

Analisa Kekuatan Profil *Hexagonal Castellated* dengan Variasi Sudut Buka

Karmila Achmad^{1*}, Elok Delima Anggraini², Wijadmoko³, Masrul Huda⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Balikpapan

*Email:karmila.achmad@poltekba.ac.id

Abstract

Hexagonal Castellated Profile is a structure with hexagonal shaped elements connecting to each other to form an optimal and precise series. Strength analysis was carried out on the WF profile which was modified into a Hexagonal Castellated profile with variations of opening angles, 30°, 45° and 60°. The analysis was carried out using the LRFD method by combining load factors and resistance factors to determine a more accurate structure strength. The load factor includes dead load, live load and wind load, while the resistance factor includes safety factors against profile and material failure. The strength of the hexagonal castellated profile is viewed from its shear strength and bending strength. The analysis result in opening angle variations of 30°, 45° and 60° showed that the largest shear stress value at an opening angle of 30°, 156.81 MPa and the largest bending stress value at an opening angle of 45°, 102.21 MPa

Keywords: Hexagonal Castellated , shear strength, Flexural strength, and Opening angle

Abstrak

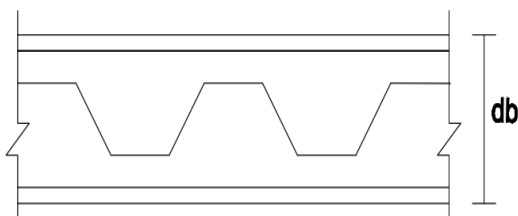
Profil Hexagonal Castellated adalah struktur dengan elemen berbentuk hexagonal yang saling terhubung untuk membentuk rangkaian yang optimal dan tepat. Dalam penelitian ini dilakukan analisa kekuatan pada profil WF yang dimodifikasi menjadi profil *Hexagonal Castellated* dengan variasi sudut bukaan yaitu 30°,45° dan 60°. Analisa dilakukan dengan metode LRFD dengan menggabungkan faktor beban dan faktor ketahanan untuk menentukan kekuatan struktur dengan lebih akurat. Faktor beban mencakup beban mati,beban hidup dan beban angin, sedangkan faktor ketahanan mencakup faktor keamanan terhadap kegagalan profil dan material. Kekuatan profil *hexagonal castellated* ditinjau dari kekuatan geser dan kekuatan lenturnya.Hasil dari analisa variasi sudut bukaan 30°,45° dan 60° didapatkan nilai tegangan geser terbesar pada sudut bukaan 30° yaitu 156,81 MPa dan nilai tegangan lentur terbesar pada sudut bukaan 45° yaitu 102,21 MPa

Kata kunci: Hexagonal Castellated, Kekuatan Geser, Kekuatan Lentur dan Sudut Buka

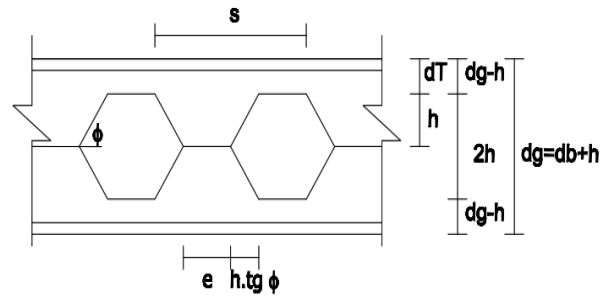
1. Pendahuluan

Baja merupakan logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) [1]-[3]. Contoh baja profil meliputi baja WF, baja C, dan modifikasi baja profil WF (baja *hexagonal castellated*).

Hexagonal castellated merupakan balok dengan bukaan pada *web* yang terbuat dari balok *wide flange* (balok *I section*) yang dipotong menjadi segi enam, di rangkai ulang, dan di las sehingga membentuk pola bukaan tersebut [4]. Pembentukan *hexagonal castellated* sebenarnya bertujuan untuk menambah tinggi profil dari balok *wide flange* asli. Tinggi *hexagonal castellated* dapat mencapai 50% lebih tinggi daripada balok *wide flange* aslinya. [5] Hal ini mengakibatkan *section modulus* dari *hexagonal castellated* 2,25 kali lebih besar dari *section modulus* balok *wide flange* asli, sehingga *hexagonal castellated* dapat menahan beban lebih besar tanpa harus mengganti profil *wide flange* dengan profil yang lebih besar dan lebih mahal [5]. Disamping memiliki kelebihan, *hexagonal castellated* juga memiliki beberapa kelemahan antara lain, terjadi konsentrasi tegangan dekat lubang dan kapasitas geser berkurang [5]. Dimensi lubang pada *castellated* salah satunya dipengaruhi oleh sudut potong atau bukaan sudut, yang nantinya akan mempengaruhi besar momen inersia dan *section modulus* penampang [6]. Besar sudut bukaan *castellated*, selain mempengaruhi kapasitas lentur juga mempengaruhi kapasitas geser [7].



Gambar 1. Profil WF



Gambar 2. Profil hexagonal castellated

Tahapan perhitungan profil hexagonal castellated adalah sebagai berikut:

1. Mencari tinggi pemotongan zig-zag baja profil *Hexagonal Castellated* (h):

$$h = db \cdot (k1 - 1)$$

Keterangan:

h = Tinggi potongan *zig-zag* terhadap sumbu netral (mm)

db = Tinggi baja profil WF (mm)

$K1$ = perbandingan tinggi baja profil *Hexagonal Castellated* dengan baja WF aslinya, diasumsikan kenaikan tinggi baja profil *Hexagonal Castellated* mencapai $\pm 0,6$ kali ketinggian profil WF aslinya (sebelum pemotongan)

2. Mencari tinggi baja profil *Hexagonal Castellated* (dg):

$$dg = db + h$$

Keterangan:

dg = Tinggi baja profil *Hexagonal Castellated* (mm)

db = Tinggi baja profil WF (mm)

h = Tinggi potongan *zig-zag* terhadap sumbu netral (mm)

3. Menghitung panjang bidang horizontal dan jarak antar panel:

$$e \geq \frac{2 \cdot h \cdot \tan \theta}{\left(\frac{1}{k^2}\right) - 2}$$

$$S = 2 \times (e + h \times \tan \theta)$$

Dengan

$$\theta = 90 - \phi$$

Keterangan:

e = Panjang Bagian lubang baja profil *hexagonal castellated* (mm)

k_2 = Rasio tegangan geser

S = Jarak interval lubang segi enam penampang baja *castellated* (mm)

Kontrol *hexagonal castellated*

Salah satu kegagalan struktur baja adalah kegagalan tekuk/buckling. Konsekuensi tekuk pada dasarnya adalah masalah geometric dasar, dimana lendutan besar akan mengubah bentuk struktur. [8]

a. Lipat sayap

$$\frac{bf}{tf} \leq \frac{3000}{\sqrt{fy}}$$

b. Lipat badan

$$\frac{bs}{tw} \leq \frac{4000}{\sqrt{fy}}$$

c. Tekuk sayap

$$\frac{bf}{2 \times tf} < 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

d. Tekuk badan

$$\frac{dg}{2 \times tw} < 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

Keterangan:

b_f = lebar sayap (mm)

t_f = tebal sayap (mm)

b_s = tinggi penampang T *hexagonal* (mm)

t_w = tebal badan (mm)

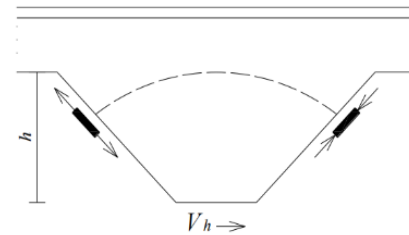
d_g = tinggi baja profil *Hexagonal Castellated* (mm)

f_y = tegangan leleh baja (N/mm²)

E = Modulus elastisitas baja (N/mm²)

Kontrol untuk masing-masing bukan adalah:

1. Tegangan geser



Gambar 3. Tegangan geser pada balok *castella*

$$\sigma_v \leq \overline{\sigma_v}$$

$$\left[\frac{4 \times \left(\frac{\pi \times \theta}{180^\circ} \right)^2}{3 \times \tan \theta} \right] \times \left[\left(1 - \frac{10,434}{Cc^2} \right) \cdot \left(\frac{h}{tw} \right)^2 \right] \cdot 0,6fy \leq 0,4 \cdot f$$

2. Tegangan lentur

$$\sigma_b + \sigma_T \leq \overline{\sigma_L}$$

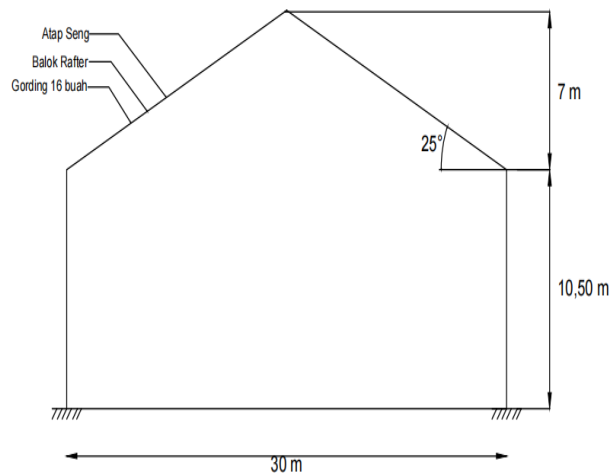
$$\frac{Mu}{d \cdot A_T} + \frac{Vu \cdot e}{4 \cdot S_s} \leq \left[1 - \frac{2,609}{Cc^2} \left(\frac{e}{tw} \right)^2 \right] \cdot 0,6 \cdot fy$$

2. Metoda Penelitian

2.1. Data Perencanaan

Data perencanaan rangka atap adalah:

1. Bentang rafter : 30 m
2. Jarak antar rafter : 6 m
3. Jenis penutup atap : Meta color sheet
4. Berat penutup atap : 10 Kg/m² (SNI 03-1727-2020)
5. Kemiringan atap : 25°
6. Jenis bangunan : Workshop
7. Mutu baja : BJ 37

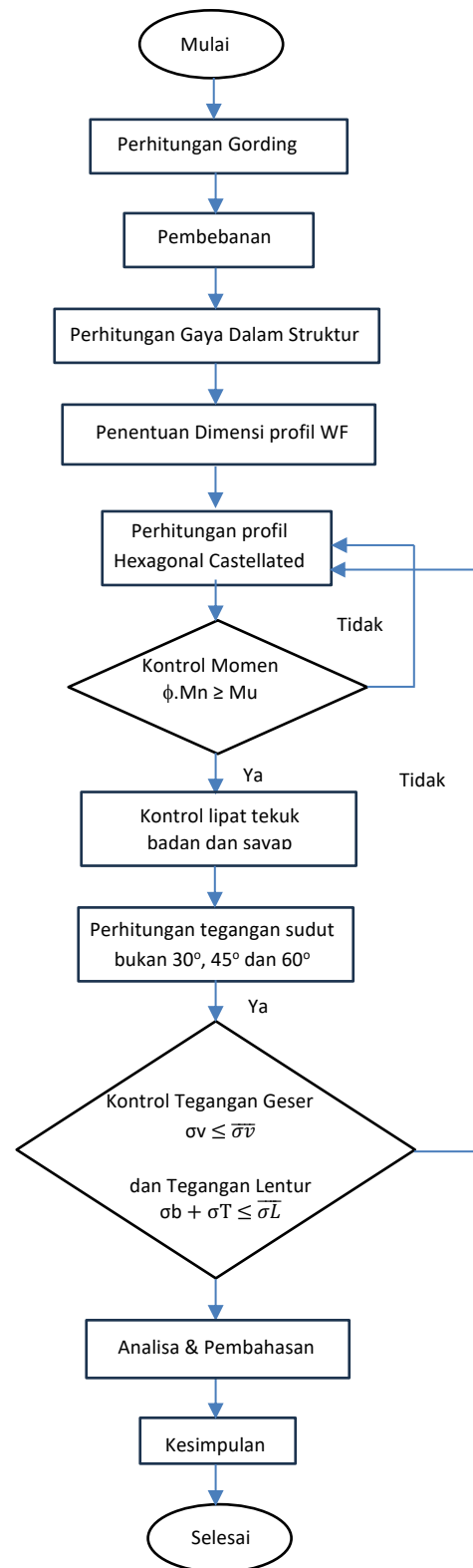


Gambar 4. Rencana Atap

2.2. Alur Penelitian

Berdasarkan data perencanaan maka dilakukan Analisa dimulai dari perhitungan gording, pembebanan portal. Dengan melakukan Analisa gaya dalam untuk beban tetap maka diperoleh gaya dalam momen, lintang dan normal dengan menggunakan aplikasi SAP 2000.

Dari gaya dalam yang diperoleh ini maka dapat ditentukan besar profil WF untuk balok rafter yang selanjutnya akan di potong hingga berubah menjadi profil *hexagonal castellated* yang akan dianalisa berdasarkan variasi sudut bukannya. Adapun diagram alir untuk penelitian ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Diagram Alir Tahapan Analisis Profil Baja WF dan *Hexagonal Castellated*

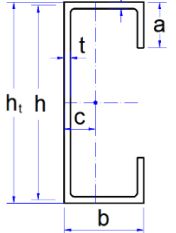
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Profil Balok Rafter

Dari hasil analisa didapatkan:

1. Gording yaitu profil baja C 100.50.20.3,2

Tabel 1. Detail Profil Gording

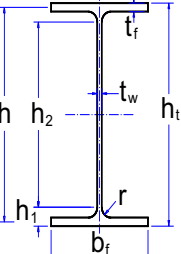
	C 100.50.20.3,2	
	$h_t =$	100 mm
	$b =$	50 mm
	$a =$	20 mm
	$t =$	3,2 mm
	$A =$	701 mm ²
	$I_x =$	1070000 mm ⁴
	$I_y =$	25000 mm ⁴
	$S_x =$	21300 mm ³
	$S_y =$	7810 mm ³
	$r_x =$	39 mm
	$r_y =$	18,7 mm
	$c =$	18,6 mm
	$w =$	5,5 kg/m

2. Gaya dalam yang diperoleh :

- N : -19.764,65 N
- V : 38.554,56 N
- M : 174.960.168,9 Nmm.

3. Profil wf yaitu WF 300.300.10.15

Tabel 2. Profil WF

	WF 300.300.10.15	
	$h_t =$	300 mm
	$b_f =$	300 mm
	$t_w =$	10 mm
	$t_f =$	15 mm
	$r =$	18 mm
	$A =$	11.980 mm ²
	$I_x =$	204.000.000 mm ⁴
	$I_y =$	67.500.000 mm ⁴
	$r_x =$	131 mm
	$r_y =$	75,1 mm
	$S_x =$	1.360.000 mm ³
	$S_y =$	450.000 mm ³
	$w =$	940 N/m

3.2. 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 berdasarkan variasi sudut bukaan 30°, 45° dan 60°.

Kontrol lipat sayap

$$\frac{bf}{tf} \leq \frac{3000}{\sqrt{fy}}$$

$$20 \leq 148,15$$

Kontrol lipat badan

$$bs = dt = 75 \text{ mm}$$

$$\frac{bs}{tw} \leq \frac{4000}{\sqrt{fy}}$$

$$7,5 \leq 197,54$$

Tekuk sayap

$$\frac{bf}{2 \times tf} < 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$10 > 8,39$$

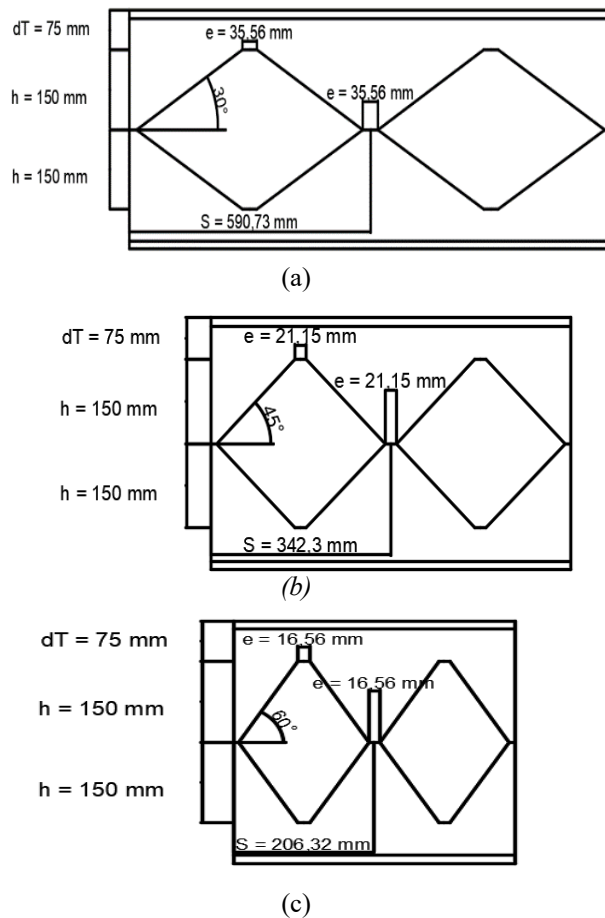
Tekuk badan

$$\frac{dg}{2 \times tw} < 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$22,5 \leq 83,04$$

Tabel 3. Profil Hexagonal Castellated

ϕ	h mm	dg mm	e mm	s mm	dt mm
30°	150	450	35,56	590,73	75
45°	150	450	21,15	342,3	75
60°	150	450	16,56	206,32	75



Gambar 6. Profil Haxagonal Castellated dengan sudut bukaan: (a) 30°, (b) 45° dan (c) 60°

Tegangan geser dan tegangan lentur yang terjadi pada profil haxagonal castelallated untuk masing-masing bukaan ditunjukkan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Tabel Hasil Tegangan Geser dan Tegangan Lentur pada *Hexagonal Castellated*

Sudut Bukaan (°)	Tegangan Geser (σ_v)	Tegangan Lentur Primer (σ_T) dan Sekunder (σ_b) (σ_{total})
	MPa	MPa
30°	156,81	101,91
45°	152,78	102,21
60°	117,61	90,45

Dari tabel 4 menunjukkan hasil kapasitas geser dan lentur pada *hexagonal castellated* dengan sudut bukaan 30°, 45° dan 60°. Nilai kapasitas geser akan menurun seiring dengan

bertambahnya sudut bukaan. Pada permodelan *hexagonal castellated* dengan sudut bukaan 30° nilai kapasitas geser tidak jauh dibandingkan dengan sudut bukaan 45° yaitu mengalami penurunan nilai sebesar 4,03 MPa. Namun pada sudut bukaan 60° kapasitas geser mengalami penurunan yang cukup signifikan dibandingkan dengan sudut bukaan sebelumnya yaitu pada sudut 45° sebesar 35,17 MPa dan sudut 30° sebesar 39,2 MPa. Hal ini terjadi karena beban tekuk yang menyebabkan balok baja mengalami leleh (batas elastis).

Dan hasil tegangan lentur yang terjadi pada sudut bukaan 30°, 45° dan 60° terdapat kenaikan dan penurunan namun tidak signifikan jika dibandingkan dengan tegangan geser, yaitu pada sudut 30° dan sudut 45° mengalami kenaikan sebesar 1,30 MPa lalu pada sudut 45° dan sudut 60° mengalami penurunan sebesar 11,76 MPa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kapasitas geser semakin menurun seiring dengan bertambahnya sudut bukaan persentase penurunan sudut bukaan 30° dengan sudut 45° yaitu sebesar 3% dan sudut 45° dibandingkan dengan sudut bukaan 60° yaitu sebesar 23%. Tegangan geser terbesar, yaitu sudut bukaan 30° sebesar 156,81 MPa.
2. Sudut bukaan 45° memiliki nilai tegangan lentur terbesar dibandingkan dengan sudut bukaan lainnya, yaitu 102,21 MPa. Dan penurunan drastis terjadi pada sudut bukaan 45° dengan sudut bukaan 60° yaitu sebesar 12%.

5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut untuk optimalisasi kekuatan dari variasi sudut bukaan *hexagonal castelallated* dibandingkan dengan model *circular castellated* dan *diamond castellated*.

6. Daftar Pustaka

- [1] Setiawan, Agris, and Bayu Yoga Pamungkas. "Pengaruh Temperatur dan Holding Time dalam Proses Tempering Terhadap Sifat Mekanik Pipa Low Carbon Steel Low Alloy Grade X65Q." *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology* 3.1 (2022): 53-62.
- [2] Bontong, Yafet, et al. "Pengaruh Temperatur Austenit dengan Holding Time 2 Jam Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Baja ST 42." *Journal Of Electrical And System Control Engineering* 7.2 (2024): 103-108.
- [3] Putro Wicaksono, Nugroho, and Ir Pramuko Ilmu Purboputro. *Analisa Proses Carburizing Dengan Variasi Waktu Tahan 15, 30, 45, 60 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon St 60*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2021.
- [4] Blodgett, O. W, *Design Of Welded Structures*. Ohio: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1966.
- [5] Patricia Hutami, L. S, "Analisis Pengaruh Panjang Profil Terhadap Kekuatan Hexagonal Castellated Beam Dengan Metode Elemen Hingga," *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol.3, no.1, pp.1-10, 2020.
- [6] Fajar Nauval Zuhdi, "Optimasi Sudut Potong Bukaan Lubang Hexagonal Pada Baja Castellated," *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil*, vol.6, no.1, pp. 1-8, 2021.
- [7] Ida Barkiah1, A. R, "Pengaruh Sudut Bukaan Heksagonal Terhadap Kapasitas Geser Castellated Steel Beam," *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)*, vol.10 No.2, pp.55-64, 2021
- [8] Nugroho, Eko Ngudi , "*Analisa Balok Baja Castellated Bentuk Lubang Segi Empat Modifikasi Pengaku Tulangan Baja Horisontal*," Masters thesis, Fakultas Teknik UNISSUL, 2018