

## OPTIMASI SUDUT POTONG BUKAAN LUBANG *HEXAGONAL* PADA BAJA *CASTELLATED*

Fajar Nauval Zuhdi,  
Karmila Achmad, S.T., M.T., Desak Made Ristia Kartika, S.Pd., M.Sc.

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan

[fajar.nauval18@gmail.com](mailto:fajar.nauval18@gmail.com)

Info Artikel	Abstract
<i>Keywords: hexagonal castellated steel, WF profile steel, opening angle, bending stress</i>	<i>The rafter beam is one of the components of the gable frame. In the construction of steel profiles that are generally used in beam frame are Wide Flange (WF) profile steel. In this study, an alternative hexagonal castellated was used with variations in the opening angle of 30°-70° with multiples of 5°. The advantages of hexagonal castellated steel are relatively lighter profiles, besides that the holes in this castellated steel can be used for laying electrical installation work (such as cable placement) so that it looks more aesthetic. From the fixed load analyzed, the steel profile WF 250.125.6.9. was obtained. This WF profile steel will later be used for a warehouse project owned by Pertamina which has a span is 10 m, the distance between the truss is 5 m with a roof slope of 25°. For hexagonal castellated steel, the dimension is 375.125.6.9 with an optimal opening angle of 30° with a bending stress is 100.03 N/mm<sup>2</sup> and a shear stress is 86.55 N/mm<sup>2</sup>.</i>

Kata kunci: baja *hexagonal castellated*, baja profil WF, bukaan sudut, tegangan lentur

### Abstrak

Balok *rafter* adalah salah satu komponen dari *gable frame*. Dalam konstruksi baja umumnya profil yang digunakan pada balok *rafter* adalah baja profil *Wide Flange* (WF). Dalam penelitian ini digunakan alternatif baja *hexagonal castellated* dengan variasi sudut bukaan 30°-70° dengan kelipatan 5°. Keunggulan baja *hexagonal castellated* adalah profil yang relatif lebih ringan, selain itu lubang-lubang pada baja *castellated* ini dapat dimanfaatkan untuk peletakkan pekerjaan instalasi listrik (seperti penempatan kabel) sehingga terlihat lebih estetik.

Dari pembebanan tetap yang dianalisis diperoleh baja profil WF 250.125.6.9. Baja profil WF ini nantinya digunakan untuk proyek *warehouse* milik Pertamina yang memiliki bentang kuda-kuda 10 m, jarak antar kuda-kuda 5 m dengan kemiringan atap 25°. Untuk baja *hexagonal castellated* diperoleh dimensi 375.125.6.9 dengan sudut bukaan optimalnya adalah 30° dengan nilai tegangan lentur 100,03 N/mm<sup>2</sup> dan tegangan geser 86,55 N/mm<sup>2</sup>.

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan dunia konstruksi di Indonesia semakin pesat linier dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana suatu infrastruktur. Terlebih di Kota Balikpapan sedang dilaksanakannya mega proyek *Refinery Development Master Plan* (RDMP) milik Pertamina. Pertamina menyiapkan bangunan untuk fase pra-konstruksi berupa *warehouse* dengan profil baja WF untuk *rafter* pada portal *gable*. Profil baja *castellated*

merupakan alternatif lain yang digunakan, karena memiliki keunggulan seperti lebih ringan dibandingkan dengan profil WF dan lubang-lubang pada baja *castellated* dapat dimanfaatkan untuk meletakkan kabel agar lebih estetik. Dimensi lubang pada baja *castellated* salah satunya dipengaruhi oleh sudut potong atau bukaan sudut, yang nantinya akan mempengaruhi besar momen inersia dan *section modulus* penampang. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang "Optimasi

Sudut Potong Bukaannya Lubang *Hexagonal* pada Baja *Castellated*".

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dibuat rumusan masalah yang akan diteliti sebagai berikut.

1. Berapa besar kuat lentur yang terjadi pada masing-masing variasi bukaan?
2. Berapa besar kuat geser yang terjadi pada masing-masing variasi bukaan?
3. Berapa besar bukaan sudut optimal ditinjau dari kuat lentur dan kuat gesernya?

### 1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyusunan penelitian ini adalah menganalisis variasi sudut pada baja *hexagonal castellated* guna memperoleh sudut yang optimal. Adapun tujuan dari penyusunan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui besar kuat lentur yang terjadi pada tiap-tiap variasi sudut pada baja *hexagonal castellated*.
2. Mengetahui besar kuat geser yang terjadi pada tiap-tiap variasi sudut pada baja *hexagonal castellated*.
3. Mengetahui besar bukaan sudut optimal pada baja *hexagonal castellated* ditinjau dari kuat lentur dan gesernya.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Material Baja

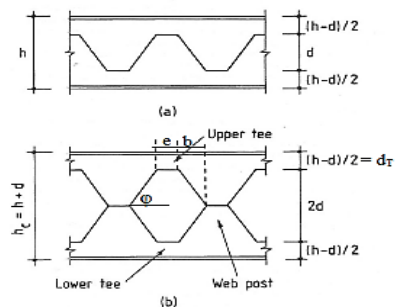
Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Baja memiliki beberapa sifat utama yaitu kekuatan (*strength*), kekuatan baja dilihat dari kuat tarik yang sangat baik. Sifat lainnya ialah keuletan (*ductility*), yaitu kemampuan sebuah baja untuk melakukan deformasi sebelum terputus. Kemudian kekerasan (*hardness*), ketahanan suatu material pada besarnya gaya yang bisa

menembus pada permukaannya. Sifat terakhir ialah ketangguhan (*toughness*), hubungan beberapa jumlah energi yang mampu diterima baja hingga terputus.

Di samping memiliki sifat utama, baja juga memiliki sifat mekanis baja di antaranya modulus elastisitas baja ( $E$ ) sebesar  $2,1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> dan untuk mutu baja BJ 37 memiliki tegangan leleh minimum ( $f_y$ ) sebesar 240 MPa.

### 2.2. Baja Profil

Baja profil (*structural steel*) merupakan kategori baja yang digunakan dalam suatu konstruksi dengan berbagai jenis dan bentuk yang sesuai dengan standar. Contoh baja profil meliputi baja WF, baja C, dan modifikasi baja profil WF (baja *hexagonal castellated*)



Gambar 1. Baja *Hexagonal Castellated*

### 2.3. Pembebanan

Pembebanan merupakan faktor penting dalam merancang struktur bangunan. Untuk itu, dalam merancang struktur perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada sistem struktur tersebut. Secara umum, struktur bangunan dikatakan aman dan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan kombinasi beban yang bekerja pada bangunan tersebut.

### 2.4. Kontrol Baja

Kontrol perhitungan profil *Wide Flange* dan profil baja *hexagonal castellated* berdasarkan PPBI 1984 dan

buku *Design of Welded Structures* adalah sebagai berikut.

a. Profil Baja WF

1. Terhadap momen tahanan

$$W_x = \frac{M_{maks}}{1.600} \quad (1)$$

Keterangan:

$W_x$  : momen tahanan,  $cm^3$

$M_{maks}$  : momen maksimum,  $kg.cm$

2. Kontrol perubahan bentuk

$$\frac{h}{t_s} \leq 75 \quad (2)$$

$$\frac{l_{gording}}{b} \leq \frac{1,25 \cdot b}{t_b} \quad (3)$$

Keterangan:

$h$  : tinggi penampang baja WF, mm

$t_s$  : tebal sayap, mm

$b$  : lebar sayap baja WF, mm

$l_{gording}$  : jarak antar gording, m

3. Kontrol terhadap lipatan KIP

$$\sigma = \frac{M_{maks}}{W_x} \leq 1.600 \text{ kg/m}^2 \quad (4)$$

4. Kontrol geser

$$\tau = \frac{D \cdot S_x}{t_b \cdot I_x} \quad (5)$$

Keterangan:

$S_x$  : titik berat, cm

$t_b$  : tebal badan WF, cm

$D$  : gaya geser maksimum, kg

$I_x$  : momen inersia arah x baja WF,  $cm^4$

5. Kontrol lendutan

$$f_x = \frac{5}{384} \times \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_x} \quad (6)$$

Di mana:

$q$  : berat sendiri baja,  $kg/cm$

$l$  : panjang balok *rafter*, cm

b. Profil Baja *Hexagonal Castlled*

1. Kontrol tegangan lentur sekunder

$$\sigma_T = \frac{V_{maks} \cdot e}{4 \cdot S_s} \quad (7)$$

Keterangan:

$V_{maks}$  : gaya geser maksimum, kg

$e$  : panjang bagian lubang, mm

$S_s$  : modulus tahanan tangkai T,  $mm^3$

2. Kontrol tegangan lentur utama

$$\sigma_b = \frac{F}{A_T} = \frac{M_{maks}}{d \cdot A_T} \quad (8)$$

Keterangan:

$d$  : jarak antara sumbu netral T atas-bawah, mm

$A_T$  : luas tangkai T atas-bawah,  $mm^2$

3. Cek tegangan geser maksimum

$$\tau = \frac{V_h}{t_w \cdot e} \quad (9)$$

Keterangan:

$t_w$  : tebal badan, mm

### 3. Metodologi Penelitian

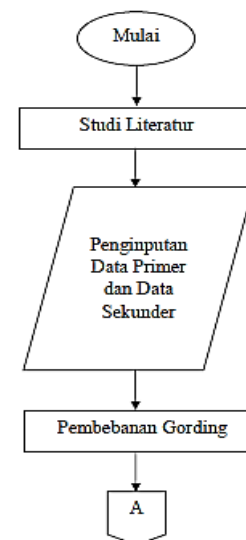
#### 3.1. Data Penelitian

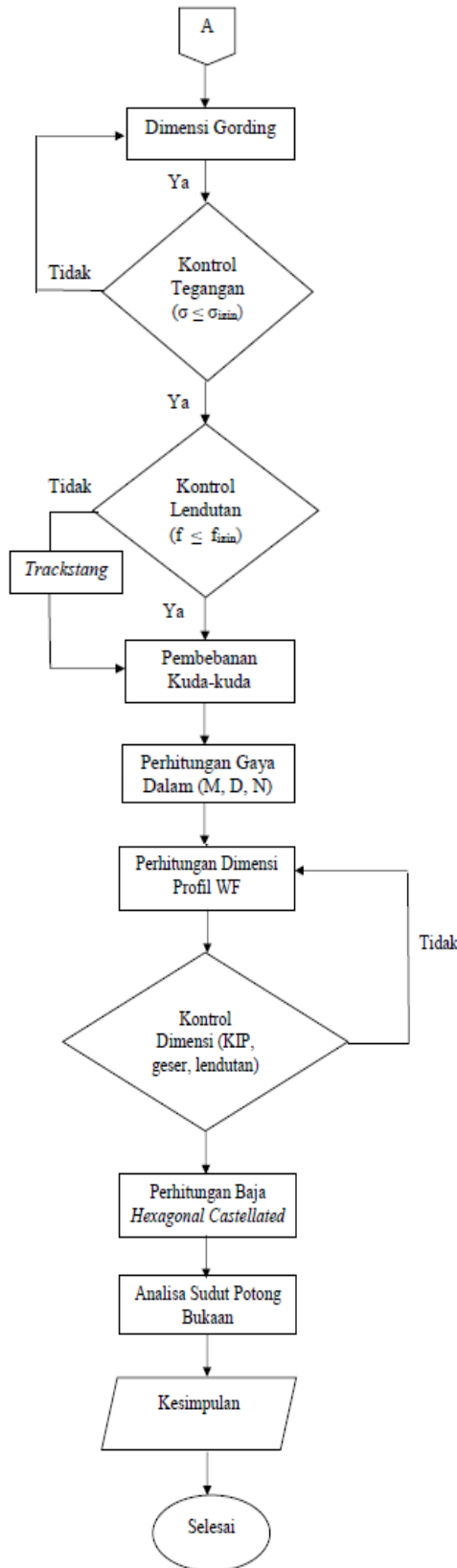
Data penelitian adalah sebagai berikut.

- Bentang Kuda-Kuda : 10 m
- Jarak antar Kuda-Kuda : 5 m
- Sudut Kemiringan Atap : 25°
- Mutu Baja : BJ 37

#### 3.2. Variasi

Variasi sudut yang digunakan adalah 30°-70° dengan kelipatan 5°. Tahapan penelitian yang dilakukan seperti pada gambar 2 berikut ini.





Gambar 2. Bagan Alir Analisis

4. Hasil dan Pembahasan

Data perencanaan yaitu menggunakan bentang kuda-kuda 10 m, jarak antar kuda-kuda 5 m, dengan kemiringan atap 25°, dan memakai mutu baja BJ 37.

4.1. Gording

Dalam hal perencanaan gording, direncanakan gording dengan profil baja C 150.65.20.3,2. dengan besar tegangan 1.225,6 kg/cm<sup>2</sup> dan besar lendutan 1,595 cm. Selain itu, trackstang dan ikatan angin yang digunakan berdiameter 6 mm.

4.2. Baja Profil WF

Pembebanan yang digunakan adalah beban tetap yaitu penjumlahan dari beban mati dan beban hidup. Profil yang direncanakan yaitu 250.125.6.9 dengan SAP2000 v22 diperoleh gaya aksial maksimum (N) bernilai 3.499,49 kg, gaya geser maksimum (V) bernilai 1.393,89 kg dan momen maksimum (M) bernilai 4.096,99 kg.m.

Kontrol profil baja WF yaitu:

- a. Momen Tahanan

$$W_{perlu} < W_{x(rencana)}$$

$$284,513 \text{ cm}^3 < 324 \text{ cm}^3$$

- b. KIP, berdasarkan PPBBI-1984

$$\sigma_{maks} \cdot \frac{N}{A} + 0,85 \cdot \theta \cdot \frac{n_x}{n_x - 1} \cdot \frac{M_x}{W_x} \leq \sigma_{izin}$$

$$1.402,134 \text{ kg/cm}^2 \leq 1.600 \text{ kg/cm}^2$$

dan

$$\frac{N}{A} + \theta \cdot \frac{M_x}{W_x} \leq \sigma_{izin}$$

$$1.357,426 \text{ kg/cm}^2 \leq 1.600 \text{ kg/cm}^2$$

- c. Tegangan

- Lentur,  $\sigma \leq \sigma_{izin}$

$$1.264,503 \text{ kg/cm}^2 \leq 1.600 \text{ kg/cm}^2$$

- Geser,  $\tau \leq \tau_{izin}$

$$102,230 \text{ kg/cm}^2 < 960 \text{ kg/cm}^2$$

- d. Lendutan

$$f_x \leq f_{maks}$$

$$0,041 \text{ cm} \leq 2,295 \text{ cm}$$

#### 4.3. Perhitungan Profil Baja *Hexagonal Castellated*

Baja WF yang sudah diperhitungkan baik dari pembebanan dan kontrolnya, kemudian dilakukan pemotongan zig-zag sehingga membentuk bukaan berbentuk *hexagonal* pada bagian tengahnya. Pada dasarnya, baja WF yang sudah aman dari berbagai kontrol keamanan sudah layak untuk digunakan. Namun, pemilihan untuk membuat baja *hexagonal castellated* ini bertujuan untuk mendapatkan kelebihan yang dimilikinya, yaitu dapat menghasilkan kekuatan profil yang lebih kuat dan kaku, bahan yang lebih ringan, dan lubang pada baja *hexagonal castellated* dimanfaatkan untuk menjadi tempat kabel-kabel instalasi listrik.

Data material yang digunakan:

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{izin} = 0,6 \cdot 240 = 144 \text{ MPa}$$

$$\tau_{izin} = 0,4 \cdot 240 = 96 \text{ MPa}$$

Langkah-langkah perencanaannya yaitu:

1. Tentukan *section modulus* dari baja WF yang akan dijadikan baja *hexagonal castellated*:

$$W_x = \frac{M}{\sigma} = \frac{440.177.746,98}{240} = 167.407,28 \text{ mm}^3$$

2. Hubungan antara baja *hexagonal castellated* dan baja WF yaitu:

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b}, \text{ diasumsikan besarnya } K_1 = 1,5$$

3. Tentukan tinggi potongan lubang baja *hexagonal castellated*:

$$\begin{aligned} h &= d_b \cdot (K_1 - 1) \\ &= 250 \cdot (1,5 - 1) \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rencanakan sudut potongan,

$\emptyset = 30^\circ$ , sehingga:

$$\theta = 90^\circ - \emptyset = 60^\circ$$

Untuk menjaga tegangan geser vertikal pada *stem* dari penampang T maka nilai  $h$  tidak boleh melewati ketentuan  $h_{batas}$  berikut.

$$d_T = \frac{V_{maks}}{2 \cdot t_w \cdot \tau_{ijin}} = \frac{13.938,9}{2 \cdot 6 \cdot (0,4 \cdot 240)} = 12,1 \text{ mm}$$

$$h_{batas} = d_b - 2 \cdot d_T$$

$$= 250 - 2 \cdot 12,1$$

$$= 225,8 \text{ mm} > 125 \text{ mm (asumsi layak)}$$

$$d_g = d_b + h = 250 + 125 = 375 \text{ mm}$$

$$d_T = (d_g/2) - h$$

$$= (375/2) - 125$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$d_s = d_T - t_f$$

$$= 62,5 - 9$$

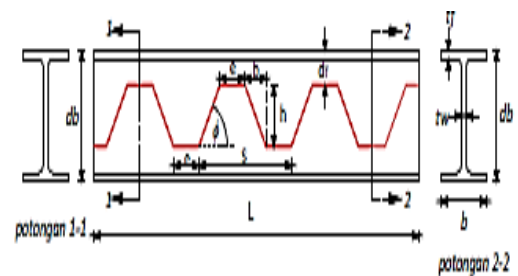
$$= 53,5 \text{ mm}$$

4. Cek kompak dari penampang (*buckling akibat tekanan aksial*):

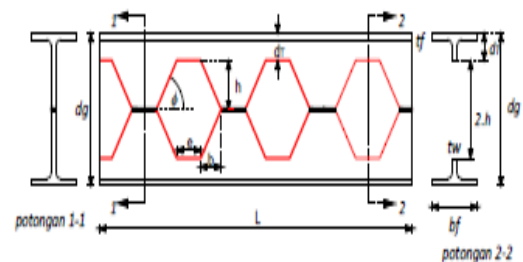
$$\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{300}{\sqrt{f_y}} \longrightarrow \frac{0,5 \cdot 125}{9} \leq \frac{300}{\sqrt{f_y}} = 6,944 \leq 19,364$$

$$\frac{b_s}{t_s} \leq \frac{400}{\sqrt{f_y}} \longrightarrow \frac{62,55}{6} \leq \frac{400}{\sqrt{f_y}} = 10,417 \leq 25,82$$

Maka, penampang kompak.



Gambar 3. Geometrik Hasil Potongan



Gambar 4. Pola Penyusunan Baja Castellated

5. Tentukan tegangan geser izin untuk  $f_y = 240 \text{ MPa}$ .

$$\begin{aligned} \sigma_{izin} &= \left(1 - \frac{10,434}{c_c^2} \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot f_y \\ &= (1 - 0,0006 \cdot 434,028) \cdot 0,6 \cdot 240 \\ &= 106,2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\tau_{izin} = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \theta}{180^\circ}\right)^2 \cdot \sigma_{izin}}{3 \cdot \text{tg } \theta} \leq 0,4 \cdot f_y$$

$$= \frac{4 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 60^\circ}{180^\circ}\right)^2 \cdot 106,2}{3 \cdot \text{tg } 60^\circ} \leq 0,4 \cdot 240$$

$$= 89,57 \text{ N/mm}^2 \leq 96 \text{ N/mm}^2$$

Jadi yang digunakan sebagai tegangan izin,  $\tau_{izin} = 89,57 \text{ N/mm}^2$ .

6. Hitung tegangan geser maksimum sepanjang sumbu netral penampang *web* baja:

$$\begin{aligned} \tau_{maks} &= 1,16 \cdot \frac{95\% \cdot V_{maks}}{t_w \cdot d_g} \\ &= 1,16 \cdot \frac{95\% \cdot 13.938,9}{6 \cdot 375} \\ &= 6,83 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

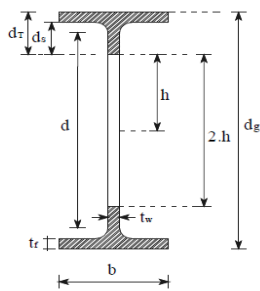
7. Dengan mengetahui tegangan geser maksimum pada *web* dan tegangan geser izin maka didapat rasio:

$$\begin{aligned} K_2 &= \frac{\tau_{maks}}{\tau_{ijin}} = \frac{e}{s} = \frac{6,83}{89,57} = 0,076 \\ e &\geq \frac{2 \cdot h \cdot \text{tg } \theta}{\left(\frac{1}{K_2}\right)^{-2}} = \frac{2 \cdot 125 \cdot \text{tg } 60^\circ}{\left(\frac{1}{0,076}\right)^{-2}} = 38,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, jarak antar lubang ( $e$ ) = 38,94 mm.

8. Hitung *properties* dari baja *hexagonal castellated*:

$$\begin{aligned} A_T &= A_f + A_s \\ &= b \cdot t_f + d_s \cdot t_w \\ &= 125 \cdot 9 + 53,5 \cdot 6 \\ &= 1.446 \text{ mm}^2 \\ M_y &= A_f \left(d_s + \frac{t_f}{2}\right) + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \\ &= 1.125 \left(53,5 + \frac{9}{2}\right) + 321 \cdot \frac{53,5}{2} \\ &= 73.836,75 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



Gambar 5. Penampang *Hexagonal Castellated*

$$\begin{aligned} I_y &= A_f \cdot (d_s^2 + d_s \cdot t_f + \frac{t_f^2}{3}) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \\ &= 1.125 (2.862,25 + 481,5 + 27) + 306.261 \\ &= 4.098.354,5 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$c_s = \left(\frac{M_y}{A_T}\right) = \left(\frac{73.836,75}{1.446}\right) = 51,1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_T &= I_y - c_s \cdot M_y \\ &= 4.098.354,5 - 51,1 \times 73.836,75 \\ &= 328.046,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$S_s = \frac{I_T}{c_s} = \frac{328.046,3}{51,1} = 6.424,37 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} d &= 2 \cdot (h + C_s) \\ &= 2 (125 + 51,1) = 352,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_g &= 2 \cdot I_T + \left(\frac{A_T \cdot d^2}{2}\right) \\ &= 2 \times 328.046,3 + \left(\frac{1.446 \cdot 352,13^2}{2}\right) \\ &= 90.302.584 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$S_g = \frac{2 \cdot I_g}{d_g} = \frac{2 \times 90.302.584}{375} = 481.613,78 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} s &= 2 \cdot (e + h \cdot \text{tg } 60^\circ) \\ &= 2 \cdot (38,94 + 125 \cdot \text{tg } 60^\circ) \\ &= 510,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

9. Cek tegangan-tegangan yang terjadi.

$$\begin{aligned} \sigma_{izin} &= \left(1 - \frac{2,609}{C_c^2} \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot f_y \\ &= \left(1 - \frac{2,609}{131,36^2} \cdot \left(\frac{125}{6}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot 240 \\ &= (1 - 0,0002 \cdot 434) \cdot 144 \\ &= 134,55 \text{ N/mm}^2 \leq 144 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi yang digunakan sebagai tegangan izin di lubang yaitu  $\sigma_{izin} = 134,55 \text{ N/mm}^2$ .

- a) Cek tegangan lentur sekunder di lubang dekat perletakan:

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \frac{V_{maks} \cdot e}{4 \cdot S_s} = \frac{13.938,9 \times 38,94}{4 \cdot 6.424,37} = 21,12 \\ &\text{N/mm}^2 \leq 134,55 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- b) Cek tegangan lentur utama di tengah bentang:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{F}{A_T} = \frac{M_{maks}}{d \cdot A_T} = \frac{40.177.746,98}{352,13 \cdot 1.446} = 78,91 \text{ N/mm}^2 \\ &\leq 134,55 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- c)  $\sigma_{total} = 21,12 + 78,91 \leq 134,55 \text{ N/mm}^2$   
 $= 100,03 \text{ N/mm}^2 \leq 134,55 \text{ N/mm}^2$

Baja *hexagonal castellated* aman dari tegangan lentur.

10. Cek *web buckling* akibat gaya geser horizontal:

$$\begin{aligned} \sigma_{y_{maks}} &= \frac{3 \cdot V_{maks} \cdot \tan \theta}{4 \cdot t_w \cdot e \cdot \theta^2} = \frac{3 \cdot 14.642 \cdot \tan 60^\circ}{4 \cdot 6 \cdot 41 \cdot (1,047)^2} = 70 \text{ N/mm}^2 \\ &\leq 134,55 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi, tidak perlu dipasang pengaku baji sepanjang lubang.

11. Cek tegangan geser maksimum yang terjadi:

$$V_h = V_{maks} \cdot \left(\frac{s}{d}\right) = 13.938,9 \cdot \left(\frac{510,9}{352,13}\right) = 20.223,88$$

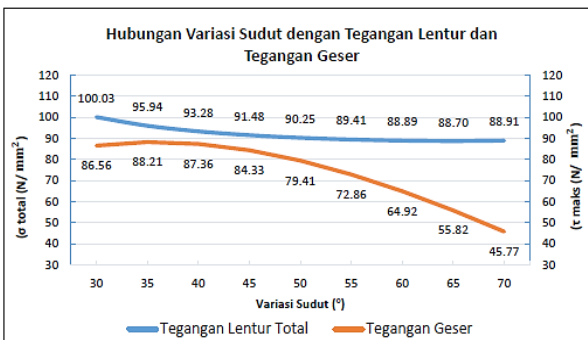
$$\tau = \frac{V_h}{t_w \cdot e} = \frac{20.223,88}{6 \cdot 38,94} = 86,56 \leq 89,57 \text{ N/mm}^2$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama namun menerapkan variasi sudut potong yang berbeda, diperoleh nilai besar kuat lentur dan kuat geser seperti pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Baja Hexagonal Castellated

Variasi	Ø	h	dg	e	s	σ <sub>total</sub>	τ <sub>maks</sub>
		mm	mm	mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	30	125	375	38,94	510,90	100,03	86,56
2	35	125	375	31,40	419,84	95,94	88,21
3	40	125	375	26,50	350,95	93,28	87,36
4	45	125	375	23,19	296,37	91,48	84,33
5	50	125	375	20,90	251,58	90,25	79,41
6	55	125	375	19,36	213,77	89,41	72,86
7	60	125	375	18,41	181,16	88,89	64,92
8	65	125	375	18,05	152,67	88,70	55,82
9	70	125	375	18,43	127,85	88,91	45,77

Berdasarkan beberapa perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat pada tabel 1, bahwa adanya perbedaan nilai e (panjang bidang horizontal lubang), s (jarak antar panel), σ<sub>total</sub> (tegangan lentur), dan τ<sub>maks</sub> (tegangan geser) untuk masing-masing sudut yakni dimulai dari sudut 30°-70°. Maka diperoleh grafik hubungan antara variasi sudut potong dengan besar tegangan lentur dan variasi sudut potong dengan besar tegangan geser sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik Hubungan Variasi Sudut dengan Tegangan Lentur dan Tegangan Geser

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat bahwa sudut potong 30° memiliki besar tegangan lentur yang paling besar yakni 100,03 N/mm<sup>2</sup>. Kemudian diikuti sudut 35°, sebesar 95,94 N/mm<sup>2</sup> dengan persentase penurunan 4,08 %. Pada sudut 40° juga mengalami penurunan dari sudut 35° sebesar 2,77 %. Untuk variasi sudut lainnya juga terus mengalami penurunan hingga sudut 65°, dan akan naik tidak signifikan di sudut 70° sebesar 0,23 % dari sudut 65°. Selanjutnya, sudut 35° memiliki besar tegangan geser yang paling tinggi yakni 88,2 N/mm<sup>2</sup>, naik sebesar 1,9 % dari sudut 30° yang memiliki besar tegangan gesernya yakni 86,55 N/mm<sup>2</sup>. Pada sudut 40° juga mengalami penurunan dari sudut 35° sebesar 0,96 %. Mulai sudut 40° terjadi penurunan terus menerus hingga sudut 70° yang memiliki besar tegangan geser yakni 45,77 N/mm<sup>2</sup>.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis variasi sudut bukaan baja hexagonal castellated 375.125.6.9 yaitu:

1. Nilai tegangan lentur untuk masing-masing variasi sudut yaitu sudut 30° = 100,03 N/mm<sup>2</sup>, 35° = 95,94 N/mm<sup>2</sup>, 40° = 93,28 N/mm<sup>2</sup>, 45° = 91,48 N/mm<sup>2</sup>, 50° = 90,25 N/mm<sup>2</sup>, 55° = 89,41 N/mm<sup>2</sup>, 60° = 88,89 N/mm<sup>2</sup>, 65° = 88,70 N/mm<sup>2</sup>, 70° = 88,91 N/mm<sup>2</sup>.
2. Nilai tegangan geser untuk masing-masing variasi sudut yaitu sudut 30° = 86,55 N/mm<sup>2</sup>, 35° = 88,2 N/mm<sup>2</sup>, 40° = 87,36 N/mm<sup>2</sup>, 45° = 84,33 N/mm<sup>2</sup>, 50° = 79,4 N/mm<sup>2</sup>, 55° = 72,85 N/mm<sup>2</sup>, 60° = 64,92 N/mm<sup>2</sup>, 65° = 55,82 N/mm<sup>2</sup>, 70° = 45,766 N/mm<sup>2</sup>, menghasilkan sudut optimal adalah pada sudut 30°.
3. Bukaan yang paling optimal berada pada sudut 30° dengan nilai tegangan lentur yakni 100,03 N/mm<sup>2</sup> dan nilai tegangan geser yakni 86,55 N/mm<sup>2</sup>.

## 5.2. Saran

Saran dari penelitian ini yaitu:

1. Dapat dilakukan penelitian lanjutan tentang baja *castellated* lainnya yaitu *circular* dan *diamond/rhomb*.
2. Dilakukan penelitian lanjutan tentang efisiensi baja *castellated* dibanding baja profil WF.

## Daftar Pustaka

- [1] Anonim. 2020. "Kuda-kuda Baja Profil, Bentuk & Jenis Bahan yang Dipakai" <https://arsitekta.com/bentuk-kuda-kuda-baja-profil-dan-jenis-bahan/> (diakses 16 Maret 2021).
- [2] Anonim. 2008. "Jenis dan Bentuk Baja Profil (structuralsteel)" <https://www.etsworlds.id/2018/08/jenis-dan-bentuk-baja-profil-structural.html> (diakses 16 Maret 2021)
- [3] Blodgett O. W. 1991. *Design of Welded Structures, in Open Web Expanded Beams and Girders*, Cleveland, Ohio: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Fourteenth Printing.
- [4] BSN, 2002. *Tata Cara perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*, SNI 03 – 1729 – 2002, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [5] BSN, 2006. *Baja Profil WF – beam proses canai panas (Bj P WF-beam)*, SNI 07 – 7178 – 2006, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [6] BSN, 2013. *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain*, SNI 1727:2013, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [7] BSN, 2017. *Baja Tulangan Beton*, SNI 2052:2017, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [8] Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, Yayasan Badan Penerbit P.U, Jakarta.
- [9] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1984. *Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI)*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- [10] Grunbaeur, Johan. "What Makes Castellated Beams So Desirable As a Constructional Element" <http://www.grunbaeur.nl/eng/inhound.html>. (diakses 20 Maret 2021)
- [11] Gunawan, Rudy. 1987. *Tabel Profil Konstruksi Baja*, Yogyakarta: Yayasan Sarana Cipta.
- [12] Ridwan, Muhammad. 2014. "Studi Analisis Perbandingan antara Balok Baja Profil WF (Wide Flange) dan Balok Castella dengan Model Struktur Gable Frame pada Relokasi Pasar Blimbing Malang." *Skripsi*. Malang: FT Institut Teknologi Nasional Malang. Tidak Diterbitkan.
- [13] Rizka. 2019. "Perbandingan Kuda-Kuda Castellated Beam dengan Bukaian Hexagonal dan Circular." *Tugas Akhir*. Balikpapan: FT Politeknik Negeri Balikpapan. Tidak Diterbitkan.