

STUDI ANALISIS TINGGI LUBANG BAJA KASTILASI DENGAN PENGAKU BADAN PADA PROFIL BAJA IWF 200 X 100

NI KADEK ASTARIANI

Universitas Ngurah Rai Denpasar

ABSTRAKSI

Struktur bentang panjang dengan menggunakan profil wide flange konvensional sudah tidak ekonomis lagi untuk baja kastilasi menjadi salah satu solusi dari permasalahan tersebut karena dapat mengurangi berat total material konstruksi tanpa pengurangan daya dukung yang berhubungan dengan penurunan harga struktur baja secara keseluruhan.

Pada penelitian ini dicoba menganalisis profil baja IWF 200 x100. Pada profil ini diberi pengaku badan dengan tebal pelat 8 mm dan lebar 100 mm. Jadi tinggi lubang optimum yang didapat adalah 280 mm untuk panjang bentang 6 meter dengan q_u sebesar 14,5 kg/cm dan untuk panjang bentang 12 mm tinggi lubang optimum adalah 340 mm dengan q_u sebesar 3,38 kg/cm.

Kata kunci : pengaku, baja kastilasi, profil IWF

PENDAHULUAN

Profil baja dengan tipe WF (*wide flange*) merupakan salah satu material konstruksi suatu bangunan yang telah digunakan secara luas. Profil *wide flange* (I) ini sering digunakan untuk struktur bangunan baik untuk balok maupun kolom. Untuk struktur dengan bentang panjang, penggunaan profil *wide flange* konvensional sudah tidak ekonomis lagi. Baja kastilasi menjadi salah satu solusi dari permasalahan tersebut karena dapat mengurangi berat total material konstruksi tanpa pengurangan daya dukung yang berhubungan dengan penurunan harga struktur baja secara keseluruhan.

Adapun pembuatan baja kastilasi dapat dilakukan dengan memotong profil baja searah sumbu batang sehingga didapatkan dua bagian profil tersebut yang sama, kemudian kedua bagian profil tersebut disambung pada bagian punggungnya dengan las, maka didapatkan profil baru dimana beratnya sama dengan profil sebelumnya tetapi lebih tinggi. Dengan meninggikan profil baja tersebut dapat meningkatkan inersia baja tersebut sehingga dapat memperkecil tegangan yang terjadi.

Perubahan tinggi lubang badan pada balok mempengaruhi pada luas badan dan makin tinggi profil dibuat, makin besar lubang pada lubang pada badan yang diperlukan, hal ini berakibat luas bidang badan penampang balok berkurang sehingga kapasitas geser berkurang pula. Dalam perhitungan nantinya lubang badan harus diperhitungkan.

Gaya geser dan lendutan mempengaruhi dalam menganalisa tinggi lubang badan yang akan dibuat. Gaya geser mempengaruhi kapasitas geser profil dalam memikul beban yang bekerja sedangkan lendutan membatasi besarnya beban yang diterima oleh profil baja hal ini mengakibatkan hasil yang didapatkan untuk tinggi lubang badan bervariasi. Tinggi lubang optimum didapatkan bila kapasitas geser profil baja lebih kecil dari gaya geser akibat beban yang dipikul oleh profil baja tersebut.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, bagaimanakah mendapatkan tinggi lubang optimum profil baja kastilasi dengan menambahkan pengaku di bagian badan profil baja serta memenuhi tegangan serta stabilitas penampang.

Tujuan Penulisan

Untuk itu pada tulisan ini akan dicoba dianalisa berapa tinggi lubang badan (D_s) optimum yang disertai dengan penambahan pengaku badan sehingga didapatkan profil baja kastilasi yang memenuhi tegangan serta stabilitas penampang

TINJAUAN PUSTAKA

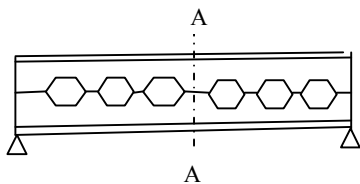
Balok Terlentur

Balok adalah salah satu diantara elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada struktur. Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya yang menghasilkan gaya dalam dominan adalah momen lentur dan gaya lintang.

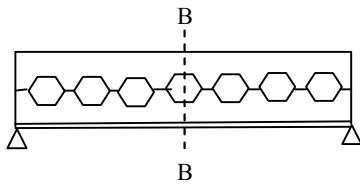
Perilaku Tegangan pada Balok

Pada balok baja kastilasi ketika menerima berbagai tahap pembebanan kemungkinan momen maksimum yang terjadi di pelat badan balok tanpa lubang atau pelat badan balok dengan lubang badan (Gambar 1 dan 2).

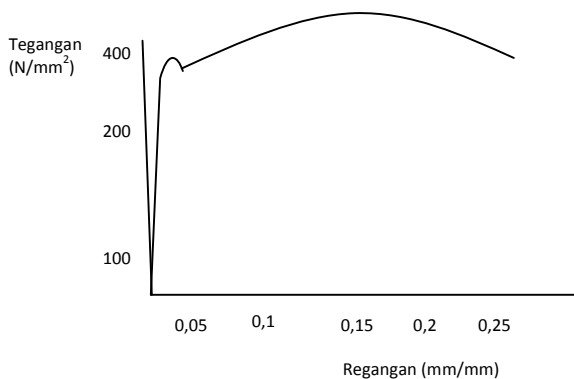
Dengan menganggap stabilitas lateral memadai, desain balok berdasarkan pada pencapaian kekuatan lentur penampang maksimum. Distribusi tegangan pada sayap lebar yang mengalami momen lentur yang semakin besar ditunjukkan oleh Gambar 3 untuk balok tanpa lubang dan Gambar 4 untuk balok dengan lubang badan (castelite beam). Dimana kelakuan ini berdasarkan pada beban tetap elastic yang bertambah dari kondisi sampai titik leleh tercapai, kemudian pada nilai regangan tertentu tidak menimbulkan kenaikan pada tegangan. Hubungan tegangan-regangan ini diperlihatkan pada Gambar 5 dan merupakan idealisasi yang dapat diterima bagi baja struktur lunak dengan tegangan leleh f_y maksimum 418 MPa. Baja seperti ini umumnya menunjukkan kekakuan elastoplastis.



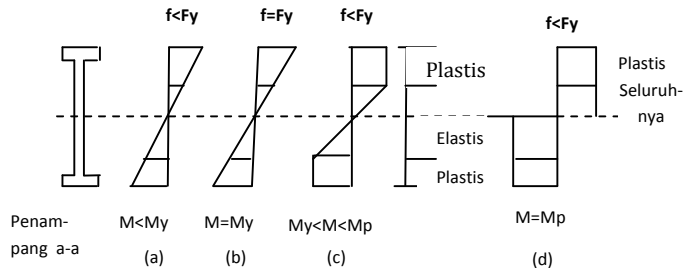
Gambar 1. Momen maksimum terjadi pada pelat tanpa lubang



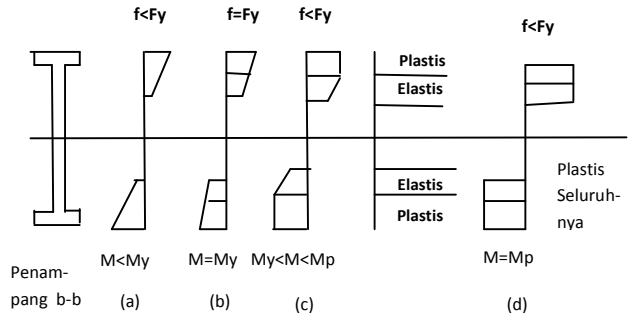
Gambar 3. Momen maksimum terjadi pada Pelat badan dengan lubang badan



Gambar 5. Diagram tegangan regangan pada baja structural



Gambar 2. Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan pada pelat badan tanpa lubang badan



Gambar 4. Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan pada pelat badan dengan lubang badan (castelite)

Dengan menganalisis balok dengan lubang badan (castelite beam) ini harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Kelangsingan penampang pada balok ($\lambda \leq \lambda_p$), yaitu :

Pada flens

$$\frac{b_f}{t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

Pada web

$$\frac{Dc-2(t_f+r)}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

Persyaratan kekuatan untuk balok yang mengalami lenturan dapat dinyatakan sebagai :

$$\phi_b M_n \geq M_u$$

ϕ_b = faktor resistensi untuk lentur = 0,9 , M_n = kekuatan momen nominal, M_u = momen beban layanan terfaktor. Untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = M_p$$

dimana M_p = kekuatan momen plastis = $Z \cdot f_y$, Z = modulus plastis , f_y = tegangan leleh baja

2. Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral

- a. Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah :

$$M_n = M_p$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

- b. Bentang menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah :

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_p - L)}{(L_p - L_r)} \right] \leq M_p$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_B + 3 M_C} \leq 2,3$$

Dengan M_{max} adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau serta M_A , M_B , M_C adalah masing-masing momen pada $\frac{1}{4}$ bentang, tengah bentang, dan $\frac{3}{4}$ bentang komponen struktur yang ditinjau.

$M_r = S_x (f_y - f_r)$, dimana S adalah modulus penampang elastic dan f_r adalah tegangan sisa

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{G} \right)^2 \cdot \frac{C_w}{I_y}$$

$$L_r = r_y \left(\frac{X_1}{f_l} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_l^2}}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A_n}{2}}$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S_x}{G} \right)^2 \cdot \frac{C_w}{I_y}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

$$J = \sum \frac{1}{3} b \cdot t$$

Dimana b merupakan dimensi panjang dan t dimensi tipis dari elemen persegi panjang.

$$f_l = f_y - f_r$$

- c. Bentang panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_r \leq L$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah : $M_n = M_{cr} \leq M_p$

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E}{L} \right)^2 \cdot I_y \cdot C_w}$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot Dc^2}{2}$$

3. Lendutan maksimum akibat beban mati dan beban hidup harus lebih kecil dari $1/240 L$

4. Pelat badan yang memikul gaya geser perlu (V_u) harus memenuhi $V_u \leq \phi V_n$

ϕ = faktor reduksi 0,9 V_n = kuat geser nominal pelat badan

Dalam perhitungan kuta geser nominal ada tiga ketentuan, yaitu :

- a. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi rumus :

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad \text{Dengan, } k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$A_w = \text{luas kotor pelat badan}$

- b. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi rumus :

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \leq (h/t_w) \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \right] \frac{l}{(h/t_w)}$$

atau
$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[C_v + \frac{(1-C_v)}{1,15 \sqrt{1+(a/h)^2}} \right] \quad C_v = 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E / f_y}{(h/t_w)^2}}$$

- c. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi rumus :

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \leq (h/t_w) \quad V_n = \frac{0,9 A_w \cdot k_n \cdot E}{(h/t_w)^2}$$

atau
$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[C_v + \frac{(1-C_v)}{1,15 \sqrt{1+(a/h)^2}} \right] \quad C_v = 1,5 \frac{k_n \cdot E}{f_y} \frac{1}{(h/t_w)^2}$$

5. Panjang pengelasan sepanjang balok $L_{tot} = \frac{R_u}{\phi R_{nw}}$

$$\phi_y R_{nw} = 0,9 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_y)$$

$\phi_y = 0,9$ adalah faktor reduksi kekuatan saat leleh, t_e = tebal efektif, R_{nw} = kuat nominal sambungan las

R_u = beban terfaktor atau kuat perlu

6. Ukuran lebar pengaku

- a. Lebar pengaku pada setiap sisi pelat badan harus lebih besar dari sepertiga lebar pelat sayap dikurangi setengah tebal pelat badan.

- b. Tebal pengaku harus lebih tebal dari setengah tebal pelat sayap dan memenuhi
$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

METODE PERHITUNGAN

Data –data perhitungan

Data-data dalam perhitungan adalah sebagai berikut : Mutu profil baja yang digunakan adalah BJ 37 yang mempunyai sifat mekanis, Tegangan leleh baja : $f_y = 240$ MPa, Modulus elastisitas : $E = 200.000$ MPa

Asumsi

Bahan atau material balok bersifat sama di semua penampang, Dalam menghitung besarnya beban, berat sendiri profil untuk sementara diabaikan, pengaruh suhu diabaikan, Lubang pada pelat badan berbentuk segienam

Perhitungan Mekanika

Perhitungan ini menggunakan peraturan LRFD (*Load and Resistance Faktor Design*) dengan langkah dasar adalah sebagai berikut : Tentukan ukuran profil WF., Tentukan tinggi lubang pada badan balok (D_s)., Periksa kelangsingan pada penampang balok ($\lambda < \lambda_p$)

Pada Flens Pada Web

$$\frac{b_f}{t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad \frac{D_c - 2(t_f + r)}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

Bila tidak memenuhi maka kecilkan tinggi lubang (Ds)

1. Hitung kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral
2. Hitung besarnya beban merata (q_u) yang diterima balok
3. Control lendutan ($\Delta L \leq L/240$) dengan metoda elastic, bila tidak memenuhi beban merata (q) diperkecil berdasarkan persamaan $\Delta L = L/240$, kemudian hitung M_u dari beban merata yang didapat dengan terlebih dahulu merubah q ke q_u dengan mengalikan suatu faktor suatu faktor beban
4. Hitung panjang pengelasan = $\frac{R_u}{\phi R_{nw}}$
5. Periksa gaya geser pada tampang kritis ($V_{ux} \leq \phi V_n$) sejarak $1,5 L_w$ dari tumpuan.

Setelah semua balok profil baja kastilasi dianalisis, hasil perhitungan dibuatkan dalam bentuk tabel profil baja kastilasi.

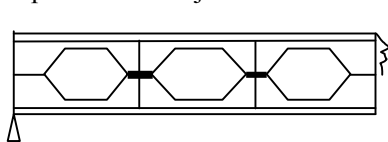
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

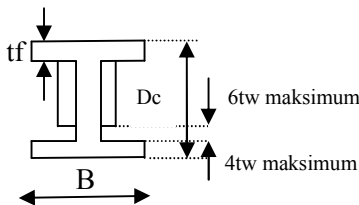
Perhitungan Balok Baja Kastilasi dengan Pengaku Badan

Profil baja I WF yang sudah dirubah menjadi balok baja kastilasi diperkaku pada badan dengan menambahkan pelat di bagian badannya untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh pengaku terhadap kekuatan balok kastilasi tersebut.

Data profil balok baja kastilasi 200 x 100



Gambar 6. Profil baja dengan kasting pengaku badan



Gambar 7. Penampang melintang profil baja kastilasi dengan pengaku badan

Profil Baja Kastilasi 200 X 100

$D_c = 250$ mm, $t_f = 8$ mm,
 $t_w = 5,5$ mm, $B = 100$ mm,
 $b_f = 100/2 = 50$ mm. $r = 11$ mm

Ukuran pelat pengaku badan

Tebal pelat pengaku harus lebih besar dari setengah tebal sayap. Diambil tebal pelat pengaku (t_s) 8 mm.

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Lebat pelat pengaku (b_s)

$$b_s = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{240}} \cdot 8 = 129,34 \text{ mm}$$

diambil lebar pelat pengaku = 100 mm

1. Tinggi lubang badan (Ds)

$$D_s = 2 \times (A - (2 \times t_f + 2 \times D_{tee}))$$

Nilai D_{tee} bervariasi, untuk baja I WF 300 x 150 dimulai dengan $D_{tee} = 116$ mm dan untuk nilai D_{tee} selanjutnya nilai D_{tee} awal dikurangi 5 mm

$$\text{Untuk nilai } D_{tee} = 116 \text{ mm, tinggi lubang adalah : } D_s = 2 \times (300 - (2 \times 9 + 2 \times 116)) = 100 \text{ mm}$$

2. Tinggi profil baja kastilasi

$$D_c = (2 \times t_f) + (2 \times D_{tee}) + D_s \quad D_c = (2 \times 8) + (2 \times 17) + 100 \quad D_c = 250 \text{ mm}$$

3. Periksa kelangsingan penampang ($\lambda < \lambda_p$)

Pada flens

$$\frac{b_f}{t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{50}{8} < \frac{170}{\sqrt{240}} = 6,25 < 10,973 \text{ (penampaang kompak)}$$

Pada web

$$\frac{Dc-2(t_f+r)}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{250-2(8+11)}{5,5} < \frac{1680}{\sqrt{240}} = 38,545 < 108,444 \text{ (penampang kompak)}$$

4. Inersia profil baja kastilasi

$$I_{br} = (2x(1/12 x 100 x 8^3 + 100 x 8 x (125 - 1/2 x 8)^2) + (1/12 x 5,5 x 236)^2) = 29306714,3 \text{ mm}^4$$

$$I_{br} = 2930,0671 \text{ cm}^4$$

$$I_{lb} = (1/12 x 5,5 x 100^2) = 45833,33 \text{ mm}^4 = 45,83 \text{ cm}^4$$

$$I_x = I_{br} - I_{lb} = 2884,84 \text{ cm}^4$$

$$S_x = I_x / 0,5 Dc = 2884,84 / (0,5x25) = 230,7872 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 2 x (1/12 x 8 x 100^3) + 1/12 x (236 - 100) x 5,5^3 = 1335219 \text{ mm}^4 = 133,522 \text{ cm}^4$$

5. Modulus penampang plastis profil baja kastilasi

$$Z_x = \{t_f x Bx(Dc - t_f)\} + \left\{ \left(\frac{Dc - 2t_f - Ds}{2} \right) x t_w x \left(\frac{Dc - 2t_f + Ds}{2} \right) \right\}$$

$$Z_x = \{8x100x(250 - 8)\} + \left\{ \left(\frac{250-2x8-100}{2} \right) x 6,5x \left(\frac{250-2x8+100}{2} \right) \right\} = 255144 \text{ mm}^3 = 255,144 \text{ cm}^3$$

6. Momen Ultimit

Pemeriksaan panjang bentang

$$I_y = 133,522 \text{ cm}^4$$

$$A_n = 2 x (8 x 100) + 236 x 5,5 = 2898 \text{ mm}^2 = 28,98 \text{ cm}^2$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_n}} = \sqrt{\frac{133,522}{28,98}} = 2,146 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 x 2,146 x \sqrt{\frac{200000}{240}} = 109,056 \text{ cm}$$

$$L_r = r_y \cdot \left(\frac{X_1}{f_l} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f l^2}}$$

$$f_l = f_y - f_r$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A_n}{2}}$$

$$X_2 = 4 \cdot \left(\frac{S_x}{G} \right)^2 \cdot \frac{C_w}{I_y}$$

$$f_l = 2400 - 0,3 \cdot 2400 = 1680 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = E / 2(1+\mu) = 2 \cdot 10^6 / (2x(1+0,3)) = 770000 \text{ kg/cm}^2$$

$$J = 1/3 (2A \cdot t_f^3 + h \cdot t_w^3) = 1/3 (2 \cdot 100 \cdot 8^3 + 236 \cdot 5,5^3) = 47221 \text{ mm}^4 = 4,7221 \text{ cm}^4$$

$$C_w = \frac{I_y \cdot h^2}{2} = \frac{133,522 \cdot (25-10)^2}{2} = 15021,225 \text{ cm}^6$$

$$X_1 = \frac{\pi}{230,78} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6 \cdot 770000 \cdot 4,7221 \cdot 28,98}{2}} = 139662,705 \text{ kg/cm}^2 \quad X_2 = 4 \cdot \left(\frac{230,78}{770000} \right)^2 \cdot \left(\frac{25-10}{2} \right)^2 = 4,04 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^4/\text{kg}^2$$

$$L_r = 2,146 \cdot \left(\frac{139662,705}{1680} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + 4,04 \cdot 10^{-5} \cdot 1680^2}} = 611,0285 \text{ cm}$$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

$$M_n = M_p$$

$$M_p = Z_x \cdot f_y = 255,14 \times 2400 = 612336 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_u \leq \phi_b M_n$$

$$M_u = 0,9 \cdot 612336 = 551102,4 \text{ kgcm}$$

7. Besarnya beban merata yang dipikul profil baja kastilasi

$$M_u = 1/8 \times q_u \times L^2$$

$$q_u = 8 \times M_u / L^2 = 8 \times 551102,4 / 600^2 = 12,25 \text{ kg/cm}$$

$$\phi q = q_u$$

$$q = q_u / \phi = 29,91 / 1,7 = 7,206 \text{ kg/cm}$$

8. Kontrol lendutan

$$\Delta L \leq L/240$$

$$\frac{5}{384} \times \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I} \leq \frac{L}{240}$$

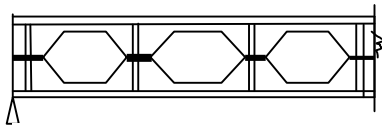
$$\frac{5 \times 7,206 \cdot (600)^4}{384 \times 2000000 \times 2884,84} \leq \frac{600}{240}$$

$$2,107 \text{ cm} \leq 2,5 \text{ cm (lendutan memenuhi syarat)}$$

9. Panjang pengelasan (Lw)

Dalam menentukan panjang pengelasan kita anggap bahwa profil tersebut adalah penampang tersusun yang dibentuk dengan menggunakan sarana penyambung las.

Data profil balok baja kastilasi 200 x 100



Gambar 8. Panjang pengelasan (Lw) profil kastilasi dengan pengaku badan

Direncanakan banyaknya lubang pada badan balok adalah 10 buah untuk setengah bentang balok. Panjang

pengelasan (Lw) adalah : $\sum_{10}^1 3 \cdot Lw + 0,5 Lw = 0,5 L$

$$30 \cdot Lw + 0,5 Lw = 300$$

$$30,5 Lw = 300$$

$$Lw = 9,836 \text{ cm}$$

Panjang pengelasan (Lw) di sepanjang setengah bentang balok

Panjang pengelasan sepanjang balok (L_{tot})

Gaya geser yang terjadi pada bidang kontak antara kedua pelat tersebut dianggap terjadi di tengah bentang yang diakibatkan oleh momen lentur. Besarnya gaya geser tersebut adalah :

$$R_u = \frac{M_u \cdot Z_{br}}{I_{br}} = \frac{1346133,6 \cdot 639,46}{9832,99} = 87541,90 \text{ kg}$$

$$\phi_y R_{nw} = 0,9 \cdot t_c \cdot f_y = 0,9 \times 0,5 \times 2400 = 1404 \text{ kg/cm}$$

$$L_{tot} = \frac{R_u}{\phi_y R_{nw}} = \frac{87541,90}{1404} = 62,35 \text{ cm}$$

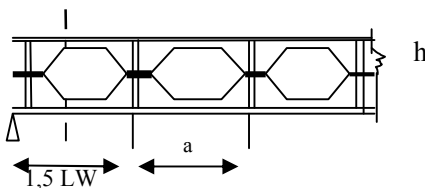
Kontrol panjang pengelasan (Lw)

$$\sum_{10}^1 3 \cdot Lw + 0,5 Lw > L_{tot}$$

$$30,5 \times 9,836 > 62,35$$

$$299,998 \text{ cm} > 62,35 \text{ cm (panjang pengelasan Lw memenuhi syarat)}$$

10. Periksa gaya geser pada tampang kritis



Gambar 9. Gaya geser yang terjadi pada tampang kritis profil baja kastilasi dengan pengaku

Gaya geser yang terjadi pada tampang kritis pada jarak 1,5 Lw dari tumpuan sebesar Vux.

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_u \times L = \frac{1}{2} \times 12,25 \times 600 = 3675 \text{ kg}$$

$$V_{ux} = \frac{V_{ux}((0,5xL)-(1,5xLw))}{0,5xL} = \frac{3675x((0,5x600)-(1,5x9,836))}{0,5x600} = 3494,264 \text{ kg}$$

$$\left(\frac{D_c - D_s}{t_w}\right) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} ; k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$\frac{250 - 100}{5,5} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5x200000}{240}}$$

$$45,45 \leq 71$$

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w = 0,6 \times 2400 \times (25 - 10) \times 0,55 = 10692 \text{ kg}$$

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

$$3494,264 \leq 0,9 \times 10692$$

3494,264 kg ≤ 9622,8 kg (kapasitas geser profil baja kastilasi memenuhi)

Untuk perhitungan balok baja kastilasi dengan tinggi lubang badan lainnya dibuatkan dalam tabel.

Tabel 1. Profil baja kastilasi dari profil baja I WF 200x100, L = 6 m, fy = 240 MPa, ts = 8 mm, bs = 100 mm

No	Ds (mm)	Dc (mm)	Ibr (cm ⁴)	Iib (cm ⁴)	Ix (cm ⁴)	Zx (cm ³)	qu (kg/cm)	Vn (kg)	Mu (kg.cm)	Ltot (cm)
1.	100	250	2930,67	45,83	2884,84	255,14	12,25	10692,00	551101,32	42,56
2.	120	260	3206,82	79,20	3127,62	263,66	12,66	9979,20	569509,92	42,37
3.	140	270	3497,69	125,77	3371,92	271,36	13,03	9266,40	586136,52	42,08
4.	160	280	3803,53	187,73	3615,80	278,23	13,36	8553,60	600981,12	41,69
5.	180	290	4124,64	267,30	3857,34	284,28	13,65	7840,80	614043,72	41,21
6.	200	300	4461,29	366,67	4094,62	289,50	13,90	7128,00	625324,32	40,65
7.	220	310	4813,74	488,03	4325,71	293,90	14,11	6415,80	634822,92	40,01
8.	240	320	5182,28	633,60	4528,68	297,47	14,28	5702,40	642539,52	39,31
9.	260	330	5567,17	805,57	4761,61	300,22	14,41	4989,60	648474,12	38,55
10.	280	340	5968,71	1006,13	4962,57	302,14	14,50	4276,80	652626,72	37,73

Dari Tabel 1 pada saat tinggi lubang ditambah menjadi 300 mm perhitungan dihentikan, karena gaya geser Vn = 3564,00 kg, sedangkan gaya geser pada tampang kritis sejauh 1,5Lw adalah Vux = 4151,90 kg, sehingga kapasitas geser profil baja kastilasi tidak memenuhi.

Tabel 2. Profil baja kastilasi dari profil baja I WF 200x100, L = 12 m, fy = 240 MPa, ts = 8 mm,bs = 100 mm

No	Ds (mm)	Dc (mm)	Ibr (cm ⁴)	Iib (cm ⁴)	Ix (cm ⁴)	Zx (cm ³)	qu (kg/cm)	Vn (kg)	Mu (kg.cm)	Ltot (cm)
1.	100	250	2930,67	45,83	2884,84	255,14	1,78	10692,00	320736,30	24,77
2.	120	260	3206,82	79,20	3127,62	263,66	1,93	9979,20	347729,27	25,87
3.	140	270	3497,69	125,77	3371,92	271,36	2,08	9266,40	374890,11	26,91
4.	160	280	3803,53	187,73	3615,80	278,23	2,23	8553,60	402004,82	27,89
5.	180	290	4124,64	267,30	3857,34	284,28	2,38	7840,80	428859,37	28,78
6.	200	300	4461,29	366,67	4094,62	289,50	2,53	7128,00	455239,73	29,59
7.	220	310	4813,74	488,03	4325,71	293,90	2,67	6415,80	480931,89	30,31
8.	240	320	5182,28	633,60	4528,68	297,47	2,81	5702,40	505721,83	30,94
9.	260	330	5567,17	805,57	4761,61	300,22	2,94	4989,60	529395,51	31,47
10.	280	340	5968,71	1006,13	4962,57	302,14	3,07	4276,80	551738,93	31,90
11.	300	350	6387,15	1237,50	5149,65	303,24	3,18	3564,00	572538,06	32,22
12.	320	360	6822,78	1501,87	5320,91	303,51	3,29	2851,20	591578,88	32,43
13.	340	370	7275,87	1801,43	5474,43	302,96	3,38	2138,40	608647,66	32,53

Dari Tabel 2 pada saat tinggi lubang ditambah menjadi 360 mm perhitungan dihentikan, karena gaya geser Vn = 1425,60 kg, sedangkan gaya geser pada tampang kritis sejauh 1,5Lw adalah Vux = 1976,21 kg, sehingga kapasitas geser profil baja kastilasi tidak memenuhi.

Pembahasan

Pada profil baja kastilasi yang diberi pengaku badan dengan tebal pelat 8 mm dan lebar 100 mm, tinggi lubang badan optimum dengan panjang 6 meter adalah 280 mm dengan q_u sebesar 14,50 kg/cm dan untuk panjang bentang 12 meter tinggi lubang badan optimum adalah 340 mm dengan q_u sebesar 3,38 kg/cm.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan terhadap tinggi lubang badan pada profil baja kastilasi dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Tinggi lubang optimum dipengaruhi oleh kapasitas geser profil baja kastilasi pada tampang kritis yaitu $1,5L_w$ dari tumpuan.
2. Kapasitas geser profil baja semakin kecil dengan penambahan tinggi lubang badan, akibat luas badan profil baja berkurang.
3. Lendutan membatasi besarnya beban merata yang dapat dipikul oleh profil baja kastilasi artinya control lendutan $1/240 L$ memperkecil beban merata.
4. Pemberian pengaku pada badan meningkatkan kapasitas geser profil baja kastilasi tersebut. Pada profil baja kastilasi yang diberi pengaku badan dengan tebal pelat 8 mm dan lebar 100 mm, tinggi lubang badan optimum yang didapat adalah 280 mm untuk panjang bentang 6 meter dengan q_u sebesar 14,5 kg/cm dan untuk panjang bentang 12 meter tinggi lubang badan optimum adalah 340 mm dengan q_u sebesar 3,38 kg/cm.

Saran-saran

Saran-saran yang dapat diambil berdasarkan hasil perhitungan tinggi lubang badan optimum profil baja kastilasi adalah sebagai berikut :

1. Dalam menentukan tinggi lubang badan optimum yang lebih akurat, penambahan tinggi lubang badan diatur sedemikian rupa sehingga gaya geser akibat beban merata yang dipikul oleh profil baja tersebut mendekati kapasitas geser profil baja.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih variatif, bentuk lubang dapat dibuat dengan ukuran yang berbeda misalnya berbentuk bulat, begitu pula dengan jenis perletakan dan pembebanannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, Penerbit Laboratorium Mekanika Struktur Pusat Penelitian Antar Universitas Ilmu Rekayasa Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Anonim, 2000, Kursus Singkat Perencanaan Struktur Baja dengan Metoda LRFD, Penerbit Laboratorium Mekanika Struktur Pusat Penelitian Antar Universitas Ilmu Rekayasa Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Gunawan T. dan Margaret S., 1998, Teori Soal dan Penyelesaian Konstruksi Baja I Jilid I, Delta Group Jakarta.
- Rene Amon, Bruce Knobloch, Atanu Mazubder, 1996, Perencanaan Konstruksi Baja untuk Insinyur dan Arsitek 1, PT. Pradnya Paramita.
- Salmon, Charles G. dan Johnson E, 1992, Struktur Baja dan Desain dan Perilaku 1 dan 2 edisi ketiga, terjemahan Ir. Mc. Prihminto Widodo, PT. Gramedis Pustaka Utama, Jakarta.
- Schodek, Daniel, 1995, Struktur, terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc., PT. Eresco.
- Spiegel, Leonard dan Limbrumer, George F., 1991, Desain Baja Struktural Terapan, terjemahan Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc., PT. Eresco.