

BAB II

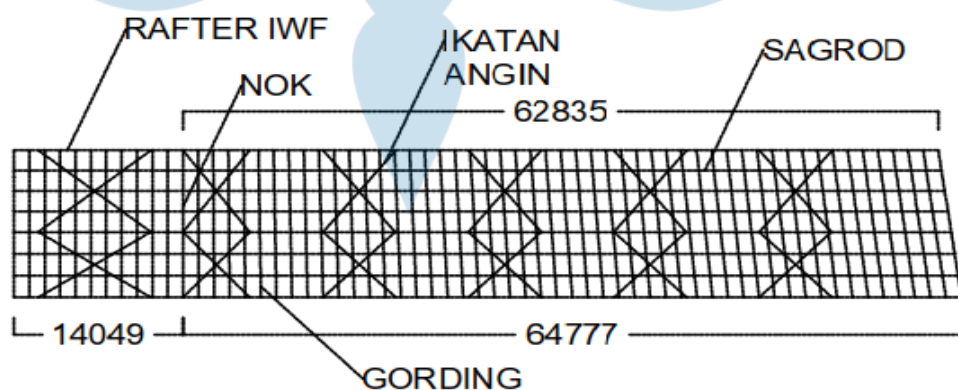
PERENCANAAN STRUKTUR ATAS

Pada bagian bab ini akan dijelaskan mengenai data perencanaan struktur atas, dan hasil perhitungan dari data rencana yang terdiri atas struktur atap, balok, kolom dan struktur tangga. Berikut penjelasan bagian struktur:

2.1 Data Perencanaan Struktur Atap

Dalam perhitungan struktur atap, diperlukan beberapa data pendukung untuk dilakukan analisis. Hasil analisis itu nanti yang akan digunakan untuk menentukan beban serta kekuatan struktur. Berikut data perencanaan struktur atap:

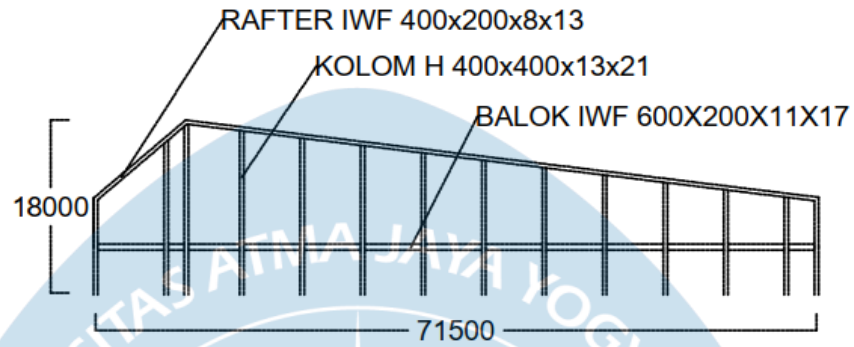
Kemiringan Atap 1 (α)	: 8°
Kemiringan Atap 2 (α)	: 41°
Jarak Antar Kuda – kuda	: 6,5 m
Jarak Antar Gording	: 1,3 m
Jumlah Sagrod	: 7
Penutup Atap	: Galvalum
Mutu Baja Profil	: BJ 37 (f_y – 240 Mpa, f_u - 370 Mpa)
Modulus Elastisitas	: 200000 kN/m
Tipe Profil	: IWF 400x200x8x13
Gording	: C 200 x 75 x 20 x 3,2



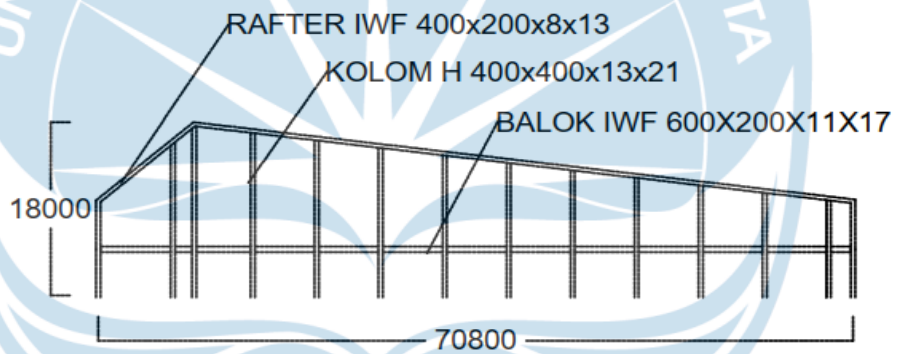
Gambar 2. 1 Denah Rancangan Atap Tampak Atas

Gambar Rencana Atap tampak atas tersebut menampilkan posisi gording, sagrod, nok, serta ikatan angin. Goding digambarkan dengan garis vertikal berjumlah 59 gording, dan sagrod berupa garis panjang horizontal yang tegak lurus dengan gording karena sagrod atau tresktang sendiri bertujuan untuk mengikat antar gording. Nok sendiri berada

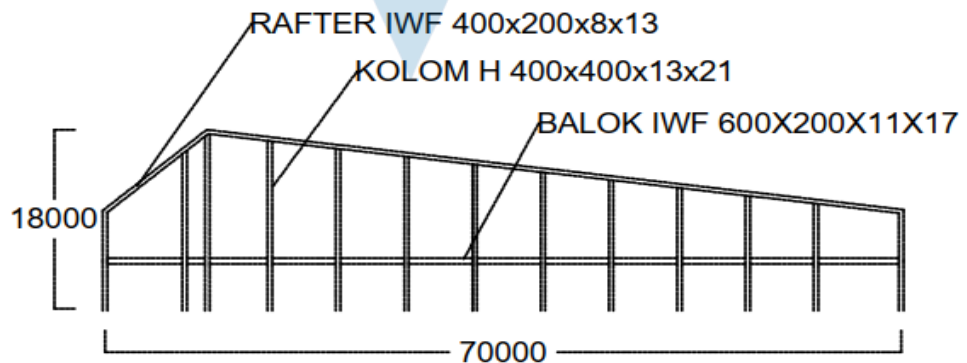
di puncak rafter. Dalam bangunan pasar ini, terdapat 3 jenis ukuran kuda-kuda, karena bentuk bangunan ini sendiri berbentuk trapesium. Berikut gambar detail ketiga kuda-kuda tersebut:



Gambar 2. 2 Kuda-kuda Tipe 1



Gambar 2. 3 Kuda-kuda Tipe 2



Gambar 2. 4 Kuda-kuda Tipe 3

Perencanaan Gording

Rencana gording bertujuan untuk menghitung beban gording dengan memperhitungkan berat sendiri, berat atap serta berat plafon. Pada kasus bangunan ini, ada 2 tipe yaitu dengan kemiringan 8° dan 41° . Berikut perhitungannya :

1. Perhitungan Pembebanan Gording

A. Beban Gording 1 dengan kemiringan 8°

a. Berat Sendiri = diperkirakan = $0,0927 \text{ kN/m}'$

b. Berat Atap = $\frac{a}{\cos \alpha} \times \text{berat atap} = \frac{1,3}{\cos 8^\circ} \times 0,6 = 0,787666 \text{ kN/m}'$

c. Berat Plafon = $a \times \text{berat plafon} = 1,3 \times 0,2 = 0,26 \text{ kN/m}'$

Dead Load (DL) rencana gording $q = 1,140366 \text{ kN/m}'$

Beban pekerja P diambil sebesar 1 kN sebagai beban Live (L)

B. Beban Gording 2 dengan kemiringan 41°

a. Berat Sendiri = diperkirakan = $0,0927 \text{ kN/m}'$

b. Berat Atap = $\frac{a}{\cos \alpha} \times \text{berat atap} = \frac{1,3}{\cos 41^\circ} \times 0,6 = 1,03351 \text{ kN/m}'$

c. Berat Plafon = $a \times \text{berat plafon} = 1,3 \times 0,2 = 0,26 \text{ kN/m}'$

Dead Load (DL) rencana gording $q = 1,38621 \text{ kN/m}'$

Beban pekerja P diambil sebesar 1 kN sebagai beban Live (L)

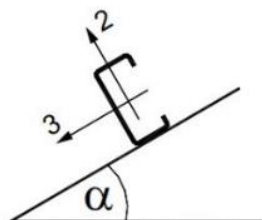
Keterangan:

a = jarak antar gording

q = berat sendiri + berat atap + berat plafon

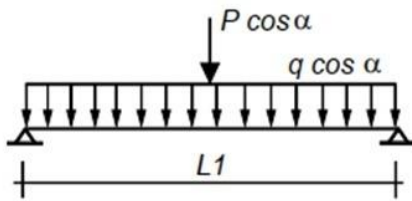
Berat sendiri diperoleh dari tabel *Garuda Steel Specifications*, setelah ditentukan dimensi gording.

Berat atap dan berat plafon diasumsikan sebesar $0,6 \text{ kn}$ dan $0,2 \text{ Kn}$.

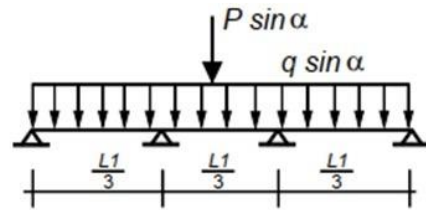


2. Rencana momen gording

Arah Sumbu 2



Arah sumbu 3



Gambar 2. 5 Beban Gording

Untuk menghitung momen gording, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$M_{3,D} = \frac{1}{8} q \cos \alpha L^2$$

$$M_{3,L} = \frac{1}{4} P \cos \alpha L$$

$$M_{2,D} = \frac{1}{8} q \sin \alpha \left(\frac{L}{3}\right)^2$$

$$M_{2,L} = \frac{1}{4} P \sin \alpha \frac{L}{3}$$

$$M_{3,U} = 1,4 M_{3,D}$$

$$M_{3,U} = 1,2 M_{3,D} + 1,6 M_{3,L}$$

$$M_{2,U} = 1,4 M_{2,D}$$

$$M_{2,U} = 1,2 M_{2,D} + 1,6 M_{2,L}$$

Keterangan :

M = momen

q = dead load

L = jarak antar kuda-kuda

α = sudut kemiringan kuda-kuda

P = live load

Berikut penulis tampilkan tabel 2.1 yang berisi hasil perhitungan momen gording yang terjadi sesuai rumus diatas.

Tabel 2. 1 Hasil Perhitungan Rencana Momen Gording

Rencana Momen Gording		
	6,5	
	8°	41°
M3,D	5,963944	5,52517
M3,L	1,609186	1,226403
M2,D	0,093131	0,533662
M2,L	0,075385	0,355365
M3,U	8,349522	7,735238
M3,U	9,73143	8,592449
M2,U	0,130383	0,747127
M2,U	0,232374	1,208979

Dari hasil perhitungan pada tabel diatas nilai M3,U dan M2,U yang digunakan adalah nilai terbesar, dimana M3,U = 9,73143 dan M2,U = 1,208979.

3. Cek Tegangan Pada Profil C

$$f_b = \frac{M_{3,U}}{\phi W_3} + \frac{M_{2,U}}{\phi W_w} \leq F_y, \text{ jika tidak dipenuhi maka pilih profil yang lain dengan nilai } \phi = 0,9 \text{ untuk lentur dan geser.}$$

Dipilih profil C 200 x 75 x 20 x 3,2, dilakukan perhitungan tegangan yang terjadi pada profil dengan:

$$I_3 = 71.600.000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = 840.000 \text{ mm}^4$$

$$W_3 = 31.600 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = 715.800 \text{ mm}^3$$

Nilai I3, I2, W3, dan W2 didapatkan dari tabel *Garuda Steel Specifications*

$$f_b = \frac{9,73143}{0,9 \times 71.600} + \frac{1,208979}{0,9 \times 15.800} = 236,035 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$$

Karena 236,035 MPa < 240 MPa maka tegangan profil C aman.

4. Cek Defleksi Gording

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha L^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{1,140366 \times \cos 8 \times 6,5^4}{200.000 \times 7.160.000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \cos 8 \times 6,5^3}{200.000 \times 7.160.000} \\ &= 18,333263 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_3 &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha}{EI} \times \left(\frac{L}{3}\right)^3 \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{1,140366 \sin 8}{200.000 \times 840.000} \times \left(\frac{6,5}{3}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1 \sin 8}{200.000 \times 840.000} \times \left(\frac{6,5}{3}\right)^3 \\ &= 0,2712554 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} \leq \frac{1}{240} L, \text{ sesuai batas lendutan maksimum.} \\ &= \sqrt{18,333263^2 + 0,2712554^2} \\ &= 18,33527 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena defleksi gording **18,33527 mm < 27,083 mm**, maka defleksi gording **aman**.

Dimana angka 27,083 mm didapat dari nilai $\frac{1}{240}$ jarak antar kuda-kuda. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gording profil C 200 x 75 x 20 x 3,2 aman digunakan.

5. Perhitungan Sagrod

Sagrod atau trekstang biasa disebut dengan jarum gording karena sagrod berguna untuk mengikat gording satu dengan yang lainnya, dimana posisinya tegak lurus dengan gording. Dalam menentukan dimensi sagrod yang akan digunakan, maka diperlukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}T_D &= q \text{ (Dead Load)} \times \sin \Theta \times L \text{ (Jarak antar kuda-kuda)} \\ &= 116,25 \text{ kg/m} \times 0,6560 \times 6,5 \text{ m} \\ &= 495,7346 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_L &= P \text{ (Live Load)} \times \sin \Theta \\ &= 100 \text{ kg} \times 0,6560 \\ &= 65,6 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_u &= 1,2 T_D + 1,6 T_L \\ &= 1,2 (495,7346) + 1,6 (65,6) \\ &= 720,8335 \text{ kg} = 7208,335 \text{ N}\end{aligned}$$

Luas batang sagrod yang diperlukan:

$$\begin{aligned}A_b &= \frac{T_u}{0,75 \times (0,75 \times F_u)} \\ &= \frac{7208,335}{0,75 \times (0,75 \times 370)} \\ &= 34,6346 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Diameter sagrod yang digunakan:

$$d = \sqrt{\frac{Ab}{\frac{1}{4}x\pi}} = \sqrt{\frac{34,6346}{\frac{1}{4}x3,14}} = 6,6423 \text{ mm}$$

dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan diameter sagrod yaitu **6,6423 mm** sehingga digunakan sagrod berdiameter **10 mm**.

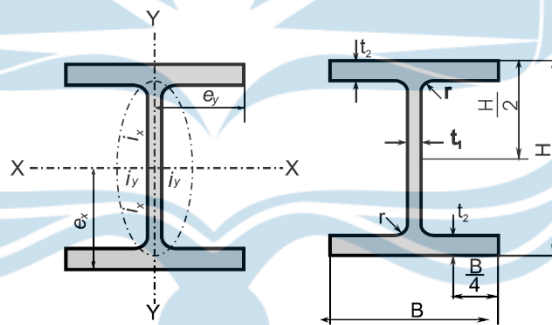
2.2 Rencana Elemen Kuda-kuda

Pada perencanaan ini, kuda-kuda dirancang menggunakan baja profil IWF, dengan memperhatikan kapasitas momen, kapasitas geser, dan stabilitas profil sebagai berikut:

Data profil IWF 400 × 200 × 8 × 13:

B	= 200 mm	A	= 84,1 cm ²
h	= 400 mm	I_x	= 23700 cm ⁴
tf	= 13 mm	I_y	= 1740 cm ⁴
tw	= 8 mm	Z_x	= 1190 cm ³
r	= 16 mm	Z_y	= 174 cm ³

Keterangan :



Gambar 2. 6 Desain Profil Rafter

B	= lebar profil	A	= <i>section area</i>
h	= tinggi profil	I_x	= <i>geometrical moment of inertia X</i>
tf	= tebal sayap	I_y	= <i>geometrical moment of inertia Y</i>
tw	= tebal badan	Z_x	= <i>modulus of section X</i>
r	= lengkung profil	Z_y	= <i>modulus of section Y</i>

Nilai di atas didapatkan dari tabel *Garuda Steel Specifications*.

2.2.1 Stabilitas terhadap tekuk lokal

Batas kelangsingan pelat sayap dan badan:

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

Kelangsingan profil IWF $400 \times 200 \times 8 \times 13$

$$\lambda_f = \frac{b}{t_f} = \frac{200}{2.13} = 7,69 < \lambda_{pf} \text{ (penampang kompak)}$$

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_w} = \frac{(400 - 2.13)}{8} = 46,75 < \lambda_{pw} \text{ (penampang kompak)}$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa $\lambda_f < \lambda_{pf}$ dan $\lambda_w < \lambda_{pw}$ sehingga merupakan penampang kompak yang berarti penampang melintang dapat mengembangkan kekuatan lentur plastis penampang tanpa terjadi leku.

2.2.2 Stabilitas terhadap tekuk lateral

Stabilitas terhadap tekuk lateral tergantung pada panjang bentang, tekuk lateral dapat diatasi dengan memberi pengekang lateral dengan jarak tertentu.

Batas bentang yang diizinkan dalam stabilitas terhadap tekuk lateral:

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \sqrt{\frac{E \times I_y}{f_y \times A}} = 1,76 \sqrt{\frac{200.000 \times 1.740 \times 10.000}{240 \times 84.1100}}$$

$$= 2.310,99 \text{ mm}$$

Jarak pengekang lateral (jarak gording) = 1.100 mm < L_p

Jarak pengekang lateral cukup dalam menopang stabilitas balok terhadap tekuk lateral.

2.2.3 Kapasitas momen nominal

Dalam desain plastis, kapasitas momen dihitung dengan kapasitas momen plastis.

Nilai modulus plastis diperoleh dari tabel profil baja yang dipakai.

Momen ultimate = $MU_x = -$; $MU_y = 103,44$ kNm (diambil dari hasil perhitungan SAP2000)

Gaya geser maksimum = 45,501 kN (diambil dari hasil perhitungan SAP2000)

1. Kontrol kapasitas momen nominal penampang arah sumbu x :

$$MU_x \leq \phi M_n x$$

$$0 \leq \phi M_p$$

$$0 \leq 0,9 \cdot F_y \cdot Z_x$$

$$0 \leq 0,9 \cdot 240 \cdot 1190 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$0 \leq 257,04 \text{ kNm (OK)}$$

Penampang balok mampu menahan momen ultimate.

2. Kontrol kapasitas momen nominal penampang arah sumbu y :

$$MU_y \leq \phi M_{ny}$$

$$103,44 \text{ kNm} \leq \phi \cdot M_p$$

$$103,44 \text{ kNm} \leq 0,9 \cdot F_y \cdot Z_y$$

$$103,44 \text{ kNm} \leq 0,9 \cdot 240 \cdot 174 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$103,44 \text{ kNm} \leq 37,58 \text{ kNm (OK)}$$

Penampang balok mampu menahan momen ultimate.

2.2.4 Kapasitas geser nominal

Kekuatan geser penampang V_n didasarkan pada lelehan geser pelat badan.

Rasio kerampingan terhadap tekuk pada badan akibat geser

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{kn \cdot E}{fy}} = \frac{400}{8} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5,7488 \times 200.000}{240}} = 50 \leq 76,136$$

Keterangan :

h = tinggi profil

tw = tebal profil

$$kn = 5 + 5/(a/h^2)$$

E = modulus elastisitas

fy = mutu baja

Karena memenuhi syarat, maka $V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w$

Keterangan :

V_n = gaya geser nominal plat

A_w = tebal profil x tinggi profil

Kapasitas geser penampang

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot 240 \cdot (8 \cdot 400) \\ &= 460800 \text{ N} = 460,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol kapasitas geser penampang

$$V_u < \phi \cdot V_n$$

Keterangan :

V_u = gaya geser yang diperlukan

Φ = faktor nominal, 0,75

$$\begin{aligned} V_u &< \phi \cdot V_n \\ 45,501 \text{ kN} &< 0,75 \cdot 460,8 \text{ kN} \\ 45,501 \text{ kN} &< 345,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat $45,501 \text{ kN} < 345,6 \text{ kN}$ ($V_u < \phi \cdot V_n$) sehingga dapat dikatakan memenuhi syarat ketentuan.

2.3 Analisa Sambungan Kolom Dengan Rafter Baja

Analisa sambungan kolom dengan rafter ini bertujuan untuk menentukan dimensi baut. Diketahui data baut sebagai berikut :

$$\text{Tegangan ijin baja} = 1.600 \text{ kg/cm}^2$$

$$P \text{ (Beban kolom dan rafter)} = 7.782,77 \text{ kg}$$

$$\text{Plat penyambung} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Ukuran baut} = 14 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A \text{ baut (Luas Baut)} &= \left(\frac{\text{ukuran baut}}{10} \right)^2 \pi \frac{1}{4} \\ &= \left(\frac{14}{10} \right)^2 \pi \frac{1}{4} \\ &= 1,54 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

2.3.1 Cek jumlah dan kekuatan baut yang digunakan

Dari data yang sudah ditentukan, maka langkah selanjutnya yaitu mengecek kekuatan baut yang akan digunakan serta menentukan jumlah baut yang dibutuhkan. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan menghitung tegangan izin terlebih dahulu dengan rumus :

$$\begin{aligned} T_{\text{ijin}} &= 0,58 \times \sigma_{\text{ijin baja}} \\ &= 0,54 \times 1.600 \\ &= 928 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tegangan izin didapatkan hasil sebesar 928 kg/cm^2 .

Setelah menghitung tegangan izin, maka dilakukan perhitungan jumlah baut dengan rumus :

$$\begin{aligned} N &= \frac{P}{A \text{ baut} \times T_{\text{ijin}}} \\ &= \frac{7.782,77}{1,54 \times 928} \\ &= 5,45 \sim 6 \text{ set} = \text{JA} \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, sambungan setiap kolom dengan baja dibutuhkan 6 buah baut.

Dalam sambungan ini digunakan data profil kolom dan profil rafter sebagai berikut:

$$\text{Profil kolom} = \text{WF } 400 \times 400 \times 14 \times 21$$

Dengan dimensi:

$$B = 400 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm}$$

$$H = 400 \text{ mm} \quad t_w = 14 \text{ mm}$$

Profil rafter = WF 400 x 200 x 8 x 13

Dengan dimensi:

B = 200 mm tf = 13 mm

H = 400 mm tw = 8 mm

Penentuan jarak antar baut :

Jarak A, merupakan jarak dari as kolom ke tepi kolom. Jarak ini dapat dihitung dengan

$$\begin{aligned} \text{rumus} &= \frac{B(\text{rafter})}{4} \\ &= \frac{200}{4} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak C (jarak kolom) = 400 mm

Jarak D (jarak rafter) = 400 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak B (jarak antar baut)} &= \frac{(\text{Jarak D} + \text{Jarak e})}{JA} \\ &= \frac{(400 + 400)}{6} \\ &= 133,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{P}{A \text{ baut} \times N} \\ &= \frac{7.782,77}{1,54 \times 6} \\ &= \mathbf{843,06 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{928 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan baut **aman** karena tegangan yang terjadi dalam baut lebih kecil dibandingkan dengan tegangan izin.

Momen:

$$\begin{aligned} M \text{ (momen)} &= P \times \text{Jarak A} \\ &= 7.782,77 \times \frac{50}{10} \\ &= 38.913,85 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{M \times B}{JA \times B^2} \\ &= \frac{38.913,85 \times \frac{133,33}{10}}{6 \times \left(\frac{133,33}{10}\right)^2} \\ &= 486,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{T}{JA \times A \text{ baut}} \\ &= \frac{486,42}{\frac{6}{2} \times 1,54} \\ &= \mathbf{105,38 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas kekuatan baut termasuk **aman** karena tegangan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tegangan ijin baja.

2.3.2 Kontrol plat penyambung

Kontrol plat penyambung perlu dilakukan untuk mengetahui apakah profil yang digunakan sudah sesuai atau belum. Jika tidak sesuai maka profil perlu diganti. Untuk melakukan pengecekan tersebut dapat dilakukan perhitungan tegangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{s ijin yang terjadi} &= \frac{P}{TB \times DA \times JA} \\
 &= \frac{7.782,77}{\frac{12}{10} \times \frac{14}{10} \times 6} \\
 &= \frac{7.782,77}{10,08} \\
 &= \mathbf{772,1 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}}
 \end{aligned}$$

Dikatakan **aman** karena tegangan pada plat yang terjadi lebih kecil dibandigan tegangan ijin baja yang digunakan.

Setelah menghitung tegangan dan melakukan cek keamanan tegangan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan lebar profil yang nantinya akan digunakan, dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar profil yang di gunakan} &= ((JA - 1) \times \text{Jarak B}) + (DA \times 2) \\
 &= ((6 - 1) \times 133,33) + (14 \times 2) \\
 &= \mathbf{694,67 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

Lebar profil yang diperlukan yaitu **694,67 mm**.

2.3.3 Cek sambungan las

Pengecekan ini dilakukan untuk mengetahui apakah sambungan yang digunakan aman atau tidak. Dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 A_{\text{las}} &= h \text{ profil rafter} \times 4 \\
 &= 400 \times 4 \\
 &= \mathbf{1.600 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan luas daerah sambungan las, maka dilakukan analisis tegangan yang terjadi pada sambungan las. Dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{p}{A_{\text{las}}} \\
 &= \frac{7.782,77}{\frac{1.600}{10} \times 0,707 \times 1 \times 0,5} \\
 &= \frac{7.782,77}{56,56} \\
 &= \mathbf{137,6 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (AMAN)}}
 \end{aligned}$$

Hasil yang diperoleh termasuk **aman** karena tegangan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tegangan ijin baja yang digunakan.

2.4 Perencanaan Pelat Lantai dengan Sistem Bondek

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil analisis plat lantai dengan sistem *steeldeck*. Pada pekerjaan plat lantai, proyek bangunan pasar ini menggunakan *steeldeck*. Pelat *steeldeck* merupakan pelat kombinasi dengan *steeldeck* sebagai pengganti tulangan momen positif atau tulangan bawah. Dalam hal ini *steeldeck* juga berfungsi sebagai bekisting pelat serta lantai kerja. Untuk tulangan negatifnya digunakan tulangan baja atau yang biasa disebut *wiremesh*. Sistem tersebut biasa dikenal dengan pelat lantai baja komposit yang menggabungkan antara dua atau lebih material menjadi satu. Pelat lantai dengan sistem *steeldeck* juga dapat mempersingkat waktu pengerjaan karena tergolong simpel. Pelat *steeldeck* biasanya memiliki ketebalan 0,75 mm hingga 12 mm yang terbuat dari baja *high tensile* G550.

Permukaan profil *steeldeck* berbentuk gelombang menyerupai huruf W yang memiliki fungsi untuk memperkuat daya lekat beton dengan pelat terhadap gaya geser, dan memperkecil kemungkinan terjadinya retak terhadap hasil cor serta menghemat volume cor. Berikut analisis pelat lantai dengan sistem bondek:

2.4.1 Data perencanaan pelat bondek

Dalam bagian ini akan dijabarkan mengenai data yang diperlukan dalam perencanaan pelat lantai dua dengan sistem bondek. Data tersebut akan berisi mengenai spesifikasi material yang akan digunakan pada pekerjaan pelat lantai dua gedung Pasar Godean. Data-data tersebut terdiri atas:

1. Spesifikasi bondek

Spesifikasi bondek yang digunakan pada proyek ini adalah *Smartdeck Lysaght* dari PT Cahaya Bangun Perkasa dengan spesifikasi seperti berikut :

- | | |
|---------------------------|--|
| A. Bahan dasar | : Baja <i>High Tensile</i> |
| B. Lapis lindung | : <i>Hot Dip Galvanized</i> |
| C. Tegangan leleh minimum | : 550 MPa |
| D. Tebal Standar | : 0,75 mm – 1,2 mm |
| E. Berat bahan | : 7 Kg/m ² untuk ketebalan 0,75 |

- F. Tinggi gelombang : 50 mm
- G. Lebar efektif : 960 mm
- H. Panjang : Maksimum 12 m
- I. Harga : Rp. 112.000/panjang 1 m dengan lebar 96 cm

2. Spesifikasi *wiremesh*

Wiremesh yang digunakan dalam proyek ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- A. Tipe *wiremesh* : *Union wiremesh* M8
- B. Diameter tulangan : 8 mm
- C. Tegangan leleh : 5.000 kg/cm²
- D. Jarak (Spasi) : 50 mm
- E. Harga per lembar : Rp. 859.000/lembar

2.4.2 Perhitungan kekuatan

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai perhitungan kekuatan dari pelat lantai dengan sistem bondek dan *wiremesh*.

1. Pembebanan pelat lantai

Dalam perhitungan kekuatan, langkah pertama yang penting dilakukan yaitu menghitung pembebanan. Beban yang dihitung terdiri dari beban hidup dan beban mati. Berikut perhitungan beban pelat lantai:

A. Beban mati

Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari :

$$\text{Pelat beton} = 228 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Finishing} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon dan ME} = 20 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Total beban mati} = 348 \text{ kg/m}^2$$

B. Beban hidup

$$\text{Beban hidup bangunan pasar} = 250 \text{ kg/m}^2$$

C. Perhitungan beban kombinasi

Setelah menghitung beban hidup dan mati, maka Langkah selanjutnya yaitu menghitung beban kombinasi. Dalam proyek ini digunakan beban kombinasi seperti berikut:

$$\begin{aligned} Q_u \text{ (Beban kombinasi)} &= 1,2 \text{ Dead Load} + 1,6 \text{ Live Load} \\ &= (1,2 \times 348) + (1,6 \times 250) \\ &= 417,6 + 400 \\ &= 817,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Perhitungan momen *ultimate* (M_u) dan geser *ultimate* (V_u)

Perhitungan momen *ultimate* dan geser *ultimate* ini mengacu pada SNI 2013 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung Pasal 8.3.3. Dengan persamaan seperti pada tabel berikut berikut:

A. Momen *ultimate* (M_u)

Tabel 2. 2 Momen *Ultimate*

Momen	Persamaan	Perhitungan	Hasil
M_{lx}	Koefisien x $Q_u \times L_x^2 \times X$	$0,001 \times 817,6 \times 5,52 \times 63$	284,457 kNm/m
M_{ly}	Koefisien x $Q_u \times L_x^2 \times X$	$0,001 \times 817,6 \times 5,52 \times 13$	58,6975 kNm/m
M_{tx}	Koefisien x $Q_u \times L_x^2 \times X$	$0,001 \times 817,6 \times 5,52 \times 63$	284,457 kNm/m
M_{ty}	Koefisien x $Q_u \times L_x^2 \times X$	$0,001 \times 817,6 \times 5,52 \times 38$	171,58 kNm/m

Dari hasil tabel perhitungan di atas, didapatkan momen rencana maksimum sebesar 284,457 kNm/m.

Dimana:

M_u = Momen *ultimate*

L_x = Panjang bentang x

Q_u = Beban kombinasi

B. Geser *ultimate* (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= 1,15 \times \frac{1}{2} \times Q_u \times L_n \\ &= 1,15 \times \frac{1}{2} \times 817,6 \times 2,35 \\ &= 1104,782 \end{aligned}$$

Dimana:

V_u = Geser *ultimate*

L_n = Panjang bentang bersih

Q_u = Beban kombinasi

Dari perhitungan di atas, didapatkan geser *ultimate* sebesar **1104,782 kN**.

3. Tulangan Positif

Tulangan positif dalam pekerjaan plat lantai ini digantikan dengan bondek, dengan spesifikasi tertentu yang sudah dijabarkan pada data *steeldeck* diatas. Dalam menghitung kekuatan bondek digunakan pedoman berupa SDI 2011 untuk *Composite Steel Floor Deck – Slabs* dikarenakan bentuk dari penampang bondek yang berbeda. Pada proyek ini, bondek yang digunakan adalah *smartdeck* dengan ketebalan 0,75 mm.

Langkah – langkah menghitung nilai M_{ru} yaitu:

$$d = h - \frac{1}{2} \times \text{tinggi gelombang}$$

$$= 120 - \frac{1}{2} \times 51$$

$$= 94,5 \text{ mm}$$

$$h_c = h - \text{tinggi gelombang}$$

$$= 120 - 51$$

$$= 69 \text{ mm}$$

$$Y_{cc} = d \{ \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n \} < h_c$$

Dimana:

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

$$n = \frac{e_s}{0,043 \times (W_c)^{1,5} \times \sqrt{f_c}}$$

$$n = \frac{203.000}{0,043 \times (2.400)^{1,5} \times \sqrt{30}}$$

$$n = \frac{203.000}{27691,4658}$$

$$= 7,3308$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$= \frac{945}{90.720}$$

$$= 0,01042$$

Sehingga didapatkan nilai Y_{cc} yaitu:

$$Y_{cc} = d \{ \sqrt{2\rho n + (\rho n)^2} - \rho n \} < h_c$$

$$= 94,5 \{ \sqrt{2(0,0098)(7,3308) + (0,0098 \times 7,3308)^2} - (0,0098 \times 7,3308) \}$$

$$= 36,4 \text{ mm} < 69 \text{ mm}$$

Karena Y_{cc} lebih kecil dibandingkan h_c maka memenuhi syarat dan dapat dikatakan aman.

$$\begin{aligned}
 Y_{cs} &= d - Y_{cc} \\
 &= 94,5 - 36,4 \\
 &= 58,0999 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{b}{3 \times n} \times Y_{cc}^3 + A_s \times Y_{cs}^2 + I_{sf} \\
 &= \frac{960}{3 \times 7,3308} \times 36,4^3 + 945 \times 58,0999^2 + 409.687,5 \\
 &= 43,651 \times 48.228,54 + 945 \times 3.375,6 + 409.687,5 \\
 &= 5.704.853,5 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{F_y \times I_c}{h - Y_{cc}} \\
 &= \frac{550 \times 5704853,5}{120 - 36,4} \\
 &= 37.531.930,9 \text{ Nmm} = 37,5319 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = 5,0478$$

$$\begin{aligned}
 M_{ru} &= \emptyset \times M_y \\
 &= 0,85 \times 37,5319 \\
 &= 31,9021 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4. Tulangan negatif

Tulangan negatif yang digunakan untuk plat lantai pada proyek ini adalah *wiremesh*. Dengan spesifikasi yang telah dijabarkan pada sub bab 2.5.1 nomor 2. Perhitungan *wiremesh* dilakukan dengan mencari kekuatan tulangan negatif menggunakan tukang biasa terlebih dahulu yang kemudian ditentukan *wiremesh* yang akan digunakan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan acuan perhitungan pelat 1 arah pada umumnya. Berikut perhitungan *wiremesh*:

Data umum:

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

$$F_u = 490 \text{ MPa}$$

$$F_c = 30 \text{ MPa}$$

$$b = 0,75$$

tebal plat (h) = 94,5 mm karena bentuk penampang bondek bergelombang.

Selimut beton = 20 mm

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - P_b - \left(\frac{1}{2} \times \emptyset p\right) \\
 &= 94,5 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 8\right) \\
 &= 64,5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu}{0,8} \\
 &= \frac{1,5 \times 58,7 \times 10000}{0,8} \\
 &= 1,1006 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{1,1006}{1000 \times 64,5^2} \\
 &= 0,000000264 = 2,64 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{F_y}{0,85 \times F_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,686
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{15,686} \left[\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 0,000000264}{400}} \right) \right] \\
 &= 0,0469
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{F_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} = 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times F_c}{F_y} \times \beta \times \left[\frac{600}{600 + F_y} \right] \\
 &= \frac{0,85 \times 22,05}{400} \times 0,75 \times \left[\frac{600}{600 + 400} \right] \\
 &= 0,02869
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{maks}} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,02869 \\
 &= 0,02152
 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\text{maks}}$ maka digunakan ρ_{\min} sebesar 0,0035

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 1000 \times 64,6 \\
 &= 225,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan:

$$\emptyset \text{ tul} = 8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_{lp} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\
 &= 50,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak (s)} &= \frac{Alp \times b}{As \text{ perlu}} \\ &= \frac{50,24 \times 1000}{225,75} = 222,55 \\ \text{Ast} &= \frac{50,24 \times 1000}{222,55} \\ &= 225,7502 \text{ mm}^2 > 225,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan **D8-50**, dikonversi menjadi *wiremesh* yang digunakan adalah *wiremesh* ukuran **diameter 8 mm** dengan spasi **50 mm**.

2.5 Perencanaan Balok dan Kolom

Dalam perancangan struktur, rencana balok dan kolom menjadi bagian yang sangat penting. Balok dan kolom merupakan struktur penting dalam suatu bangunan karena memiliki fungsi sebagai penopang seluruh beban struktur bangunan tersebut. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang sesuai agar dapat disesuaikan dengan beban yang direncanakan.

2.5.1 Perhitungan balok

Balok merupakan komponen penting dalam struktur yang memiliki fungsi sebagai rangka penguat horizontal. Sesuai fungsi balok tersebut, maka balok yang digunakan harus dipastikan dapat menahan beban, maka dilakukan perhitungan.

1. Data Balok

Proyek bangunan pasar ini menggunakan balok baja dengan spesifikasi sebagai berikut:

- | | |
|----------------------------------|--------------|
| A. Tegangan Leleh Baja (F_y) | = 240 MPa |
| B. Tegangan sisa (F_r) | = 70 MPa |
| C. Modulus elastis baja (E) | = 200000 MPa |
| D. Angka Poison (ν) | = 0,3 |

2. Data Profil Baja

Profil baja yang digunakan dalam proyek ini menggunakan profil baja IWF 600 x 200 x 17 x 11. Dengan spesifikasi lengkap sesuai dengan produk Gunung Garuda *Steel* sebagai berikut:

- | | | |
|----------------|-------|----|
| A. Profil Baja | = 600 | mm |
| B. ht | = 200 | mm |

C. bf	= 11	mm
D. tw	= 17	mm
E. r	= 17	mm
F. Luas Penampang (A)	= 13.026	mm ²
G. Momen Inersia thd. Sb. X (Ix)	= 744.186.438	mm ⁴
H. Momen Inersia thd. Sb. Y (Iy)	= 22.729.446	mm ⁴
I. Jari-jari rotasi sb. X (rx)	= 239,0206	mm
J. Jari-jari rotasi sb. Y (ry)	= 41,772348	mm
K. Modulus Ketahanan (Sx)	= 2.480.621	mm ³
L. Modulus Ketahanan (Sy)	= 227.294	mm ³
M. Berat per meter (W)	= 1.002,7702	N/m

Tabel 2. 3 Tabel Profil Baja tiap Balok

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Ht	400 mm	600 mm	450 mm
Bf	200 mm	200 mm	200 mm
Tw	8 mm	11 mm	9 mm
Tf	13 mm	17 mm	14 mm
R	16 mm	22 mm	18 mm
A	8.192 mm ²	13.026 mm ²	9.398 mm ²
Ix	229.648.683 mm ⁴	744.186.438 mm ⁴	322.589.453 mm ⁴
Iy	17.349.291 mm ⁴	22.729.446 mm ⁴	18.692.303 mm ⁴
Rx	167,43144 mm	239,0206 mm	185,27096 mm
Ry	46,019923 mm	41,772348 mm	44,597826 mm
Sx	1.148.243 mm ³	2.480.621 mm ³	1.433.731 mm ³
Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 500 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Sy	173493 mm ³	227294 mm ³	186923 mm ³
W	630,6382 N/m	1002,7702 N.m	723,4787 N/m

3. Data balok gedung Pasar Godean

Setelah dilakukan perencanaan profil balok yang akan digunakan, tahap selanjutnya yaitu dilakukan analisis dengan SAP 2000, untuk mengetahui besar momen-

momen yang bekerja pada balok tersebut. Adapun hasil analisis dengan SAP 2000 didapatkan data sebagai berikut:

- A. Panjang elemen thd. Sb. x (Lx) = 6.000 mm
- B. Panjang elemen thd. Sb. y (Ly) = 2.000 mm
- C. Jarak antara pengaku vertikal pada badan (a) = 1.500 mm
- D. Tebal plat pengaku vertikal pada badan (ts) = 8 mm
- E. Momen maksimum akibat beban terfaktor (Mu) = 211.121.800 Nmm
- F. Momen pada ¼ bentang, (Ma) = 3.220.200 Nmm
- G. Momen di tengah bentang (Mb) = 211.121.800 Nmm
- H. Momen pada ¾ bentang (Mc) = 60.587.100 Nmm
- I. Gaya geser akibat beban terfaktor (Vu) = 193.544 N
- J. Faktor reduksi kekuatan untuk lentur, (φb) = 0,90
- K. Faktor reduksi kekuatan untuk geser, (φf) = 0,75

Tabel 2. 4 Data Balok

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Induk)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Lx	9,8258 mm	6.500 mm	6.500 mm
Ly	2.000 mm	2.000 mm	2.000 mm
a	1.000 mm	1.500 mm	1.000 mm
ts	8 mm	8 mm	8 mm
Mu	102.473.500 Nmm	104.891.300 Nmm	114.598.900 Nmm
MA	13.201.300 Nmm	19.446.600 Nmm	36.626.500 Nmm
MB	60.191.700 Nmm	84.087.600 Nmm	109.434.400 Nmm
MC	50.333.800 Nmm	61.674.900 Nmm	95.007.800 Nmm
Vu	82.484 N	108.406 N	93.035 N
φb	0,90	0,9	0,9
φf	0,75	0,75	0,75

4. Sifat penampang material (*Section Properties*)

Sifat penampang material merupakan sifat penampang dalam menahan beban struktur. Dari perhitungan penampang material akan didapatkan gaya dan momen.

- A. Modulus geser (G) yaitu rasio tegangan geser yang terjadi terhadap regangan geser. Dengan perhitungan :

$$\frac{E}{[2x(1+\nu)]} = \frac{200.000}{[2x(1+0,3)]}$$

$$= 76.923 \text{ MPa}$$

B. Tinggi (h_1) yaitu tinggi yang diperoleh dari tebal sayap ditambah dengan radius
 $h_1 = t_f + r = 17 \text{ mm} + 22 \text{ mm}$

$$= 39 \text{ mm}$$

C. Tinggi (h_2) = $h_t - 2 \times h_1$

$$= 6.000 \text{ mm} - 2 \times 39 \text{ mm}$$

$$= 522 \text{ mm}$$

D. Tinggi (h) = $h_t - t_f$

$$= 200 \text{ mm} - 17 \text{ mm} = 583 \text{ mm}$$

E. Konstanta puntir torsi (J) yaitu sifat geometris dari suatu penampang batang yang terlibat dalam hubungan antara sudut puntir dan torsi yang diterapkan sepanjang sumbu batang, untuk batang homogen linear-elastis. Dapat dihitung dengan rumus

$$\begin{aligned} J &= \sum \left[b \times \frac{t^3}{3} \right] = 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3} \times (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^3 \\ &= 2 \times \frac{1}{3} \times 200 \times 17^3 + \frac{1}{3} \times (600 - 2 \times 17) \times 11^3 \\ &= 9.068.182 \text{ m} \end{aligned}$$

F. Konstanta puntir lengkung

$$\begin{aligned} (I_w) &= I_y \times \frac{h^2}{4} = 22.729.446 \times \frac{583^2}{4} \\ &= 1,931 \times 10^{12} \text{ mm}^6 \end{aligned}$$

G. Koefisien momen tekuk torsi lateral (X_1)

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \times \sqrt{\left[E \times G \times J \times \frac{A}{2} \right]} \\ &= \frac{3,14}{2.480.621} \times \sqrt{\left[200.000 \times 76.923 \times 906.182 \times \frac{13.026}{2} \right]} \\ &= 12.067,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

H. Koefisien momen tekuk torsi lateral (X_2)

$$\begin{aligned} X_2 &= 4 \times \left[\frac{S_x}{(G \times J)} \right]^2 \times \frac{I_w}{I_y} \\ &= 4 \times \left[\frac{2480621}{(76923 \times 906182)} \right]^2 \times \frac{744186438}{22729446} \\ &= 0,0004304 \text{ mm}^2/\text{N}^2 \end{aligned}$$

I. Modulus penampang plastis thd. S_b (Z_x)

$$\begin{aligned} Z_x &= t_w \times \frac{h t^2}{4} + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f \\ &= 11 \times \frac{600^2}{4} + (200 - 11) \times (600 - 17) \times 17 \\ &= 2.863.179 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

J. Modulus penampang plastis thd. Sb.y (Zy)

$$\begin{aligned} Z_y &= t_f \times \frac{b_f^2}{2} + (h_t - 2 \times t_f) \times \frac{t_w^2}{4} \\ &= 17 \times \frac{200^2}{2} + (600 - 2 \times 17) \times \frac{11^2}{4} \\ &= 357.121,5 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Tabel 2. 5 Tabel Section Properties

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
G	76.923 MPa	76.923 MPa	76.923 MPa
h1	29 mm	39 mm	32 mm
H2	342 mm	522 mm	386 mm
H	387 mm	583 mm	436 mm
J	356.762,7 mm ⁴	906.182 mm ⁴	468.412,7 mm ⁴
Iw	6,496 x 1.011 mm ⁶	1,931 x 1.012 mm ⁶	8,883 x 1.011 mm ⁶
X1	12.972,7 MPa	12.067,9 MPa	12.751 MPa
X2	0,0002622 mm ² /N ²	0,0004304 mm ² /N ²	0,0003010 mm ² /N ²
Zx	1.285.952 mm ³	2.863.179 mm ³	1.621.489 mm ³
Zy	265.984 mm ³	357.121,5 mm ³	288.545,5 mm ³

5. Perhitungan kekuatan

Syarat yang harus dipenuhi untuk balok dengan pengaku, maka nilai: $a/h \leq 3,0$

A. $a/h = 2,573 < 3,00$ (berlaku rumus balok dengan pengaku (OK))

Ketebalan plat badan dengan pengaku vertikal tanpa pengaku memanjang harus memenuhi :

B. $h/t_w \leq 7.07 * \sqrt{\left(\frac{E}{F_y}\right)}$

$$h/t_w \leq 7,07 \times \sqrt{\left(\frac{200000}{240}\right)}$$

53,000 < 204,09 (tebal plat badan memenuhi)

Keterangan :

E = Modulus elastisitas

Fy = tegangan leleh

Maka tebal plat badan memenuhi syarat untuk menggunakan pengaku vertikal tanpa pengaku memanjang.

Tabel 2. 6 Tabel Perhitungan Kekuatan

	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
a/h	2,584 < 3,00	2,573 < 3,00	2,294 < 3,00
h/tw	48,375 < 204,09 (OK)	53 < 204,09 (OK)	48,444 < 204,09 (OK)
	Berlaku balok dengan pengaku	Berlaku balok dengan pengaku	Berlaku balok dengan pengaku

6. Pengaruh tekuk lokal (*local buckling*) pada sayap

Tekuk lokal yaitu peristiwa yang terjadi akibat menekuknya elemen plat penampang sayap karena rasio lebar dan tebal yang terlalu besar. Tekuk lokal ini dapat terjadi sebelum batang atau kolom menekuk lentur. Maka, perlu adanya batas minimal bagi rasio lebar-tebal pelat penampang. Pada proyek ini, balok yang digunakan memiliki kelangsingan penampang sayap sebesar 11,765 sehingga termasuk dalam penampang *compact* dengan batas kelangsingan maksimum sebesar 32,275. Sedangkan batas penampang *non compact* sendiri yaitu 40,34.

Momen plastis balok dari perhitungan didapatkan sebesar 687.162.960 Nmm. Momen batas tekuk balok diperoleh sebesar 421.705.570 Nmm. Maka dapat disimpulkan momen nominal untuk penampang *compact* tersebut sebesar **687.162.960 Nmm**.

Tabel 2. 7 Pengaruh Tekuk *Local Buckling* pada Sayap

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
λ	15,385	11,765	14,286
λ_p	32,275	32,275	32,275
λ_r	40,344	40,344	40,344
M_p	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm
M_r	195.201.310 Nmm	421.705.570 Nmm	243.734.270 Nmm
Jenis Penampang	<i>Compact</i>	<i>Compact</i>	<i>Compact</i>
M_n	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm

7. Pengaruh tekuk lokal (*local buckling*) pada badan

Tekuk lokal yaitu peristiwa yang terjadi akibat menekuknya elemen plat penampang badan karena rasio lebar dan tebal yang terlalu besar. Tekuk lokal ini dapat terjadi sebelum batang atau kolom menekuk lentur. Maka, perlu adanya batas minimal bagi rasio lebar-tebal pelat penampang

A. Kelangsingan penampang badan (λ) = h/t_w

$$\lambda = 583 / 11 = 53$$

B. Batas kelangsingan maks. Untuk penampang *compact*,

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

C. Batas kelangsingan maks. Untuk penampang non *compact*,

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 164,602$$

$$\lambda < \lambda_p \text{ dan } \lambda < \lambda_r$$

Berdasarkan nilai kelangsingan badan, maka termasuk penampang *Compact*

Momen nominal penampang dihitung sebagai berikut:

$$\text{Compact: } M_n = M_p = 687.162.960 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen nominal untuk penampang } \textit{compact} (M_n) = 687.162.960 \text{ Nmm}$$

Tabel 2. 8 Tabel Pengaruh Tekuk Local Buckling Pada Badan

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
λ	48,375	53	48,444
λ_p	108,444	108,444	108,444
λ_r	164,602	164,602	164,602
Jenis Penampang	<i>Compact</i>	<i>Compact</i>	<i>Compact</i>
Mn	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm

8. Momen nominal balok plat berdinging penuh

Balok pelat berdinging penuh merupakan balok dengan penampang yang tinggi, sehingga sangat mungkin dipengaruhi oleh terjadinya lipatan pada elemen pelat sayap ataupun tekuk pada elemen pelat badan, sehingga diperlukan perhitungan guna mengatasi lipatan dan tekuk tersebut. Untuk mengatasi terjadi lipatan ataupun tekuk ini, diperlukan perhitungan tekuk lokak (*local buckling*) dan jika benar diperlukan, maka dipasang komponen pengaku (*stiffener*), *Bearing stiffener*, *Intermediate stiffener*, dan *Longitudinal stiffener*. Momen nominal balok berdinging penuh dapat dihitung dengan rumus seperti berikut :

A. Kelangsingan penampang badan,

$$\lambda = h/tw = 583 / 11 = 53$$

B. Untuk penampang yang memiliki ukuran :

$$\begin{aligned} h/tw &> \lambda_r \\ \mathbf{53} &> \mathbf{40,344} \end{aligned}$$

C. Koefisien momen tekuk torsi lateral,

$$\begin{aligned} C_b &= 12,5 \times M_u / (2,5 \times M_u + 3 \times M_a + 4 \times M_b + 3 \times M_c) \\ &= 12,5 \times 17.473.500 / (2,5 \times 17.473.500 + 3 \times 3.450.000 + 4 \times 7.078.100 \\ &\quad + 3 \times 1.787.800) \\ &= 1,69 > 2,3 \end{aligned}$$

Maka, diambil, $C_b = 1,69$

D. Perbandingan luas plat badan terhadap luas plat sayap,

$$\begin{aligned} A_r &= h \times t_w / (b_f \times t_f) \\ &= 583 \times 11 / (200 \times 17) = 1,886 \end{aligned}$$

E. Momen inersia,

$$\begin{aligned} (I_1) &= \frac{I_y}{2} - \frac{1}{12} \times t_w^3 \times \frac{1}{3} \times h^2 \\ &= \frac{22.729.446}{2} - \frac{1}{12} \times 11^3 \times \frac{1}{3} \times 532 = 11.345.054 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

F. Luas penampang,

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{A}{2} - \frac{1}{3} \times t_w \times h^2 \\ &= \frac{13026}{2} - \frac{1}{3} \times 11 \times 522 = 4.599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{G. Tekan, } r_1 &= \sqrt{\frac{I_1}{A_1}} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Keterangan:

h = tinggi bersih badan

t_w = tebal sayap

r₁ = jari-jari girasi daerah plat sayap ditambah sepertiga bagian plat badan yang mengalami tekan.

Tabel 2. 9 Tabel Momen Nominal Balok Plat Berdinding Penuh

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
λ	48,375	53	48,44
h/t _w > λ _r	48,375 > 40,344	53 > 40,344	48,44 > 40,344
C _b	1,86 > 2,3 = 1,86	1,56 > 2,3 = 1,56	1,28 > 2,3 = 1,28
A _r	1,191	1,886	1,401
I ₁	8.669.782 mm ⁴	11.345.424 mm ⁴	9.338.335 mm ⁴
A ₁	3.184 mm ²	4.599 mm ²	3.541 mm ²
R ₁	52 mm	50 mm	51 mm

9. Momen nominal berdasarkan tekuk torsi lateral

Tekuk torsi lateral merupakan suatu peristiwa yang diakibatkan oleh momen lentur, balok mengalami perpindahan (*displacement*) ke arah samping. Dalam hal ini, perlu dilakukan perhitungan momen kritis balok baja tersebut. Momen kritis sendiri yaitu peristiwa dimana momen lentur menyebabkan terjadinya tekuk torsi lateral pada balok.

Semakin panjang balok tersebut, maka semakin kecil momen kritisnya. Momen nominal berdasarkan tekuk torsi lateral dapat dihitung dengan rumus seperti berikut :

A. Jarak antara pengekang lateral, $L = L_y = 2.000 \text{ mm}$

B. Angka kelangsingan,

$$\begin{aligned}\lambda_G &= L/r_1 \\ &= 2.000 / 50 = 40 \text{ mm}\end{aligned}$$

C. Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*,

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 1,76 \times \sqrt{(E/f_y)} \\ &= 1,76 \times \sqrt{\frac{200.000}{240}} = 50,807\end{aligned}$$

D. Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non compact*,

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 4,40 \times \sqrt{(E/f_y)} \\ &= 4,40 \times \sqrt{\frac{200.000}{240}} = 127,017\end{aligned}$$

E. Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral,

$$f_c = C_b \times f_y / 2$$

$$f_c = 1,69 \times \frac{240}{2} = 202,52 \text{ MPa}$$

$$f_c > f_y \text{ maka diambil, } f_c = 202,52 \text{ MPa}$$

$$\lambda_G < \lambda_p \text{ dan } \lambda_G < \lambda_r$$

F. Tegangan kritis penampang dihitung sebagai berikut

$$\lambda_G < \lambda_p = f_{cr} = f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$f_{cr} = 240 \text{ MPa}$$

$$f_{cr} < f_y \text{ maka diambil, } f_{cr} = 240 \text{ MPa}$$

G. Modulus Penampang Elastis, $S = S_x = 2.480.621 \text{ mm}^3$

H. Koefisien Balok plat berdinding penuh

$$\begin{aligned}K_g &= 1 - \left[\frac{ar}{(1.200 + 300 \times ar)} \right] \times \left[\frac{h}{tw - \frac{2.500}{\sqrt{f_{cr}}}} \right] \\ &= 1 - \left[\frac{1.886}{(1.200 + 300 \times 1.886)} \right] \times \left[\frac{583}{11 - \frac{2.500}{\sqrt{240}}} \right] = 1,119\end{aligned}$$

I. Momen nominal penampang,

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr}$$

$$= 1,119 \times 2.480.621 \times 240 = 666.318.356 \text{ Nmm}$$

Maka momen nominal penampang berdasarkan tekuk torsi lateral pada balok induk memanjang didapatkan sebesar **666.318.356 Nmm**.

Tabel 2. 10 Tabel Momen Nominal Berdasarkan Tekuk Torsi Lateral

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
L = Ly	2.000 mm	2.000 mm	2.000 mm
λ_G	38,328	40,267	38,946
λ_p	50,807	50,807	50,807
λ_r	127,017	127,017	127,017
fc	223,56 MPa	186,87 MPa	153,6 MPa
fcr	240 MPa	240 MPa	240 MPa
S = Sx	1.148.243 mm ³	2.480.621 mm ³	1.433.731 mm ³
Kg	1,089	1,119	1,1
Mn	300.070.415 Nmm	666.318.356 Nmm	378.662.837 Nmm

10. Momen nominal berdasarkan local buckling pada sayap

Momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap yaitu besarnya momen yang terjadi ketika terjadi lendutan yang diakibatkan oleh *local buckling*. Untuk mendapatkan besar momen nominal tersebut, maka dihitung dengan rumus:

A. Kelangsingan penampang sayap,

$$\begin{aligned}\lambda_G &= bf / (2 \times tf) \\ &= 200 / (2 \times 17) = 5,88\end{aligned}$$

B. Faktor kelangsingan plat badan,

$$\begin{aligned}k_e &= 4 / \sqrt{(h/tw)} \\ &= \frac{4}{\sqrt{\frac{583}{11}}} = 0,549 < 0,763\end{aligned}$$

Dipakai faktor kelangsingan yang kecil, $k_e = 0,549$

C. Kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,38 \times \sqrt{(E / fy)} \\ &= 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,97\end{aligned}$$

D. Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1,35 \times \sqrt{(k_e \times E / fy)} \\ &= 1,35 \times \sqrt{0,549 \times \frac{200.000}{240}} = 28,89\end{aligned}$$

E. Tegangan acuan untuk momen kritis tekuk local,

$$f_c = fy/2$$

$$= 240/2 = 120 \text{ MPa}$$

$$\lambda_G < \lambda_p \text{ dan } \lambda_G < \lambda_r$$

F. Tegangan kritis penampang dihitung sebagai berikut :

$$\lambda_G \leq \lambda_p = f_{cr} = f_y = 240 \text{ MPa}$$

G. Tegangan kritis penampang, $f_{cr} = 240 \text{ MPa}$

$$f_{cr} < f_y \text{ maka diambil, } f_{cr} = 240 \text{ MPa}$$

H. Modulus penampang elastis, $S = S_x = 2.480.621 \text{ mm}^3$

I. Koefisien balok plat berdinging penuh,

$$\begin{aligned} K_g &= 1 - \left[\frac{ar}{(1.200 + 300 \times ar)} \right] \times \left[\frac{h}{tw - \frac{2.500}{\sqrt{f_{cr}}}} \right] \\ &= 1 - \left[\frac{1,886}{(1.200 + 300 \times 1,886)} \right] \times \left[\frac{583}{11 - \frac{2.500}{\sqrt{240}}} \right] \\ &= 1,119 \end{aligned}$$

J. Momen nominal penampang,

$$M_n = K_g \times S \times f_{cr} = 666.318.356 \text{ Nmm}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan momen nominal penampang berdasarkan *local buckling* saya pada balok induk memanjang sebesar **666.318.356 Nmm**.

Tabel 2. 11 Tabel Momen Nominal Berdasarkan *Local Buckling* pada Sayap

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
λ_G	7,69	5,88	7,14
Ke	$0,575 < 0,763$ = 0,575	$0,549 < 0,763$ = 0,549	$0,575 < 0,763$ = 0,575
λ_p	10,97	10,97	10,97
λ_r	29,55	28,89	29,54
fc	120 MPa	120 MPa	120 MPa
Fcr	240 MPa	240 MPa	240 MPa
S = Sx	1.148.243 mm ³	2.480.621 mm ³	1.433.731 mm ³
Kg	1,089	1,119	1,1
Mn	300.070.415 Nmm	666.318.356 Nmm	378.662.837 Nmm

11. Momen nominal pengaruh *lateral buckling*

Momen nominal pengaruh *lateral buckling* yaitu besarnya momen yang timbul saat terjadi tekuk lateral pada suatu balok. *Lateral buckling* sendiri merupakan kondisi

batas yang menentukan kekuatan suatu balok. Perhitungan momen nominal tersebut dapat dihitung dengan rumus:

A. Panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis,

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \times r_y \times \sqrt{E / f_y} \\ &= 1,76 \times 41,772348 \times \sqrt{\frac{200.000}{240}} \\ &= 2.122 \text{ mm} \end{aligned}$$

B. Tegangan leleh dikurangi tegangan sisa,

$$\begin{aligned} f_L &= f_y - f_r \\ &= 240 - 70 = 170 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Keterangan:

f_y = tegangan leleh

f_r = tegangan residu

C. Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral:

$$\begin{aligned} L_r &= r_y \times \frac{X_1}{f_L} \times \sqrt{[1 + X_2 \times f_L^2]} \\ &= 41,772348 \times \frac{12067,9}{170} \times \sqrt{[1 + 0,00043 \times 170^2]} \\ &= 6.405 \text{ mm} \end{aligned}$$

D. Koefisien momen tekuk torsi lateral

$$\begin{aligned} C_b &= 12,5 \times \frac{M_u}{(2,5 \times M_u + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C)} \\ &= 12,5 \times \frac{17.473.500}{(2,5 \times 211.121.800 + 3 \times 3.220.200 + 4 \times 211.121.800 + 3 \times 60.587.100)} \\ &= 1,69 \end{aligned}$$

E. Momen Plastis

$$\begin{aligned} M_p &= f_y \times Z_x \\ &= 240 \times 2.863.179 = 687.162.960 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

F. Momen batas tekuk,

$$\begin{aligned} M_r &= S_x \times (f_y - f_r) \\ &= 2.480.621 \times (240 - 70) = 421.705.570 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

G. Panjang bentang thd.sb. y

$$L = L_y = 2.000 \text{ mm}$$

$$L < L_p \text{ dan } L < L_r$$

Karena panjang balok lebih kecil dibandingkan dengan panjang bentang maksimum balok yang mampu menahan momen plastis maka balok tersebut termasuk dalam kategori bentang pendek. Sehingga dapat dihitung dengan rumus :

H. Momen Nominal dihitung sebagai berikut :

$$M_n = M_p = f_y \times Z_x = 687.162.960 \text{ Nmm}$$

I. Momen nominal balok untuk kategori bentang pendek,

$$M_n = 687.162.960 \text{ Nmm}$$

$$M_n > M_p$$

J. Momen nominal yang dipakai, $M_n = 687.162.960 \text{ Nmm}$

Momen nominal yang didapatkan sebesar **687162960 Nmm**.

Tabel 2. 12 Tabel Momen Nominal Pengaruh *Lateral Buckling*

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
L_p	2.338 mm	2.122 mm	2.266 mm
f_L	170 MPa	170 MPa	170 MPa
L_r	6.961 mm	6.405 mm	6.785 mm
C_b	1,86	1,56	1,28
M_p	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm
M_r	195.201.310 Nmm	421.705.570 Nmm	243.734.270 Nmm
L	2.000 mm	2.000 mm	2.000 mm
Kategori bentang	$L < L_p$ (Bentang pendek)	$L < L_p$ (Bentang pendek)	$L < L_p$ (Bentang pendek)
M_n	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm

12. Tahanan Momen Lentur

A. Momen nominal pengaruh *local buckling*:

Momen nominal pengaruh *local buckling* pada sayap, $M_n = 687.162.960 \text{ Nmm}$

Momen nominal pengaruh *local buckling* pada badan, $M_n = 687.162.960 \text{ Nmm}$

B. Momen nominal balok plat berdinding penuh :

Momen nominal berdasarkan tekuk torsi lateral,

$$M_n = 666.318.356 \text{ Nmm}$$

Momen nominal berdasarkan *local buckling* pada sayap,

$$M_n = 666.318.356 \text{ Nmm}$$

C. Momen nominal berdasarkan pengaruh lateral *buckling*,

$$M_n = 687.162.960 \text{ Nmm}$$

Momen nominal (terkecil) yang menentukan, $M_n = 666.318.356 \text{ Nmm}$

Tahanan momen lentur, $\phi_b \times M_n = 599.686.520 \text{ Nmm}$

Momen akibat beban terfaktor, $M_u = 211.121.800 \text{ Nmm}$

Syarat yang harus dipenuhi : $M_u \leq \phi_b \times M_n$

$$211.121.800 < 599.686.520 \text{ (Aman)}$$

Dari hasil diatas dikatakan aman karena momen ultimate lebih kecil dibandingkan momen nominal dan penampang mampu menahan beban.

$$M_u / (\phi_b \times M_n) = 0,3521 < 1,0 \text{ (Aman)}$$

Dikatakan aman karena perbandingan antara momen ultimate dengan momen nominal tidak lebih dari angka persyaratan yaitu 1,0.

Tabel 2. 13 Momen Nominal Pengaruh *Local Buckling*

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Momen nominal local buckling pada sayap	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm
Momen nominal local buckling pada badan	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm

Tabel 2. 14 Momen Nominal Balok plat berdinging penuh

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200 x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Momen nominal tekuk torsi lateral	300.070.415 Nmm	666.318.356 Nmm	378.662.837 Nmm
Momen nominal local buckling pada sayap	300.070.415 Nmm	666.318.356 Nmm	378662837 Nmm

Tabel 2. 15 Momen nominal berdasarkan pengaruh *lateral buckling*

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Momen Nominal Berdasarkan Pengaruh Lateral Buckling	308.628.480 Nmm	687.162.960 Nmm	389.157.360 Nmm
Momen Nominal (terkecil) yang menentukan	300070415	666.318.356 Nmm	378.662.837 Nmm
Tahanan Momen Lentur	270.063.373 Nmm	599.686.520 Nmm	340.796.553 Nmm
Momen akibat beban terfaktor	102.473.500 Nmm	104.891.300 Nmm	114.598.900 Nmm
Syarat yang harus dipenuhi ($M_u \leq \phi_b \times M_n$)	102.473.500 < 270.063.373 (OK)	104.891.300 < 599.686.520 (OK)	114.598.900 < 340.796.553 (OK)
$M_u / (\phi_b \times M_n)$	0,3794 < 1,0 (OK)	0,1749 < 1,0 (OK)	0,3363 < 1,0 (OK)

13. Tahanan geser

Tahanan geser nominal plat badan dengan pengaku dihitung sebagai berikut :

A. Luas penampang badan,

$$\begin{aligned}A_w &= t_w \times h_t \\&= 11 \times 600 \\&= 6.600 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{(a \times h)^2} = 5,7553$$

B. Perbandingan tinggi terhadap tebal badan, $h/t_w = 53,00$

$$\begin{aligned}\text{a. } &1,10 \times \sqrt{\left(k_n \times \frac{E}{f_y}\right)} \\&1,10 \times \sqrt{\left(5,7553 \times \frac{200.000}{240}\right)} = 76,179\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{b. } &1,37 \times \sqrt{\left(k_n \times \frac{E}{f_y}\right)} \\&1,37 \times \sqrt{\left(5,7553 \times \frac{200.000}{240}\right)} = 94,878\end{aligned}$$

$$h/t_w < 1,10 \times \sqrt{\left(k_n \times \frac{E}{f_y}\right)} \text{ dan } h/t_w < 1,37 \times \sqrt{\left(k_n \times \frac{E}{f_y}\right)}$$

maka tahanan geser tersebut termasuk dalam kategori tahanan geser plastis.

C. Tahanan geser nominal dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_n &= 0,60 \times f_y \times A_w \\&= 0,60 \times 240 \times 6.600 \\&= 950.400 \text{ N}\end{aligned}$$

D. Tahanan geser nominal untuk geser : plastis , $V_n = 950.400 \text{ N}$

E. Tahanan gaya geser,

$$\begin{aligned}&= \phi f \times V_n \\&= 0,90 \times 950.400 = 712.800 \text{ N}\end{aligned}$$

F. Gaya geser akibat beban terfaktor, $V_u = 193.544 \text{ N}$

G. Syarat yang harus dipenuhi :

$$V_u \leq \phi f \times V_n$$

$$\mathbf{193.544 < 712.800 \text{ (Aman)}}$$

Dikatakan aman karena gaya geser yang terjadi lebih kecil daripada gaya geser nominal.

Tabel 2. 16 Tahanan Geser

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Aw	3200 mm ²	6600 mm ²	4050
Kn	5.7488	5,7553	5.9505
h/tw	48.375	53.000	48.444
$1,10 \times \sqrt{(kn \times E/fy)}$	76.136	76.179	77.460
$1,37 \times \sqrt{(kn \times E/fy)}$	94.824	94.878	96.473
Kategori Tahanan Geser	Plastis	Plastis	Plastis
Vn	460.800 N	950.400 N	583.200 N
$\Phi_f \times V_n$	345.600 N	712.800 N	437.400 N
Vu	82.484 N	108.406 N	93.035 N
Syarat : $V_u \leq \Phi_f \times V_n$	82.484 N < 345600 (AMAN)	108.406 < 712800 (AMAN)	93.035 < 437.400 (AMAN)

14. Interaksi geser dan lentur

Elemen yang memikul kombinasi geser dan lentur harus dilakukan kontrol sebagai berikut :

A. $M_u / (\phi_b \times M_n)$

$$\frac{211.121.800}{(0,90 \times 599.686.520)} = 0,3521$$

B. $V_u / (\phi_f \times V_n)$

$$\frac{193.544}{(0,90 \times 712.800)} = 0,2715$$

$$M_u / (\phi_b \times M_n) + 0.625 \times V_u / (\phi_f \times V_n) = 0,5218$$

$$0,5218 < 1,375 \text{ (Aman)}$$

Gaya geser pada interaksi geser dan lentur dikatakan aman karena gaya geser yang terjadi lebih kecil dibandingkan gaya geser nominal.

15. Dimensi pengaku vertikal pada badan

A. Tebal plat pengaku vertikal pada badan (*stiffner*), $t_s = 8 \text{ mm}$

B. Tinggi plat pengaku,

$$\begin{aligned} h_s &= h_t - 2 \times t_f \\ &= 600 - 2 \times 17 = 566 \text{ mm} \end{aligned}$$

C. Luas penampang plat pengaku,

$$\begin{aligned} A_s &= h_s \times t_s \\ &= 566 \times 8 = 4.528 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

D. Untuk sepasang pengaku, $D = 1$

$$\begin{aligned} \text{a. } C_v &= 1,5 \times k_n \times \frac{E}{f_y} \times \frac{1}{t_w^2} \\ &= 1,5 \times 5,7553 \times \frac{200.000}{240} \times \frac{1}{\left(\frac{583}{11}\right)^2} \\ &= 2,5611 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } 0,5 \times D \times A_w \times (1 + C_v) \times \left[\frac{\frac{a}{h} - \left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2\right)}} \right] \\ 0,5 \times 1 \times 6.600 \times (1 + 2,5611) \times \left[\frac{\frac{1.500}{583} - \left(\frac{1.500}{583}\right)^2}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{1.500}{583}\right)^2\right)}} \right] = 2.054 \end{aligned}$$

c. Syarat yang harus dipenuhi :

$$A_s \geq 0,5 \times D \times A_w \times (1 + C_v) \times \left[\frac{\frac{a}{h} - \left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2\right)}} \right]$$

$$4528 > 2054 \text{ (Aman)}$$

Dikatakan aman karena luas penampang plat pengaku lebih besar dari syarat yang ditetapkan.

E. Momen inersia plat pengaku,

$$\begin{aligned} I_s &= \frac{2}{3} \times h_s \times t_s^3 \\ &= \frac{2}{3} \times 566 \times 8^3 = 193.195 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Untuk, } a/h = 2,573 > \sqrt{2}$$

F. Batasan momen inersia pengaku vertikal dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_s &= 1,5 \times h^3 \times t_w^3 / a^2 \\ &= 1,5 \times 583^3 \times \frac{11^3}{1.500^2} = 175.830 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Momen inersia minimum} = 175.830 \text{ mm}^4$$

G. Kontrol momen inersia plat pengaku,

$$I_s = 193.195 > 175.830 \text{ (Aman)}$$

Dikatakan aman karena momen inersia plat pengaku lebih besar dari momen inersia minimum.

Tabel 2. 17 Interaksi Geser dan Lentur

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
$M_u / (\phi b \times M_n)$	0,3794	0,1749	0,3363
$V_u / (\phi f \times V_n)$	0,2387	0,1521	0,2127
$M_u / (\phi b \times M_n) + 0,625 \times V_u / (\phi f \times V_n)$	0,5286	0,2700	0,4692
Syarat : $M_u / (\phi b \times M_n) + 0,625 \times V_u / (\phi f \times V_n) \leq 1,375$	0,5286 < 1,375 (AMAN)	0,2700 < 1,375 (AMAN)	0,4692 < 1,375 (AMAN)

Tabel 2. 18 Dimensi Pengaku Vertikal

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Ts	8 mm	8 mm	8 mm
Hs	374 mm	566 mm	422 mm
As	2.992 mm ²	4.528 mm ²	3.376 mm ²
D	1	1	1
Cv	3,0708	2,5611	3,1694
$0,5 \times D \times A_w \times (1 + C_v) \times \left[\frac{\frac{a}{h} - (\frac{a}{h})^2}{\sqrt{1 + (\frac{a}{h})^2}} \right]$	1.134 mm ²	2.054 mm ²	1.614 mm ²
syarat	2.992 > 1.134 (OK)	4.528 > 2.054 (OK)	3.376 > 1.614 (OK)

Tabel 2. 19 Momen Inersia Pengaku

Data	WF 400 x 200 x 8 x 13 (Balok Rafter)	WF 600 x 200x 11 x 17 (Balok Melintang)	WF 450 x 200 x 9 x 11 (Balok Anak)
Is	127.659 mm ⁴	193.195 mm ⁴	144.034 mm ⁴
a/h	2,584 > $\sqrt{2}$	2,573 > $\sqrt{2}$	2,294 > $\sqrt{2}$
$1,5 \times h^3 \times t_w^3 / a^2$	44.514 mm ⁴	175.830 mm ⁴	90.631 mm ⁴
Kontrol Inersia	127.659 > 44.514 (AMAN)	193.195 > 175.830 (AMAN)	144.043 > 90.631 (AMAN)

2.5.2 Perhitungan kolom

Kolom adalah salah satu elemen struktur yang vertikal berfungsi meneruskan beban aksial dan diteruskan ke fondasi. Kolom sendiri berfungsi untuk penerus beban secara menyeluruh pada bangunan hingga ke bagian dasar rumah atau tanah. Kolom sangat penting karena menjadi pilar atau rangka yang menjadi kekuatan suatu bangunan bisa berdiri tanpa roboh. Karena memiliki fungsi yang sangat penting, maka dalam perancangan harus dilakukan perhitungan yang teliti. Berikut perhitungan kolom proyek bangunan pasar godean :

1. Data kolom baja

Data kolom baja berisikan informasi dimensi kolom yang digunakan. Profil baja yang digunakan dalam proyek ini menggunakan profil baja IWF 400 x 400 x 13 x 21.

Dengan spesifikasi sesuai sebagai berikut:

T Kolom	= 5 m	(Tinggi Kolom)
Ln	= 34,2 m ²	(Luas area pembebanan)
N	= 1 lt	(Jumlah lantai di atas kolom)
Tegangan Ijin Baja	= 1.600 kg/cm ²	
QDL	= 61.560 kg	

A. Untuk menentukan rencana profil yang digunakan, dapat dihitung menggunakan rumus:

$$W_x = (P / \text{teg Ijin}) = (61.560 / 1.600) = 38,475 \text{ cm}^3$$

$$W_y = (P / \text{teg Ijin}) = (61.560 / 1.600) = 38,475 \text{ cm}^3$$

B. Adapun cara lain yang dapat digunakan dengan menggunakan tabel spesifikasi lengkap sesuai dengan produk Gunung Garuda *Steel* sebagai berikut:

WF 400x400x13x21 mm

$$W_x = 3.330 \text{ cm}^3$$

$$W_y = 1.120 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 66.600 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 10,1 \text{ cm}^4$$

C. Cek tegangan

Dalam mengecek tegangan pada kolom, dilakukan dengan rumus berikut:

$$\text{Teg X} = (QDL / W_x) = (61.560 / 3.330) = 18,49 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Teg Y} = (QDL / W_y) = (61.560 / 1.120) = 54,96 \text{ kg/cm}^2$$

$$1.600 \text{ (Tegangan Ijin)} > 54,96 \text{ (Tegangan) (Aman)}$$

Dikatakan aman karena tegangan ijin lebih besar dari tegangan yang terjadi.

D. Cek rasio kelangsungan profil

Untuk mengecek rasio kelangsingan suatu profil kolom, dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$(L/r) < 200 = (500/10,1) < 200$$

$$49,5 < 200 \text{ (Aman)}$$

Pada perhitungan diatas, profil kolom yang digunakan dikatakan aman karena memiliki nilai di bawah batas rasio kelangsingan.

E. Cek lendutan

Cek lendutan pada profil dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{tot} = 12312 \text{ kg/m} = 123,12 \text{ kg/cm}$$

$$f = (5 / 384) \times (7,70E+12) / (1,40E+11) = 0,72 \text{ cm}$$

$$f_{ijin} = (1 / 300) \times 500 = 1,67 \text{ cm}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan f ijin sebesar 1,67 cm.

2. Analisa sambungan kolom dengan balok baja

Dalam pemasangannya, kolom baja harus disambungkan dengan balok. Sambungan tersebut perlu dianalisis untuk menentukan ukuran baut yang digunakan. Untuk menganalisis sambungan kolom dan baja diawali dengan perhitungan baut yang akan digunakan. Dimana hal tersebut dapat di hitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Tegangan ijin baja} = 1.600 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 13.400 \text{ kg}$$

$$\text{Plat penyambung} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Ukuran baut} = 16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{baut}} &= \left(\frac{\text{ukuran baut}}{10} \right)^2 \pi \frac{1}{4} \\ &= \left(\frac{16}{10} \right)^2 \pi \frac{1}{4} \\ &= 2,01 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan spesifikasi baut yang akan digunakan adalah baut dengan ukuran 12 mm dan luas 2,01 cm²

3. Cek jumlah dan kekuatan baut yang digunakan

Setelah ukuran baut yang akan di gunakan telah ditentukan. Langkah selanjutnya ialah menghitung kebutuhan baut pada tiap sambungan. Perhitungan kebutuhan baut sangat diperlukan agar dalam pelaksanaannya dapat berjalan dengan baik. Hal itu dapat diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{ijin} &= 0,58 \times \sigma_{ijin} \\ &= 0,54 \times 1.600 \\ &= 928 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah baut:

$$\begin{aligned} N &= \frac{P}{A \text{ baut} \times \tau_{\text{ijin}}} \\ &= \frac{13.400}{2,01 \times 928} \\ &= 7,19 \sim 8 \text{ set} = JA \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan jumlah baut yang akan digunakan pada setiap sambungan kolom dan baja sebanyak 8 set.

Selanjutnya perhitungan dapat diteruskan hingga mendapatkan kesimpulan apakah sambungan yang akan digunakan aman terhadap konstruksi bangunan.

Profil kolom = WF 400 x 400 x 14 x 21

Profil balok = WF 600 x 200 x 9 x 14

Jarak A (jarak kolom ke ass pinggir) = $\frac{200}{4}$
= 50 mm

Jarak C (lebar kolom) = 400 mm

Jarak D (lebar balok) = 600 mm

Jarak B (jarak baut) = $\frac{(\text{Jarak D} + \text{Jarak e})}{JA}$
= $\frac{(400 + 600)}{8}$
= 125 mm

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{P}{A \text{ baut} \times N} \\ &= \frac{13.400}{2,01 \times 8} \\ &= \mathbf{833,50 \text{ kg/cm}^2} > \mathbf{928 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan yang terjadi aman nilai di bawah tegangan ijin.

$$\begin{aligned} M &= P \times \text{Jarak A} \\ &= 13.400 \times \frac{50}{10} \\ &= 67.000 \text{ kg cm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa momen yang terjadi sebesar 67.000 kg cm.

$$\begin{aligned} T &= \frac{M \times B}{JA \times B^2} \\ &= \frac{67.000 \times \frac{125}{10}}{8 \times \left(\frac{125}{10}\right)^2} \\ &= 670 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma &= \frac{T}{JA \times A \text{ baut}} \\
&= \frac{670}{\frac{8}{2} \times 2,01} \\
&= \mathbf{83,35 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa tegangan baut yang terjadi sebesar 83,35. Tegangan pada baut juga dikatakan aman karena memiliki nilai lebih kecil dari nilai tegangan ijin.

4. Cek plat penyambung

Struktur dengan kolom baja tentu saja membutuhkan plat penyambung, yang bertujuan untuk menahan beban. Mengingat fungsinya yang cukup penting dalam struktur, maka plat penyambung tersebut perlu di analisis terlebih dahulu. Plat penyambung yang digunakan pada perancangan ini adalah plat penyambung dengan tebal 12 mm. Plat penyambung harus di cek tegangannya untuk mengetahui keamanannya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{s ijin yang terjadi} &= \frac{P}{TB \times DA \times JA} \\
&= \frac{13.400}{\frac{12}{10} \times \frac{16}{10} \times 8} \\
&= \frac{13.400}{15,36} \\
&= \mathbf{872,40 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin atau dapat dikatakan aman.

Selanjutnya, lebar profil dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Lebar profil yang digunakan} &= ((JA - 1) \times \text{Jarak B}) + (DA \times 2) \\
&= ((8 - 1) \times 125) + (16 \times 2) \\
&= \mathbf{907 \text{ mm}}
\end{aligned}$$

Jadi, lebar profil plat yang digunakan yaitu 907 mm.

5. Cek sambungan las

Dalam struktur baja, khususnya pada kolom tentunya membutuhkan analisis sambungan untuk mengetahui apakah sambungan tersebut aman atau tidak. Sambungan yang digunakan adalah sambungan las. Sambungan las juga perlu dilakukan pengecekan dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{las}} &= 600 \times 4 \\
 &= 2.400 \text{ mm} \\
 \sigma &= \frac{P}{A_{\text{las}}} \\
 &= \frac{13.400}{\frac{2.400}{10} \times 0,707 \times 1 \times 0,5} \\
 &= \frac{13.400}{84,84} \\
 &= \mathbf{157,94 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \quad (\text{Aman})
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin atau juga bisa dikatakan sambungan pada las aman.

6. Tabel analisa sambungan

Setelah melakukan analisa terhadap sambungan yang digunakan dalam proyek ini, maka dapat ditampilkan tabel hasil analisis sebagai bentuk rekap data dari perhitungan sambungan profil kolom dengan balok induk maupun balok anak.

Profil kolom = WF 400 x 400 x 14 x 21

Profil balok induk = WF 600 x 200 x 11 x 17

Profil balok anak = WF 450 x 200 x 9 x 14

Rekap perhitungan sambungan dapat dilihat di tabel 2.20

Tabel 2. 20 Rekap Perhitungan Sambungan

	KOLOM BALOK	BALOK INDUK ANAK
P	13.400	20.800
Plat penyambung	12	12
Ukuran baut	16	20
A baut	2,01	3,14
CEK JUMLAH DAN KEKUATAN BAUT YANG DIGUNAKAN		
T ijin	928	928
N	7,19	7,14
T	833,5	828,03
	AMAN	AMAN
M	67.000	104.000
T	670	990,48
Σ	83,35	78,86
	AMAN	AMAN
CEK PLAT PENYAMBUNG		

	KOLOM BALOK	BALOK INDUK ANAK
s ijin yang terjadi	872,4	1.083,33
	AMAN	AMAN
Lebar Profil yang di gunakan	907	958,75
CEK SAMBUNGAN LAS		
Alas	2.400	1.800
Σ	157,94	326,89
	AMAN	AMAN

7. Analisa base plate dan angkur kolom

Analisis *base plate* dan angkur kolom dapat dilakukan dengan perhitungan seperti berikut:

Jarak A = 100 mm

Jarak B = 200 mm

Jarak C = 100 mm

Jarak D = 410 mm

Jarak E = 410 mm

Digunakan Kolom = WF 400 x 400 x 13 x 21

$$\begin{aligned} \text{Keliling Profil kolom} &= (400 + 400)^2 \\ &= 1.600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tegangan ijin baja = 1.600 kg/cm²

Mutu beton f'c = 275 kg/cm² = 19,92 Mpa

P = 17.200 kg

Ukuran Angkur = 16 mm (DA)

A angkur = 2,01 cm²

Jumlah Angkur = 6 set (JA)

Panjang Angkur = 60 cm (L)

Tebal Base plate = 12 mm (TB)

A. Cek kekuatan beton

$$\begin{aligned} \text{a. } \sigma \text{ ijin} &= 0,33 \times f'c \\ &= 0,33 \times 275 \\ &= 90,75 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{b. } \sigma \text{ ijin yang terjadi} = P / (DA \times L \times JA)$$

$$= 17.200 / (576)$$

$$= 29,86 \text{ kg/cm}^2$$

c. Cek $= 90,75 > 29,86 \text{ kg/cm}^2$ (Aman)

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan yang terjadi dapat dikatakan aman, karena nilai tegangan yang terjadi lebih kecil dari nilai tegangan ijin.

B. Cek kekuatan Base Plate

Cek kekuatan base plate dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

a. σ ijin yang terjadi $= P / (TB \times DA \times JA)$

$$= 17.200 / (11,52)$$

$$= 1493,06 \text{ kg/cm}^2$$

b. Cek $= 1.600 > 1.493,06 \text{ kg/cm}^2$ (Aman)

Dari hasil cek kekuatan base plate diatas didapatkan kesimpulan bahwa aman dikarenakan tegangan yang terjadi memiliki nilai dibawah tegangan ijin.

C. Cek kekuatan angkur

Berikut merupakan langkah-langkah dalam mengecek kekuatan angkur:

a. $M = P \times A$

$$= 17.200 \times 10$$

$$= 172.000 \text{ kg cm}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa momen yang terjadi sebesar 172.000 kg cm.

b. $T = (M \times C) / (JA \times C^2)$

$$= 1.720.000 / 300$$

$$= 5.733,33$$

c. $\sigma = T / (JA \times A \text{ angkur})$

$$= 5.733,33 / (6,03)$$

$$= 950,99 \text{ kg/cm}^2$$

d. Cek $= 1.600 \text{ kg/cm}^2 > 950,99 \text{ kg/cm}^2$ (Aman)

Dari perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi sebesar 950,99 kg/cm². Tegangan pada angkur juga dikatakan aman karena memiliki nilai lebih kecil dari nilai tegangan ijin.

D. Cek Sambungan Las

Untuk menghitung sambungan pada las, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{a. } \sigma &= P / A \text{ las} \\ &= 17.200 / 56,56 \\ &= 304,10 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{b. Cek} = 304,10 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin atau juga bisa dikatakan sambungan pada las aman.

2.6 Analisis Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan yang disebabkan oleh pergerakan tanah akibat gempa. Dalam analisis beban gempa, terdapat dua metode yaitu metode analitik static ekuivalen (analisis gaya lateral ekuivalen) dan analisis dinamik (analisis spektrum respons).

2.6.1 Analisis berdasarkan SNI :

Analisis beban gempa diatur dalam SNI 1726 tahun 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Analisis tersebut dilakukan dengan beberapa langkah, sebagai berikut :

1. Menentukan S_s dan S_1 berdasarkan lokasi bangunan
Bangunan berada di daerah Godean, Yogyakarta,
 - A. $S_s = 1,018195$ g, dimana S_s merupakan kecepatan respon spektrum pada 0,2 detik
 - B. $S_1 = 0,476028$ g, dimana S_1 merupakan kecepatan respon spektrum pada 1 detik
2. Menentukan nilai F_a dan F_v , dengan keterangan :
 - A. F_a = koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
 - B. F_v = koefisien situs untuk periode panjang yaitu pada periode 1 detik

Berdasarkan Tabel.6 tentang koefisien situs F_a (SNI 1726-2019)

Tabel 2. 21 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum dipertimbangkan risiko-tertarget (MCEr) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s
-------------	---

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

Nilai dari S_s bangunan ini yaitu **1.018195 g**, yang mana di dalam tabel nilai tersebut berada diantara 1,1 dan 1,0. Maka dilakukan interpolasi dan didapatkan **$F_a = 1,092722$** . Berdasarkan Tabel.7 tentang koefisien situs F_v (SNI 1726 – 2019)

Tabel 2. 22 Koefisien Situs, F_v

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

Nilai dari S_1 bangunan ini yaitu 0,476028 g, kemudian dilakukan interpolasi, dan didapatkan F_v sebesar 1,823972

3. Menghitung S_M s dan S_{M1}

- A. S_M s = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
- B. S_{M1} = percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- C. S_M s = $F_a \times S_s = 1,092722 \times 1,018195 = 1,112604$ g
- D. S_{M1} = $F_v \times S_1 = 1,823972 \times 0,476028 = 0,868262$ g

4. Menghitung SDs dan SD₁

A. SDs = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 %

B. SD₁ = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 %.

C. $SD_s = \frac{2}{3} \times SM_s = \frac{2}{3} \times 1,112604 \text{ g} = 0,741736 \text{ g}$

D. $SD_1 = \frac{2}{3} \times SM_1 = \frac{2}{3} \times 0,868262 \text{ g} = 0,578841 \text{ g}$

5. Kategori risiko bangunan

Berdasarkan kategori risiko bangunan, bangunan ini dirancang menjadi bangunan pasar. Jadi berdasarkan tabel 3 (SNI 1726 – 2019) mengenai Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa, bangunan ini termasuk dalam kategori risiko II.

Tabel 2. 23 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

6. Kategori desain seismik

Berdasarkan tabel 8 (SNI 1726 – 2019) Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SDs). Bangunan ini termasuk dalam kategori D.

Tabel 2. 24 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Nilai SDS	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

Berdasarkan tabel 9 (SNI 1726 – 2019) Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SD1). Bangunan ini termasuk dalam kategori D.

Tabel 2. 25 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

Nilai SDS	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SDS < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SDS < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SDS$	D	D

7. Faktor R, C_d, dan Ω untuk pemikul gaya seismik

Berdasarkan tabel 12 (SNI 1726 – 2019), bagian C. Dengan sistem rangka pemikul momennya berupa “Rangka Baja Pemikul Momen Khusus” sehingga didapatkan

Tabel 2. 26 Faktor R, C_d, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem rangka pemikul momen	Koefisien modifikasi respons, R ^a	Faktor kuat lebih system Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi Cd ^c	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, h _n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k

Sistem rangka pemikul momen	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih system Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi Cd^c	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3,5	3 ^o	3,5	10	10	10	10	10

$R = 8$

$C_d = 5,5$

$\Omega = 3$

Dengan keterangan :

R = koefisien modifikasi respons

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

Ω = faktor kuat lebih

8. Faktor keutamaan gempa

Dilihat dari tabel 4 (SNI 1726 – 2019) mengenai Faktor Keutamaan Gempa, bangunan ini termasuk dalam kategori resiko II dan memiliki faktor keamanan gempa sebesar 1,0

Tabel 2. 27 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

9. Penentuan periode

Berdasarkan tabel 17 tentang koefisien batas pada periode yang dihitung (SNI 1726 – 2019), koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung sebesar 1,4 (C_u) karena nilai dari SD_1 yaitu $\geq 0,4$

Tabel 2. 28 koefisien batas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD_1	Koefisien C_s
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Periode fundamental pendekatan dihitung dengan rumus :

$T_a = C_t h^x$, dimana dari tabel 18 (SNI 1726 – 2019)

Tabel 2. 29 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik		
- Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Didapatkan nilai $C_t = 0,0724$ dan nilai $x = 0,8$. Sehingga,

$$T_a = 0,0724 \times 18^{0,8} = 0,731$$

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 0,731 = 1,0235$$

Dengan keterangan :

T_a = Periode fundamental

h = ketinggian struktur

C_t = Koefisien

x = koefisien

10. Faktor respon seismik

Besaran koefisien respon seismik dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$C_s = \frac{SD_s}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,741736}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,092717$$

Nilai C_s tersebut tidak boleh lebih dari :

$$C_s = \frac{SD_1}{Ta\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,578841}{0,731\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,09898 \geq 0,01$$

Nilai C_s juga tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} C_s \text{ min} &= 0,044 \times SD_s \times I_e \\ &= 0,044 \times 0,741736 \times 1 \\ &= 0,0326 \end{aligned}$$

Untuk struktur-struktur yang berada pada lokasi dengan nilai S_1 sama atau sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_s tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} C_s \text{ min} &= 0,5 \times \frac{SD_1}{\frac{R}{I_e}} \\ &= 0,5 \times \frac{0,741736}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,04636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \text{ pakai} &= 0,092717 \\ &= 0,5 \times \frac{0,741736}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,04636 \end{aligned}$$

$$C_s \text{ min} = 0,01$$

$$C_s \text{ pakai} = 0,092717$$

2.6.2 Berat seismik efektif bangunan

Berat seismik efektif bangunan merupakan berat total dari gedung tersebut baik beban hidup maupun beban mati bangunan. Berikut berat satuan pelat lantai dengan tebal 120 mm.

Tabel 2. 30 Berat satuan lantai atap

Jenis beban	Berat beban
Berat sendiri plat	2,88 kN/m ²
Waterproofing	1,2 kN/m ²
Plafon, MEP, dll	0,25 kN/m ²
Total Dead Load	4,33 kN/m ²

$$DL \text{ input software (Tanpa berat sendiri)} = 4,33 - 2,88 = 1,45 \text{ kN/m}^2$$

Berat satuan lantai (t = 120 mm)

Tabel 2. 31 Berat satuan lantai

Jenis beban	Berat beban
Berat sendiri plat	2,88 kN/m ²
Pasir 5 cm	0,9 kN/m ²
Spesi 5 cm	1,05 kN m ²
Penutup lantai	0,24 kN/m ²
Partisi	1 kN/m ²
Plafon, MEP dll	0,2 kN/m ²
Total berat Dead Load	6,27 kN/m²

DL input software (tanpa berat sendiri) = $6,27 - 2,88 = 3,39$ kN/m²

- A. Balok 600 x 200 = $0,6 \times 0,2 \times 78,5 = 9,42$ kN/m
 B. Balok 450 x 200 = $0,45 \times 0,2 \times 78,5 = 7,065$ kN/m
 C. Kolom 400 x 400 = $0,4 \times 0,4 \times 78,5 = 12,56$ kN/m

Beban Mati Lantai 1 (W1):

Tabel 2. 32 Beban Mati Lantai 1

Pelat	71,970 x 11,4 x 6,27	5.144,272 kN
Balok Induk	360,2 x 9,42	3.393,084 kN
Balok Anak	228 x 7,065	1.610,82 kN
Kolom	41 x 5 x 12,56	2.574,8 kN
TOTAL W1		12.722,976 kN

Beban Mati Lantai 2 (W2):

Tabel 2. 33 Beban Mati Lantai 2

Pelat	71,970 x 11,4 x 6,27	5.144,272 kN
Balok Induk	360,2 x 9,42	3.393,084 kN
Balok Anak	228 x 7,065	1.610,82 kN
Kolom	41 x 10 x 12,56	5.149,6 kN
TOTAL W2		15.297,776 kN

Beban Mati Total (W) = $W1 + W2$
 = $12.722,976 + 15.297,776$
 = **28.020,752 kN**

2.6.3 Gaya Geser Dasar

- $V = C_s \times W$
- C_s yang dipakai = 0,092717
- W yang dipakai = **28.020,752 kN**
- Gaya geser dasar (V) = $0,092717 \times 28.020,752 = 2.598$ kN

2.6.4 Beban gempa metode statik ekuivalen

Tabel 2. 34 Tabel Beban Gempa

Lantai	W _x (kN)	H _x (m)	W _x x H _x ^k	C _v _x	F _x (kN)
2	15.297,776	13	267.443,5	0,7773	2.019,50
1	12.722,976	5	76.610,76	0,2227	578,50
Total	28.020,75		344.054,3		

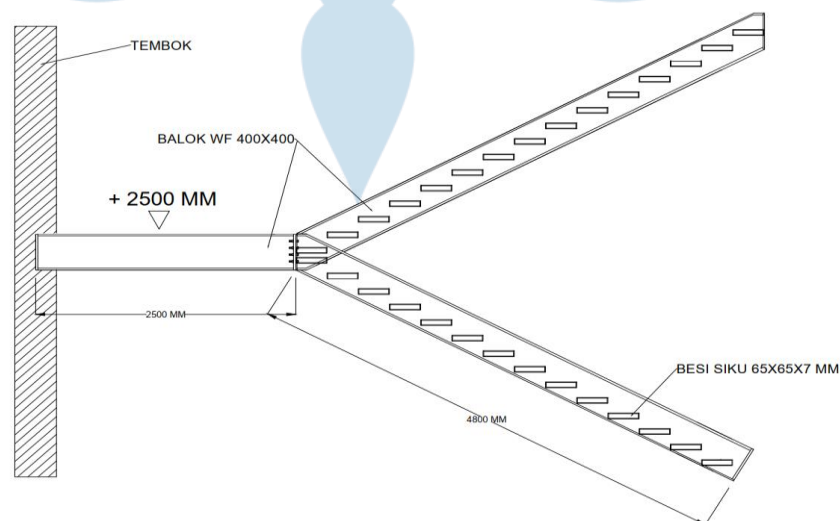
$$\begin{aligned}K &= 0,5 T + 0,75 \\ &= 0,5 \times 0,731 + 0,75 \\ &= 1,1155\end{aligned}$$

2.7 Perencanaan Tangga Baja

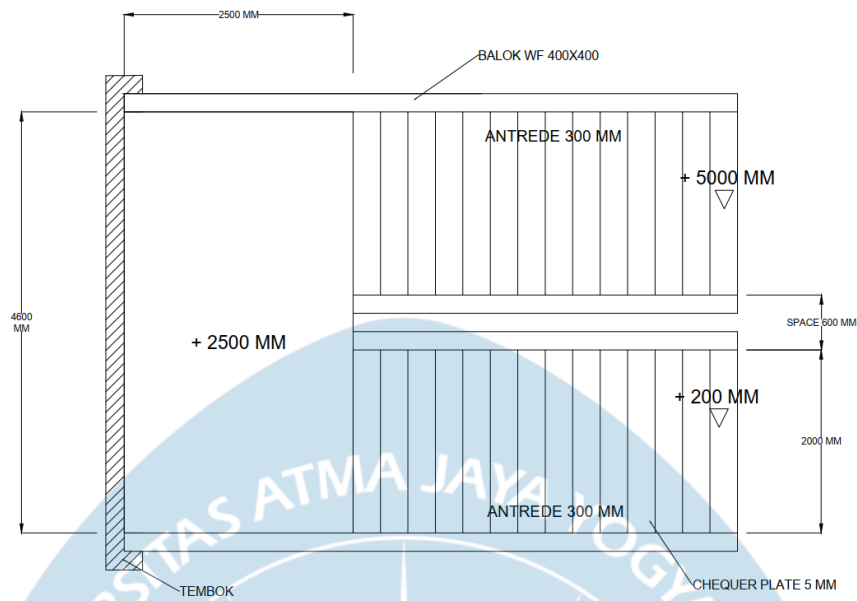
Pada perencanaan tangga ditempatkan pada tiga area yaitu barat, tengah dan timur. Ketiga penempatan tangga ini memiliki jenis tangga yang sama yaitu tangga berbentuk U, namun memiliki ukuran material yang berbeda- beda.

2.7.1 Perencanaan tangga timur dan barat

Tangga timur dan barat memiliki jenis dan ukuran yang sama sehingga perhitungannya sama. Namun yang membedakan adalah tangga barat bordes menumpu pada dinding, sedangkan tangga timur bordes ditopang oleh 4 kolom.



Gambar 2. 7 Tangga barat tampak samping



Gambar 2. 8 Tangga barat tampak atas

Berikut ukuran dan dimensi komponen dari tangga barat dan timur :

Tinggi lantai	: 5 m
Lebar tangga	: 2 m
Panjang tangga	: 4,8 m
Tinggi tangga	: 2,5 m
Jumlah tanjakan	: 15
Jumlah pijakan	: 14
Plat tangga (<i>chequer</i>)	: 5 mm
Panjang bordes	: 2,5 m
Lebar bordes	: 4,6 m
Plat bordes	: 5 mm
<i>Antrede</i>	: 300 mm
<i>Optrede</i>	: 167,7 mm
Lebar anak tangga	: 2 m
Sudut kemiringan tangga	: 30,76
Berat jenis baja	: 78,5 Kn/m ³
Tegangan ijin baja	: 1400 kg/cm

1. Pijakan

Pijakan atau anak tangga berfungsi sebagai bertumpunya telapak kaki manusia (beban hidup), dibuat dengan ukuran panjang, lebar, *antrede* dan *optrede* yang sama. Untuk mengukur kekuatan pijakan ada dua komponen yang harus dirancang yaitu plat besi pijakan dan balok pijakan.

A. Plat Besi Pijakan

Plat besi pijakan berfungsi sebagai alas pijakan telapak kaki dan dipasang diatas balok pijakan. Plat besi pijakan pada tangga baja ini menggunakan chekered plate dengan tebal 5 mm.

Langkah pertama mengukur kekuatan plat besi pijakan adalah, menghitung beban Total (beban hidup dan beban mati) untuk menentukan nilai momen.

a. Beban Mati

$$\begin{aligned} QDL &= T_{pp} \times L \times \gamma_{\text{baja}} \\ &= 0,005 \times 2 \times 7850 \\ &= 78,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Beban Hidup

$$\begin{aligned} QLL &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ &= q \times L \\ &= 250 \times 2 \\ &= 500 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= QDL + QLL \\ &= 78,5 + 500 \\ &= 578,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Lalu setelah beban total dihitung, Langkah selanjutnya adalah menghitung momen y dan momen kelembaman y untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times Q_{\text{total}} \times L^2 \\ &= 0,13 \times 578,5 \times ((Antrede \times 100)/(jml \text{ balok} - 1)^2) \\ &= 0,13 \times 578,5 \times ((30 \times 100)/(2 - 1))^2 \\ &= 6,51 \text{ kgm} \\ &= 650,81 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_y &= 1/6 \times L \times t^2 \\ &= 0,17 \times 30 \times 0,25 = 1,25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

d. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin baja berarti aman

$$\begin{aligned}\sigma_y &= 1,5 M_y / W_y \\ &= 976,22 / 1,25 \\ &= \mathbf{781 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1400 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

e. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned}\text{L. ijin} &= L / 360 \\ &= 30 / 360 \\ &= 0,083 \text{ cm} \\ \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 5,79 \times 8,10E+5) / (384 \times 2,1E+6) \\ &= 0,01 \text{ cm} \\ \text{Cek} &= \mathbf{0,01 \text{ cm}} < \mathbf{0,083 \text{ cm}} \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

Dapat disimpulkan plate besi pijakan dengan ketebalan 5 mm aman untuk tangga baja timur dan barat.

B. Balok pijakan

Balok pijakan berfungsi sebagai penopang plat besi pijakan dan disambung ke balok utama dengan cara las. Jenis besi yang dipakai adalah profil siku L. Setiap pijakan terdapat dua besi siku yang dipasang.

Langkah pertama mengukur kekuatan balok pijakan adalah menghitung beban total (beban hidup dan beban mati) untuk menentukan nilai momen.

a. Beban mati

$$\begin{aligned}\text{Beban mati} &= T_{pb} \times L \times \gamma_{\text{baja}} \\ &= 0,005 \times 0,15 \times 7.850 \\ &= 5,89 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Profil} &= \text{beban mati} \times 10\% \\ &= 5,89 \times 10\% \\ &= 0,59 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Penyambung} &= (\text{beban mati} + \text{Berat profil}) \times 10\% \\ &= 6,5 \times 10\% \\ &= 0,65 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{QDL} &= \text{beban mati} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\
 &= 5,89 + 0,59 + 0,65 \\
 &= 7,12 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned}
 \text{QLL} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\
 &= q \times L \\
 &= 250 \times 0,15 \\
 &= 37,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{QTOT} &= \text{QDL} + \text{QLL} \\
 &= 7,12 + 37,5 \\
 &= 44,62 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Lalu setelah beban total dihitung, Langkah selanjutnya adalah menghitung momen x dan momen kelembaman x untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

Menghitung Momen x untuk menentukan nilai tegangan

$$\begin{aligned}
 \text{Mx} &= 1/8 \times \text{QTOT} \times L^2 \\
 &= 0,13 \times 44,62 \times 4 \\
 &= 22,31 \text{ kgm} \\
 &= 2.231,19 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kelembaman x untuk menentukan nilai tegangan

$$\begin{aligned}
 \text{Wx} &= (1,5\text{Mx} / \text{T.Ijin}) \\
 &= (3346,79/1400) \\
 &= 2,39 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis dan ukuran profil balok pijakan.

d. Dari tabel baja didapat :

Tabel 2. 35 Baja seri metrik besi siku L (sama kaki) 65 x 65 x 7 x 7 cm

Profil Kanal	h (mm)	b (mm)	D (mm)	ts (mm)	kg/m	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	ix (cm)	iy (cm)	Wx (cm ⁴)
L (sama kaki)	65	65	7	7	6,83	33,4	33,4	1,96	1,96	2,18

Besi Siku = 65 x 65 x 7 mm

$$\text{Wx} = 7,18 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat} = 6,83 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 33,4 \text{ cm}^4$$

$$\text{Jlm. Balok} = 2 \text{ set}$$

Setelah menentukan jenis dan ukuran besi, perlu mengoreksi beban mati untuk menentukan nilai momen yang baru.

e. Koreksi beban total

$$\text{Beban Mati} = 5,89 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Profil} = 6,83 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Penyambung} = (\text{beban mati} + \text{berat profil}) \times 10\%$$

$$= (5,89 + 6,83) \times 10\%$$

$$= 1,27 \text{ kg/m}$$

$$\text{QDL koreksi} = 13,99 \text{ kg/m}$$

$$Q_{TOT} = Q_{LL} + Q_{DL} \text{ koreksi}$$

$$= 37,5 + 13,99$$

$$= 51,49 \text{ kg/m}$$

Setelah mengoreksi beban mati perlu menghitung momen x untuk menentukan nilai tegangan yang baru

f. Momen

$$M_x = 1/8 \times Q_{TOT} \times L^2$$

$$= 0,13 \times 51,49 \times 4$$

$$= 25,74 \text{ kgm}$$

$$= 2.574,46 \text{ kgcm}$$

g. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\sigma_x = (1,5 M_x / W_x)$$

$$= (3861,69 / 7,18)$$

$$= \mathbf{538 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.400 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)}$$

h. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$L. \text{ ijin} = (L / 369)$$

$$= (200 / 360)$$

$$= 0,556 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 0,51 \times (1,6 \times 10^9)) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 33,4) \\ &= 0,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = \mathbf{0,15 \text{ cm}} < \mathbf{0,556 \text{ cm}} \quad (\mathbf{Aman})$$

Dapat disimpulkan bahwa besi siku L 65 x 65 x 7 x 7 cm aman untuk balok pijakan tangga timur dan barat.

2. Bordes

Bordes adalah bagian tengah tangga yang berfungsi sebagai pijakan kaki dan memiliki ukuran yang lebih luas dari plat besi pijakan. Untuk mengukur kekuatan bordes, ada dua komponen yang harus dirancang yaitu plat besi bordes dan balok pijakan bordes.

A. Plat besi bordes

Plat besi bordes berfungsi sebagai alas pijakan telapak kaki dan dipasang diatas balok bordes. Plat besi bordes pada tangga baja ini menggunakan chekered plate dengan tebal 8 mm.

Langkah pertama mengukur kekuatan plat besi bordes adalah, menghitung beban total (beban hidup dan beban mati) untuk menentukan nilai momen.

a. Beban mati

$$\begin{aligned} \text{QDL} &= T_{pb} \times L \times \gamma_{\text{baja}} \\ &= 0,005 \times 4,60 \times 7.850 \\ &= 180,55 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{QLL} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ &= q \times L \\ &= 250 \times 4 \\ &= 1.000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Q total} &= \text{QDL} + \text{QLL} \\ &= 180,55 + 1.000 \\ &= 1.180,55 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Lalu setelah beban total dihitung, Langkah selanjutnya adalah menghitung momen y dan momen kelembaman y untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times Q \text{ total} \times L^2 \\ &= 0,13 \times 1.180,55 \times 0,39 \\ &= 57,64 \text{ kgm} \\ &= 5.764,40 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_y &= 1/6 \times L \times t^2 \\ &= 0,17 \times 62,50 \times 0,64 \\ &= 6,67 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

d. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned} \sigma_y &= (1,5M_y / W_y) \\ &= (8646,61 / 6,67) \\ &= \mathbf{1.297 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.400 \text{ kg/cm}^2} \quad \text{(Aman)} \end{aligned}$$

e. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned} L. \text{ Ijin} &= (L / 360) \\ &= (62,5 / 360) \\ &= 0,174 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 11,81 \times (1,53 \times 10^7)) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 19,63) \\ &= 0,06 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = \mathbf{0,06 \text{ cm}} < \mathbf{0,174 \text{ cm}} \quad \text{(Aman)}$$

Dapat disimpulkan plate besi bordes dengan ketebalan 8 mm aman untuk tangga baja timur dan barat.

B. Balok bordes

Balok bordes berfungsi sebagai penopang plat besi pijakan dan disambung ke balok utama dengan cara las. Jenis besi yang dipakai adalah profil siku L. terdapat 5 besi siku yang dipasang pada bordes ini.

Langkah pertama mengukur kekuatan balok bordes adalah menghitung Beban Total (beban hidup dan beban mati) untuk menentukan nilai momen.

a. Beban Mati

$$\begin{aligned}\text{Beban mati} &= T_{pb} \times L \times \gamma_{\text{baja}} \\ &= 0,008 \times 0,63 \times 7.850 \\ &= 39,25 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Profil} &= \text{beban mati} \times 10\% \\ &= 39,25 \times 10\% \\ &= 3,93 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Penyambung} &= (\text{beban mati} + \text{berat profil}) \times 10\% \\ &= (39,25 + 3,93) \times 10\% \\ &= 4,32 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{QDL} &= \text{beban mati} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\ &= 39,25 + 3,93 + 4,31 \\ &= 47,49 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned}\text{QLL} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ &= q \times L \\ &= 250 \times 0,63 \\ &= 156,25 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{QTOT} = 203,74 \text{ kg/m}$$

Lalu setelah beban total dihitung, Langkah selanjutnya adalah menghitung momen x dan momen kelembaman x untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

$$\begin{aligned}\text{M}_x &= 1/8 \times \text{QTOT} \times L^2 \\ &= 0,13 \times 203,74 \times 21,16 \\ &= 538,90 \text{ kgm} \\ &= 53.889,89 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{W}_x &= (1,5\text{M}_x / \text{T.ijin}) \\ &= (80.834,84 / 1.400) \\ &= 57,74 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis dan ukuran profil balok bordes.

d. Dari tabel baja didapat :

Tabel 2. 36 Baja seri metrik L (sama kaki) 140 x 140 x 5 x 5 cm

Profil Kanal	h (mm)	b (mm)	d (mm)	ts (mm)	kg/m	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	W _x (cm ³)
L (sama kaki)	140	140	15	15	31,4	723	723	4,25	4,25	72,3

Besi siku = 140 x 140 x 15 mm

W_x = 72,3 cm³

Berat = 31,4 kg/m

I_x = 723 cm⁴

Jlm. Balok = 5 set

Setelah menentukan jenis dan ukuran besi, perlu mengoreksi beban mati untuk menentukan nilai momen yang baru

e. Koreksi beban mati

Beban Mati = 39,25 kg/m

Berat Profil = 31,4 kg/m

Berat Penyambung = (beban mati+berat profil) x 10%
 = (39,25+31,4) x 10%
 = 7,07 kg/m

QDL = 77,72 kg/m

QTOT = 233,97 kg/m

Menghitung momen maksimum, untuk mengukur tegangan dan lendutan

f. Momen

My = 1/8 x QTOT x L²
 = 0,13 x 233,97 x 21,16
 = 618,84 kgm
 = 61.883,74 kgcm

g. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

σ_x = (1,5M_x / W_x)
 = (92825,61 / 72,3)
 = 1.284 kg/cm² < 1.400 kg/cm² (Aman)

h. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned} L.ijin &= (L / 360) \\ &= (460 / 360) \\ &= 1,278 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 2,34 \times (4,48 \times 10^{10})) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 723) \\ &= 0,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 0,9 \text{ cm} < 1,278 \text{ cm} \quad (\text{Aman})$$

Dapat disimpulkan bahwa besi siku L 140 x 140 x 15 x 15 cm aman untuk balok pijakan tangga timur dan barat.

3. Balok tangga

Menghitung Beban Total (beban tanjakan, pijakan dan beban bordes) untuk menentukan Resultan gaya.

A. Beban Mati

Bordes

$$\begin{aligned} \text{Berat Plat} &= T_{pb} \times L \times \gamma_{\text{baja}} \\ &= 0,005 \times 2 \times 7.850 \\ &= 78,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok} &= J_{ml} \times L \times \text{Berat} \times 1/L \\ &= 5 \times 2 \times 31,4 \times 0,4 \\ &= 125,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Profil} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok}) \times 10\% \\ &= (78,5 + 125,6) \times 10\% \\ &= 20,41 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Penyambung} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok} + \text{berat profil}) \times 10\% \\ &= (78,5 + \text{berat balok} + \text{berat profil}) \times 10\% \\ &= 22,45 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{QDL BORDES} &= \text{berat plat} + \text{berat balok} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\ &= 78,5 + 125,6 + 20,41 + 22,45 \\ &= 246,96 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Tanjakan dan pijakan

$$\begin{aligned}\text{Berat Plat} &= T_{pb} \times L \times \gamma_{\text{baja}} \times 1/L \\ &= 0,005 \times 6,7 \times 7.850 \times 0,24 \\ &= 62,61 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Balok} &= J_{ml} \times L \times \text{Berat} \times 1/L \\ &= 28 \times 1 \times 6,83 \times 0,24 \\ &= 45,53 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Profil} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok}) \times 10\% \\ &= (62,61 + 45,53) \times 10\% \\ &= 10,81 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Penyambung} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok} + \text{berat profil}) \\ &= 62,61 + 45,53 + 10,81 \\ &= 11,90 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{QDL TDP} = 130,86 \text{ kg/m}$$

B. Beban hidup

Bordes

$$\begin{aligned}\text{QLL} &= q \times L \\ &= 250 \times 2 \\ &= 500 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

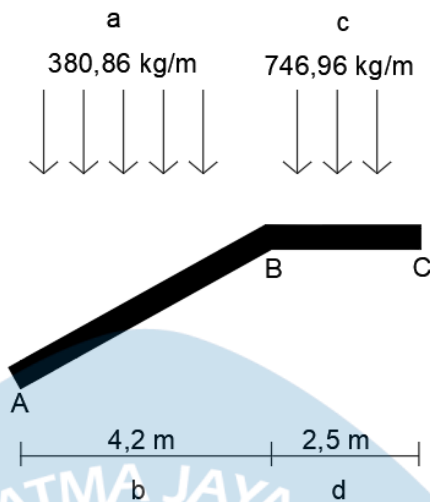
Tanjakan dan pijakan

$$\begin{aligned}\text{QLL} &= q \times L \\ &= 250 \times 1 \\ &= 250 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

C. Beban total bordes, tanjakan dan pijakan

$$\begin{aligned}\text{Beban total bordes} &= \text{QDL bordes} + \text{QLL bordes} \\ &= 246,96 + 500 \\ &= 746,96 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban total TDP} &= \text{QDL TDP} + \text{QLL bordes} \\ &= 130,86 + 250 = 380,86 \text{ kg/m}\end{aligned}$$



Gambar 2. 9 Beban total tangga timur dan barat

Lalu menghitung nilai resultan gaya untuk mengukur kekuatan struktur tangga

D. Resultan gaya

$$\begin{aligned} \Sigma m_a &= 0 \\ &= (a \times c \times (c/2) + b \times d \times (b/2) + c) / (c+d) \\ &= (13.536,5 / 6,7) \end{aligned}$$

$$R_{cv} = 2.020,37 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \Sigma m_c &= 0 \\ &= ((a \times c \times (c/2)) + d + (b \times d \times (d/2))) / (c+d) \\ &= (9.692,41 / 6,7) \end{aligned}$$

$$R_{av} = 1.446,63 \text{ kg}$$

E. Cek hitungan

Jika nilai resultan gaya sama dengan beban total berarti aman

$$\begin{aligned} R_{cv} + R_{av} &= \text{Beban Total} \\ \mathbf{3467 \text{ kg}} &= \mathbf{3467 \text{ kg}} \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

Jika hasil dari momen maksimum dibagi dengan W_x hasilnya kurang dari 1.400 (tegangan ijin baja) balok tangga berarti aman.

F. Momen maksimum

$$\begin{aligned} \text{Terjadi Pada } A &= 0 \\ &= R_{av} - a \cdot x \end{aligned}$$

$$x = (R_{av} / a)$$

$$= (1.446,63 / 380,86)$$

$$x = 3,80 \text{ m}$$

$$MA \text{ max} = R_{av}.x - a.x.1/2x$$

$$= 5.494,80 - 2.747,40$$

$$= 2.747,40 \text{ kgm}$$

$$MB = R_{av}.c - a.c.1/2c$$

$$= 6.075,84 - 3.359,16$$

$$= 2.716,68 \text{ kgm}$$

Terjadi Pada C = 0

$$= R_{cv} - b.x$$

$$x = (R_{cv} / b)$$

$$= (2.020,37 / 746,96)$$

$$x = 2,70 \text{ m}$$

$$MC \text{ max} = R_{cv}.x - b.x.1/2x$$

$$= 2.020,37 - 2.732,34$$

$$= -711,97 \text{ kgm}$$

$$MB = R_{cv}.d - a.d.1/2d$$

$$= 5.050,93 - 2.334,25$$

$$= 2.716,68 \text{ kgm}$$

Momen maksimumnya adalah 2.747,4 kgm atau 272.740 kg cm

$$W_x \text{ Perlu} = (1,5M_{\text{max}} / T. \text{ ijin})$$

$$= ((4,12 \times 10^5) / 1.400)$$

$$= 294,36 \text{ cm}^3$$

$$\text{Hasil dari momen max dibagi } W_x = 272.749 / 294,36$$

$$= 933,35$$

Hasil momen dibagi W_x yaitu 933,35 kg/cm² kurang dari tegangan ijin baja 1400 kg/cm², dan dapat disimpulkan bahwa balok tangga aman.

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis dan ukuran profil balok tangga.

G. Dari tabel baja didapat:

Tabel 2. 37 Baja seri metrik profil WF 400 x 400 x 13 x 21mm

Profil Kanal	h (mm)	b (mm)	d (mm)	ts (mm)	kg/ m	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	ix (cm)	iy (cm)	Wx (cm ³)
L (sama kaki)	400	400	13	21	172	6.660	22.400	17,5	10,1	3.330

$$WF = 400 \times 400 \times 13$$

$$W_x = 3.330 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat} = 172 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 66.600 \text{ cm}^4$$

Setelah menentukan jenis dan ukuran profil balok tangga, lalu selanjutnya mengoreksi beban total untuk menghitung pembebanan pada tangga.

H. Koreksi Beban total

Beban total bordes Bordes = QDL bordes - berat penyambung - berat profil + berat profil table + (QDL bordes - berat penyambung - berat profil + berat profil table) x 10%) + beban hidup bordes

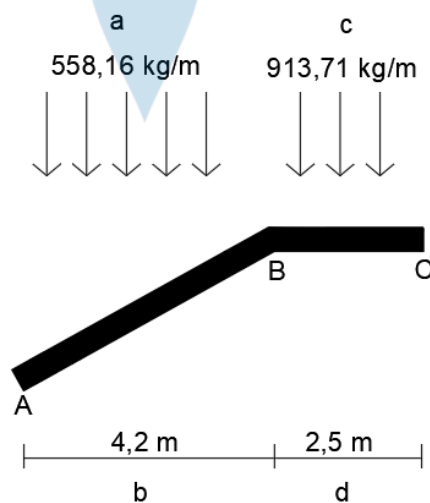
$$= 249,96 - 22,46 - 20,41 + 172 + ((249,96 - 22,46 - 20,41 + 172) \times 0,1) + 500$$

$$= 913,71 \text{ kg/m}$$

Beban total TDP = QDL TDP - berat penyambung - berat profil + berat profil table + (QDL bordes - berat penyambung - berat profil + berat profil table) x 10%) + beban hidup TDP

$$= 130,86 - 11,9 - 10,81 + 172 + ((130,86 - 11,9 - 10,81 + 172) \times 0,1) + 250$$

$$= 558,16 \text{ kg/m}$$



Gambar 2. 10 Koreksi beban total tangga timur dan barat

Lalu menghitung nilai resultan gaya untuk mengukur kekuatan struktur tangga

I. Resultan gaya

$$\begin{aligned}\Sigma m_a &= 0 \\ &= (a \times c \times (c/2) + (b \times d \times (b/2) + c) / (c+d) \\ &= (17.372,28 / 6,70)\end{aligned}$$

$$R_{cv} = 2.592,88 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\Sigma m_c &= 0 \\ &= (a \times c \times c/2 + d + b \times d \times d/2) / (c+d) \\ &= (13.639,02 / 6,70)\end{aligned}$$

$$R_{av} = 2.035,67 \text{ kg}$$

J. Cek Hitungan

jika nilai resultan gaya sama dengan beban total berarti aman

$$\begin{aligned}R_{cv} + R_{av} &= \text{Beban Total} \\ \mathbf{4.628,55} &= \mathbf{4.628,55 \text{ kg (Aman)}}\end{aligned}$$

menghitung momen maksimum, untuk mengukur tegangan dan lendutan.

K. Momen maksimum

Terjadi Pada A = 0

$$\begin{aligned}&= R_{av} - a \cdot x \\ x &= (R_{av} / a) \\ &= (2.035,67 / 558,16)\end{aligned}$$

$$x = 3,65 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}M_A \text{ max} &= R_{av} \cdot x - a \cdot x \cdot 1/2x \\ &= 7.424,32 - 3.712,16 \\ &= 3.712,16 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_B &= R_{av} \cdot c - a \cdot c \cdot 1/2c \\ &= 8.549,83 - 4.922,98 \\ &= 3.626,85 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Terjadi Pada C = 0

$$\begin{aligned}&= R_{cv} - b \cdot x \\ x &= (R_{cv} / b) \\ &= (2.592,88 / 913,71)\end{aligned}$$

$$x = 2,84 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} MC \text{ max} &= R_{cv} \cdot x - b \cdot x \cdot 1/2x \\ &= 2.592,88 - 3.678,96 \\ &= -1.086,09 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MB &= R_{cv} \cdot d - a \cdot d \cdot 1/2d \\ &= 6.482,19 - 2.855,34 \\ &= 3.626,85 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen maksimum nya adalah} = 3.712,16 \text{ kgm}$$

L. Cek Tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned} \sigma_x &= (1.5 M_x / W_x) \\ &= (556.824,29 / 3.330) \\ &= \mathbf{167 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1400 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

M. Cek Lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned} L. \text{ Ijin} &= (L / 360) \\ &= (738,77 / 360) = 2,052 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 98,62 \times (2,02 \times 10^{11})) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 6) \\ &= 1,85 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = \mathbf{1,85 \text{ cm}} < \mathbf{2,052 \text{ cm}} \text{ (Aman)}$$

Dapat disimpulkan, bahwa balok utama tangga menggunakan profil WF 400x400x13x21 aman

Kesimpulan hasil analisa penentuan jenis dan ukuran material:

Tebal *chequer plate* = 5 mm

Balok pijakan = Besi siku 65x65x7 mm

Jumlah balok pijakan = 2 set

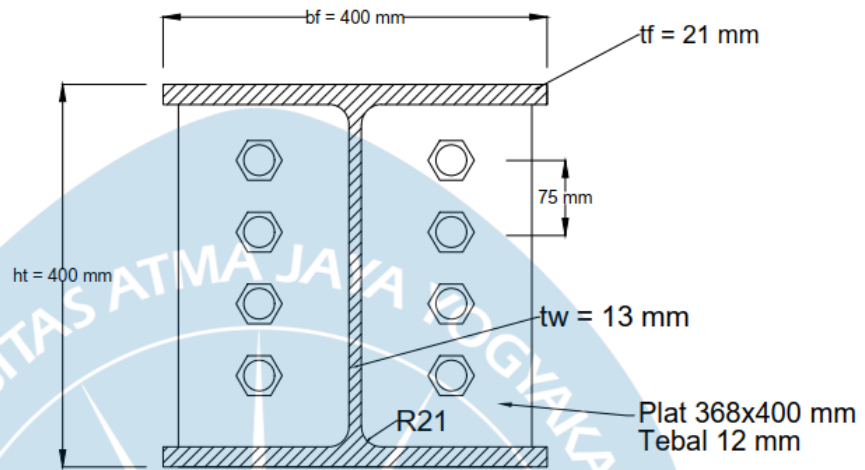
Balok bordes = Besi siku 140x140x15 mm

Jumlah balok bordes = 5 set

Balok utama = WF 400x400x13x21 mm

2.7.2 Sambungan Balok Utama Tangga Timur dan Barat

Sambungan berfungsi sebagai penyambung balok satu ke balok yang lain dengan kekuatan yang cukup



Gambar 2. 11 Detail sambungan balok utama tangga barat dan timur

Berikut dimensi dan ukuran komponen sambungan :

Tegangan ijin baja = 1.600 kg/cm²

P = 13.400,00 kg

Ukuran baut = 16,00 mm (DA) A baut = 2,01 cm²

Jumlah Baut = 7,19 ~ 8,00 set (JA) OK

Jarak antar baut = 7,5 cm

Plat Penyambung = 12 mm (

Profil kolom = WF 400 x 400 x 13 x 21 mm

Profil balok = WF 400 x 400 x 13 x 21 mm

Untuk mengukur kekuatan sambungan, ada tiga komponen yang harus dirancang yaitu baut, plat penyambungan dan sambungan las.

1. Cek jumlah dan kekuatan baut yang digunakan

Jika tegangan yang terjadi kurang dari tegangan ijin berarti aman

$$\tau \text{ ijin} = 0,58 \times \sigma \text{ ijin} = 928 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 N &= P / (A \text{ baut} \times \tau \text{ ijin}) \\
 &= 13.400 / (2,01 \times 928) \\
 &= 7,19
 \end{aligned}$$

$$JA = 8$$

$$\begin{aligned}
 \tau \text{ ijin} &= P / (A \text{ baut} \times JA) \\
 &= 13.400 / (2,01 \times 8) \\
 &= \mathbf{833,5 \text{ kg/cm}^2} \quad (\mathbf{Aman})
 \end{aligned}$$

$$M = P \times \text{Jarak } A$$

$$= 13.400 \times 10$$

$$= 134.000 \text{ kgcm}$$

$$T = (M \times B) / (JA / B^2)$$

$$= (1.005.000) / (450)$$

$$= 2.233 \text{ kgcm}$$

$$\sigma = T / (JA \times A \text{ baut})$$

$$= 2.233 / (8,04)$$

$$= \mathbf{277,83 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{833,5 \text{ kg/cm}^2} \quad (\mathbf{Aman})$$

2. Cek plat penyambung

Jika tegangan yang terjadi kurang dari tegangan ijin baja berarti aman

$$S \text{ ijin yang terjadi} = P / (TB \times DA \times JA)$$

$$= 13.400 / (15,36)$$

$$= 872,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Cek} = \mathbf{872,4 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \quad (\mathbf{Aman})$$

$$\text{Lebar Profil yang digunakan} = 400 \text{ mm}$$

3. Cek sambungan las

Jika tegangan yang terjadi kurang dari tegangan ijin baja berarti aman

$$A \text{ las} = 1.600 \text{ mm}$$

$$\sigma = P / A \text{ las}$$

$$= 13.400 / 56,56$$

$$= \mathbf{236,92 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \quad (\mathbf{Aman})$$

Keterangan :

P = tegangan yang terjadi

σ ijin = tegangan ijin baja

N = Jumlah baut

JA = Jumlah baut (dibulatkan)

DA = Diameter baut

A baut = alas baut

B = jarak baut vertikal

TB = Tebal plat penyambung

τ ijin = tegangan ijin

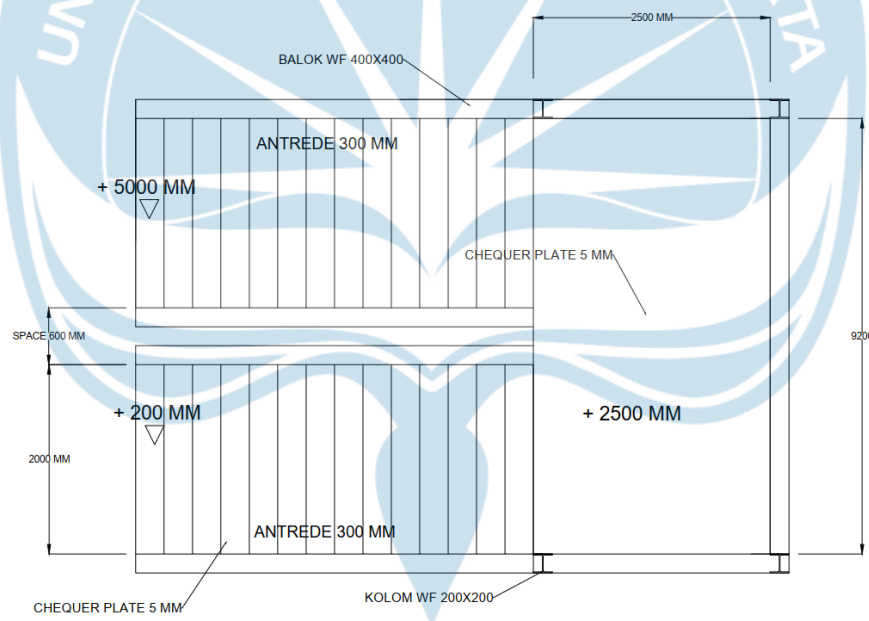
M = momen

T = tegangan akibat momen

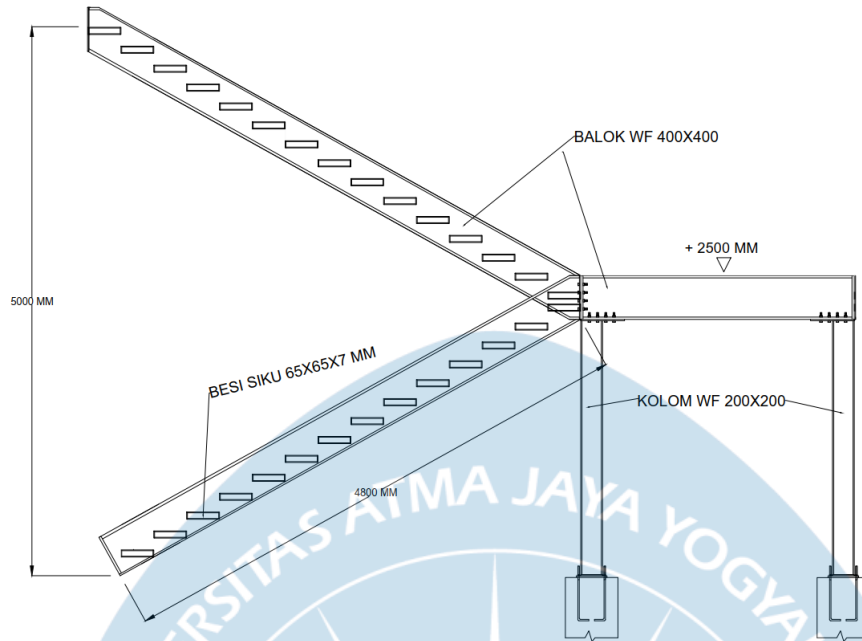
Σ = tegangan yang terjadi

2.7.3 Perancangan kolom penopang tangga timur

Pada perancangan tangga timur diperlukan kolom untuk menopang bordes, karena bordes tidak menumpu pada dinding.



Gambar 2. 12 Tangga timur tampak atas



Gambar 2. 13 Tangga timur tampak samping

Berikut dimensi dan ukuran komponen dari kolom :

- T Kolom = 2,50 m (Tinggi Kolom)
- $L_n = 11,50 \text{ m}^2$ (Luas area Pembebanan)
- N = 1 (jumlah bordes di atas kolom)
- Tegangan Ijin Baja = 1.600,00 kg/cm²
- QDL = 1200 x 1,5 x 11,5 x 1 = 20700 kg

1. Rencana Profil yang digunakan

$$W_x = (P / T, \text{ijin})$$

$$= (20.700 / 1.600)$$

$$= 12,9375 \text{ cm}^3$$

2. Didapat dari tabel:

Tabel 2. 38 Baja seri metrik profil WF 200 x 200 x 8 x 12 cm

Profil Kanal	h (mm)	b (mm)	d (mm)	ts (mm)	kg/m	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	W _x (cm ⁴)
L (sama kaki)	200	200	8	12	49,9	4720	1600	8,62	5,02	472

WF = 200 x 200 x 8 x 12 mm

W_x = 472 cm³

W_y = 160 cm³

$$\text{Berat} = 56,80 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 4720 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 5,02 \text{ cm}$$

3. Cek Tegangan

Jika tegangan Y yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin baja berarti aman

$$\begin{aligned} \text{Teg X} &= (QDL / W_x) \\ &= (20.700 / 472) \\ &= 43,86 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Teg Y} &= (QDL / W_y) \\ &= (20.700 / 160) \\ &= 129,38 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 129,38 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

4. Cek Rasio Kelangsingan Profil

Jika rasio kelangsungan lebih kecil dari 200 cm berarti aman

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= (L / r) \\ &= ((25 \times 100) / 5,02) \\ &= 49,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 49,8 \text{ cm} < 200 \text{ cm} \text{ (Aman)}$$

5. Cek Lendutan

Jika lendutan lebih kecil dari lendutan ijinnya berarti aman

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= 8280 \text{ kg/m} \\ &= 82,8 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

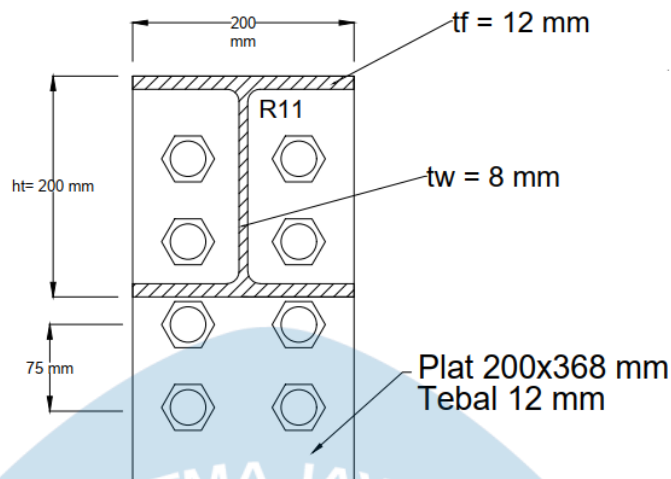
$$\begin{aligned} f &= (5 / 384) \times ((3,23 \times 10^{11}) / (9,91 \times 10^9)) \\ &= 0,42 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{ijin}} &= (1/300) \times 250 \\ &= 0,83 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 0,42 < 0,83 \text{ cm} \text{ (Aman)}$$

2.7.4 Sambungan kolom dan balok utama tangga timur

Perancangan sambungan kolom dan balok berfungsi agar kolom dan balok tidak lepas, perancangan sambungan juga memiliki fungsi agar sambungan memiliki kekuatan yang cukup untuk menyambungkan kolom dan balok.



Gambar 2. 14 Detail sambungan kolom dan balok utama tangga timur

Berikut dimensi dan ukuran komponen :

Tegangan ijin baja	= 1.600 kg/cm ²
P	= 13.400,00 kg
Ukuran baut	= 16 mm (DA)
A baut	= 2,01 cm ²
Jumlah baut	= 8
Plat penyambung	= 12 mm (TB)
Profil kolom	= WF 200 x 200 x 8 x 12 mm
Profil balok	= WF 400 x 400 x 13 x 21 mm

Untuk mengukur kekuatan sambungan, ada tiga komponen yang harus dirancang yaitu baut, plat penyambungan dan sambungan las.

1. Cek jumlah dan kekuatan baut yang digunakan

$$\tau \text{ ijin} = 0,58 \times \sigma \text{ ijin} = 928 \text{ kg/cm}^2$$

$$N = P / (A \text{ baut} \times \tau \text{ ijin})$$

$$= 13.400 / (2,01 \times 928) = 7,19$$

$$JA = 8$$

$$\tau \text{ ijin} = P / (A \text{ baut} \times N)$$

$$= 13.400 / (2,01 \times 8)$$

$$= \mathbf{833,5 \text{ kg/cm}^2} \quad (\mathbf{Aman})$$

$$M = P \times \text{Jarak } A$$

$$= 13.400 \times 10$$

$$= 13.4000 \text{ kgcm}$$

$$\begin{aligned}
T &= (M \times B) / (JA / B^2) \\
&= (1.005.000) / (450) \\
&= 2.233,33 \\
\sigma &= T / (JA \times A \text{ baut}) \\
&= 2.233,33 / (8,04) \\
&= \mathbf{227,83 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{833,5 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)}
\end{aligned}$$

2. Cek plat penyambung

Jika tegangan yang terjadi kurang dari tegangan ijin baja berarti aman

S ijin yang terjadi = $P / (TB \times DA \times JA)$

$$= 13.400 / (15,36)$$

$$= 872,4 \text{ kg/cm}^2$$

Cek = $\mathbf{1.600} < \mathbf{872,4 \text{ kg/cm}^2}$ (Aman)

Lebar Profil yang digunakan = 200 mm

3. Cek sambungan las

A las = 1.600 mm

$$\sigma = P / A \text{ las}$$

$$= 13.400 / 56,56$$

$$= \mathbf{236,92 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)}$$

Keterangan :

P = tegangan yang terjadi

B = jarak baut vertikal

σ ijin = tegangan ijin baja

TB = Tebal plat penyambung

N = Jumlah baut

τ ijin = tegangan ijin

JA = Jumlah baut (dibulatkan)

M = momen

DA = Diameter baut

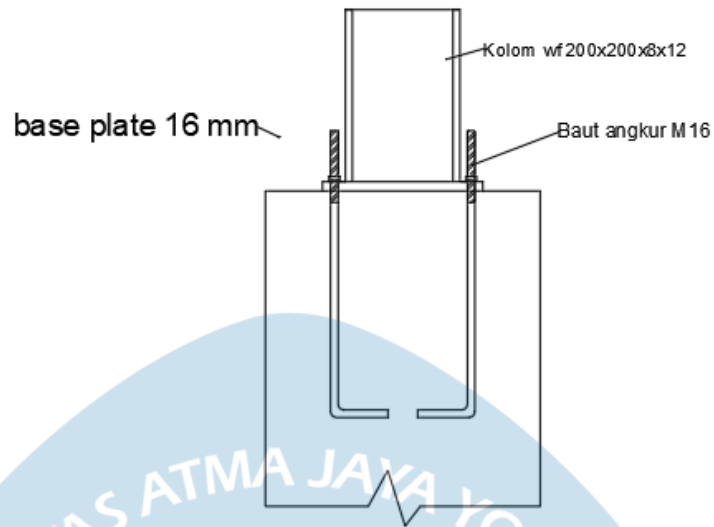
T = tegangan akibat momen

A baut = alas baut

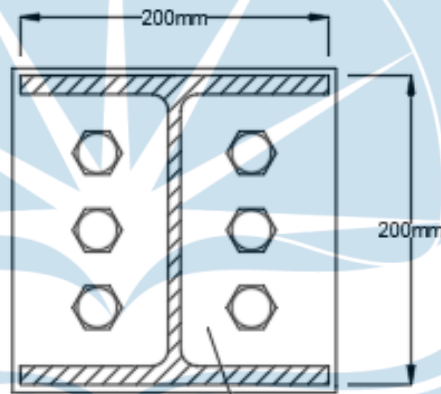
σ = tegangan yang terjadi

2.7.5 Analisa Base Plate dan Angkur kolom tangga timur

Angkur kolom tangga berfungsi sebagai penguat tumpuan kolom. Dan dipasang di setiap kolomnya.



Gambar 2. 15 Pemasangan Angkur dan base plate pada kolom tangga timur



jarak antar baut (horizontal) = 100mm
 Jarak antar baut (Vertikal) = 50 mm

Gambar 2. 16 Detail base plate kolom tangga timur

Berikut ukuran dan jenis komponen pada ankur kolom :

Kolom = WF 200 x200 x 8 x 12

Keliling profil kolom = 800 mm

Tegangan ijin baja = 1.600 kg/cm²

Mutu beton f'c = 275 kg/cm² (22,825 Mpa)

P = 7.934,02 x 1,5 = 11.901,03 kg

Ukuran ankur = 13 mm (DA) A ankur = 1,33 cm²

Jumlah ankur = 4 set (JA)

Panjang angkur = 50 cm (L)

Tebal base plate = 16 mm (TB)

Untuk merancang angkur, ada empat komponen yang harus diukur kekuatannya yaitu beton, plat penyambung, angkur dan sambungan las.

1. Cek kekuatan beton

Jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin berarti aman

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{ijin}} &= 0,33 \times f'c \\ &= 0,33 \times 275 \\ &= 90,75 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= P / (DA \times L \times JA) \\ &= 11.901,03 / (260) \\ &= 45,77 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 45,77 \text{ kg/cm}^2 < 90,75 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

2. Cek kekuatan base plate

Jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin baja berarti aman

$$\begin{aligned}\sigma &= P / (TB \times DA \times JA) \\ &= 11.901,03 / (8,32) \\ &= 1.430,41 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 1.430,41 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

3. Cek kekuatan angkur

Jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin baja berarti aman

$$\begin{aligned}M &= P \times A \\ &= 11.901,03 \times 3,5 \\ &= 41.653,61 \text{ kgcm} \\ T &= (M \times C) / (JA \times C^2) \\ &= 277.690,7 / 88,89 \\ &= 3124,02\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= T / (JA \times A \text{ angkur}) \\ &= 3.124,02 / (2,65) \\ &= 1.177,41 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 1.177,41 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

4. Cek Sambungan Las

Jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin baja berarti aman

$$\sigma = P / A \text{ las}$$

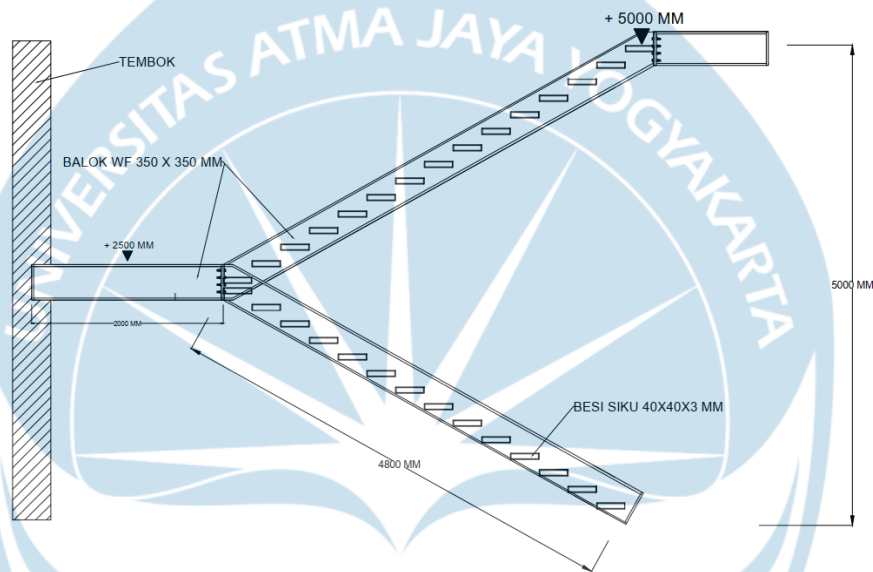
$$= 11.901 / 28,28$$

$$= 420,83 \text{ kg/cm}^2$$

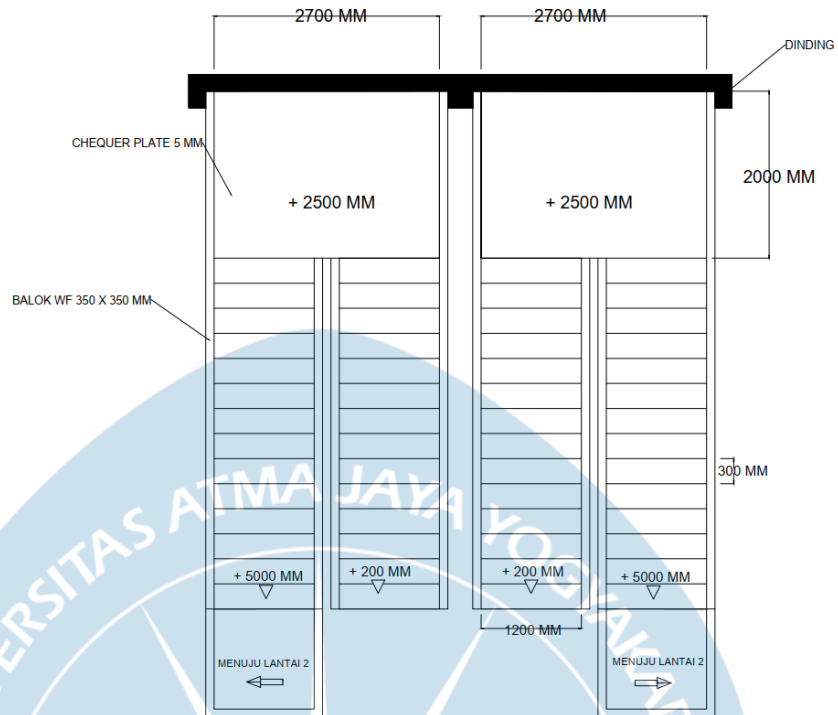
$$\text{Cek} = 420,83 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

2.7.6 Perancangan tangga tengah

Tangga tengah yang direncanakan berbentuk U, bordesnya menumpu pada dinding, dan berjumlah 2 tangga.



Gambar 2. 17 Tangga tengah tampak samping



Gambar 2. 18 tangga tengah tampak atas

Berikut dimensi dan ukuran komponen dari tangga tengah :

Tinggi lantai	: 5 m
Lebar tangga	: 1.2 m
Panjang tangga	: 4,8 m
Tinggi tangga	: 2,5 m
Jumlah tanjakan	: 15
Jumlah pijakan	: 14
Plat tangga (<i>chequer</i>)	: 5 mm
Panjang bordes	: 2,7 m
Lebar bordes	: 2 m
Plat Bordes	: 5 mm
Antrede	: 300 mm
Optrede	: 167,7 mm
Lebar anak tangga	: 2 m
Sudut kemiringan tangga	: 30,76
Berat Jenis baja	: 78,5 Kn/m ³
Tegangan ijin baja	: 1.600 kg/cm ²

1. Pijakan

Pijakan atau anak tangga berfungsi sebagai bertumpunya telapak kaki manusia (beban hidup), dibuat dengan ukuran panjang, lebar, antrede dan optrede yang sama. Untuk mengukur kekuatan pijakan ada dua komponen yang harus dirancang yaitu plat besi pijakan dan balok pijakan.

A. Plat besi pijakan

Plat besi pijakan berfungsi sebagai alas pijakan telapak kaki dan dipasang diatas balok pijakan. Plat besi pijakan pada tangga baja ini menggunakan chekered plate dengan tebal 5 mm.

Langkah pertama mengukur kekuatan plat besi pijakan adalah, menghitung Beban Total (beban hidup dan beban mati) untuk menentukan nilai momen.

a. Beban mati

$$\begin{aligned} QDL &= T_{pp} \times L \times \gamma \text{ baja} \\ &= 0,005 \times 1,2 \times 7.850 \\ &= 47,1 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned} QLL &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ &= q \times L \\ &= 250 \times 1,2 \\ &= 300 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= QDL + QLL \\ &= 47,1 + 300 \\ &= 347,1 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Lalu setelah beban total dihitung, Langkah selanjutnya adalah menghitung momen y dan momen kelembaman y untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times Q_{total} \times L^2 \\ &= 0,13 \times 347,1 \times ((Antrede \times 100) / (\text{jml balok} - 1))^2 \\ &= 0,13 \times 347,1 \times ((30 \times 100) / (2 - 1))^2 \\ &= 3,9 \text{ kgm} \\ &= 390,49 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_y &= 1/6 \times L \times t^2 \\ &= 0,17 \times 30 \times 0,25 \\ &= 1,25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

d. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned}\sigma_y &= 1,5 M_y / W_y \\ &= 585,73 / 1,25 \\ &= \mathbf{469 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

e. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned}\text{L. ijin} &= L / 360 \\ &= 30 / 360 \\ &= 0,083 \text{ cm} \\ \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 3,47 \times (8,1 \times 10^5)) / (384 \times (2,1 \times 10^6)) \\ &= 0,01 \text{ cm} \\ \text{Cek} &= \mathbf{0,01 \text{ cm}} < \mathbf{0,083 \text{ cm}} \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

Dapat disimpulkan plat besi pijakan dengan ketebalan 5 mm aman untuk tangga tengah.

B. Balok pijakan

Balok pijakan berfungsi sebagai penopang plat besi pijakan dan disambung ke balok utama dengan cara las. Jenis besi yang dipakai adalah profil siku L. setiap pijakan terdapat dua besi siku yang dipasang.

a. Beban mati

$$\begin{aligned}\text{Beban mati} &= T_{pb} \times L \times \gamma_{\text{baja}} \\ &= 0,005 \times 0,15 \times 7.850 \\ &= 5,89 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Profil} &= \text{beban mati} \times 10\% \\ &= 5,89 \times 0,1 \\ &= 0,59 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Penyambung} &= (\text{beban mati} + \text{beban profil}) \times 10\% \\ &= (5,89 + 0,59) \times 0,1 \\ &= 0,65 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{QDL} &= \text{beban mati} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\ &= 5,89 + 0,59 + 0,65 \\ &= 7,12 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

b. Beban Hidup

$$Q_{LL} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$= q \times L$$

$$= 250 \times 0,15$$

$$= 37,5 \text{ kg/m}$$

$$Q_{TOT} = Q_{DL} + Q_{LL}$$

$$= 7,12 + 37,5$$

$$= 44,62 \text{ kg/m}$$

Lalu setelah beban total dihitung, Langkah selanjutnya adalah menghitung momen x dan momen kelembaman x untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

$$M_x = 1/8 \times Q_{TOT} \times L^2$$

$$= 0,13 \times 44,62 \times 1,44$$

$$= 8,03 \text{ kgm}$$

$$= 803,23 \text{ kgcm}$$

$$W_x = (1,5M_x / T.Ijin)$$

$$= (1204,84 / 1.600)$$

$$= 0,75 \text{ cm}^3$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis dan ukuran profil balok pijakan.

d. Dari tabel baja didapat:

Tabel 2. 39 Baja seri metrik profil siku 40 x 40 x 3 x 3 mm

Profil Kanal	h (mm)	b (mm)	d (mm)	ts (mm)	kg/ m	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	W _x (cm ⁴)
L (sama kaki)	40	40	3	3	1,83	3,53	3,53	1,23	1,23	1,21

Besi Siku = 40 x 40 x 3 x 3 mm

$$W_x = 1,21 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat} = 1,83 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 3,53 \text{ cm}^4$$

$$\text{Jlm. Balok} = 2 \text{ set}$$

Setelah menentukan jenis dan ukuran besi, perlu mengoreksi beban mati untuk menentukan nilai momen yang baru.

e. Koreksi beban mati

$$\text{Beban Mati} = 5,89 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Profil} = 1,83 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Penyambung} &= (\text{beban mati} + \text{berat profil}) \times 10\% \\ &= (5,89 + 1,83) \times 0,11 \\ &= 0,77 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{QDL koreksi} &= \text{beban mati} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\ &= 5,89 + 1,83 + 0,77 \\ &= 8,49 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Qtotal} &= \text{QLL} + \text{QDL koreksi} \\ &= 37,5 + 8,49 \\ &= 45,99 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Setelah mengoreksi beban mati perlu menghitung momen x untuk menentukan nilai tegangan yang baru

f. Momen

$$\begin{aligned}\text{Mx} &= 1/8 \times \text{QTOT} \times L^2 \\ &= 0,13 \times 45,99 \times 1,44 \\ &= 8,28 \text{ kgm} = 827,81 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

g. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned}\sigma_x &= (1,5 \text{ Mx} / \text{Wx}) \\ &= (1.241,71 / 1,21) \\ &= \mathbf{1.026 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}}\end{aligned}$$

h. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned}\text{L. ijin} &= (L / 369) \\ &= (120 / 360) \\ &= 0,333 \text{ cm} \\ \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 0,51 \times (2,07 \times 10^8)) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 3,53) \\ &= 0,17 \text{ cm} \\ \text{Cek} &= \mathbf{0,17 \text{ cm}} < \mathbf{0,333 \text{ cm (Aman)}}\end{aligned}$$

Dapat disimpulkan bahwa besi siku L 40 x 40 x 3 x 3 cm aman untuk balok pijakan tangga timur dan barat.

2. Bordes

Bordes adalah bagian tengah tangga yang berfungsi sebagai pijakan kaki namun memiliki ukuran yang lebih luas. Untuk mengukur kekuatan bordes, ada dua komponen yang harus dirancang yaitu plat besi bordes dan balok pijakan bordes.

A. Plat besi bordes

Plat besi bordes berfungsi sebagai alas pijakan telapak kaki dan dipasang diatas balok bordes. Plat besi bordes pada tangga baja ini menggunakan chekered plate dengan tebal 8 mm.

Langkah pertama mengukur kekuatan plat besi bordes adalah, menghitung Beban Total (beban hidup dan beban mati) untuk menentukan nilai momen.

a. Beban mati

$$\begin{aligned} QDL &= T_{pb} \times L \times \gamma \text{ baja} \\ &= 0,005 \times 2,7 \times 7.850 \\ &= 105,98 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned} QLL &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ &= q \times L \\ &= 250 \times 2,4 \\ &= 600 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ total} &= QDL + QLL \\ &= 105,98 + 600 \\ &= 705,98 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Lalu setelah beban total dihitung, Langkah selanjutnya adalah menghitung momen y dan momen kelembaman y untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

Menghitung Momen y untuk menentukan nilai tegangan

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times Q \text{ total} \times L^2 \\ &= 0,13 \times 705,98 \times 0,25 \\ &= 22,06 \text{ kgm} \\ &= 2.206,17 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kelembaman y untuk menentukan nilai tegangan

$$\begin{aligned}W_y &= 1/6 \times L \times t^2 \\ &= 0,17 \times 50 \times 0,64 \\ &= 5,33 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

d. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned}\sigma_y &= (1,5M_y / W_y) \\ &= (3.309,26 / 5,33) \\ &= \mathbf{620 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \quad (\mathbf{Aman})\end{aligned}$$

e. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$\begin{aligned}\text{L. Ijin} &= (L / 360) \\ &= (50 / 360) \\ &= 0,139 \text{ cm} \\ \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 11,81 \times (1,53 \times 10^7)) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 19,63) \\ &= 0,06 \text{ cm} \\ \text{Cek} &= \mathbf{0,174} > \mathbf{0,06} \quad (\mathbf{Aman})\end{aligned}$$

Dapat disimpulkan plate besi bordes dengan ketebalan **8 mm** aman untuk tangga tengah.

B. Balok bordes

Balok bordes berfungsi sebagai penopang plat besi pijakan dan disambung ke balok utama dengan cara las. Jenis besi yang dipakai adalah profil siku L. terdapat 5 besi siku yang dipasang pada bordes ini.

Langkah pertama mengukur kekuatan balok bordes adalah menghitung beban total (beban hidup dan beban mati) untuk menentukan nilai momen.

a. Beban mati

$$\begin{aligned}\text{Beban mati} &= T_{pb} \times L \times \gamma \text{ baja} \\ &= 0,008 \times 0,5 \times 7.850 \\ &= 31,4 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Profil} &= \text{beban mati} \times 10\% \\ &= 31,4 \times 0,1 \\ &= 3,14 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Penyambung} &= (\text{beban mati} + \text{berat profil}) \times 10\% \\ &= (31,4 + 3,14) \times 0,1 \\ &= 3,45 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{QDL} &= \text{beban mati} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\ &= 31,4 + 3,14 + 3,45 \\ &= 37,99 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{QLL} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\ &= q \times L \\ &= 250 \times 0,5 \\ &= 125 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{QTOT} = 162,99 \text{ kg/m}$$

Lalu setelah beban total dihitung, langkah selanjutnya adalah menghitung momen x dan momen kelembaman x untuk menentukan nilai tegangan.

c. Momen

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times \text{QTOT} \times L^2 \\ &= 0,13 \times 162,99 \times 7,29 \\ &= 148,53 \text{ kgm} = 14.852.83 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_x &= (1,5M_x / T.\text{ijin}) \\ &= (22.279,24 / 1.600) \\ &= 13,92 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis dan ukuran profil balok bordes.

d. Dari tabel baja didapat:

Tabel 2. 40 baja seri metrik profil siku 75 x 75 x 12 x 12 cm

Profil Kanal	h (mm)	b (mm)	d (mm)	ts (mm)	kg/m	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	W _x (cm ³)
L (sama kaki)	75	75	12	12	13	81,9	81,9	2,22	2,22	15,7

$$\text{Besi Siku} = 75 \times 75 \times 12 \times 12 \text{ mm}$$

$$W_x = 15,7 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat} = 13 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 81,9 \text{ cm}^4$$

$$\text{Jlm. Balok} = 5 \text{ set}$$

Setelah menentukan jenis dan ukuran besi, perlu mengoreksi beban mati untuk menentukan nilai momen yang baru

e. Koreksi Beban Mati

$$\text{Beban Mati} = 31,4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Profil} = 13 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Penyambung} = (\text{beban mati} + \text{berat penyambung}) \times 10\%$$

$$= (31,4 + 13) \times 0,1$$

$$= 4,44 \text{ kg/m}$$

$$\text{QDL koreksi} = \text{beban mati} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung}$$

$$= 31,4 + 13 + 4,44$$

$$= 48,84 \text{ kg/m}$$

$$\text{QTOT} = \text{QLL} + \text{QDL koreksi}$$

$$= 125 + 48,84$$

$$= 173,84 \text{ kg/m}$$

Setelah mengoreksi beban mati perlu menghitung momen x untuk menentukan nilai tegangan yang baru.

f. Momen

Menghitung Momen X untuk menentukan nilai tegangan

$$M_x = 1/8 \times \text{QTOT} \times L^2$$

$$= 0,13 \times 173,84 \times 7,29$$

$$= 158,41 \text{ kg m}$$

$$= 15.841,7 \text{ kg cm}$$

g. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\sigma_x = (1,5M_x / W_x)$$

$$= (23.761,76 / 15,7)$$

$$= \mathbf{1.513 \text{ kg/cm}^2} < \mathbf{1.600 \text{ kg/cm}^2} \text{ (Aman)}$$

h. Cek lendutan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$L.\text{ijin} = (L / 360)$$

$$= (270 / 360)$$

$$= 0,75 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 2,34 \times (5,31 \times 10^9)) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 81,9) \\ &= 0,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = \mathbf{0,7 \text{ cm}} < \mathbf{0,75 \text{ cm}} \quad (\mathbf{Aman})$$

Dapat disimpulkan bahwa besi siku L 75 x 75 x 12 x 12 cm aman untuk balok pijakan tangga tengah.

C. Balok tangga

Menghitung Beban Total (beban tanjakan, pijakan dan beban bordes) untuk menentukan Resultan gaya.

a. Beban Mati

Bordes

$$\begin{aligned} \text{Berat Plat} &= T_{pb} \times L \times \gamma \text{ baja} \\ &= 0,005 \times 1,2 \times 7.850 \\ &= 47,1 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok} &= J_{ml} \times L \times \text{Berat} \times 1/L \\ &= 5 \times 1,2 \times 13 \times 0,5 \\ &= 39 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Profil} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok}) \times 10\% \\ &= (47,1 + 39) \times 0,1 \\ &= 8,61 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Penyambung} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok} + \text{berat profil}) \times 10\% \\ &= (47,1 + 39 + 8,61) \times 0,1 \\ &= 9,47 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{QDL BORDES} &= \text{berat plat} + \text{berat balok} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\ &= 47,1 + 39 + 8,61 + 9,47 \\ &= 104,18 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Tanjakan dan pijakan

$$\begin{aligned} \text{Berat Plat} &= T_{pb} \times L \times \gamma \text{ baja} \times 1/L \\ &= 0,005 \times 4,02 \times 7.850 \times 0,24 \\ &= 37,57 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok} &= J_{ml} \times L \times \text{Berat} \times 1/L \\ &= 28 \times 0,6 \times 1,83 \times 0,24 \\ &= 7,32 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Profil} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok}) \times 10\% \\ &= (35,57 + 7,32) \times 0,1 \\ &= 4,49 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Penyambung} &= (\text{berat plat} + \text{berat balok} + \text{berat profil}) \times 10\% \\ &= (37,57 + 7,32 + 4,49) \times 0,1 \\ &= 4,94 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{QDL TDP} &= \text{berat plat} + \text{berat balok} + \text{berat profil} + \text{berat penyambung} \\ &= 37,57 + 7,32 + 4,49 + 4,94 \\ &= 54,31 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Beban hidup

Bordes

$$\begin{aligned} \text{QLL} &= q \times L \\ &= 250 \times 1,2 = 300 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

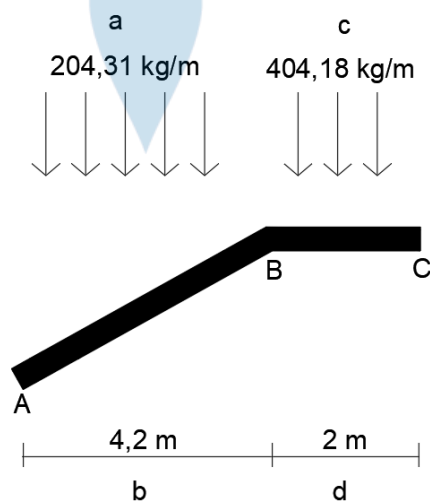
Tanjakan dan pijakan

$$\begin{aligned} \text{QLL} &= q \times L \\ &= 250 \times 0,6 = 150 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

c. Berat total bordes, tanjakan dan pijakan

$$\begin{aligned} \text{Qtotal Bordes} &= \text{QDL bordes} + \text{QLL bordes} \\ &= 104,18 + 300 = 404,18 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Qtotal TDP} &= \text{QDL TDP} + \text{QLL TDP} \\ &= 54,31 + 150 = 204,31 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 2. 19 Beban total tangga tengah

Lalu menghitung nilai resultan gaya untuk mengukur kekuatan struktur tangga

d. Resultan gaya

$$\begin{aligned}\Sigma m_a &= 0 \\ &= (a \times c \times (c/2) + b \times d \times (b/2) + c) / (c+d) \\ &= (6.005,53 / 6,2)\end{aligned}$$

$$R_{cv} = 969,63 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\Sigma m_c &= 0 \\ &= ((a \times c \times (c/2)) + d + (b \times d \times (d/2))) / (c+d) \\ &= (4326,65 / 6,2)\end{aligned}$$

$$R_{av} = 697,85 \text{ kg}$$

e. Cek hitungan

Jika nilai resultan gaya sama dengan beban total berarti aman

$$\begin{aligned}R_{cv} + R_{av} &= \text{Beban Total} \\ \mathbf{1.666,48} &= \mathbf{1.666,48 \text{ kg (Aman)}}\end{aligned}$$

Jika hasil dari momen maksimum dibagi dengan W_x hasilnya kurang dari 1600 kg/cm^2 (tegangan ijin baja) balok tangga berarti aman.

f. Momen maximum

$$\begin{aligned}\text{Terjadi pada A} &= 0 \\ &= R_{av} - a \cdot x\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x &= (R_{av} / a) \\ &= (697,85 / 204,31) = 3,42 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_A \text{ max} &= R_{av} \cdot x - a \cdot x \cdot 1/2x \\ &= 2.383,54 - 1191,77 = 1191,77 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_B &= R_{av} \cdot c - a \cdot c \cdot 1/2c \\ &= 2.930,96 - 1.802,05 = 1.128,91 \text{ kgm}\end{aligned}$$

Terjadi Pada C = 0

$$= R_{cv} - b \cdot x$$

$$\begin{aligned}x &= (R_{cv} / b) \\ &= (968,63 / 404,18) = 2,40 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_C \text{ max} &= R_{cv} \cdot x - b \cdot x \cdot 1/2x \\ &= 968,63 - 1.160,68 = -192,05 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$MB = R_{cv.d} - a.d.1/2d$$

$$= 1.937,27 - 808,36 = 1.128,91 \text{ kgm}$$

Momen maksimum nya adalah 1191,77 kg m atau 119.177 kg cm

$$W_x \text{ Perlu} = (1,5M_{\max} / T. \text{ ijin})$$

$$= ((1,79 \times 10^5) / 1600) = 111,73 \text{ cm}^3$$

$$\text{Hasil } M \text{ max dibagi } W_x = 119.177 / 111,73$$

$$= 1.066,65 \text{ kg/cm}^2$$

Hasil momen maksimum dibagi W_x yaitu **1.066,65 kg/cm²** kurang dari tegangan ijin baja **1.600 kg/cm²**, dan dapat disimpulkan bahwa balok tangga **aman.**

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis dan ukuran profil balok tangga.

g. Dari tabel baja didapat:

Tabel 2. 41 Baja seri metrik profil WF 350 x 350 x 12 x 19 cm

Profil Kanal	h (mm)	b (mm)	d (mm)	ts (mm)	kg/ m	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	W _x (cm ⁴)
L (sama kaki)	350	350	12	19	136	4.0300	13600	15,2	8,84	2300

$$WF = 350 \times 350 \times 12 \times 19 \text{ mm}$$

$$W_x = 2.300 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat} = 136 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 40.300 \text{ cm}^4$$

Setelah menentukan jenis dan ukuran profil balok tangga, lalu selanjutnya mengoreksi beban total untuk menghitung pembebanan pada tangga

h. Koreksi beban total

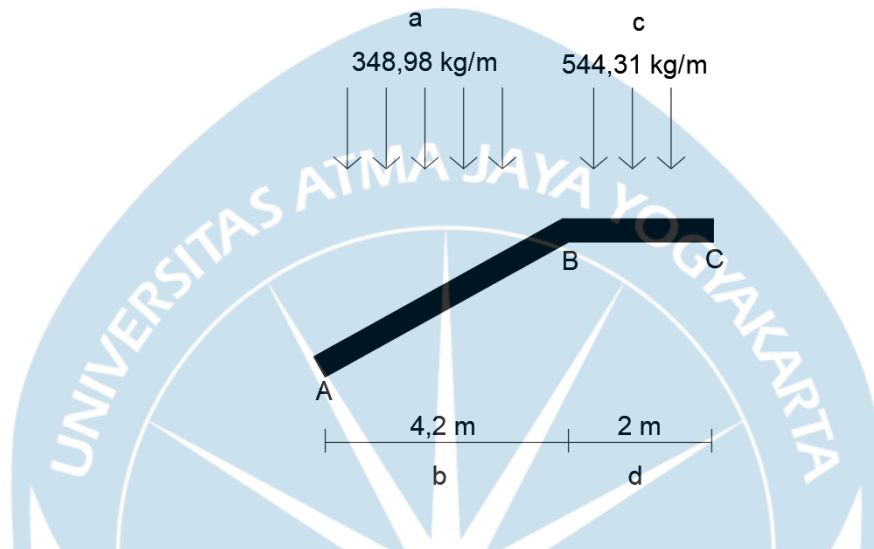
$$\text{Beban total bordes} = \text{Beban total bordes} - \text{Beban total bordes} = QDL \text{ bordes} - \text{berat penyambung} - \text{berat profil} + \text{berat profil table} + ((QDL \text{ bordes} - \text{berat penyambung} - \text{berat profil} + \text{berat profil table}) \times 10\%) + \text{beban hidup bordes}$$

$$\text{Beban total bordes} = 104,18 - 9,47 - 8,61 + 136 + ((104,18 - 9,47 - 8,61 + 136) \times 0,1) + 300$$

$$= 544,31 \text{ kg/m}$$

Beban total TDP = QDL TDP– berat penyambung - berat profil + berat profil table + ((QDL bordes – berat penyambung - berat profil + berat profil table) x 10%) + beban hidup TDP

$$\begin{aligned} \text{Beban Total TDP} &= 54,31 - 4,94 - 4,49 + 136 + ((54,31 - 4,94 - 4,49 + 136) \\ &\times 0,1) + 150 \\ &= 348,98 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 2. 20 Koreksi beban mati tangga tengah

Lalu menghitung nilai resultan gaya untuk mengukur kekuatan struktur tangga

i. Resultan gaya

$$\begin{aligned} \Sigma m_a &= 0 \\ &= ((a \times c \times (c/2)) + (b \times d \times (b/2)) + c) / (c+d) \\ &= (8.738,8 / 6,20) \end{aligned}$$

$$R_{cv} = 1.409,48 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \Sigma m_c &= 0 \\ &= ((a \times c \times (c/2)) + d + (b \times d \times (d/2))) / (c+d) \\ &= (7.098 / 6,20) \end{aligned}$$

$$R_{av} = 114,84 \text{ kg}$$

j. Cek hitungan

Jika nilai resultan gaya sama dengan beban total berarti aman

$$\begin{aligned} R_{cv} + R_{av} &= \text{Beban Total} \\ 2.554,32 &= 2.554,32 \text{ kg} \quad (\text{aman}) \end{aligned}$$

Menghitung momen maksimum, untuk mengukur tegangan dan lendutan

k. Momen maksimum

Terjadi pada A = 0

$$= R_{av} - a \cdot x$$

$$x = (R_{av} / a)$$

$$= (1.144,84 / 348,98)$$

$$x = 3,28 \text{ m}$$

$$M_A \text{ max} = R_{av} \cdot x - a \cdot x \cdot 1/2x$$

$$= 3.755,71 - 1.877,85$$

$$= 1.877,85 \text{ kgm}$$

$$M_B = R_{av} \cdot c - a \cdot c \cdot 1/2c$$

$$= 4.808,32 - 3.077,97$$

$$= 1730,35 \text{ kgm}$$

Terjadi pada C = 0

$$= R_{cv} - b \cdot x$$

$$x = (R_{cv} / b)$$

$$= (1.409,48 / 544,31)$$

$$x = 2,59 \text{ m}$$

$$M_C \text{ max} = R_{cv} \cdot x - b \cdot x \cdot 1/2x$$

$$= 1.409,48 - 1.824,92$$

$$= -415,44 \text{ kgm}$$

$$M_B = R_{cv} \cdot d - a \cdot d \cdot 1/2d$$

$$= 2.818,97 - 1.088,62$$

$$= 1730,35 \text{ kgm}$$

$$M \text{ Max} = 1.877,85 \text{ kgm}$$

l. Cek tegangan

Jika nilai tegangan kurang dari nilai tegangan ijin nya berarti aman

$$\sigma_x = (1,5 M_x / W_x)$$

$$= (281.678,2 / 2.300)$$

$$= 167 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

m. Cek lendutan

Jika nilai lendutan kurang dari nilai lendutan ijin nya berarti aman

$$L \text{ Ijin} = (L / 360)$$

$$= (688,77 / 360)$$

$$= 1,913 \text{ cm}$$

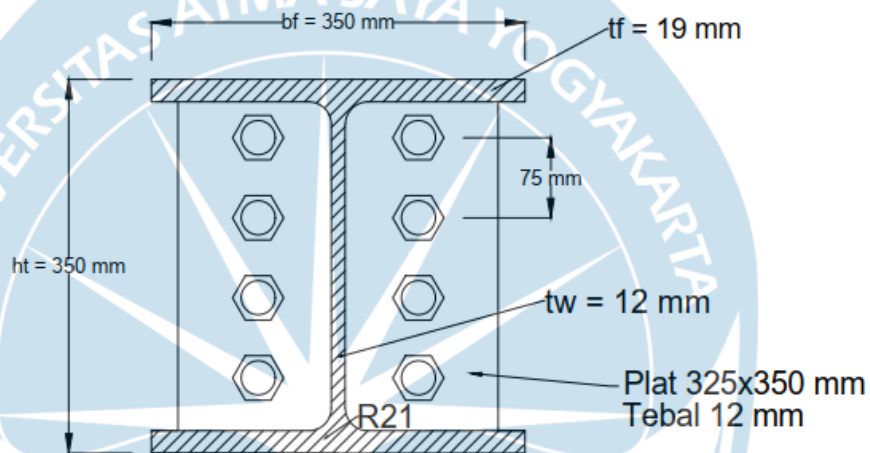
$$\begin{aligned} \text{Lendutan} &= (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I_x) \\ &= (5 \times 55,38 \times (1,48 \times 10^{11})) / (384 \times (2,1 \times 10^6) \times 40.300) \\ &= 1,26 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 1,26 \text{ cm} < 1,913 \text{ cm} \text{ (Aman)}$$

Dapat disimpulkan profil WF 350 x 350 x 12 x 19 cm aman untuk balok utama tangga tengah.

2.7.7 Sambungan balok utama tangga tengah

Sambungan berfungsi sebagai penyambung balok satu ke balok yang lain dengan kekuatan yang cukup.



Gambar 2. 21 Sambungan balok utama tangga tengah

Berikut Ukuran bagian-bagian sambungan balok utama :

Tegangan ijin baja	=	1.600 kg/cm ²
P	=	13.400 kg
Ukuran baut	=	16 mm (DA)
A baut	=	2,01 cm ²
Jumlah baut	=	8
Plat penyambung	=	12 mm (TB)
Profil balok utama	=	WF 350 x 350 x 12 x 19 mm
Profil balok bordes	=	WF 350 x 350 x 12 x 19 mm\

Untuk mengukur kekuatan sambungan, ada tiga komponen yang harus dirancang yaitu baut, plat penyambungan dan sambungan las.

1. Cek Jumlah Dan Kekuatan Baut Yang Digunakan

Jika tegangan yang terjadi kurang dari tegangan ijin baja berarti aman

$$\tau \text{ ijin} = 0,58 \times \sigma \text{ ijin} = 928 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} N &= P / (A \text{ baut} \times \tau \text{ ijin}) \\ &= 13.400 / (2,01 \times 928) \\ &= 7,19 \end{aligned}$$

$$JA = 8$$

$$\begin{aligned} \tau \text{ ijin} &= P / (A \text{ baut} \times N) \\ &= 13.400 / (2,01 \times 8) \\ &= 833,5 \text{ kg/cm}^2 < 928 \text{ kg/cm}^2 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

$$M = P \times \text{Jarak A}$$

$$\begin{aligned} &= 13.400 \times 9 \\ &= 120.600 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= (M \times B) / (JA / B^2) \\ &= (904.500) / (450) \\ &= 2010 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= T / (JA \times A \text{ baut}) \\ &= 2.010 / (8,04) \\ &= 250,05 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (aman)} \end{aligned}$$

A. Cek plat penyambung

Jika tegangan yang terjadi kurang dari tegangan ijin baja berarti aman

$$S \text{ ijin yang terjadi} = P / (TB \times DA \times JA)$$

$$\begin{aligned} &= 13.400 / (15,36) \\ &= 872,4 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = 872,4 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

$$\text{Lebar Profil yang digunakan} = 325 \text{ mm}$$

B. Cek sambungan las

Jika tegangan yang terjadi kurang dari tegangan ijin baja berarti aman

$$A \text{ las} = 1.600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= P / A \text{ las} \\ &= 13.400 / 49,49 \end{aligned}$$

$$= 270,76 \text{ kg/cm}^2 < 1.600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Aman)}$$

Keterangan:

P = tegangan yang terjadi

σ ijin = tegangan ijin baja

N = Jumlah baut

JA = Jumlah baut (dibulatkan)

DA = Diameter baut

A baut = alas baut

B = jarak baut vertikal

TB = Tebal plat penyambung

τ ijin = tegangan ijin

M = momen

T = tegangan akibat momen

σ = tegangan yang terjadi

