8
441,1	0,8
454,6	0,8
480,4	0,9
516,6	0,9
561,3	1,0
612,6	1,1
670,5	1,2
623,9	1,1
584,0	1,0
552,2	1,0
530,0	0,9
518,5	0,9

518,5	0,9
530,0	0,9
552,2	1,0
584,0	1,0
623,9	1,1
670,5	1,2
732,0	1,3
689,6	1,2
653,7	1,2
625,5	1,1
605,9	1,1
595,9	1,1
595,9	1,1
605,9	1,1
625,5	1,1
653,7	1,2
689,6	1,2
732,0	1,3

Dimana:

$$P_{cy} = \frac{V_u \text{ badan}}{n \text{ baut}}$$

$$P_{mx} = Q \times y$$

$$P_{my} = Q \times x$$

$$p = \sqrt{\sum P_x^2 + \sum P_y^2}$$

c. Proporsi Luas Pelat Badan Terhadap Gaya yang Bekerja

Untuk pelat badan profil:

$$\begin{aligned} A \text{ badan } (A_w) &= d \times t_w \\ &= 2100 \times 65 \\ &= 136500 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{100 \%} \end{aligned}$$

Untuk pelat sisi kiri :

$$\begin{aligned} A \text{ sisi kiri } (A_{w1}) &= b_1 \times t_w \\ &= 1575 \times 65 \\ &= 102375 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{75 \%} \end{aligned}$$

Untuk pelat sisi kanan :

$$\begin{aligned} A \text{ sisi kiri } (A_{w2}) &= A_{w1} \\ &= 102375 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{75 \%} \end{aligned}$$

Pada pelat sisi kiri dan kanan direncanakan untuk menerima 50% dari gaya kopel. Akan tetapi karna luas pelat sisi kiri dan kanan lebih dari 50% luas sayap profil, Maka bagian yang paling kritis adalah pelat badan profil tersebut.

d. Perhitungan Kuat Tumpu Pelat Badan Profil

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya Maksimum baut } (p = V_u) &= 731,969 \text{ KN} \\
 \text{Jarak antar baut} &= 125 \text{ mm} \\
 \text{Diameter baut} &= 31,8 \text{ mm} \\
 \text{Jarak bersih baut ke tepi pelat } l_c &= 83,1 \text{ mm} (\text{menentukan}) \\
 \text{Jarak bersih antar baut } l_c &= 91,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, kuat tumpu pada pelat badan profil :

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1,2 l_c t_w f_u \leq 2,4 d b t_w f_u \\
 R_n &= 1,2 \cdot 83,1 \cdot 65 \cdot 520 \leq 2,4 \cdot 31,8 \cdot 65 \cdot 520 \\
 &= 3370536 \leq 2579616 \text{ N}
 \end{aligned}$$

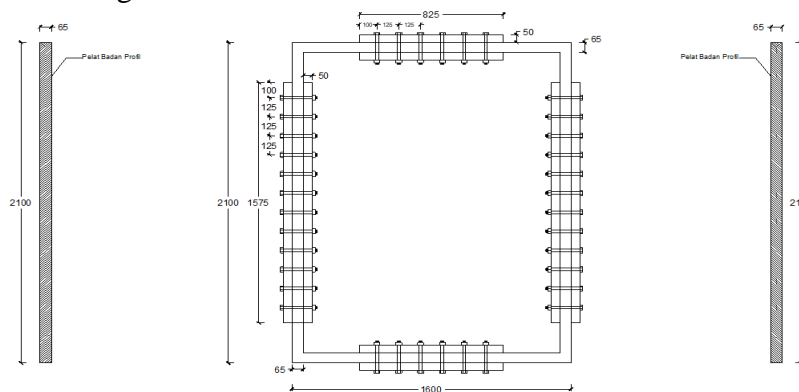
$$\text{Digunakan nilai terkecil, } R_n = 2579616 \text{ N} = 2579,616 \text{ Kn}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 2579,616 \\
 &= 1934,712 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &> p \\
 1934,712 &> 731,969 \text{ kN} \quad \text{OKE}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Kuat Geser Pelat Badan Profil



Gambar 4.61 Komponen pada Pelat Badan Profil Pelengkung

a Menghitung luas bruto yang memikul geser

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= t_w \times \ell \\
 &= 65 \times 2100 \\
 &= 136500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b Menghitung luas neto yang memikul geser

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= A_{gv} - (n \times d_l \times t_w) \\
 &= 136500 - (12 \times 33,8 \times 65) \\
 &= 110136 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, kuat elemen pelat badan profil yang mengalami geser ditentukan berdasarkan (SNI 1729 :2020 Pasal J4.2.(a) & (b) hal. 136, yang diambil nilai terendah dari keadaan batas:

1 Leleh Geser

$$\begin{aligned}
 R_n &= 0,6 \times f_y \times A_{gv} \\
 &= 0,6 \times 415 \times 136500
 \end{aligned}$$

$$= 33988500 \text{ N}$$

2 Keruntuhan Geser

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,6 \times 520 \times 110136 \\ &= 34362432 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, diambil nilai yang terkecil yaitu } R_n &= 33988500 \text{ N} \\ &= 33988,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi \times R_n &\geq V_u \text{ Badan} \\ 0,75 \times 33988,5 &\geq 21324,601 \\ 25491,375 \text{ kN} &\geq 21324,601 \text{ Kn} \quad \mathbf{OKE} \end{aligned}$$

f. Perhitungan Kuat Lentur Pelat Badan Profil

$$M_n = f_y \times Z_x$$

Menghitung nilai modulus plastis (Z_x) :

$$\begin{aligned} Z_x &= 1 \times 1/4 \times t_w \times \ell^2 \\ &= 1 \times 0,25 \times 65 \times 4410000 \\ &= 71662500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} M_n &= 415 \times 71662500 \\ &= 29739937500 \text{ Nmm} \\ \phi M_n &= 0,9 \times 29739937500 \\ &= 26765943750 \text{ Nmm} \\ &= 26765943,75 \text{ Knmm} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi \times M_n &\geq M_u \\ 26765943,75 \text{ kNmm} &\geq 6130822,835 \text{ kNmm} \quad \mathbf{OKE} \end{aligned}$$

g. Perhitungan Kapasitas Geser Blok (Block Shear)

Keruntuhan geser blok berdasarkan (SNI 1729 : 2020 Pasal J4.3 hal. 136), diambil sebesar :

$$R_n = 0,6 \times f_{up} \times A_{nv} + U_{bs} \times f_{up} \times A_{nt} \leq 0,60 \times f_{yp} \times A_{gv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

1. Menghitung luas neto yang memikul geser (A_{nv})

$$\begin{aligned} A_{nv} &= 11 \times (l_c + l_c \text{ tepi}) \times t_w \times \text{jmlh bidang geser} \\ &= 11 \times (91,2 + 83,1) \times 65 \times 4 \\ &= 498498 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung luas neto yang memikul tarik (A_{nt})

Untuk luas permukaan tarik bagian tepi

$$\begin{aligned} A_{nt1} &= l_c \text{ tepi} \times t_w \times \text{jmlh bidang tarik tepi} \\ &= 83,1 \times 65 \times 2 \\ &= 10803 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk luas permukaan tarik bagian tengah

$$A_{nt2} = l_c \times t_w \times \text{jmlh bidang tarik tengah}$$

$$= 91,2 \times 65 \times 10$$

$$= 59280 \text{ mm}^2$$

Maka, luas permukaan tarik total:

$$\text{Ant} = \text{Ant1} + \text{Ant2}$$

$$= 10803 + 59280$$

$$= 70083 \text{ mm}^2$$

3. Menghitung luas bruto yang memikul geser (A_{gv})

Diketahui :

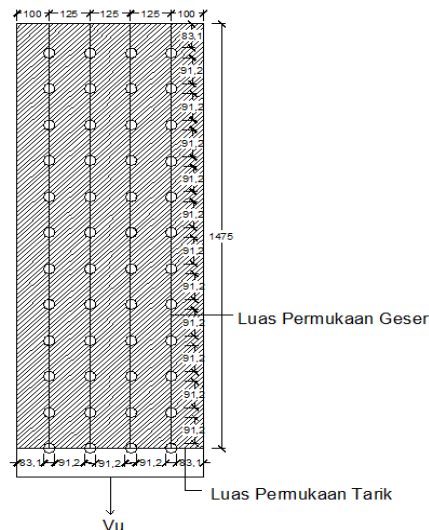
$$\text{Panjang bidang blok geser (l)} = 1475 \text{ mm}$$

Maka,

$$A_{gv} = t_w \times l \times \text{Jmlh bidang bruto}$$

$$= 65 \times 1475 \times 4$$

$$= 383500 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.62 Tinjauan Keruntuhan Geser Blok Badan Gelagar Induk Pelengkung

4. Menghitung nilai keruntuhan blok geser

$$U_{bs} = 0,5 \text{ (Karena tegangan tarik yang terjadi tidak seragam)}$$

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times f_y \times A_{gv}$$

$$U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

$$R_n = 0,6 \times 520 \times 498498 + 0,5 \times 520 \times 70083 \leq 0,6 \times 415 \times 383500 + 0,5 \times 520 \times 70083$$

$$= 173752956 \text{ N} \leq 113713080 \text{ N}$$

$$\text{Diambil nilai yang terkecil yaitu } R_n = 113713080 \text{ N}$$

$$= 11371308 \text{ Kg}$$

5. Kontrol geser blok (*Block shear*)

$$\phi R_n \geq V_u \text{ badan}$$

$$0,75 \times 11371308 \text{ Kg} \geq 21324,601 \text{ Kg}$$

$$8528481 \text{ Kg} \geq 21324,601 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

4.5.4 Perencanaan Sambungan Gelagar Induk Memanjang Tepi

A. Data Profil Baja

Profil gelagar induk pelengkung	BOX 2100 x 1600 x 65 x 65		
d = 2100 mm	h = 1970 mm	tw = 65 mm	
b = 1600 mm	a = 1470 mm	tf = 65 mm	
Ag = 464100 mm ²			

Mutu baja profil	ASTM A572	
Tegangan leleh baja	fy = 415	Mpa
Tegangan tarik baja	fu = 520	Mpa

B. Beban yang bekerja

Gaya aksial maksimum	Pu = 808786,45	Kg
Gaya geser maksimum sumbu x	Vux = 357519,97	Kg
Gaya geser maksimum sumbu y	Vuy = 153699,43	Kg
Momen maksimum sumbu x	Mux = 1710468,45	Kgm
Momen maksimum sumbu y	Muy = 2316160,49	Kgm
Torsi maksimum	Tu = 6316,05	Kgm

C. Data material baut

Tipe baut	A490 (Ulir bidang geser)	
Kuat geser nominal baut	Fnv = 469	Mpa
Kuat tarik nominal baut	Fnt = 780	Mpa
Diameter baut (1 1/4 inch)	db = 31,8	mm
Diameter lubang baut (db + 2 mm)	dl = 33,8	mm
Luas baut ($Ab = 1/4\pi db$)	Ab = 793,823	mm ²
Gaya pratarik minimum baut	Tb = 454	Kn
	= 46294,4	Kg
Jumlah bidang geser	ns = 2	

D. Parameter sambungan slip kritis

Koefisien slip rata-rata	$\mu = 0,5$
Koefisien gesek	Du = 1,13
Faktor untuk pelat pengisi (filler)	hf = 1
Faktor reduksi	$\phi = 1$

E. Data pelat penyambung

Tebal pelat penyambung	Tp = 50	mm
Mutu baja	ASTM A572	
tegangan leleh pelat	fyp = 415	MPa
Tegangan tarik pelat	fup = 520	Mpa

F. Perencanaan Sambungan

1. Menghitung resultan gaya yang bekerja

Pada arah sumbu X:

$$Pu = 808786,45 \text{ Kg}$$

$$Pu \text{ sayap} = \frac{Muy}{d} = \frac{2316160,49}{2,1} = 1102933,6 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pu badan} &= \text{Mux} = \frac{1710468,45}{1,6} = 1069042,8 \text{ Kg} \\
 \text{X sayap} &= \text{Pu sayap} + \text{Pu} \left(\frac{b}{d+b} \right) \\
 &= 1102933,6 + 808786,5 \left(\frac{1,6}{3,7} \right) \\
 &= 1452679,06 \text{ Kg} \\
 \text{X badan} &= \text{Pu badan} + \text{Pu} \left(\frac{d}{d+b} \right) \\
 &= 1069042,8 + 808786,5 \left(\frac{2,1}{3,7} \right) \\
 &= 1528083,739 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Pada arah sumbu Y :

$$\text{Vux} = 357519,97 \text{ Kg}$$

$$\text{Vuy} = 153699,43 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Y sayap} &:= \text{Vuy} + \left(\frac{\text{Tu}}{d} \times \frac{b}{d+b} \right) \\
 &= 153699,43 + \left[\frac{6316,05}{2} \times \frac{1,6}{3,7} \right] \\
 &= 155000,032 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Y badan} &:= \text{Vux} + \left(\frac{\text{Tu}}{b} \times \frac{d}{d+b} \right) \\
 &= 357520 + \left(\frac{6316,1}{1,6} \right) \times \frac{2,1}{3,7} \\
 &= 359760,461 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Sehingga resultan gaya yg bekerja pada badan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Vu sayap} &= \sqrt{X \text{ sayap}^2 + Y \text{ sayap}^2} \\
 &= \sqrt{1452679,06^2 + 155000,032^2} \\
 &= 1460924,9 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Maka masing masing sayap menerima gaya geser (Vu sayap)

$$\text{sebesar : } 730462,432 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vu badan} &= \sqrt{X \text{ badan}^2 + Y \text{ badan}^2} \\
 &= \sqrt{1528083,739^2 + 359760,461^2} \\
 &= 1569862,3 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Maka masing masing badan menerima gaya geser (Vu badan)

$$\text{sebesar : } 784931,128 \text{ Kg}$$

2. Menghitung kuat slip kritis baut

$$\text{Rn} = \mu \times \text{Du} \times \text{hf} \times \text{Tb} \times \text{ns}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rn} &= 0,5 \times 1,13 \times 1 \times 46294,4 \times 2 \\
 &= 52312,649 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi \text{Rn} = 1 \times 52312,649$$

$$= 52312,649 \text{ Kg}$$

3. Menghitung jumlah baut

$$n \text{ badan} = \frac{V_u \text{ badan}}{\phi R_n} = \frac{784931,13}{52312,649} = 15,005 = 27 \text{ Baut}$$

$$n \text{ sayap} = \frac{V_u \text{ sayap}}{\phi R_n} = \frac{730462,43}{52312,649} = 13,963 = 25 \text{ Baut}$$

4. Menentukan jarak pemasangan baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$1,5 \text{ db} < S1 < 12 \text{ tp}$$

$$1,5 \cdot 31,8 < S1 < 12 \cdot 50$$

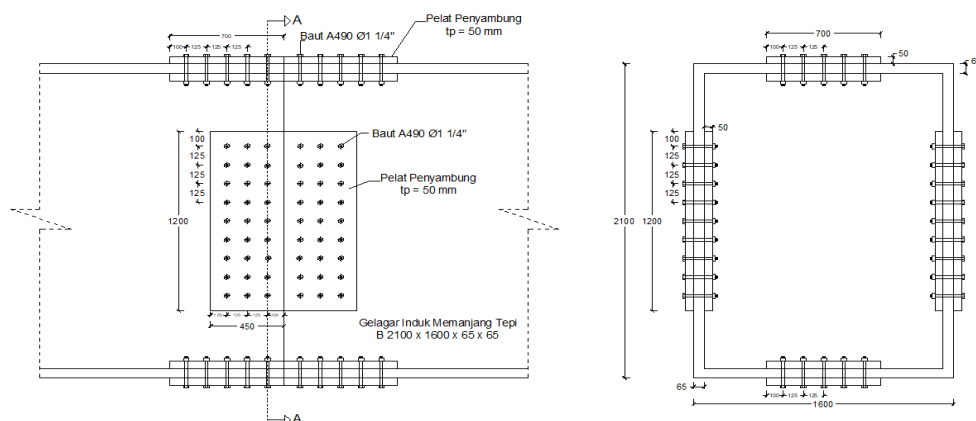
$$47,7 \text{ mm} < 100 < 600 \text{ mm} \text{ Memenuhi}$$

Jarak antar baut

$$3 \text{ db} < S1 < 14 \text{ tp}$$

$$3 \cdot 31,8 < S1 < 14 \cdot 50$$

$$95,4 \text{ mm} < 125 < 700 \text{ mm} \text{ Memenuhi}$$



Gambar 4.63 Sambungan Gelagar Induk Memanjang Tepi

5. Analisa pada sambungan pelat sayap

Pada komponen pelat sayap didapatkan gaya yang bekerja sebesar: $V_u \text{ sayap} = 730462,432 \text{ Kg}$

a. Proporsi luas pelat sayap terhadap gaya yang bekerja

$$\begin{aligned} \text{Pelat sayap profil (Af)} &= b \times t_f \\ &= 1600 \times 65 \\ &= 104000 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{100 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pelat sisi atas (Af1)} &= b_1 \times t_{f1} \\ &= 700 \times 50 \\ &= 35000 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{33,7 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pelat sisi bawah (Af2)} &= Af1 \\ &= 35000 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{33,7 \%} \end{aligned}$$

Pada pelat sisi atas dan bawah direncanakan untuk menerima 50% dari gaya kopel. Akan tetapi karena luas pelat sisi atas

dan bawah kurang dari 50% luas sayap profil, Maka bagian yang paling kritis adalah pelat sisi atas dan bawah tersebut.

b Perhitungan komponen tarik pelat penyambung (sayap)

1. Leleh tarik penampang bruto

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Pasal D2.a hal.127, leleh tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_n &= F_y \times A_g \\ &= 415 \times 35000 \\ &= 14525000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 14525000 \\ &= 13072500 \text{ N} \\ &= 1307250 \text{ Kg} \end{aligned}$$

2. Keruntuhan tarik penampang neto

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Pasal D2.b hal.127, keruntuhan tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_l \times t_p) \\ &= 35000 - [5 \times 33,8 \times 50] \\ &= 26550 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$U = 1,0$ sehingga $A_n = A_e$.

$$\begin{aligned} P_n &= F_u \times A_e \\ &= 520 \times 26550 \\ &= 13806000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times P_n \\ &= 0,9 \times 13806000 \\ &= 12425400 \text{ N} \\ &= 1242540 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Antar leleh tarik penampang bruto dan keruntuhan tarik

penampang neto diambil nilai terkecil, $\phi P_n = 1242540 \text{ Kg}$

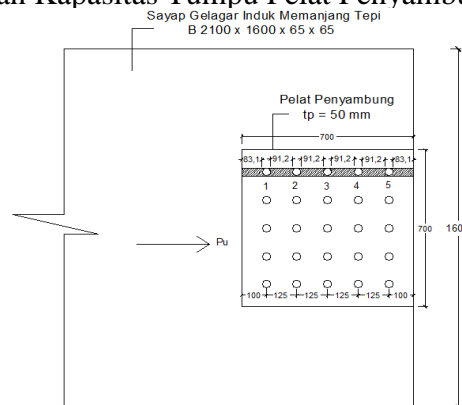
Kontrol :

$$\phi P_n \geq 50\% \times V_u \text{ sayap}$$

$$1242540 \geq 50\% \times 730462,43$$

$$1242540 \geq 365231,22 \text{ Kg} \text{ memenuhi}$$

c. Perhitungan Kapasitas Tumpu Pelat Penyambung (sayap)



Gambar 4.64 Kuat Tumpu Pelat Penyambung Sayap Gelagar Induk Memanjang Tepi

Tebal pelat penyambung $tp = 50 \text{ mm}$
 Jarak bersih baut ke tepi pelat $lc = 83,1 \text{ mm}$ (menentukan)
 Jarak bersih antar baut $lc = 91,2 \text{ mm}$

Kuat tumpu dan sobek pelat :

$$R_n = 1,2 lc tp f_{up} \leq 2,4 db tp f_{up}$$

$$R_n = 1,2 \cdot 83,1 \cdot 50 \cdot 520 \leq 2,4 \cdot 31,8 \cdot 50 \cdot 520$$

$$= 2592720 \text{ N} \leq 1984320 \text{ N}$$

Digunakan nilai terkecil, $R_n = 1984320 \text{ N} = 198432 \text{ Kg}$

Maka kapasitas tumpu pelat total adalah sebagai berikut:

$$\sum R_n = 5 \times 5 \times R_n$$

$$= 5 \times 5 \times 198432$$

$$= 4960800 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 4960800$$

$$= 3720600 \text{ Kg}$$

Kontrol

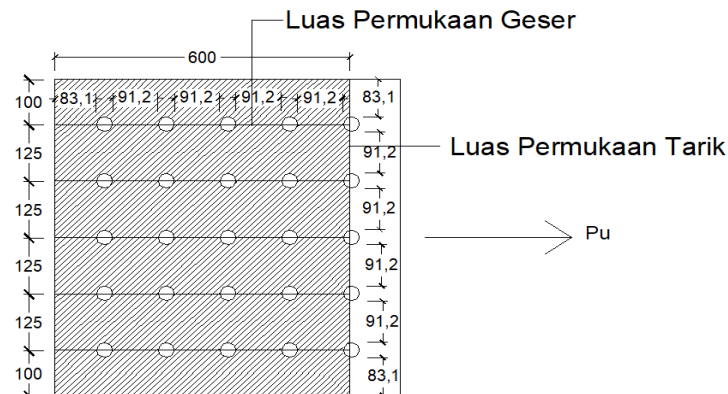
$$\phi R_n > 50 \% V_u \text{ sayap}$$

$$3720600 > 365231,22 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

d Perhitungan Kapasitas Geser Blok

Keruntuhan geser blok berdasarkan SNI 1729 -2020 Pasal J4.3 hal.136, diambil sebesar:

$$R_n = 0,6 \times f_{up} \times A_{nv} + U_{bs} \times f_{up} \times A_{nt} \leq 0,60 \times f_{yp} \times A_{gv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$



Gambar 4.65 Tinjauan Keruntuhan Geser Blok Sayap Gelagar Induk Memanjang Tepi

1. Menghitung luas neto yang memikul geser (A_{nv})

$$\begin{aligned} A_{nv} &= 4 \times (l_c + l_c \text{ tepi}) \times t_p \times \text{jmlh bidang geser} \\ &= 4 \times (91,2 + 83,1) \times 50 \times 5 \\ &= 174300 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung luas neto yang memikul tarik (A_{nt})

Untuk luas permukaan tarik bagian tepi

$$\begin{aligned} A_{nt1} &= l_c \text{ tepi} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tepi} \\ &= 83,1 \times 50 \times 2 \\ &= 8310 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk luas permukaan tarik bagian tengah

$$\begin{aligned} A_{nt2} &= l_c \text{ tengah} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tengah} \\ &= 91,2 \times 50 \times 3 \\ &= 13680 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, luas permukaan tarik total:

$$\begin{aligned} A_{nt} &= A_{nt1} + A_{nt2} \\ &= 8310 + 13680 \\ &= 21990 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

- 3 Menghitung luas bruto yang memikul geser (A_{gv})

Diketahui :

$$\text{Panjang bidang blok geser (l)} = 600 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t_p \times \ell \times \text{Jmlh bidang bruto} \\ &= 50 \times 600 \times 5 \\ &= 150000 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

4. Menghitung nilai keruntuhan blok geser

$$U_{bs} = 0,5 \quad (\text{Karena tegangan tarik yang terjadi tidak seragam})$$

$$R_n = 0,6 \times f_{up} \times A_{nv} + U_{bs} \times f_{up} \times A_{nt} \leq 0,60 \times f_{yp} \times A_{gv} + U_{bs} \times f_{up} \times A_{nt}$$

$$R_n = 0,6 \times 520 \times 174300 + 1 \times 520 \times 21990 \leq 0,6 \times 415$$

$$150000 + 1 \cdot 520 \cdot 21990$$

$$= 60099000 \text{ N} \leq 43067400 \text{ N}$$

Diambil nilai yang terkecil yaitu $R_n = 43067400 \text{ N}$

$$= 4306740 \text{ Kg}$$

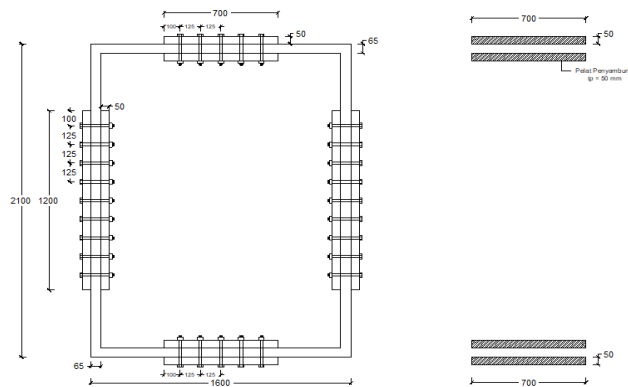
5. Kontrol geser blok baut (Block shear)

$$\phi R_n \geq 50 \% V_u \text{ sayap}$$

$$0,75 \times 4306740 \text{ Kg} \geq 365231,22 \text{ Kg}$$

$$3230055 \text{ Kg} \geq 365231,22 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

e. Perhitungan Kuat Geser Pelat Penyambung (Sayap)



Gambar 4.66 Komponen pelat penyambung pada sayap profil Gelagar Induk Memanjang Tepi

1. Menghitung Luas Bruto yang Memikul Geser (A_{gv})

$$A_{gv} = t_p \times \ell \times \text{jmlh pelat penyambung}$$

$$= 50 \times 700 \times 2$$

$$= 70000 \text{ mm}^2$$

2. Menghitung Luas Neto yang Memikul Geser (A_{nv})

$$A_{nv} = A_{gv} - (n \text{ dl } t_p) \quad \text{dimana } n = \text{jumlah}$$

$$= 70000 - 5 \times 33,8 \times 50 \quad \text{lubang dlm sebaris}$$

$$= 61550 \text{ mm}^2$$

Maka, kuat elemen pelat penyambung yang mengalami geser adalah sebagai berikut:

a. Leleh geser

$$R_n = 0,6 \times F_y \times A_{gv}$$

$$= 0,6 \times 415 \times 70000$$

$$= 17430000 \text{ N}$$

b. Keruntuhan Geser

$$R_n = 0,6 \times F_u \times A_{nv}$$

$$= 0,6 \times 520 \times 61550$$

$$= 19203600 \text{ N}$$

$$\text{Diambil nilai terkecil : } R_n = 17430000 \text{ N} = 1743000 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\phi R_n \geq 50 \% V_u \text{ sayap}$$

$$0,75 \cdot 1743000 \geq 365231,216 \text{ Kg}$$

$$1307250 \geq 365231,216 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

6. Analisa Sambungan Pada Pelat Badan

Gaya geser yang bekerja pada badan profil adalah sebesar :

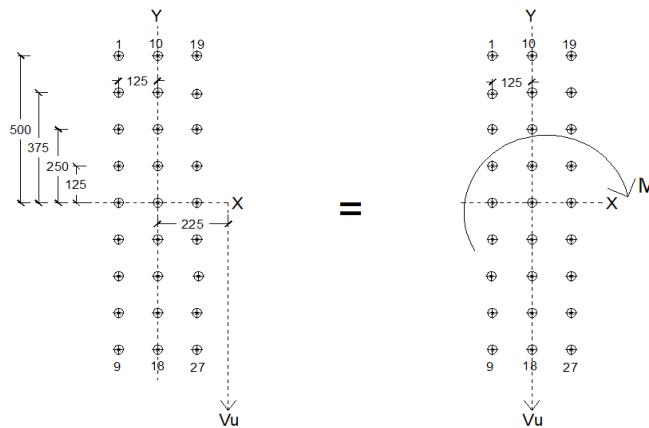
$$V_u \text{ badan} = 784931,128 \text{ Kg} = 7697,545 \text{ Kn}$$

Gaya bekerja pada titik berat baut atau simetri terhadap sambungan. Sehingga timbul eksentrisitas, $e = 225 \text{ mm}$, maka beratnya momen yang terjadi jika gaya geser bekerja pada titik berat grup baut adalah :

$$M_u = V_u \text{ badan} \cdot e$$

$$= 7697,54 \cdot 225$$

$$= 1731947,6 \text{ Knmm}$$



Gambar 4.67 Beban Eksentris dan Konsentris Ekuivalen pada Grup Baut Memanjang Tepi

a. Perhitungan Properti Baut

Pehitungan properti baut dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.20 Perhitungan Properti Baut pelengkung

No	x mm	y mm	x ² mm ²	y ² mm ²	x ² + y ² mm ²
1	-125	500	15625	250000	265625
2	-125	375	15625	140625	156250
3	-125	250	15625	62500	78125
4	-125	125	15625	15625	31250
5	-125	0	15625	0	15625
6	-125	-125	15625	15625	31250
7	-125	-250	15625	62500	78125
8	-125	-375	15625	140625	156250
9	-125	-500	15625	250000	265625
10	0	500	0	250000	250000
11	0	375	0	140625	140625
12	0	250	0	62500	62500

13	0	125	0	15625	15625
14	0	0	0	0	0
15	0	-125	0	15625	15625
16	0	-250	0	62500	62500
17	0	-375	0	140625	140625
18	0	-500	0	250000	250000
19	125	500	15625	250000	265625
20	125	375	15625	140625	156250
21	125	250	15625	62500	78125
22	125	125	15625	15625	31250
23	125	0	15625	0	15625
24	125	-125	15625	15625	31250
25	125	-250	15625	62500	78125
26	125	-375	15625	140625	156250
27	125	-500	15625	250000	265625
Total					2593750

Terhadap Momen:

$$Q = \frac{M}{\sum(x^2 + y^2)} = \frac{1731947,6}{2593750} = 0,668$$

b. Perhitungan Gaya Geser pada Baut (p)

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nv} \times A_b \times n_s \\ &= 469 \times 793,823 \times 2 \\ &= 744606,35 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 744606,3492 \\ &= 558454,76 \text{ N} \\ &= 558,455 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Tabel 4.21 Gaya Geser Baut Pelengkung

No	x	y	pcy	pmx	pmy	$\sum P_x$	$\sum P_y$
1	-125	500	293,363	333,9	-83,5	333,9	209,9
2	-125	375	293,363	250,4	-83,5	250,4	209,9
3	-125	250	293,363	166,9	-83,5	166,9	209,9
4	-125	125	293,363	83,5	-83,5	83,5	209,9
5	-125	0	293,363	0,0	-83,5	0,0	209,9
6	-125	-125	293,363	-83,5	-83,5	-83,5	209,9
7	-125	-250	293,363	-166,9	-83,5	-166,9	209,9
8	-125	-375	293,363	-250,4	-83,5	-250,4	209,9
9	-125	-500	293,363	-333,9	-83,5	-333,9	209,9
10	0	500	293,363	333,9	0,0	333,9	293,4
11	0	375	293,363	250,4	0,0	250,4	293,4
12	0	250	293,363	166,9	0,0	166,9	293,4
13	0	125	293,363	83,5	0,0	83,5	293,4
14	0	0	293,363	0,0	0,0	0,0	293,4

15	0	-125	293,363	-83,5	0,0	-83,5	293,4
16	0	-250	293,363	-166,9	0,0	-166,9	293,4
17	0	-375	293,363	-250,4	0,0	-250,4	293,4
18	0	-500	293,363	-333,9	0,0	-333,9	293,4
19	125	500	293,363	333,9	83,5	333,9	376,8
20	125	375	293,363	250,4	83,5	250,4	376,8
21	125	250	293,363	166,9	83,5	166,9	376,8
22	125	125	293,363	83,5	83,5	83,5	376,8
23	125	0	293,363	0,0	83,5	0,0	376,8
24	125	-125	293,363	-83,5	83,5	-83,5	376,8
25	125	-250	293,363	-166,9	83,5	-166,9	376,8
26	125	-375	293,363	-250,4	83,5	-250,4	376,8
27	125	-500	293,363	-333,9	83,5	-333,9	376,8

Tabel 4.22 Gaya Geser Baut Pelengkung (lanjutan)

p	$p/\phi R_n$
394,367	0,70617
326,737	0,58507
268,185	0,48023
225,883	0,40448
209,896	0,37585
225,883	0,40448
268,185	0,48023
326,737	0,58507
394,367	0,70617
444,444	0,79585
385,698	0,69065
337,534	0,60441
305,006	0,54616
293,363	0,52531
305,006	0,54616
337,534	0,60441
385,698	0,69065
444,444	0,79585
503,458	0,90152
452,44	0,81016
412,151	0,73802
385,964	0,69113
376,83	0,67477
385,964	0,69113
412,151	0,73802
452,44	0,81016
503,458	0,90152

Dimana:

$$P_{cy} = \frac{V_u \text{ badan}}{n \text{ baut}}$$

$$P_{mx} = Q \times y$$

$$P_{my} = Q \times x$$

$$p = \sqrt{\sum P_x^2 + \sum P_y^2}$$

c. Proporsi Luas Pelat Badan Terhadap Gaya yang Bekerja

Untuk pelat badan profil:

$$\begin{aligned} A \text{ badan } (A_w) &= d \times t_w \\ &= 2100 \times 65 \\ &= 136500 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{100 \%} \end{aligned}$$

Untuk pelat sisi kiri :

$$\begin{aligned} A \text{ sisi kiri } (A_{w1}) &= b_1 \times t_w \\ &= 1575 \times 65 \\ &= 102375 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{75 \%} \end{aligned}$$

Untuk pelat sisi kanan :

$$\begin{aligned} A \text{ sisi kiri } (A_{w2}) &= A_{w1} \\ &= 102375 \text{ mm}^2 \quad \mathbf{75 \%} \end{aligned}$$

Pada pelat sisi kiri dan kanan direncanakan untuk menerima 50% dari gaya kopel. Akan tetapi karena luas pelat sisi kiri dan kanan lebih dari 50% luas sayap profil, Maka bagian yang paling kritis adalah pelat badan profil tersebut.

d. Perhitungan Kuat Tumpu Pelat Badan Profil

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Gaya Maksimum baut } (p = V_u) &= 503,458 \text{ KN} \\ \text{Jarak antar baut} &= 125 \text{ mm} \\ \text{Diameter baut} &= 31,8 \text{ mm} \\ \text{Jarak bersih baut ke tepi pelat } l_c &= 83,1 \text{ mm (menentukan)} \\ \text{Jarak bersih antar baut } l_c &= 91,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, kuat tumpu pada pelat badan profil :

$$\begin{aligned} R_n &= 1,2 l_c t_w f_u \leq 2,4 d b t_w f_u \\ R_n &= 1,2 \cdot 83,1 \cdot 65 \cdot 520 \leq 2,4 \cdot 31,8 \cdot 65 \cdot 520 \\ &= 3370536 \leq 2579616 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Digunakan nilai terkecil, } R_n = 2579616 \text{ N} = 2579,616 \text{ Kn}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 2579,616$$

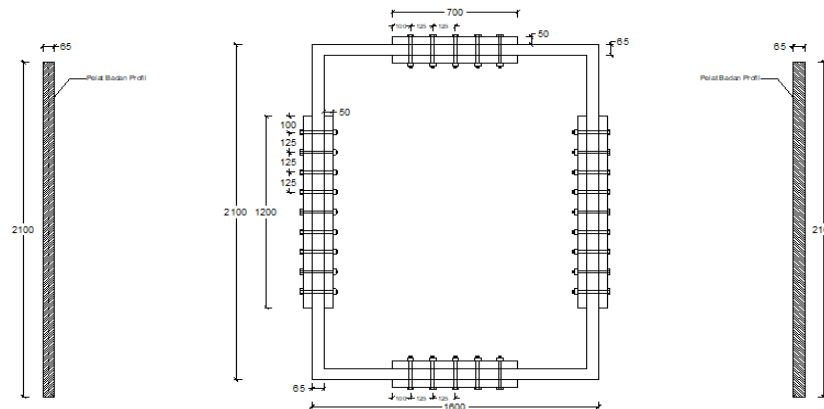
$$= 1934,712 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\phi R_n > p$$

$$1934,712 > 503,458 \text{ kN} \quad \mathbf{OKE}$$

e. Perhitungan Kuat Geser Pelat Badan Profil



Gambar 4.68 Komponen pada Pelat Badan Profil
Memanjang Tepi

a Menghitung luas bruto yang memikul geser

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t_w \times \ell \\ &= 65 \times 2100 \\ &= 136500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b Menghitung luas neto yang memikul geser

$$\begin{aligned} A_{nv} &= A_{gv} - (n \times d_l \times t_w) \\ &= 136500 - (9 \times 33,8 \times 65) \\ &= 116727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, kuat elemen pelat badan profil yang mengalami geser ditentukan berdasarkan (SNI 1729 :2020 Pasal J4.2.(a) & (b) hal. 136, yang diambil nilai terendah dari keadaan batas:

1 Leleh Geser

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times f_y \times A_{gv} \\ &= 0,6 \times 415 \times 136500 \\ &= 33988500 \text{ N} \end{aligned}$$

2 Keruntuhan Geser

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times f_u \times A_{nv} \\ &= 0,6 \times 520 \times 116727 \\ &= 36418824 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, diambil nilai yang terkecil yaitu $R_n = 33988500 \text{ N}$
 $= 33988,5 \text{ kN}$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi \times R_n &\geq V_u \text{ Badan} \\ 0,75 \times 33988,5 &\geq 7697,545 \\ 25491,375 \text{ kN} &\geq 7697,545 \text{ Kn} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

f. Perhitungan Kuat Lentur Pelat Badan Profil

$$M_n = f_y \times Z_x$$

Menghitung nilai modulus plastis (Z_x) :

$$\begin{aligned} Z_x &= 1 \times 1/4 \times t_w \times \ell^2 \\ &= 1 \times 0,25 \times 65 \times 4410000 \\ &= 71662500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} M_n &= 415 \times 71662500 \\ &= 29739937500 \text{ Nmm} \\ \phi M_n &= 0,9 \times 29739937500 \\ &= 26765943750 \text{ Nmm} \\ &= 26765943,75 \text{ Knmm} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi \times M_n &\geq M_u \\ 26765943,75 \text{ kNmm} &\geq 1731947,591 \text{ kNmm} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

g. Perhitungan Kapasitas Geser Blok (Block Shear)

Keruntuhan geser blok berdasarkan (SNI 1729 : 2020 Pasal J4.3 hal. 136), diambil sebesar :

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,60 \times f_y \times A_{gv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

1. Menghitung luas neto yang memikul geser (A_{nv})

$$\begin{aligned} A_{nv} &= 11 \times (l_c + l_c \text{ tepi}) \times t_w \times \text{jmlh bidang geser} \\ &= 8 \times (91,2 + 83,1) \times 65 \times 3 \\ &= 271908 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung luas neto yang memikul tarik (A_{nt})

Untuk luas permukaan tarik bagian tepi

$$\begin{aligned} A_{nt1} &= l_c \text{ tepi} \times t_w \times \text{jmlh bidang tarik tepi} \\ &= 83,1 \times 65 \times 2 \\ &= 10803 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk luas permukaan tarik bagian tengah

$$\begin{aligned} A_{nt2} &= l_c \times t_w \times \text{jmlh bidang tarik tengah} \\ &= 91,2 \times 65 \times 7 \\ &= 41496 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, luas permukaan tarik total:

$$\begin{aligned} A_{nt} &= A_{nt1} + A_{nt2} \\ &= 10803 + 41496 \\ &= 52299 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

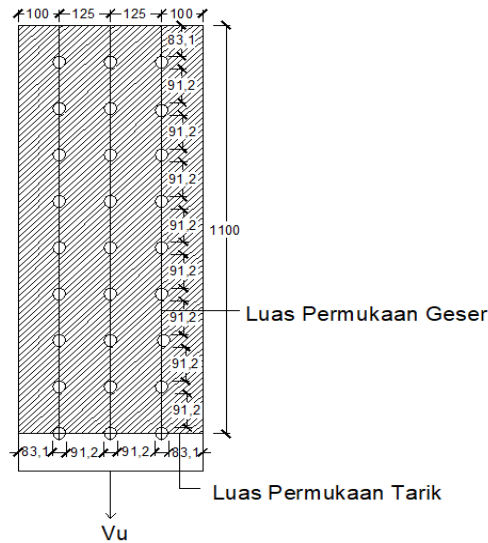
3. Menghitung luas bruto yang memikul geser (A_{gv})

Diketahui :

$$\text{Panjang bidang blok geser (l)} = 1100 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t_w \times \ell \times \text{Jmlh bidang bruto} \\ &= 65 \times 1100 \times 3 \\ &= 214500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4.69 Tinjauan Keruntuhan Geser Blok Badan Gelagar Induk Pelengkung

4. Menghitung nilai keruntuhan blok geser

$U_{bs} = 0,5$ (Karena tegangan tarik yang terjadi tidak seragam)

$$R_n = 0,6 \times f_{up} \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,60 \times f_y \times A_{gv}$$

$$R_n = 0,6 \times 520 \times 271908 + 0,5 \times 520 \times 52299 \leq 0,6 \times 415 \times 214500 + 0,5 \times 520 \times 52299$$

$$= 98433036 \text{ N} \leq 67008240 \text{ N}$$

$$\text{Diambil nilai yang terkecil yaitu } R_n = 67008240 \text{ N} \\ = 6700824 \text{ Kg}$$

5. Kontrol geser blok (*Block shear*)

$$\phi R_n \geq V_u \text{ badan}$$

$$0,75 \times 6700824 \text{ Kg} \geq 7697,545 \text{ Kg}$$

$$5025618 \text{ Kg} \geq 7697,545 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

4.5.5 Perencanaan Sambungan Batang Penggantung

A Data Profil Baja

Profil batang penggantung WF 350 x 175 x 7 x 11

$$H = 350 \text{ mm} \quad t_w = 7 \text{ mm}$$

$$B = 175 \text{ mm} \quad t_f = 11 \text{ mm}$$

B Beban yang bekerja

$$\text{Gaya aksial maksimum} \quad P_u = 86590,410 \quad \text{Kg}$$

C Data Material Baut

Tipe baut A490 (Ulir bidang geser)

$$\text{Kuat geser nominal baut} \quad F_{nv} = 469 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat tarik nominal baut} \quad F_{nt} = 780 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diameter baut (7/8 inch)} \quad d_b = 22,2 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang baut} \quad d_l = 24,2 \text{ mm}$$

(dh standar + 2 mm)

$$\text{Luas baut (} A_b = 1/4\pi d_b^2 \text{)} \quad A_b = 386,879 \text{ mm}^2$$

$$\text{Gaya pratarik minimum baut} \quad T_b = 218 \text{ Kn}$$

$$= 22229,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Jumlah bidang geser} \quad n_s = 1$$

D Parameter Sambungan Slip Kritis

$$\text{Koefisien slip rata-rata} \quad \mu = 0,5 \text{ (Untuk baut A490)}$$

$$\text{Koefisien gesek} \quad D_u = 1,13$$

$$\text{Faktor untuk pelat pengisi} \quad h_f = 1 \text{ (Tanpa pelat pengisi)}$$

$$\text{Faktor reduksi} \quad \phi = 1$$

E Data Material Las

Mutu bahan las yang digunakan = E60xx (Elektroda 60 ksi)

$$1 \text{ ksi} = 7 \text{ Mpa}$$

$$F_{EXX} = 60 \times 7$$

$$= 414 \text{ Mpa}$$

F Data Pelat Penyambung

$$\text{Tebal end plate} \quad t_p = 35 \text{ mm}$$

Mutu baja ASTM A572

$$\text{Tegangan leleh pelat} \quad f_y = 415 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan putus pelat} \quad f_u = 520 \text{ MPa}$$

G Perencanaan Sambungann

1. Menghitung Kuat Slip Kritis Baut

$$R_n = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$$

$$R_n = 0,5 \times 1 \times 1 \times 22229,5 \times 1$$

$$= 12559,6 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n = 1 \times 12559,6$$

$$= 12559,6 \text{ Kg}$$

2. Perhitungan Jumlah Baut

Jumlah baut yang digunakan pada bagian sayap:

$$\begin{aligned} n &= \frac{P_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{86590,410}{12559,6449} \\ &= 6,89 \end{aligned}$$

Digunakan baut, $n = 8$ Baut

3. Menentukan Jarak Antar Baut

a. Untuk jarak tepi baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$\begin{array}{l} 1,5 \text{ db} < S1 < 12 \text{ tp} \\ 1,5 \text{ 22,2} < S1 < 12 \text{ 35} \\ 33,3 \text{ mm} < 50 < 420 \text{ mm} \text{ Memenuhi} \end{array}$$

b. Jarak antar baut

$$\begin{array}{l} 3 \text{ db} < S1 < 14 \text{ tp} \\ 3 \text{ 22,2} < S1 < 14 \text{ 35} \\ 66,6 \text{ mm} < 100 < 490 \text{ mm} \text{ Memenuhi} \end{array}$$

4. Perhitungan Sambungan Las

Sambungan las yang digunakan pada perencanaan sambungan batang penggantung adalah sambungan las sudut.

Diketahui:

$$\text{Panjang sambungan las (Lw)} = 1318 \text{ mm}$$

a. Menentukan Ukuran Maksimum dan Ukuran Minimum Las sudut :

1. Ukuran Minimum :

Penentuan ukuran minimum las sudut, ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Tabel J2.4 hal.116, adalah sebagai berikut:

$$\text{Karena tebal pelat penyambung } t_p = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Maka, ukuran minimum las sudut yaitu } t_{\min} : t_{\min} = 8 \text{ mm}$$

2. Ukuran Maksimum:

Ukuran maksimum las sudut ditentukan berdasarkan SNI 1729 :2020 Pasal J2.2.2b.b dengan ketentuan :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, dan
- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm atau lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm.

Diketahui :

$$\text{Tebal plat, (tp)} = 35 \text{ mm}$$

Maka, ketebalan maksimum:

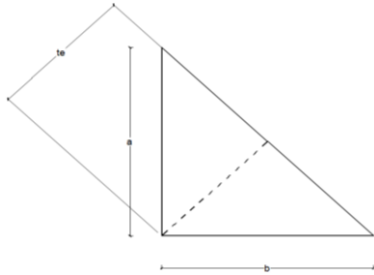
$$\begin{aligned} t_{\max} &= t - 2 \\ &= 35 - 2 \\ &= 33 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Menentukan tebal efektif (t_e) :

Direncanakan

$$\text{Panjang kaki (a)} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang kaki (b)} = 15 \text{ mm}$$



Maka,

$$t_e = 0,71 \times a$$

$$= 0,71 \times 15$$

$$= 10,6 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$t_{\min} < t_e < t_{\max}$$

$$8 < 10,6 < 33$$

c. Perhitungan Luas Efektif Las

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J2.2.2a hal.116, luas efektif las sudut ditentukan sebagai panjang las dikali dengan tenggorok efektif.

Dimana:

$$A_{we} = t_e \times L_w$$

$$= 10,6 \times 1318$$

$$= 13977 \text{ mm}^2$$

d. Perhitungan Kuat Nominal Las

Kuat nominal las ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J2.4 hal. 119, yang merupakan nilai terendah dari kekuatan logam dasar dan logam las, adalah sebagai berikut:

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_m B_M \times A_{BM}$$

Nilai $F_m B_M$ dan A_{BM} ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729: 2020 hal.120 untuk sambungan las sudut diambil nilai terendah dari:

1. Leleh Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_y \times A_{gv}$$

Dimana:

$$A_{gv} = t_p \times L_w$$

$$= 35 \times 1318$$

$$= 46129 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 0,6 \times 415 \times 46129$$

$$= 11486021 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 1 \times 11486021$$

$$= 11486021 \text{ N}$$

2. Keruntuhan Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv}$$

Dimana:

$$A_{nv} = A_{gv}$$

$$= 46129 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times 520 \times 46129 \\ &= 14392123 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 14392123 \\ &= 10794092 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk logam las:

$$R_n = F_{nw} \times A_{we}$$

Nilai F_{nw} dan A_{we} ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut ditentukan sebagai berikut

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times F_{EXX} \times A_{we} \\ &= 0,6 \times 413,7 \times 13977 \\ &= 3469362,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 3469362,5 \\ &= 2602021,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, berdasarkan kuat desain antara logam dasar dan logam las digunakan nilai yang terkecil yaitu :

$$\phi R_n = 2602021,8 \text{ N} = \phi R_n = 260202,184$$

Kontrol :

$$\phi R_n \geq P_u$$

$$260202,184 \text{ Kg} \geq 86590,410 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

5. Perhitungan Komponen Tarik Pelat Penyambung

Komponen struktur tarik harus diambil nilai terendah pada keadaan batas, yaitu :

- Leleh Tarik Penampang Bruto

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal D2.a hal.27, leleh tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut :

$$P_n = f_y \times A_g$$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_g &= t_p \times \ell \\ &= 35 \times 1318 \\ &= 46129 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 415 \times 46129 \\ &= 19143369 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 19143369 \\ &= 17229032 \text{ N} \\ &= 1722903,2 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Keruntuhan Tarik Penampang Neto

Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal D2.(b) hal. 27, keruntuhan tarik penampang neto ditentukan sebagai berikut:

$$P_n = f_u \times A_e$$

Dimana,

$$A_e = A_n \times U$$

Menentukan luas neto (A_n):

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_l \times t_p) \\ &= 46128,6 - \left[4 \times 24,2 \times 35 \right] \\ &= 42740,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan nilai faktor shear-lag (U):

Faktor shear-lag dapat ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Tabel D3.1 Kasus hal.29, dimana beban tarik disalurkan langsung ke semua elemen profil melintang melalui pengencang, maka:

$$U = 1$$

Sehingga keruntuhan tarik pada penampang neto dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_n &= f_u \times A_n \times U \\ &= 520 \times 42740,6 \times 1 \\ &= 22225112 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,75 \times P_n \\ &= 0,75 \times 22225112 \\ &= 16668834 \text{ N} \\ &= 1666883 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Antara leleh tarik penampang bruto dengan keruntuhan tarik penampang neto maka diambil nilai yang terkecil yaitu:

$$\phi P_n = 1666883 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi P_n &\geq P_u \\ 1666883 \text{ Kg} &\geq 86590,410 \text{ Kg} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

6. Kekuatan Tarik Baut Tanpa Efek Prying

Tahanan tarik baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= n (\phi F_{nt} A_b) \\ &= 8 \times \left[1 \times 780 \times 386,879 \right] \\ &= 1810,596 \text{ kN} \\ &= 184626,433 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi R_n &\geq P_u \\ 184626,433 \text{ Kg} &> 86590,410 \text{ Kg} \rightarrow \text{OKE} \end{aligned}$$

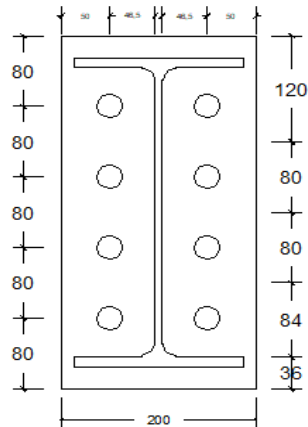
7. Kontrol Baut Terhadap Tumpu

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u \\
 &= 2,4 \times 22,2 \times 35 \times 520 \\
 &= 969696 \text{ N} \\
 \phi R_n &= n \times 0,75 \times 969696 \\
 &= 8 \times 1,75 \times 969696 \\
 &= 13575744 \text{ N} \\
 &= 1357574,4 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &\geq P_u \\
 1357574,4 \text{ Kg} &> 86590,410 \text{ Kg} \rightarrow \text{OKE}
 \end{aligned}$$

8. Kontrol Terhadap Efek Prying



Gambar 4.70 Sambungan Batang Penggantung

Geometri sambungan:

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

$$b = 46,5 \text{ mm}$$

$$p = 120 \text{ mm}$$

Parameter analisa efek prying

$$\begin{aligned}
 a' &= \left[a + \frac{d_b}{2} \right] \leq \left[1,25b + \frac{d_b}{2} \right] \\
 &= \left[50 + \frac{22,2}{2} \right] \leq \left[1 \times 46,5 + \frac{22,2}{2} \right] \\
 &= 61,1 \text{ mm} < 69,2 \text{ mm} \quad \text{OKE}
 \end{aligned}$$

$$b' = b - \frac{d_b}{2}$$

$$= 46,5 - \frac{22,2}{2}$$

$$= 35,4 \text{ mm}$$

$$\delta = 1 - \frac{d_t}{p}$$

$$= 1 - \frac{24,2}{120}$$

$$= 0,798$$

$$T = B_n = \phi \times F_{nt} \times A_b$$

$$= 1 \times 780 \times 386,879$$

$$= \mathbf{226,3 \text{ kN}}$$

Sehingga tebal minimum end plate agar tidak terjadi aksi prying

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4,44Tb'}{pF_{yp}}}$$

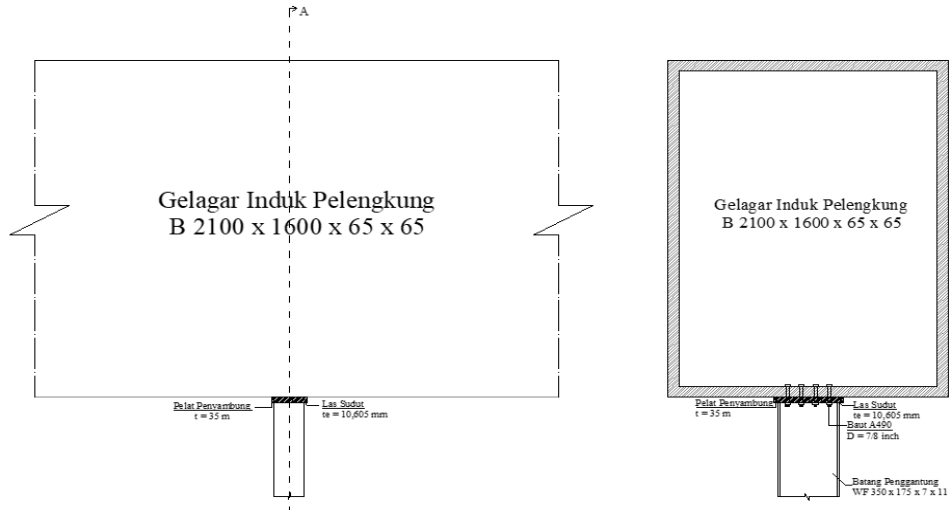
$$= \sqrt{\frac{4 \times 226,3 \times 1000 \times 35,4}{120 \times 415}}$$

$$= 26,7 \text{ mm}$$

Syarat :

$$t_p \geq t_{min}$$

35 mm > 26,7 mm → **Efek Prying Tidak Terjadi**



Gambar 4.71 Sambungan Batang Penggantung - Gelagar Induk Pelengkung

4.5.6 Perencanaan Sambungan Gelagar Melintang Atas-Pelengkung

A. Data Profil Baja

Profil gelagar melintang atas BOX 1200 x 900 x 40 x 40

Tinggi penampang	d	=	1200	mm
Lebar Penampang	b	=	900	mm
Tebal pelat badan	tw	=	40	mm
Tebal pelat sayap	tf	=	40	mm
	h	=	1120	mm
	a	=	820	mm

Profil gelagar induk pelengkung BOX 2100 x 1600 x 65 x 65

Tinggi penampang	d	=	2100	mm
Lebar Penampang	b	=	1600	mm
Tebal pelat badan	tw	=	65	mm
Tebal pelat sayap	tf	=	65	mm
	h	=	1970	mm
	a	=	1470	mm

B. Beban yang bekerja

Gaya aksial maksimum	Pu	=	339761,110	Kg
----------------------	----	---	------------	----

C. Data material baut

Tipe baut	A490	(Ulir bidang geser)
Kuat geser nominal baut	F _{nv}	= 469 Mpa
Kuat tarik nominal baut	F _{nt}	= 780 Mpa
Diameter baut (1 1/4 inch)	db	= 31,8 mm
Diameter lubang baut (dh standar + 2 mm)	dl	= 33,8 mm
Luas baut (Ab = 1/4π db ²)	Ab	= 793,8234 mm ²
Gaya pratarik minimum baut	Tb	= 454 Kn
		= 46294,38 Kg
Jumlah bidang geser	ns	= 1

D. Parameter sambungan slip kritis

Koefisien slip rata-rata	μ	= 0,5	Untuk baut A490)
Koefisien gesek	Du	= 1,1	
Faktor untuk pelat pengisi	hf	= 1	(Tanpa pelat pengisi)
Faktor reduksi	φ	= 1	

E. Data Material Las

Mutu bahan las yan digunakan	=	E60xx (Elektroda 60 ksi)
	1 ksi =	6,895 Mpa
	FE _{XX} =	60 x 6,895
	=	413,7 Mpa

Tebal gusset plate	tp gp =	50	mm
Tebal pelat penyambung	tp =	30	mm
Mutu baja	ASTM A572		
	fy =	415	Mpa
	fu =	520	Mpa

F. Perencanaan Sambungan

1. Menghitung Kuat Slip Kritis Baut

$$\begin{aligned}
 R_n &= \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s \\
 R_n &= 0,5 \times 1,1 \times 1 \times 46294,38 \times 1 \\
 &= 26156,32 \text{ Kg} \\
 \phi R_n &= 1 \times 26156,32 \\
 &= 26156,32 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Jumlah Baut

Jumlah baut yang digunakan pada bagian sayap:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{P_u}{\phi R_n} \\
 &= \frac{339761,1}{26156,32} \\
 &= 12,990
 \end{aligned}$$

Digunakan baut, n = 15 Baut

3. Menentukan Jarak Antar Baut

a. Untuk jarak tepi baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$\begin{aligned}
 1,5 \text{ db} &< S1 < 12 \text{ tp} \\
 1,5 \times 31,8 &< S1 < 12 \times 30 \\
 48 \text{ mm} &< 170 < 360 \text{ mm} \text{ Memenuhi}
 \end{aligned}$$

b. Jarak antar baut

$$\begin{aligned}
 3 \text{ db} &< S1 < 14 \text{ tp} \\
 3 \times 31,8 &< S1 < 14 \times 30 \\
 95 \text{ mm} &< 300 < 420 \text{ mm} \text{ Memenuhi}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Sambungan Las (Pelat Penyambung-Melintang Atas)

a. Menentukan Ukuran Maksimum dan Ukuran Minimum Las sudut :

1. Ukuran Minimum :

Penentuan ukuran minimum las sudut, ditentukan berdasarkan

SNI 1729-2020 Tabel J2.4 hal.116, adalah sebagai berikut:

Karena tebal pelat penyambung tp = 30 mm

Maka, ukuran minimum las sudut yaitu t min : t min = 8 mm

Tabel 4.23 Ukuran Minimum Las Sudut Sambungan Melintang Atas

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang Disambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las filet, ^[a] in. (mm)
Sampai dengan 1/4 (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari 1/4 (6) sampai dengan 1/2 (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari 1/2 (13) sampai dengan 3/4 (19)	1/4 (6)
Lebih besar dari 3/4 (19)	5/16 (8)

^[a] Dimensi kaki las filet. Las lapis tunggal harus digunakan.
Catatan: Lihat Pasal J2.2b untuk ukuran maksimum las filet.

Sumber : SNI 1729-2020 Tabel J2.4 hal.116

2. Ukuran Maksimum:

Ukuran maksimum las sudut ditentukan berdasarkan SNI 1729 :2020 Pasal J2.2.2b.b dengan ketentuan :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, dan
- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm atau lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm.

Diketahui :

Tebal plat, (tp) = 30 mm

Maka, ketebalan maksimum:

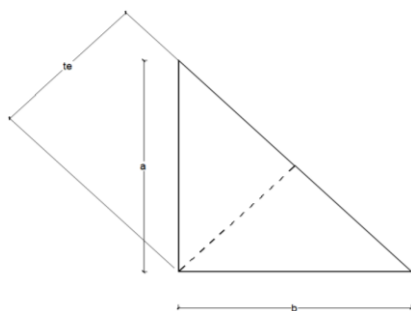
$$\begin{aligned}
 t \text{ maks} &= t - 2 \\
 &= 30 - 2 \\
 &= 28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan tebal efektif (te) :

Direncanakan

Panjang kaki (a) = 20 mm

Panjang kaki (b) = 20 mm



Maka,

$$\begin{aligned}
 te &= 0,707 \times a \\
 &= 0,707 \times 20 \\
 &= 14,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 t \text{ min} &< te < t \text{ maks} \\
 8 &< 14,14 < 28
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kuat Nominal Las per Satuan Panjang

Kuat nominal las ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J2.4 hal.119, yang merupakan nilai terendah dari kekuatan logam dasar dan logam las, adalah sebagai berikut :

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_{mBM} \times ABM$$

Nilai F_{mBM} dan ABM ditentukan berdasarkan Tabel J2.5

SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut diambil nilai terendah dari:

1. Leleh Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_y \times t_p$$

$$R_n = 0,6 \times 415 \times 30$$

$$= 7470 \quad \text{Nmm}$$

$$\phi R_n = 1 \times 7470$$

$$= 7470 \quad \text{N/mm}$$

2. Keruntuhan Geser Elemen:

$$R_n = 0,6 \times f_u \times t_p$$

$$R_n = 0,6 \times 520 \times 30$$

$$= 9360 \quad \text{Nmm}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 9360$$

$$= 7020 \quad \text{N/mm}$$

Untuk logam las:

$$R_n = F_{nw} \times A_{we}$$

Nilai F_{nw} dan A_{we} ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:

2020 hal.120 untuk sambungan las sudut ditentukan sebagai berikut

$$R_n = 0,6 \times F_{EXX} \times t_e$$

$$= 0,6 \times 413,7 \times 14,14$$

$$= 3509,831 \quad \text{N/mm}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 3509,831$$

$$= 2632,373 \quad \text{N/mm}$$

Maka, berdasarkan kuat desain antara logam dasar dan logam las digunakan nilai yang terkecil yaitu : $\phi R_n = 2632,373 \quad \text{N/mm}$

d. Panjang Total Las yang Dibutuhkan

$$L_w \text{ min} = \frac{P_u}{\phi R_n}$$

$$= \frac{3397611,100}{2632,373}$$

$$= 1290,703 \quad \text{mm}$$

Karena dilas pada 4 sisi, sehingga:

$$L_w \text{ min} = \frac{1290,703}{4}$$

$$= 322,676 \quad \text{mm}$$

Maka, panjang las yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} Lw &= 4 \times 350 \\ &= 1400 \text{ mm} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Luas Efektif Las

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J2.2.2a hal.116, luas efektif las sudut ditentukan sebagai panjang las dikali dengan tenggorok efektif.

Dimana:

$$\begin{aligned} A_{we} &= t_e \times Lw \\ &= 14,140 \times 1400 \\ &= 19796 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

f. Perhitungan Kuat Nominal Las

Kuat nominal las ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J2.4 hal.119, yang merupakan nilai terendah dari kekuatan logam dasar dan logam las, adalah sebagai berikut:

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_m B M \times A B M$$

Nilai $F_m B M$ dan $A B M$ ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut diambil nilai terendah dari:

1. Leleh Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_y \times A_{gv}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t_p \times Lw \\ &= 30 \times 1400 \\ &= 42000 \text{ mm}^2 \\ R_n &= 0,6 \times 415 \times 42000 \\ &= 10458000 \text{ N} \\ \phi R_n &= 1 \times 10458000 \\ &= 10458000 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Keruntuhan Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_{nv} &= A_{gv} \\ &= 42000 \text{ mm}^2 \\ R_n &= 0,6 \times 520 \times 42000 \\ &= 13104000 \text{ N} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 13104000 \\ &= 9828000 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk logam las:

$$R_n = F_{nw} \times A_{we}$$

Nilai F_{nw} dan A_{we} ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:

2020 hal.120 untuk sambungan las sudut ditentukan sebagai berikut

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times F_{EXX} \times A_{we} \\ &= 0,6 \times 413,7 \times 19796 \\ &= 4913763 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 4913763 \\ &= 3685322 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, berdasarkan kuat desain antara logam dasar dan logam las digunakan nilai yang terkecil yaitu :

$$\phi R_n = 3685322,340 \text{ N} = \phi R_n = 368532,234 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi R_n &\geq P_u \\ 368532,234 \text{ Kg} &\geq 339761,110 \text{ Kg} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Komponen Tarik Pelat Penyambung (sayap)

Komponen struktur tarik harus diambil nilai terendah pada keadaan batas, yaitu :

- Leleh Tarik Penampang Bruto

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal D2.a hal.27, leleh tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut :

$$P_n = f_y \times A_g$$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_g &= t_p \times \ell \\ &= 30 \times 1540 \\ &= 46200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 415 \times 46200 \\ &= 19173000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 19173000 \\ &= 17255700 \text{ N} \\ &= 1725570 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Keruntuhan Tarik Penampang Neto

Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal D2.(b) hal. 27, keruntuhan tarik penampang neto ditentukan sebagai berikut:

$$P_n = f_u \times A_e$$

Dimana,

$$A_e = A_n \times U$$

Menentukan luas neto (A_n):

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_l \times t_p) \\ &= 46200 - \left[3 \times 33,8 \times 30 \right] \end{aligned}$$

$$= 43158 \text{ mm}^2$$

Menentukan nilai faktor shear-lag (U):

Faktor shear-lag dapat ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Tabel D3.1 Kasus hal.29, dimana beban tarik disalurkan langsung ke semua elemen profil melintang melalui pengencang, maka:

$$U = 1$$

Sehingga keruntuhan tarik pada penampang neto dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_n &= f_u \times A_n \times U \\ &= 520 \times 43158 \times 1 \\ &= 22442160 \text{ N} \\ \phi P_n &= 0,75 \times P_n \\ &= 0,75 \times 22442160 \\ &= 16831620 \text{ N} \\ &= 1683162 \text{ Kg} \end{aligned}$$

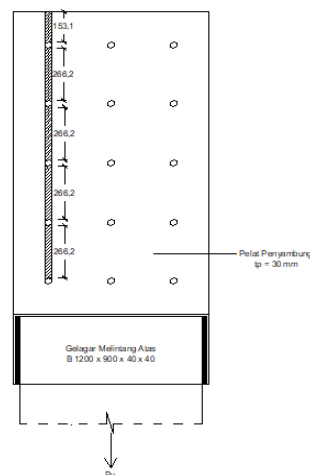
Antara leleh tarik penampang bruto dengan keruntuhan tarik penampang neto maka diambil nilai yang terkecil yaitu:

$$\phi P_n = 1683162 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi P_n &\geq P_u \\ 1683162 \text{ Kg} &\geq 339761,110 \text{ Kg} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Kapasitas Tumpu Pelat Penyambung



Gambar 4.72 Kuat Tumpu Pelat Penyambung Melintang Atas

Kuat tumpu dan sobek pada lubang baut ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J3.10.(a).(1).(i) & (a).(2).(i) dengan ketentuan:

$$R_n = 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \leq 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u$$

Dimana, l_c merupakan jarak bersih antara baut atau baut ke tepi pelat.

- Menghitung Kuat Tumpu Pelat :

$$\begin{aligned} Rn1 &= 1,2 \times 153,10 \times 30 \times 520 \\ &= 2866032 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn1 &= 1,2 \times 266,20 \times 30 \times 520 \\ &= 4983264 \text{ N} \end{aligned}$$

- Menghitung Kuat Sobek Pelat

$$\begin{aligned} Rn &= 2,4 \times db \times tp \times fu \\ &= 2,4 \times 31,8 \times 30 \times 520 \\ &= 1190592 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$Rn = 1,2 \times lc \times tp \times fu \leq 2,4 \times db \times tp \times fu$$

$$Rn1 = 2866032 \text{ N} \geq 1190592 \text{ N}$$

$$\text{Digunakan nilai yang terkecil, yaitu } Rn1 = 1190592 \text{ N}$$

$$Rn1 = 4983264 \text{ N} \geq 1190592 \text{ N}$$

$$\text{Digunakan nilai yang terkecil, yaitu } Rn2 = 1190592 \text{ N}$$

Maka, kapasitas tumpu pelat total adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum Rn &= 3 \times Rn1 + 5 \times Rn2 \\ &= 3 \times 1190592 + 5 \times 1190592 \\ &= 9524736 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \sum Rn &= 0,75 \times 9524736 \\ &= 7143552 \text{ N} \\ &= 714355,2 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\phi \sum Rn \geq Pu$$

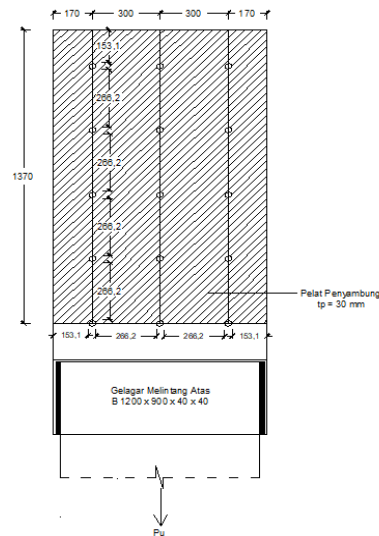
$$714355,2 \text{ Kg} \geq 339761,110 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

7. Perhitungan Kapasitas Geser Blok (Block Shear)

Keruntuhan geser blok (Block Shear) berdasarkan SNI 1729:2020

Pasal J4.3 hal.136, diambil sebesar:

$$\begin{aligned} Rn &= 0,60 \times fu \times Anv + Ubs \times fu \times Ant \leq 0,60 \times fy \times Agv + \\ &Ubs \times fu \times Ant \end{aligned}$$



Gambar 4.73 Tinjauan Keruntuhan Geser Blok Melintang Atas

a. Menghitung Luas Neto yang Memikul Geser (A_{nv})

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= (4 \times l_c + l_c \text{ tepi}) \times t_p \times \text{jmlh bidang geser} \\
 &= 4 \times (266,2 + 153,10) \times 30 \times 3 \\
 &= 150948 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Luas Neto yang Memikul Tarik (A_{nt})

Untuk luas permukaan tarik bagian tepi:

$$\begin{aligned}
 A_{nt1} &= l_c \text{ tepi} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tepi} \\
 &= 153,10 \times 30 \times 2 \\
 &= 9186 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk luas permukaan tarik bagian tengah

$$\begin{aligned}
 A_{nt2} &= l_c \text{ tengah} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tengah} \\
 &= 266,2 \times 30 \times 3 \\
 &= 23958 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, luas permukaan tarik total:

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_{nt1} + A_{nt2} \\
 &= 9186 + 23958 \\
 &= 33144 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Menghitung luas bruto yang memikul geser (A_{gv})

Diketahui :

$$\text{Panjang bidang blok geser (l)} = 1370 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= t_p \times l \times \text{Jmlh bidang bruto} \\
 &= 30 \times 1370 \times 3 \\
 &= 123300 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

d. Menghitung nilai keruntuhan blok geser

$$U_{bs} = 0,5 \text{ (Karena tegangan tarik yang terjadi tidak seragam)}$$

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times f_y \times A_{gv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

$$= \left[0,6 \times 520 \times 150948 \right] + \left[0,5 \times 520 \times 33144 \right] \leq \left[0,6 \times 415 \times 123300 \right] + \left[0,5 \times 520 \times 33144 \right]$$

$$= 55713216 \text{ N} \leq 39319140 \text{ N}$$

Diambil nilai yang terkecil yaitu :

$$R_n = 39319140 \text{ N} = 3931914 \text{ Kg}$$

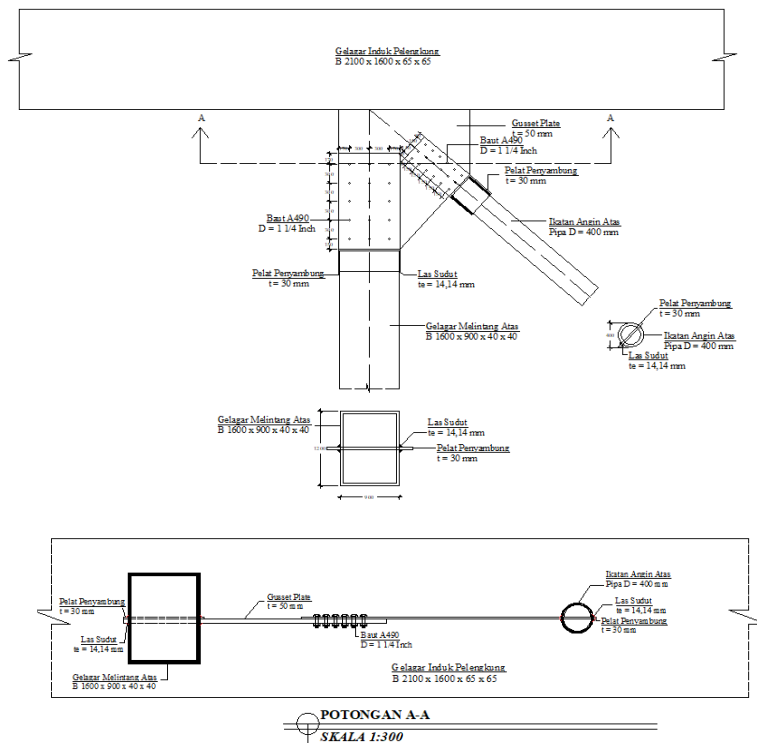
e. Kontrol Geser Blok (Block Shear)

Maka,

$$\phi \sum R_n \geq P_u$$

$$0,75 \times 3931914 \geq 339761,110$$

$$2948935,5 \text{ Kg} \geq 339761,110 \text{ Kg} \text{ OKE}$$



Gambar 4.74 Sambungan Gelasar Melintang Atas - Gelasar Induk Pelengkung

4.5.7 Perhitungan Sambungan Ikatan Angin Atas-Gelagar

Melintang Atas

A. Data Profil Baja

Profil gelagar melintang atas BOX 1200 x 900 x 40 x 40

$$\begin{aligned} d &= 1200 & \text{mm} & & t_f &= 40 & \text{mm} \\ b &= 900 & \text{mm} & & h &= 1120 & \text{mm} \\ t_w &= 40 & \text{mm} & & a &= 820 & \text{mm} \end{aligned}$$

Profil ikatan angin atas digunakan Pipa ϕ 400

$$\begin{aligned} D &= 400 & \text{mm} \\ t &= 40 & \text{mm} \end{aligned}$$

B. Beban yang bekerja

$$\text{Gaya aksial maksimum} \quad P_u = 443943,830 \text{ Kg}$$

C. Data material baut

Tipe baut A490 (Ulir bidang geser)

$$\text{Kuat geser nominal baut} \quad F_{nv} = 469 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat tarik nominal baut} \quad F_{nt} = 780 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diameter baut (1 1/4 inch)} \quad d_b = 31,8 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang baut} \quad d_l = 33,8 \text{ mm}$$

(d_h standar + 2 mm)

$$\text{Luas baut (} A_b = 1/4\pi d_b^2 \text{)} \quad A_b = 793,8234 \text{ mm}^2$$

$$\text{Gaya pratarik minimum baut} \quad T_b = 454 \text{ Kn}$$

$$= 46294,38 \text{ Kg}$$

$$\text{Jumlah bidang geser} \quad n_s = 1$$

D. Parameter sambungan slip kritis

$$\text{Koefisien slip rata-rata} \quad \mu = 0,5$$

$$\text{Koefisien gesek} \quad D_u = 1,1$$

$$\text{Faktor untuk pelat pengisi} \quad h_f = 1$$

$$\text{Faktor reduksi} \quad \phi = 1$$

E. Data Material Las

Mutu bahan las yan digunakan = E60xx (Elektroda 60 ksi)

$$1 \text{ ksi} = 6,895 \text{ Mpa}$$

$$F_{EXX} = 60 \times 6,895$$

$$= 413,7 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal gusset plate} \quad t_{p \text{ gp}} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat penyambung} \quad t_p = 30 \text{ mm}$$

Mutu baja ASTM A572

$$f_y = 415 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 520 \text{ Mpa}$$

F. Perencanaan Sambungan

1. Menghitung Kuat Slip Kritis Baut

$$\begin{aligned}
 R_n &= \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s \\
 R_n &= 0,5 \times 1,1 \times 1 \times 46294,38 \times 1 \\
 &= 26156,32 \text{ Kg} \\
 \phi R_n &= 1 \times 26156,32 \\
 &= 26156,32 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Jumlah Baut

Jumlah baut yang digunakan pada bagian sayap:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{P_u}{\phi R_n} \\
 &= \frac{443943,830}{26156,3247} \\
 &= 16,97
 \end{aligned}$$

Digunakan baut, $n = 18$ Baut

3. Menentukan Jarak Antar Baut

a. Untuk jarak tepi baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$\begin{aligned}
 1,5 \text{ db} &< S1 < 12 \text{ tp} \\
 1,5 \quad 31,8 &< S1 < 12 \quad 30 \\
 48 \text{ mm} &< 80 < 360 \text{ mm} \text{ Memenuhi}
 \end{aligned}$$

b. Jarak antar baut

$$\begin{aligned}
 3 \text{ db} &< S1 < 14 \text{ tp} \\
 3 \quad 31,8 &< S1 < 14 \quad 30 \\
 95 \text{ mm} &< 150 < 420 \text{ mm} \text{ Memenuhi}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Sambungan Las

a. Menentukan Ukuran Maksimum dan Ukuran Minimum Las sudut :

1. Ukuran Minimum :

Penentuan ukuran minimum las sudut, ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Tabel J2.4 hal.116, adalah sebagai berikut:

Karena tebal pelat penyambung $t_p = 30 \text{ mm}$

Maka, ukuran minimum las sudut yaitu $t_{\min} : t_{\min} = 8 \text{ mm}$

Tabel 4.24 Ukuran Minimum Las Sudut Sambungan Melintang Atas

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang Disambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las file, ^(a) in. (mm)
Sampai dengan 1/4 (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari 1/4 (6) sampai dengan 1/2 (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari 1/2 (13) sampai dengan 3/4 (19)	1/4 (6)
Lebih besar dari 3/4 (19)	5/16 (8)

^(a) Dimensi kaki las file. Las lapis tunggal harus digunakan.
Catatan: Lihat Pasal J2.2b untuk ukuran maksimum las file.

Sumber : SNI 1729-2020 Tabel J2.4 hal.116

2. Ukuran Maksimum:

Ukuran maksimum las sudut ditentukan berdasarkan SNI 1729 :2020 Pasal J2.2.2b.b dengan ketentuan :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, dan
- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm atau lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm.

Diketahui :

$$\text{Tebal plat, } (t_p) = 30 \text{ mm}$$

Maka, ketebalan maksimum:

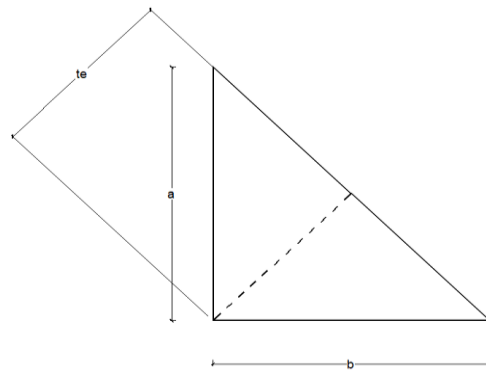
$$\begin{aligned} t_{\text{maks}} &= t - 2 \\ &= 30 - 2 \\ &= 28 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Menentukan tebal efektif (t_e) :

Direncanakan

$$\text{Panjang kaki (a)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang kaki (b)} = 20 \text{ mm}$$



Maka,

$$\begin{aligned} t_e &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 20 \\ &= 14,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} t_{\text{min}} &< t_e < t_{\text{maks}} \\ 8 &< 14,14 < 28 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kuat Nominal Las per Satuan Panjang

Kuat nominal las ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J2.4 hal.119, yang merupakan nilai terendah dari kekuatan logam dasar dan logam las, adalah sebagai berikut :

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_m B M \times A B M$$

Nilai F_m dan ABM ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut diambil nilai terendah dari:

1. Leleh Geser Elemen

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times f_y \times t_p \\ R_n &= 0,6 \times 415 \times 30 \\ &= 7470 \text{ Nmm} \\ \phi R_n &= 1 \times 7470 \\ &= 7470 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

2. Keruntuhan Geser Elemen:

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times f_u \times t_p \\ R_n &= 0,6 \times 520 \times 30 \\ &= 9360 \text{ Nmm} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 9360 \\ &= 7020 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Untuk logam las:

$$R_n = F_{nw} \times A_{we}$$

Nilai F_{nw} dan A_{we} ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729: 2020 hal.120 untuk sambungan las sudut ditentukan sebagai berikut

$$\begin{aligned} R_n &= 0,6 \times F_{EXX} \times t_e \\ &= 0,6 \times 413,7 \times 14,14 \\ &= 3509,831 \text{ N/mm} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 3509,831 \\ &= 2632,373 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Maka, berdasarkan kuat desain antara logam dasar dan logam las digunakan nilai yang terkecil yaitu : $\phi R_n = 2632,373 \text{ N/mm}$

d. Panjang Total Las yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned} L_{w \text{ min}} &= \frac{P_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{4439438,300}{2632,373} \\ &= 1686,478 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena dilas pada 4 sisi, sehingga:

$$\begin{aligned} L_{w \text{ min}} &= \frac{1686,478}{4} \\ &= 421,619 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, panjang las yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} L_w &= 4 \times 450 \\ &= 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Luas Efektif Las

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J2.2.2a hal.116, luas efektif las sudut ditentukan sebagai panjang las dikali dengan tenggorok efektif.

Dimana:

$$\begin{aligned} A_{we} &= t_e \times L_w \\ &= 14,14 \times 1800 \\ &= 25452 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

f. Perhitungan Kuat Nominal Las

Kuat nominal las ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J2.4 hal.119, yang merupakan nilai terendah dari kekuatan logam dasar dan logam las, adalah sebagai berikut:

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_m B M \times A B M$$

Nilai $F_m B M$ dan $A B M$ ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut diambil nilai terendah dari:

1. Leleh Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_y \times A_{gv}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t_p \times L_w \\ &= 30 \times 1800 \\ &= 54000 \text{ mm}^2 \\ R_n &= 0,6 \times 415 \times 54000 \\ &= 13446000 \text{ N} \\ \phi R_n &= 1 \times 13446000 \\ &= 13446000 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Keruntuhan Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_{nv} &= A_{gv} \\ &= 54000 \text{ mm}^2 \\ R_n &= 0,6 \times 520 \times 54000 \\ &= 16848000 \text{ N} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 16848000 \\ &= 12636000 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk logam las:

$$R_n = F_n w \times A_{we}$$

Nilai $F_n w$ dan A_{we} ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut ditentukan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 R_n &= 0,6 \times F_{EXX} \times A_{we} \\
 &= 0,6 \times 413,7 \times 25452 \\
 &= 6317695,44 \text{ N} \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 6317695 \\
 &= 4738271,58 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka, berdasarkan kuat desain antara logam dasar dan logam las digunakan nilai yang terkecil yaitu :

$$\phi R_n = 4738271,58 \text{ N} = \phi R_n = 473827,158 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &\geq P_u \\
 473827,158 \text{ Kg} &\geq 443943,830 \text{ Kg} \quad \text{OKE}
 \end{aligned}$$

5. Perhitungan Komponen Tarik Pelat Penyambung

Komponen struktur tarik harus diambil nilai terendah pada keadaan batas, yaitu :

- Leleh Tarik Penampang Bruto

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal D2.a hal.27, leleh tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut :

$$P_n = f_y \times A_g$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 A_g &= t_p \times \ell \\
 &= 30 \times 910 \\
 &= 27300 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= 415 \times 27300 \\
 &= 11329500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &= 0,9 \times 11329500 \\
 &= 10196550 \text{ N} \\
 &= 1019655 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

- Keruntuhan Tarik Penampang Neto

Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal D2.(b) hal. 27, keruntuhan tarik penampang neto ditentukan sebagai berikut:

$$P_n = f_u \times A_e$$

Dimana,

$$A_e = A_n \times U$$

Menentukan luas neto (A_n):

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_g - (n \times d_l \times t_p) \\
 &= 27300 - [3 \times 33,8 \times 30] \\
 &= 24258 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menentukan nilai faktor shear-lag (U):

Faktor shear-lag dapat ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020

Tabel D3.1 Kasus hal.29, dimana beban tarik disalurkan langsung ke semua elemen profil melintang melalui pengencang, maka:

$$U = 1$$

Sehingga keruntuhan tarik pada penampang neto dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_n &= f_u \times A_n \times U \\ &= 520 \times 24258 \times 1 \\ &= 12614160 \text{ N} \\ \phi P_n &= 0,75 \times P_n \\ &= 0,75 \times 12614160 \\ &= 9460620 \text{ N} \\ &= 946062 \text{ Kg} \end{aligned}$$

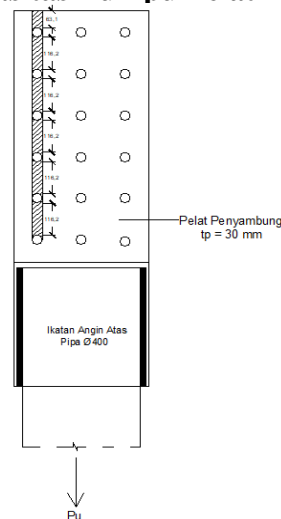
Antara leleh tarik penampang bruto dengan keruntuhan tarik penampang neto maka diambil nilai yang terkecil yaitu:

$$\phi P_n = 946062 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi P_n &\geq P_u \\ 946062 \text{ Kg} &\geq 443943,830 \text{ Kg} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Kapasitas Tumpu Pelat Penyambung



Gambar 4.75 Kuat Tumpu Pelat Penyambung Ikatan Angin Atas
Kuat tumpu dan sobek pada lubang baut ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J3.10.(a).(1).(i) & (a).(2).(i) dengan ketentuan:

$$R_n = 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \leq 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u$$

Dimana, l_c merupakan jarak bersih antara baut atau baut ke tepi pelat.

- Menghitung Kuat Tumpu Pelat :

$$\begin{aligned} Rn1 &= 1,2 \times 63,1 \times 30 \times 520 \\ &= 1181232 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn1 &= 1,2 \times 116,2 \times 30 \times 520 \\ &= 2175264 \text{ N} \end{aligned}$$

- Menghitung Kuat Sobek Pelat

$$\begin{aligned} Rn &= 2,4 \times db \times tp \times fu \\ &= 2,4 \times 31,8 \times 30 \times 520 \\ &= 1190592 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$Rn = 1,2 \times lc \times tp \times fu \leq 2,4 \times db \times tp \times fu$$

$$Rn1 = 1181232 \text{ N} \geq 1190592 \text{ N}$$

$$\text{Digunakan nilai yang terkecil, yaitu } Rn1 = 1181232 \text{ N}$$

$$Rn1 = 2175264 \text{ N} \geq 1190592 \text{ N}$$

$$\text{Digunakan nilai yang terkecil, yaitu } Rn2 = 1190592 \text{ N}$$

Maka, kapasitas tumpu pelat total adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum Rn &= 3 \times Rn1 + 6 \times Rn2 \\ &= 3 \times 1181232 + 6 \times 1190592 \\ &= 10687248 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \sum Rn &= 0,75 \times 10687248 \\ &= 8015436 \text{ N} \\ &= 801543,6 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\phi \sum Rn \geq Pu$$

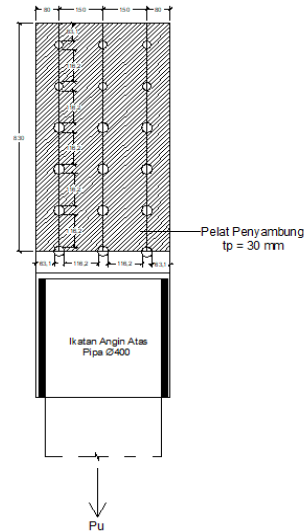
$$801543,6 \text{ Kg} \geq 443943,830 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$

7. Perhitungan Kapasitas Geser Blok (Block Shear)

Keruntuhan geser blok (Block Shear) berdasarkan SNI 1729:2020

Pasal J4.3 hal.136, diambil sebesar:

$$\begin{aligned} Rn &= 0,60 \times fu \times Anv + Ubs \times fu \times Ant \leq 0,60 \times fy \times Agv + \\ &\quad Ubs \times fu \times Ant \end{aligned}$$



Gambar 4.76 Tinjauan Keruntuhan Geser Blok Ikatan Angin Atas

a. Menghitung Luas Neto yang Memikul Geser (A_{nv})

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= (5 \times l_c + l_c \text{ tepi}) \times t_p \times \text{jmlh bidang geser} \\
 &= 5 \times [116,2 + 63,1] \times 30 \times 3 \\
 &= 80685 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Luas Neto yang Memikul Tarik (A_{nt})

Untuk luas permukaan tarik bagian tepi:

$$\begin{aligned}
 A_{nt1} &= l_c \text{ tepi} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tepi} \\
 &= 79,95 \times 30 \times 2 \\
 &= 4797 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk luas permukaan tarik bagian tengah

$$\begin{aligned}
 A_{nt2} &= l_c \text{ tengah} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tengah} \\
 &= 116,2 \times 30 \times 4 \\
 &= 13944 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, luas permukaan tarik total:

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_{nt1} + A_{nt2} \\
 &= 4797 + 13944 \\
 &= 18741 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

c. Menghitung luas bruto yang memikul geser (A_{gv})

Diketahui :

$$\text{Panjang bidang blok geser (l)} = 830 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= t_p \times l \times \text{Jmlh bidang bruto} \\
 &= 30 \times 830 \times 3 \\
 &= 74700 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

d. Menghitung nilai keruntuhan blok geser

$$U_{bs} = 0,5 \quad (\text{Karena tegangan tarik yang terjadi tidak seragam})$$

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times f_y \times A_{gv} +$$

$$U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

$$= \left[0,6 \times 520 \times 80685 \right] + \left[0,5 \times 520 \times 18741 \right] \leq \left[0,6 \times 415 \times 74700 \right] + \left[0,5 \times 520 \times 18741 \right]$$

$$= 30046380 \quad N \leq 23472960 \quad N$$

Diambil nilai yang terkecil yaitu :

$$R_n = 23472960 \quad N = 2347296 \quad \text{Kg}$$

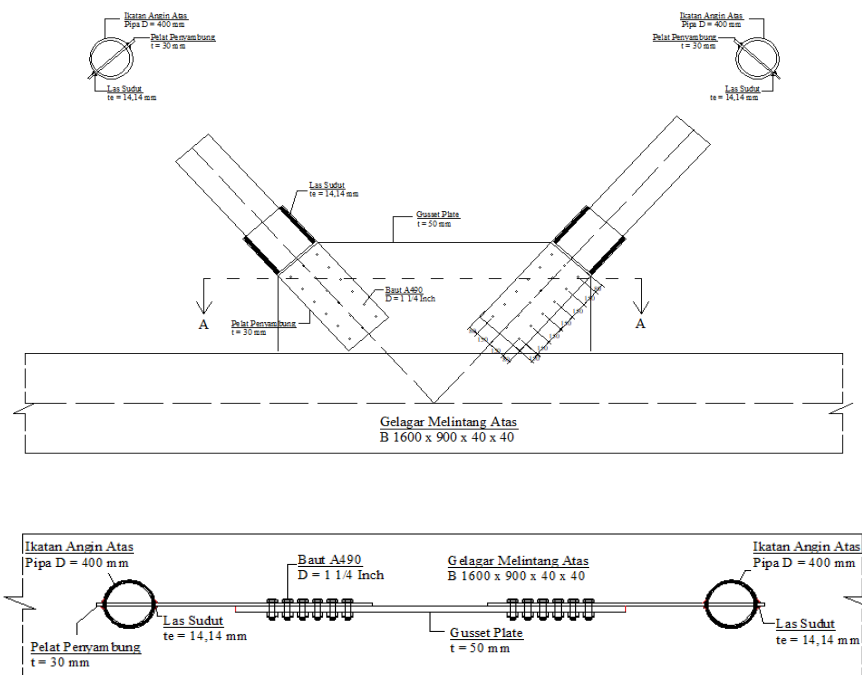
e. Kontrol Geser Blok (Block Shear)

Maka,

$$\phi \sum R_n \geq P_u$$

$$0,75 \times 2347296 \geq 443943,830$$

$$1760472 \quad \text{Kg} \geq 443943,830 \quad \text{Kg} \quad \text{OKE}$$



Gambar 4.77 Sambungan Gelagar Ikatan Angin Atas - Gelagar Melintang Atas

4.5.8 Perhitungan Sambungan Ikatan Angin Bawah

A. Data Profil Baja

Profil ikatan angin atas digunakan Pipa ϕ 400

$$D = 400 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

B. Beban yang bekerja

$$\text{Gaya aksial maksimum} \quad P_u = 161030,340 \text{ Kg}$$

C. Data material baut

Tipe baut A490 (Ulir bidang geser)

$$\text{Kuat geser nominal baut} \quad F_{nv} = 469 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat tarik nominal baut} \quad F_{nt} = 780 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diameter baut (1 1/4 inch)} \quad d_b = 31,8 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter lubang baut} \quad d_l = 33,8 \text{ mm}$$

(dh standar + 2 mm)

$$\text{Luas baut (} A_b = 1/4\pi d_b^2 \text{)} \quad A_b = 793,8234 \text{ mm}^2$$

$$\text{Gaya pratarik minimum baut} \quad T_b = 454 \text{ Kn}$$

$$= 46294,38 \text{ Kg}$$

$$\text{Jumlah bidang geser} \quad n_s = 1$$

D. Parameter sambungan slip kritis

$$\text{Koefisien slip rata-rata} \quad \mu = 0,5$$

$$\text{Koefisien gesek} \quad D_u = 1,1$$

$$\text{Faktor untuk pelat pengisi} \quad h_f = 1$$

$$\text{Faktor reduksi} \quad \phi = 1$$

E. Data Material Las

Mutu bahan las yang digunakan = E60xx (Elektroda 60 ksi)

$$1 \text{ ksi} = 6,895 \text{ Mpa}$$

$$F_{EXX} = 60 \times 6,895$$

$$= 413,7 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tebal gusset plate} \quad t_{p \text{ gp}} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat penyambung} \quad t_p = 30 \text{ mm}$$

Mutu baja ASTM A572

$$f_y = 415 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 520 \text{ Mpa}$$

F. Perencanaan Sambungan

1. Menghitung Kuat Slip Kritis Baut

$$R_n = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s$$

$$R_n = 0,5 \times 1,1 \times 1 \times 46294,38 \times 1$$

$$= 26156,32 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n = 1 \times 26156,32$$

$$= 26156,32 \text{ Kg}$$

2. Perhitungan Jumlah Baut

Jumlah baut yang digunakan pada bagian sayap:

$$\begin{aligned} n &= \frac{P_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{161030,340}{26156,3247} \\ &= 6,16 \end{aligned}$$

Digunakan baut, $n = 9$ Baut

3. Menentukan Jarak Antar Baut

a. Untuk jarak tepi baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$\begin{aligned} 1,5 \text{ db} &< S1 < 12 \text{ tp} \\ 1,5 \quad 31,8 &< S1 < 12 \quad 30 \\ 48 \text{ mm} &< 80 < 360 \text{ mm} \text{ Memenuhi} \end{aligned}$$

b. Jarak antar baut

$$\begin{aligned} 3 \text{ db} &< S1 < 14 \text{ tp} \\ 3 \quad 31,8 &< S1 < 14 \quad 30 \\ 95 \text{ mm} &< 150 < 420 \text{ mm} \text{ Memenuhi} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Sambungan Las

a. Menentukan Ukuran Maksimum dan Ukuran Minimum Las sudut :

1. Ukuran Minimum :

Penentuan ukuran minimum las sudut, ditentukan berdasarkan

SNI 1729-2020 Tabel J2.4 hal.116, adalah sebagai berikut:

Karena tebal pelat penyambung $tp = 30$ mm

Maka, ukuran minimum las sudut yaitu $t_{min} : t_{min} = 8$ mm

Tabel 4.25 Ukuran Minimum Las Sudut Sambungan Melintang Atas

Tebal Material Bagian yang Lebih Tipis yang Disambung, in. (mm)	Ukuran Minimum Las file, ^[a] in. (mm)
Sampai dengan 1/4 (6)	1/8 (3)
Lebih besar dari 1/4 (6) sampai dengan 1/2 (13)	3/16 (5)
Lebih besar dari 1/2 (13) sampai dengan 3/4 (19)	1/4 (6)
Lebih besar dari 3/4 (19)	5/16 (8)

^[a] Dimensi kaki las file. Las lapis tunggal harus digunakan.
Catatan: Lihat Pasal J2.2b untuk ukuran maksimum las file.

Sumber : SNI 1729-2020 Tabel J2.4 hal.116

2. Ukuran Maksimum:

Ukuran maksimum las sudut ditentukan berdasarkan SNI 1729

:2020 Pasal J2.2.2b.b dengan ketentuan :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, dan
- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm atau

lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm.

Diketahui :

$$\text{Tebal plat, } (t_p) = 30 \text{ mm}$$

Maka, ketebalan maksimum:

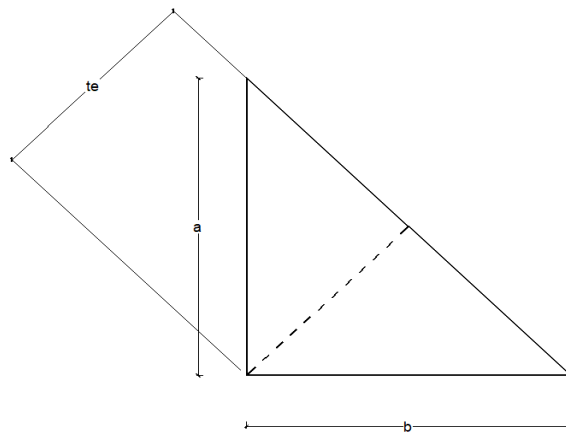
$$\begin{aligned} t_{\text{maks}} &= t - 2 \\ &= 30 - 2 \\ &= 28 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Menentukan tebal efektif (t_e) :

Direncanakan

$$\text{Panjang kaki (a)} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang kaki (b)} = 20 \text{ mm}$$



Maka,

$$\begin{aligned} t_e &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 20 \\ &= 14,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} t_{\text{min}} &< t_e < t_{\text{maks}} \\ 8 &< 14,14 < 28 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kuat Nominal Las per Satuan Panjang

Kuat nominal las ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J2.4 hal.119, yang merupakan nilai terendah dari kekuatan logam dasar dan logam las, adalah sebagai berikut :

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_m B M \times A B M$$

Nilai $F_m B M$ dan $A B M$ ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut diambil nilai terendah dari:

1. Leleh Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_y \times t_p$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 0,6 \times 415 \times 30 \\
 &= 7470 \quad \text{Nmm} \\
 \phi R_n &= 1 \times 7470 \\
 &= 7470 \quad \text{N/mm}
 \end{aligned}$$

2. Keruntuhan Geser Elemen:

$$\begin{aligned}
 R_n &= 0,6 \times f_u \times t_p \\
 R_n &= 0,6 \times 520 \times 30 \\
 &= 9360 \quad \text{Nmm} \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 9360 \\
 &= 7020 \quad \text{N/mm}
 \end{aligned}$$

Untuk logam las:

$$R_n = F_{nw} \times A_{we}$$

Nilai F_{nw} dan A_{we} ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:

2020 hal.120 untuk sambungan las sudut ditentukan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 R_n &= 0,6 \times F_{EXX} \times t_e \\
 &= 0,6 \times 413,7 \times 14,14 \\
 &= 3509,831 \quad \text{N/mm} \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 3509,831 \\
 &= 2632,373 \quad \text{N/mm}
 \end{aligned}$$

Maka, berdasarkan kuat desain antara logam dasar dan logam las digunakan nilai yang terkecil yaitu : $\phi R_n = 2632,373 \quad \text{N/mm}$

d. Panjang Total Las yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 L_w \text{ min} &= \frac{P_u}{\phi R_n} \\
 &= \frac{1610303,400}{2632,373} \\
 &= 611,7307 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

Karena dilas pada 4 sisi, sehingga:

$$\begin{aligned}
 L_w \text{ min} &= \frac{611,7307}{4} \\
 &= 152,933 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

Maka, panjang las yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 L_w &= 4 \times 200 \\
 &= 800 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Luas Efektif Las

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J2.2.2a hal.116, luas efektif las sudut ditentukan sebagai panjang las dikali dengan tenggorok efektif.

Dimana:

$$A_{we} = t_e \times L_w$$

$$= 14,14 \times 800$$

$$= 11312 \text{ mm}^2$$

f. Perhitungan Kuat Nominal Las

Kuat nominal las ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J2.4 hal.119, yang merupakan nilai terendah dari kekuatan logam dasar dan logam las, adalah sebagai berikut:

Untuk logam dasar:

$$R_n = F_m B M \times A B M$$

Nilai $F_m B M$ dan $A B M$ ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729:2020 hal.120 untuk sambungan las sudut diambil nilai terendah dari:

1. Leleh Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_y \times A_{g v}$$

Dimana:

$$A_{g v} = t_p \times L_w$$

$$= 30 \times 800$$

$$= 24000 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 0,6 \times 415 \times 24000$$

$$= 5976000 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 1 \times 5976000$$

$$= 5976000 \text{ N}$$

2. Keruntuhan Geser Elemen

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{n v}$$

Dimana:

$$A_{n v} = A_{g v}$$

$$= 24000 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 0,6 \times 520 \times 24000$$

$$= 7488000 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 7488000$$

$$= 5616000 \text{ N}$$

Untuk logam las:

$$R_n = F_n w \times A_w e$$

Nilai $F_n w$ dan $A_w e$ ditentukan berdasarkan Tabel J2.5 SNI 1729: 2020 hal.120 untuk sambungan las sudut ditentukan sebagai berikut

$$R_n = 0,6 \times F_{E X X} \times A_w e$$

$$= 0,6 \times 413,7 \times 11312$$

$$= 2807864,64 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 2807865$$

$$= 2105898,48 \text{ N}$$

Maka, berdasarkan kuat desain antara logam dasar dan logam las digunakan nilai yang terkecil yaitu :

$$\phi R_n = 2105898,48 \text{ N} = \phi R_n = 210589,848 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi R_n &\geq P_u \\ 210589,848 \text{ Kg} &\geq 161030,340 \text{ Kg} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Komponen Tarik Pelat Penyambung

Komponen struktur tarik harus diambil nilai terendah pada keadaan batas, yaitu :

- Leleh Tarik Penampang Bruto

Berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal D2.a hal.27, leleh tarik penampang bruto ditentukan sebagai berikut :

$$P_n = f_y \times A_g$$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_g &= t_p \times \ell \\ &= 30 \times 460 \\ &= 13800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 415 \times 13800 \\ &= 5727000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times 5727000 \\ &= 5154300 \text{ N} \\ &= 515430 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Keruntuhan Tarik Penampang Neto

Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal D2.(b) hal. 27, keruntuhan tarik penampang neto ditentukan sebagai berikut:

$$P_n = f_u \times A_e$$

Dimana,

$$A_e = A_n \times U$$

Menentukan luas neto (A_n):

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - (n \times d_l \times t_p) \\ &= 13800 - [3 \times 33,8 \times 30] \\ &= 10758 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan nilai faktor shear-lag (U):

Faktor shear-lag dapat ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Tabel D3.1 Kasus hal.29, dimana beban tarik disalurkan langsung ke semua elemen profil melintang melalui pengencang, maka:

$$U = 1$$

Sehingga keruntuhan tarik pada penampang neto dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_n &= f_u \times A_n \times U \\
 &= 520 \times 10758 \times 1 \\
 &= 5594160 \text{ N} \\
 \phi P_n &= 0,75 \times P_n \\
 &= 0,75 \times 5594160 \\
 &= 4195620 \text{ N} \\
 &= 419562 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

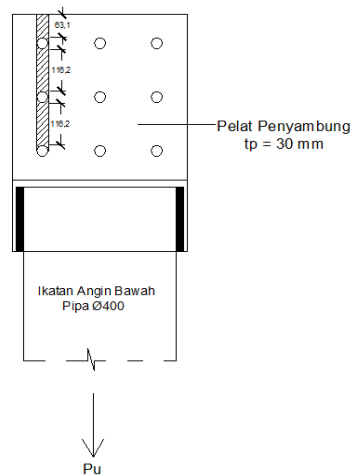
Antara leleh tarik penampang bruto dengan keruntuhan tarik penampang neto maka diambil nilai yang terkecil yaitu:

$$\phi P_n = 419562 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi P_n &\geq P_u \\
 419562 \text{ Kg} &\geq 161030,340 \text{ Kg} \quad \text{OKE}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan Kapasitas Tumpu Pelat Penyangga



Gambar 4.78 Kuat Tumpu Pelat Penyambung Ikatan Angin Bawah

Kuat tumpu dan sobek pada lubang baut ditentukan berdasarkan SNI 1729:2020 Pasal J3.10.(a).(1).(i) & (a).(2).(i) dengan ketentuan:

ketentuan:

$$R_n = 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \leq 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u$$

Dimana, l_c merupakan jarak bersih antara baut atau baut ke tepi pelat.

- Menghitung Kuat Tumpu Pelat :

$$\begin{aligned}
 R_{n1} &= 1,2 \times 63,1 \times 30 \times 520 \\
 &= 1181232 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{n1} &= 1,2 \times 116,2 \times 30 \times 520 \\
 &= 2175264 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Kuat Sobek Pelat

$$R_n = 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u$$

$$= 2,4 \times 31,8 \times 30 \times 520$$

$$= 1190592 \text{ N}$$

Sehingga:

$$R_n = 1,2 \times l_c \times t_p \times f_u \leq 2,4 \times d_b \times t_p \times f_u$$

$$R_{n1} = 1181232 \text{ N} \geq 1190592 \text{ N}$$

Digunakan nilai yang terkecil, yaitu $R_{n1} = 1181232 \text{ N}$

$$R_{n1} = 2175264 \text{ N} \geq 1190592 \text{ N}$$

Digunakan nilai yang terkecil, yaitu $R_{n2} = 1190592 \text{ N}$

Maka, kapasitas tumpu pelat total adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum R_n &= 3 \times R_{n1} + 3 \times R_{n2} \\ &= 3 \times 1181232 + 3 \times 1190592 \\ &= 7115472 \text{ N} \\ \phi \sum R_n &= 0,75 \times 7115472 \\ &= 5336604 \text{ N} \\ &= 533660,4 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol:

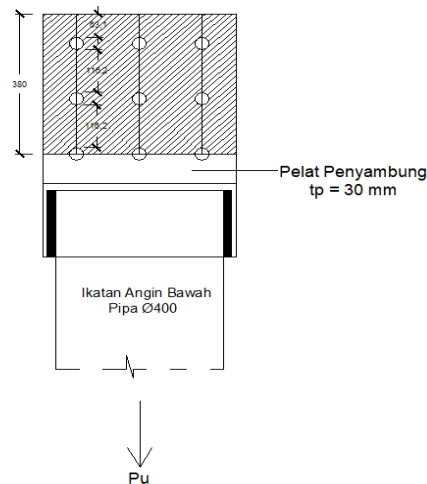
$$\begin{aligned} \phi \sum R_n &\geq P_u \\ 533660,4 \text{ Kg} &\geq 161030,340 \text{ Kg} \quad \text{OKE} \end{aligned}$$

7. Perhitungan Kapasitas Geser Blok (Block Shear)

Keruntuhan geser blok (Block Shear) berdasarkan SNI 1729:2020

Pasal J4.3 hal.136, diambil sebesar:

$$R_n = 0,60 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,60 \times f_y \times A_{gv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$



Gambar 4.79 Tinjauan Keruntuhan Geser Blok Ikatan Angin Bawah

a. Menghitung Luas Neto yang Memikul Geser (A_{nv})

$$\begin{aligned} A_{nv} &= (2 \times l_c + l_c \text{ tepi}) \times t_p \times \text{jmlh bidang geser} \\ &= 2 \times [116,2 + 63,1] \times 30 \times 3 \\ &= 32274 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Menghitung Luas Neto yang Memikul Tarik (Ant)

Untuk luas permukaan tarik bagian tepi:

$$\begin{aligned} \text{Ant}_1 &= l_c \text{ tepi} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tepi} \\ &= 79,95 \times 30 \times 2 \\ &= 4797 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk luas permukaan tarik bagian tengah

$$\begin{aligned} \text{Ant}_2 &= l_c \text{ tengah} \times t_p \times \text{jmlh bidang tarik tengah} \\ &= 116,2 \times 30 \times 1 \\ &= 3486 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, luas permukaan tarik total:

$$\begin{aligned} \text{Ant} &= \text{Ant}_1 + \text{Ant}_2 \\ &= 4797 + 3486 \\ &= 8283 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c. Menghitung luas bruto yang memikul geser (Agv)

Diketahui :

$$\text{Panjang bidang blok geser (l)} = 380 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Agv} &= t_p \cdot l \cdot \text{Jmlh bidang bruto} \\ &= 30 \cdot 380 \cdot 3 \\ &= 34200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

d. Menghitung nilai keruntuhan blok geser

$$U_{bs} = 1 \quad (\text{Karena tegangan tarik yang terjadi seragam})$$

$$R_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times f_y \times A_{gv} +$$

$$U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

$$= \left[\begin{array}{c} 0,6 \times 520 \times 32274 \\ 8283 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 \times 520 \times \\ 34200 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 1 \\ \times 520 \times \\ 8283 \end{array} \right]$$

$$= 14376648 \text{ N} \leq 12822960 \text{ N}$$

Diambil nilai yang terkecil yaitu :

$$R_n = 12822960 \text{ N} = 1282296 \text{ Kg}$$

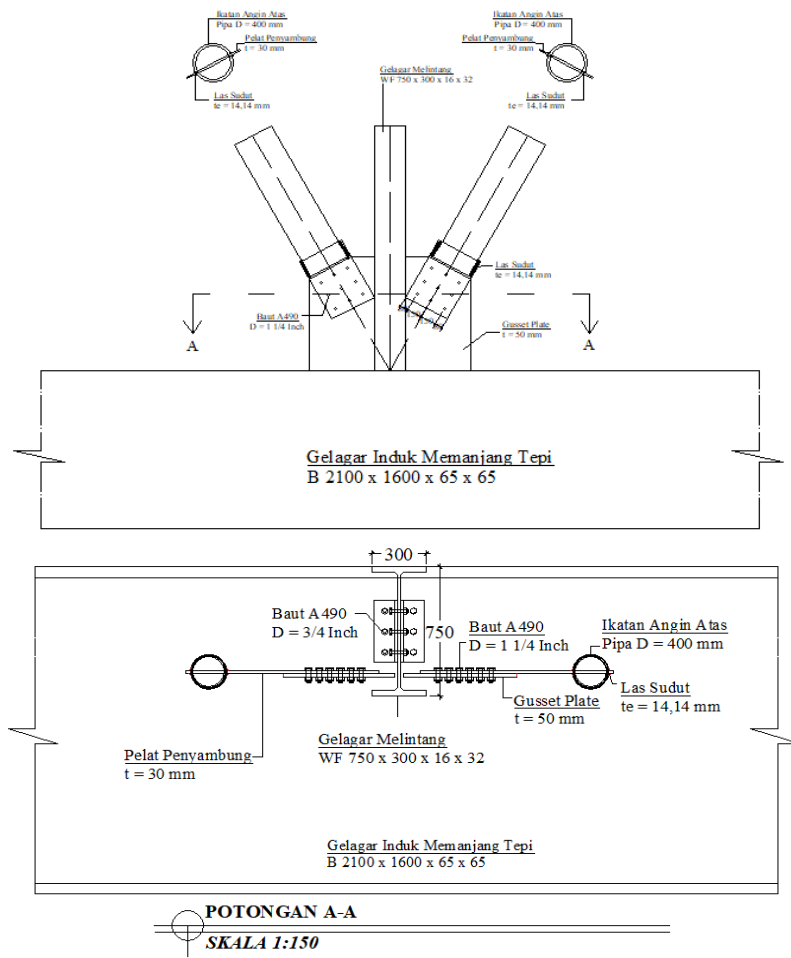
e. Kontrol Geser Blok (Block Shear)

Maka,

$$\phi \sum R_n \geq P_u$$

$$0,75 \times 1282296 \geq 161030,340$$

$$961722 \text{ Kg} \geq 161030,340 \text{ Kg} \quad \text{OKE}$$



Gambar 4.78 Sambungan Gelagar Ikatan Angin Bawah - Gelagar Memanjang Tepi

4.6 Perencanaan Elastomer

Diketahui :

Tipe elastomer	= Bantalan tipe berlapis
Reaksi vertikal (P_u)	= 11626,53 kN = 11626530 N
Perpindahan memanjang jembatan	= 60 mm
Rotasi (θ_s)	= 0,004 rad
Toleransi rotasi	= 0,005 rad
Data fisik elastomer	
Hardness	= 60 Shore A
Modulus geser (G)	= 0,75 MPa (0,7 s.d 0,91 MPa)
Batas tegangan delaminasi (d)	= 7 MPa

Perhitungan:

- Luas area elastomer yang diperlukan

$$A \text{ perlu } > \frac{P_u}{d} = \frac{11626,53}{7} = 1660932,857 \text{ mm}^2$$

- Asumsi dimensi - dimensi dalam perletakan elastomer

luas diatas

Lebar (W)	= 1300 mm
Panjang (L)	= 1300 mm
Tebal	= 350 mm
Tebal lapisan (h_{ri})	= 35 mm
Tebal lapisan penutup (h_{cover})	= 5 mm
Jumlah lapisan (n)	= 10 buah
f_y pelat	= 415 MPa

- Hitung shape faktor / faktor bentuk

$$S = \frac{A}{I_p x h_{ri}} \quad \text{dimana, } I_p = 2(L + W)$$

Keterangan :

S = Faktor bentuk

I_p = Keliling elastomer

$$S = \frac{1300 \times 1300}{2 \times (1300 + 1300) \times 35}$$

$$= 9,3 \text{ mm}$$

Cek terhadap syarat

$$4 < S \leq 12$$

$$4 < 9,3 < 12 \quad \text{OKE}$$

- Cek tegangan izin

$$\sigma_s = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{11626530}{1690000}$$

$$= 6,88 \text{ MPa}$$

Cek terhadap syarat

Bantalan dengan deformasi geser yang tidak dikekang

$$\sigma_s \leq 7 \text{ MPa} \rightarrow 6,88 \text{ MPa} \leq 7 \text{ MPa} \quad \text{Memenuhi}$$

$$\sigma_s \leq 1 \text{ GS} \rightarrow 6,88 \text{ MPa} \leq 6,96 \text{ MPa} \quad \text{Memenuhi}$$

Bantalan dengan deformasi geser yang dikekang

$$\sigma_s \leq 7,7 \text{ MPa} \rightarrow 6,88 \text{ MPa} \leq 7,7 \text{ MPa} \quad \text{Memenuhi}$$

$$\sigma_s \leq 1,1 \text{ GS} \rightarrow 6,88 \text{ MPa} \leq 7,66 \text{ MPa} \quad \text{Memenuhi}$$

5. Cek deformasi geser

$$\text{Total deformasi geser rencana} \quad \Delta_s = 75 \text{ mm} \quad (\text{output SAP200})$$

$$\text{Deformasi ijin} \quad 2\Delta_s = 150 \text{ mm}$$

Ketebalan total ela $h_{rt} = \text{Jlh. Tebal lapisan internal} + \text{jlh. Tebal cover}$

$$h_{rt} = h_{ri} \times n + 2 \times h_{cover}$$

$$= 35 \times 10 + 2 \times 5$$

$$= 360 \text{ mm}$$

Cek terhadap syarat

$$h_{rt} \geq 2\Delta_s \rightarrow 360 \geq 150 \quad \text{Memenuhi}$$

6. Cek rotasi

$$\sigma_s \geq 0,5 \text{ G S} \left(\frac{L}{H_{ri}} \right)^2 \frac{esx}{n}$$

$$6,88 \geq 0,5 \times 0,75 \times 9,3 \times \left(\frac{1300}{35} \right)^2 \times \frac{0,004 + 0,005}{10}$$

$$6,88 \geq 4,45 \text{ MPa} \quad \text{Memenuhi}$$

dan,

$$\sigma_s \geq 0,5 \text{ G S} \left(\frac{W}{H_{ri}} \right)^2 \frac{esx}{n}$$

$$6,88 \geq 0,5 \times 0,75 \times 9,3 \times \left(\frac{1300}{35} \right)^2 \times \frac{0,004 + 0,005}{10}$$

$$6,88 \geq 4,45 \text{ MPa} \quad \text{Memenuhi}$$

7. Menentukan tebal pelat

$$h_s \geq \frac{3 h_{ri} \sigma_s}{f_y}$$

$$\geq \frac{3 \times 35 \times 6,88}{415}$$

$$\geq 1,74 \text{ mm}$$

Maka digunakan tebal pelat (h_{st}) = 3 mm

8. Cek stabilitas

$$H \leq \frac{L}{3} = \frac{1300}{3} \quad H = \text{Tinggi total elastomer}$$

$$= 433 \text{ mm}$$

$$H \leq \frac{W}{3} = \frac{1300}{3}$$

$$= 433 \text{ mm}$$

$$H = h_{rt} + (n + 1) \times h_{st}$$

$$= 360 + (10 + 1) \times 3$$

$$= 393 \text{ mm}$$

Cek :

$$H \leq L/3 \quad 393 < 433 \quad \text{Memenuhi}$$

$$H \leq W/3 \quad 393 < 433 \quad \text{Memenuhi}$$

$$h_{covt} \leq 0,7 \ h_{ri}$$

$$5 \leq 0,7 \times 35$$

$$5 \leq 24,5 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}$$

Rangkuman hasil perhitungan:

Dimensi bantalan L x W x H	=	1300 x 1300 x 393 mm
Tebal cover atas h_{cover}	=	5 mm
Tebal cover bawah h_{cover}	=	5 mm
Tebal lapisan h_{ri}	=	35 mm
Jumlah lapisan n	=	10 buah
Tebal pelat baja h_{st}	=	3 mm
Jumlah lapisan pelat	=	11 buah

9. Perhitungan tebal pelat landasan

Direncanakan dimensi pelat landasan sebagai berikut:

$$N = 1600 \text{ mm} \quad P = 1900 \text{ mm}$$

$$B = 1600 \text{ mm} \quad L = 1900 \text{ mm}$$

a. Luas pelat landasan (A1)

$$A1 = N \times B$$

$$= 1600 \times 1600$$

$$= 2560000 \text{ mm}^2$$

b. Luas pelat beton (A2)

$$A2 = P \times L$$

$$= 1900 \times 1900$$

$$= 3610000 \text{ mm}^2$$

c. Menghitung kuat tumpu nominal (Pp)

Karena $A1 < A2$, maka kuat tumpu nominal (Pp) ditentukan

sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_p &= 0,85 \times f_c \times A_1 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \times f_c \times A_1 \\
 &= 0,85 \times 30 \times 2560000 \times 1,19 \times 2 \times 30 \times 2560000 \\
 &= 77520000 \text{ N} \leq 130560000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan kuat tumpu yang terkecil yaitu,

$$P_p = 77520000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_c P_p &= 0,65 \times 77520000 \\
 &= 50388000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi_c P_p \geq P_u$$

$$50388000 \text{ N} \geq 11626530 \text{ N} \text{ OKE}$$

d. Tebal pelat landasan

Kuat perlu pelat landasan ditentukan sebagai berikut:

$$M_{pl} = \frac{1}{2} \times f_p \times l^2$$

Dengan,

$$\begin{aligned}
 f_p &= \frac{P_u}{B \times N} \\
 &= \frac{11626530}{1600 \times 1600} \\
 &= 4,542 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

l ditentukan berdasarkan nilai terkecil dari m, n, dan $\lambda n'$:

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{N - 0,95 \times d}{2} \\
 &= \frac{1600 - 0,95 \times 1300}{2} \\
 &= 182,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{B - 0,95 \times b}{2} \\
 &= \frac{1600 - 0,95 \times 1300}{2} \\
 &= 182,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X &= \left[\frac{4 \times d \times b}{(d + b)^2} \right] \times \frac{P_u}{\phi_c P_p} \\
 &= \left[\frac{4 \times 1300 \times 1300}{(1300 + 1300)^2} \right] \times \frac{11626530}{50388000} \\
 &= 0,231
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{1 \times \sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}} \\
 &= \frac{1 \times \sqrt{0,231}}{1 + \sqrt{1 - 0,231}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,26 \\
 \lambda_n &= \frac{1}{4} \times \lambda \times \sqrt{d \times b} \\
 &= 0,25 \times 0,26 \times \sqrt{1300 \times 1300} \\
 &= 83,169 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, nilai l yang diambil yang terkecil yaitu, $l = 83,169 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 M_{pl} &= \frac{1}{2} \times 4,542 \times 83,169^2 \\
 &= 15707,490 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga tebal pelat landasan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_p &\geq \sqrt{\frac{4 \times M_{pl}}{\phi \times f_y}} \\
 t_p &\geq \sqrt{\frac{4 \times 15707,490}{0,9 \times 415}} \\
 t_p &\geq 13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tebal pelat landasan yaitu, $t_p = 25 \text{ mm}$

10. Perhitungan baut angkur

Data baut yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Diameter baut (db)} = 2,05 \text{ inch} \quad db = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Luas baut (Ab = } 1/4\pi db^2) \quad Ab = 2122,640 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter lubang baut} \quad dl &= 2 + db \\
 &= 2 + 52 \\
 &= 54,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mutu baut yang digunakan A354 Grade BC

$$\text{Kuat geser nominal baut} \quad F_{nv} = 469 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat tarik nominal baut} \quad F_{nt} = 780 \text{ Mpa}$$

a. Perhitungan kekuatan desain baut

1. Kekuatan geser baut

$$\begin{aligned}
 R_{nt} &= F_{nv} \times Ab \times m \\
 R_{nt} &= 469 \times 2122,6 \times 1 \\
 &= 995518 \text{ N} \\
 \phi R_{nt} &= 0,75 \times 995518 \\
 &= 746639 \text{ N}
 \end{aligned}$$

2. Kekuatan tarik baut

$$\begin{aligned}
 R_{nv} &= F_{nt} \times Ab \\
 R_{nv} &= 780 \times 2122,6 \\
 &= 1655659,2 \text{ N} \\
 \phi R_{nv} &= 0,75 \times 1655659,2 \\
 &= 1241744,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3. Kekuatan tumpu baut

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \times db \times t_p \times f_u \\
 &= 2,4 \times 52 \times 25 \times 520
 \end{aligned}$$

$$= 1622400 \quad \text{N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 1622400$$

$$= 1216800 \quad \text{N}$$

Maka, diambil nilai terkecil yaitu, $\phi R_n = 746639 \quad \text{N}$

b. Perhitungan jumlah baut

$$n = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{11626530}{746639} = 15,57 \approx 20 \quad \text{baut}$$

c. Menentukan jarak antar baut

a. Untuk jarak tepi baut

Jarak baut ke tepi pelat

$$1,5 \text{ db} < S_1 < 12 \quad \text{tp}$$

$$2 \text{ } 52 < S_1 < 12 \quad 25$$

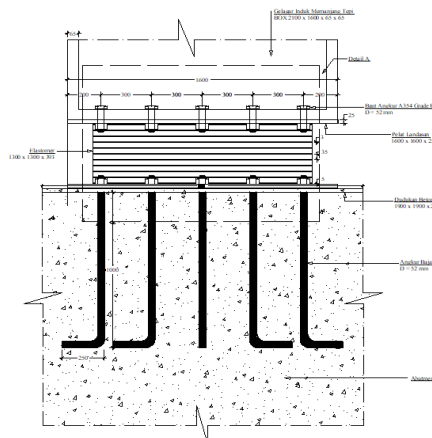
$$78 \text{ mm} < 200 < 300 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}$$

b. Jarak antar baut

$$3 \text{ db} < S_1 < 14 \quad \text{tp}$$

$$3 \text{ } 52 < S_1 < 14 \quad 25$$

$$156 \text{ mm} < 300 < 350 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}$$



Gambar 4.81 Perencanaan Elastomer

d. Kontrol kuat geser angkur

Diketahui:

$$\text{Jumlah baut (n)} = 20 \quad \text{baut}$$

$$\phi R_{nv} = 1241744,4 \quad \text{N}$$

$$P_u = 11626530 \quad \text{N}$$

Gaya geser yang diterima oleh 1 baut:

$$R_{uv} = \frac{P_u}{n}$$

$$= \frac{11626530}{20}$$

$$= 581326,5 \quad \text{N}$$

Kontrol :

$$\phi R_{nv} \geq R_{uv}$$

$$1241744,4 \geq 581326,5 \quad \text{OKE}$$

e. Kontrol tumpu baut angkur

$$\phi R_n = 1216800 \text{ N}$$

$$R_{uv} = 581326,5 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi R_n \geq R_{uv}$$

$$1216800 \geq 581326,50 \quad \text{OKE}$$

f. Kontrol panjang angkur

Diketahui:

$$f_y \text{ baja} = 415 \text{ MPa}$$

$$f_c = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{diameter baut (db)} = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang angkur tertanam (La)} = 17 \text{ d}$$

$$= 17 \times 52$$

$$= 884 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

Panjang angkur minimum yang ditanam (L_{min}) ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L_{min} &= \frac{f_y \times db}{4 \times \sqrt{f_c}} \\ &= \frac{415 \times 52}{4 \times \sqrt{30}} \\ &= 984,988 \end{aligned}$$

Kontrol:

$$La \geq L_{min}$$

$$1000 \geq 984,988 \quad \text{OKE}$$