

PENGARUH BESAR SUDUT PEMOTONGAN PROFIL (\emptyset) TERHADAP PERILAKU LENTUR PADA BALOK BAJA KASTELA (*CASTELLATED BEAM*)

Arizal David Rusmawan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

Jalan Ketintang, Surabaya 60231

e-mail : arizal.david@yahoo.com

ABSTRAK

Pada era pembangunan di Indonesia saat ini banyak pekerjaan konstruksi bangunan yang menggunakan baja sebagai struktur utama. Hal ini karena kemampuan baja yang cukup besar untuk menahan kekuatan tarik dan tekan, serta baja juga mempunyai perbandingan kekuatan tiap volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan lain yang umumnya dipakai. Semakin banyaknya penggunaan baja dalam konstruksi bangunan, maka semakin banyak juga jenis dan bentuk yang ditawarkan oleh pasar, salah satunya adalah balok baja kastela. Mahalnya harga material bangunan khususnya bahan baja, maka dengan menggunakan balok baja kastela dalam pelaksanaan konstruksi akan diperoleh suatu penghematan biaya yang cukup berarti dari segi penggunaan material baja, di samping itu juga lebih bersifat padat karya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besar sudut pemotongan profil (\emptyset) terhadap perilaku lentur pada balok baja kastela dengan menerapkan model *castellated beam* zig-zag horisontal dengan benda uji profil WF 200.100.5,5.8. Besar sudut pemotongan profil (\emptyset) yang digunakan untuk benda uji yaitu $\emptyset_1 = 0^\circ$ (WF utuh), $\emptyset_2 = 45^\circ$, $\emptyset_3 = 50^\circ$, $\emptyset_4 = 60^\circ$, $\emptyset_5 = 65^\circ$, $\emptyset_6 = 70^\circ$ dan $\emptyset_7 = 75^\circ$. Sistem pengujian balok baja kastela yang dilakukan di laboratorium adalah dengan memberi beban terpusat di tengah bentang. Hasil pengujian mencakup besarnya P (beban), Δ (lendutan), grafik hubungan waktu-beban, grafik hubungan tegangan-regangan, grafik hubungan beban-lendutan, grafik hubungan lendutan-tegangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil uji lentur pada kondisi leleh dan runtuh, semakin besar sudut pemotongan profil (\emptyset) belum menunjukkan adanya kecenderungan momen yang terjadi semakin besar. Sedangkan pada beban yang sama, lendutan dan *buckling* yang terjadi sudah semakin kecil namun belum menyeluruh yakni ada titik optimal pada kondisi tertentu. Pada semua benda uji tegangan leleh dan tegangan runtuh yang terjadi melebihi tegangan mutu baja, selain itu besarnya gaya lintang dari pembebanan (V_u) lebih kecil dari kuat geser nominal (V_n), sehingga kerusakan benda uji adalah runtuh lentur akibat *buckling* tingkat kecil. Hasil analisis menunjukkan bahwa besar sudut pemotongan profil (\emptyset) yang optimal berkisar antara sudut $45^\circ - 60^\circ$ atau tidak boleh melebihi sudut 60° .

Kata Kunci: *Castellated beam*, Besar sudut pemotongan profil (\emptyset), Uji lentur

ABSTRACT

In the era of development in Indonesia today many construction jobs that use steel as the main structure. This is because the ability of steel to withstand considerable tensile strength and the press, as well as steel also has comparative strengths of each volume is higher compared than other materials commonly used. Move to the use of steel in building construction, the more well types and forms offered by the market, one of which is a castellated beam. The high price of building materials especially steel, then using the castellated beam in the construction will be obtained a significant cost savings in terms of the use of steel materials, in addition it is also more labor intensive.

This study aimed to determine effect of large angle cutting profile (\emptyset) behavior against bending in castellated beam by applying the model castellated beam with a horizontal zig-zag profile WF 200.100.5,5.8 specimen. Major profile cutting angle (\emptyset) is used for the test specimen $\emptyset_1 = 0^\circ$ (WF intact), $\emptyset_2 = 45^\circ$, $\emptyset_3 = 50^\circ$, $\emptyset_4 = 60^\circ$, $\emptyset_5 = 65^\circ$, $\emptyset_6 = 70^\circ$ and $\emptyset_7 = 75^\circ$. Castellated beam system testing performed in the laboratory is to provide concentrated load at midspan. The test results include the magnitude of P (expense), Δ (deflection), the time-load relationship graphs, charts stress-strain relationship, the load-deflection relationship graphs, charts deflection-voltage relationship.

The results showed that the bending test results on the melting and collapse conditions, the greater the cutting angle profile (\emptyset) has not shown any tendency of the greater moments happened. While at the same load, deflection and buckling that occurs is getting smaller, but there is a point that has not been thoroughly optimized in certain circumstances. On all specimens yield stress and voltage collapse occurring voltage exceeds the quality of the steel, in addition to the latitude of the force loading (V_u) is smaller than the nominal shear strength (V_n), so that specimen damage is caused by flexural buckling collapse small level. The analysis showed that the profile of the cutting angle (\emptyset) between the optimal angle of $45^\circ - 60^\circ$ or may not exceed an angle of 60° .

Keywords: Castellated beam, Large cutting angle profile (\emptyset), Bending test

PENDAHULUAN

Pada era pembangunan di Indonesia yang saat ini semakin maju, penggunaan baja dalam konstruksi bangunan akhir-akhir ini semakin meningkat. Bahkan baja merupakan material pokok dalam sebuah struktur bangunan. Baja bisa digunakan sebagai balok, kolom, dan konstruksi atap. Baja memiliki kemampuan yang cukup besar untuk menahan kekuatan tarik dan tekan, baja juga mempunyai perbandingan kekuatan

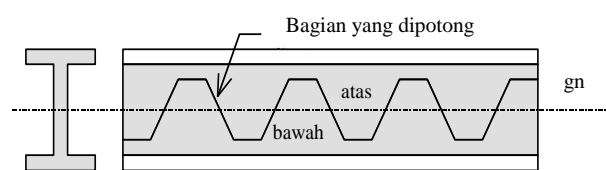
pervolume yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan lain yang umumnya dipakai, sehingga memungkinkan perencanaan sebuah konstruksi baja mempunyai beban mati yang lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, serta memberikan kelebihan ruang dan volume yang dapat dimanfaatkan akibat langsingnya profil-profil yang dipakai.

Menurut H.E. Horton (1910), *Open-Web Expanded Beams and Girders* (perluasan balok dan girder dengan badan berlubang) adalah balok yang mempunyai elemen pelat badan berlubang, yang dibentuk dengan cara membelah bagian tengah pelat badan, kemudian bagian bawah dari belahan tersebut dibalik dan disatukan kembali antara bagian atas dan bawah dengan cara digeser sedikit kemudian dilas, kemudian sekarang lebih dikenal dengan metode *Castella*.

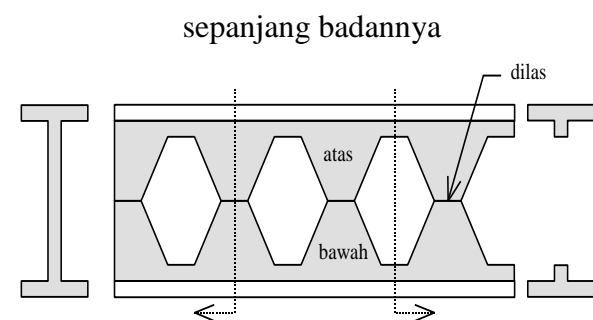
Balok kastela (*Castellated Beam*) adalah balok bentukan dari profil *H-beam*, *I-beam* atau *wide flange beam* yang dipakai untuk konstruksi bentang panjang lebih dari 10 meter. Bentuk badan profil baja *castella* tergantung dari teknis pembelahan pelat badan profil yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Ada beberapa macam bentuk yang sering dipergunakan di lapangan, salah satunya adalah bentuk belah zig-zag horisontal.

Balok ini berasal dari 1 profil baja yang kemudian dipotong dan disatukan kembali untuk mendapatkan tinggi profil yang sesuai, seperti terlihat pada Gambar 1.1. Bagian *web*

yang dipotong dengan pola *castella* disambungkan dengan cara las. Pemodifikasian bagian *web* membuat tinggi profil menjadi lebih tinggi dari tinggi profil aslinya. Hasil dari potongan profil yang disatukan akan membentuk lubang segi enam, seperti pada Gambar 1. 2.



Gambar 1. Profil balok I dipotong zig-zag



Gambar 2. Balok baja kastela segi enam

KAJIAN PUSTAKA

Keuntungan dan Kerugian Profil *Castellated Beam*

1. Keuntungan Profil *Castellated Beam*

- Dengan lebar profil yang lebih tinggi (dg), menghasilkan momen inersia dan modulus *section* yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan profil aslinya.
- Momen yang dihasilkan besar, walaupun tegangan ijin kecil.

- c) Bahannya ringan, kuat, serta mudah dipasang.

2. Kekukurangan Profil *Castellated Beam*

- a) Pada ujung-ujung bentang terjadi peningkatan pemusatan tegangan.
- b) *Castellated beam* tidak sesuai untuk bentang pendek dengan beban yang cukup berat.
- c) Analisa dan defleksi lebih rumit daripada balok *solid* dan deformasi akibat gaya geser terjadi di bagian T (*tee section*).

Dimensi Geometri Penampang *Castellated Beam*

Menurut L. Amayreh dan M.P. Saka (2005), dimensi geometri penampang *castellated beam* dibagi menjadi tiga parameter yaitu :

1. Sudut Pemotongan (\emptyset)
2. Tinggi Pemotongan (h)
3. Lebar Pemotongan (e)

Perhitungan *Castellated Beam*

Menurut jurnal Banu Adhibaswara (2010), rumus perhitungan *castellated beam* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi *castellated beam*
2. Kontrol penampang
3. *Bottom dan top tee*
4. Pembebanan
5. Kontrol lendutan

Momen

1. Momen Eksperimen

$$\text{Rumus: } M = \frac{1}{4} \cdot P_u \cdot L$$

Keterangan:

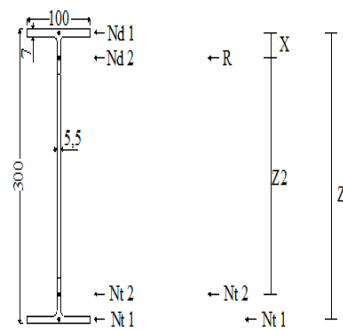
M = momen

P_u = beban terpusat

L = panjang benda uji

2. Momen Teori

$$M_n = (N_{t1} \times Z_1) + (N_{t2} \times Z_2)$$



Dimana:

$$N_{t1} = t_f \times b_f \times f_y$$

$$N_{t2} = d_t \times t_w \times f_y$$

Kontrol Geser

Rumus:

$$V_u = \frac{1}{2} \times P \text{ dan } V_n = 0,6 \times f_y \times d_t \times t_w$$

$$\text{Kontrol geser: } V_u \leq V_n$$

Keterangan:

V_u = gaya lintang analisis statik

V_n = kuat geser nominal

Lendutan

Lendutan beban terpusat :

$$\Delta = \frac{P L^3}{48 E I}$$

Lendutan maksimum yang diijinkan:

$$\Delta_{maksimum} = \frac{L}{240}$$

Tegangan

Rumus tegangan:

$$\sigma = \frac{M \cdot \frac{h}{2}}{I}$$

Keterangan :

σ = tegangan

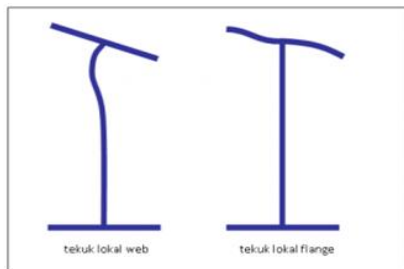
M = Momen yang bekerja pada garis berat

h = Tinggi profil

I = Momen inersia penampang (mm^4)

Gaya Tekuk Lateral (*Buckling*)

Gaya tekuk lateral terjadi apabila elemen penampang pada sumbu Y tidak bisa menahan gaya aksial yang terjadi, sehingga terjadi pembengkokan pada bagian badan profil.



Gambar 3. Tekuk *lateral* (*buckling*)

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen, dimana pada penelitian ini menerapkan model *castellated beam* zig-zag horisontal dengan benda uji profil baja WF 200.100.5,5.8.

Alat dan Bahan Eksperimen

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian
 - Profil baja WF 200.100.5,5.8.
 - Las sebagai penyambung dalam pembuatan profil *castellated beam*.
2. Alat yang digunakan dalam penelitian *castellated beam*
 - Satu set alat untuk uji tekan: *Loading frame*, Tumpuan benda uji, *Silinder jack*, Kontroler, Pc / *software*, *Dial gauge*.

Tahap-Tahap Penelitian

1. Mulai *Study*
2. Rancangan atau Prediksi Benda Uji

3. Tahap Persiapan

4. Pembuatan Benda Uji

5. Pengujian Benda Uji

a) Pengujian Mutu Baja

Tegangan mutu baja adalah tegangan yang terjadi pada saat sebelum mulai leleh. Untuk mengetahui mutu baja (f_y) maka akan dilakukan tes uji tarik, yaitu dengan cara mengambil sampel dari profil baja yang akan diuji mutu bajanya.

Rumus tegangan dan regangan:

$$\sigma = P/A \quad \text{dan} \quad \epsilon = \Delta L/L$$

Hubungan antara σ dan ϵ dirumuskan:

$$E = \sigma / \epsilon$$

Keterangan:

P = gaya tarikan

A = luas penampang

ΔL = pertambahan panjang

L = panjang awal



Gambar 4. *Set-up* pengujian uji tarik

b) Uji Kuat Lentur

Sistem pengujian baja *castellated beam* yang dilakukan di laboratorium adalah dengan memberi beban terpusat di sekitar tengah bentang balok baja,

kemudian pada daerah uji (*test region*) dipelajari perilaku balok baja saat menerima beban terpusat tersebut.



Gambar 5. Set-up pengujian kuat lentur

6. Pengolahan Data
7. Kesimpulan

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

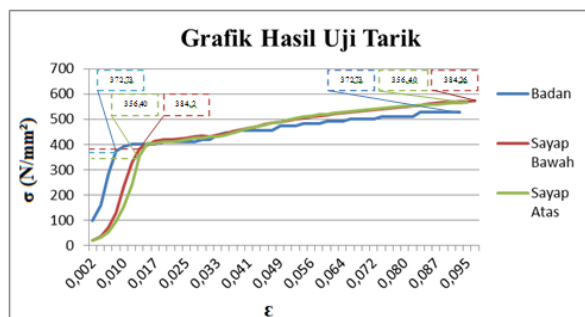
Pemeriksaan Bahan

1. Ukuran Dimensi Balok Kastela

Tabel 1. Dimensi benda uji baja kastela

Sudut Potongan Profil (°)	Panjang Keseluruhan (mm)	Jarak Antar Tumpuan (mm)	Tinggi (mm)	Lebar Sayap (bf) (mm)	Tebal (mm)	Lebar Badan (tw) (mm)	Lebar Potongan (e) (mm)	Tinggi Potongan (h) (mm)
Utuh	1270	1170	200	100	5,5	8	51,25	102,5
45°	1284	1231	301	100	5,5	8	51,25	102,5
50°	1712	1654	295	100	5,5	8	51,25	102,5
60°	1373	1317	300	100	5,5	8	51,25	102,5
65°	1258	1199	297	100	5,5	8	51,25	102,5
70°	1480	1423	290	100	5,5	8	51,25	102,5
75°	1307	1258	296	100	5,5	8	51,25	102,5

2. Uji Tarik



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan dan regangan

Tabel 2. Mutu baja

No	Profil	σ Leleh (Mpa)	Rata-Rata Fy Leleh (Mpa)	σ Runtuh (Mpa)	Rata-Rata Fy Runtuh (Mpa)
1	Badan	372,73	372,73	527,27	527,27
2	Sayap Bawah	384,26	370,33	572,30	569,31
3	Sayap Atas	356,40		566,32	
Rata-Rata Fy Keseluruhan		371,13		555,30	

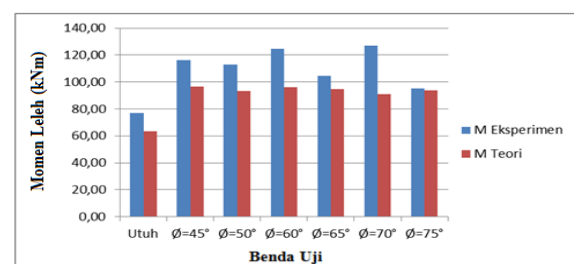
Dari hasil pengujian tarik yang dilakukan dilaboratorium didapat nilai modulus elastisitas (E) baja WF 200.100.5,5.8 sebesar 45580,81 N/mm².

Kuat Lentur Balok

1. Perbandingan Momen Eksperimen dengan Momen Teori Terhadap Sudut Pemotongan Profil (°)
 - a) Momen leleh

Tabel 3. Hasil pengujian momen leleh

Benda Uji (°)	Bentang (L) (m)	P Leleh Eksperimen (kN)	Momen Leleh (kNm)		Rasio (M.Eks/M.T) (%)	Rasio (M/L) (kN)	Presentase M.Eks (%)
			Eksperimen	Teori			
Utuh	1.17	263.50	77.07	63.47	121.44	65.88	100
Ø=45°	1.23	378.19	116.43	96.61	120.51	94.55	151.06
Ø=50°	1.65	273.19	112.96	93.46	120.86	68.30	146.56
Ø=60°	1.32	378.49	124.62	96.08	129.70	94.62	161.68
Ø=65°	1.20	347.97	104.30	94.51	110.37	86.99	135.33
Ø=70°	1.42	356.93	126.98	90.90	139.69	89.23	164.75
Ø=75°	1.26	302.24	95.06	93.98	101.14	75.56	123.33

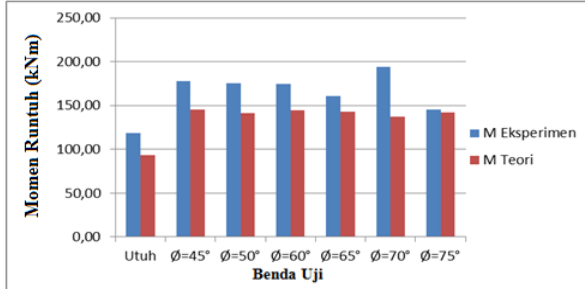


Gambar 7. Grafik perbandingan momen leleh eksperimen dan teori

- b) Momen runtuh

Tabel 4. Hasil pengujian momen runtuh

Benda Uji (°)	Bentang (L) (m)	P Runtuh Eksperimen (kN)	Momen Runtuh (kNm)		Rasio (M.Eks/M.T) (%)	Rasio (M/L) (kN)	Presentase M.Eks (%)
			Eksperimen	Teori			
Utuh	1.17	406.46	118.89	93.13	127.66	101.61	100
$\phi=45^\circ$	1.23	577.19	177.69	145.57	122.06	144.30	149.46
$\phi=50^\circ$	1.65	424.71	175.62	141.01	124.54	106.18	147.72
$\phi=60^\circ$	1.32	529.68	174.40	144.81	120.43	132.42	146.69
$\phi=65^\circ$	1.20	536.06	160.68	142.52	112.74	134.02	135.16
$\phi=70^\circ$	1.42	544.68	193.77	137.29	141.13	136.17	162.98
$\phi=75^\circ$	1.26	462.57	145.48	141.77	102.62	115.64	122.36



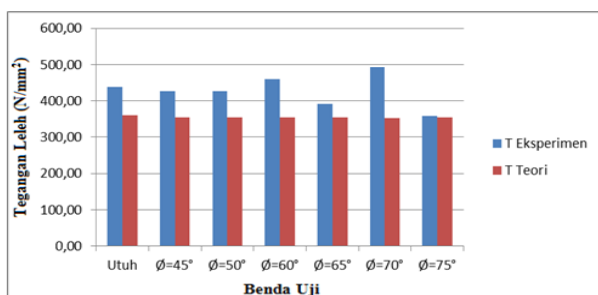
Gambar 8. Grafik perbandingan momen runtuh eksperimen dan teori

2. Perbandingan Tegangan Eksperimen dengan Tegangan Teori Terhadap Sudut Pemotongan Profil (ϕ)

a) Tegangan leleh

Tabel 5. Hasil pengujian tegangan leleh

Benda Uji	Bentang (L) (mm)	Y (mm)	Momen Inersia (Ix) (mm ⁴)	Tegangan Leleh (N/mm ²)		Rasio σ/L (N/mm)	Presentase T.Eksperimen (%)
				Eksperimen	Teori		
Utuh	1170	100,0	17609323	437,69	360,42	0,374097	100
$\phi=45^\circ$	1231	150,5	41863817	418,55	354,55	0,339898	95,63
$\phi=50^\circ$	1654	147,5	39815720	418,48	353,84	0,253011	95,61
$\phi=60^\circ$	1317	150,0	41518524	450,22	354,42	0,341855	102,86
$\phi=65^\circ$	1199	148,5	40492121	382,52	354,06	0,319034	87,39
$\phi=70^\circ$	1423	145,0	38152096	482,59	353,38	0,339135	110,26
$\phi=75^\circ$	1258	148,0	40153135	350,36	353,95	0,278509	80,05

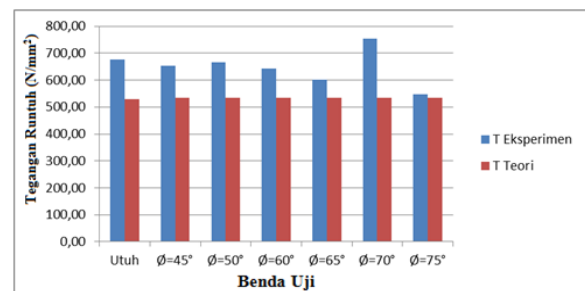


Gambar 9. Grafik perbandingan tegangan leleh eksperimen dan teori

b) Tegangan runtuh

Tabel 6. Hasil pengujian tegangan runtuh

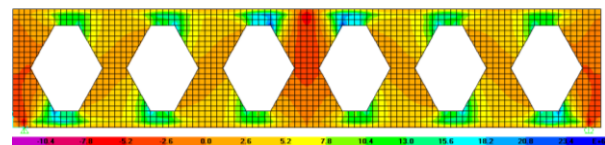
Benda Uji (°)	Bentang (L) (mm)	Y (mm)	Momen Inersia (Ix) (mm ⁴)	Tegangan Runtuh (N/mm ²)		Rasio σ/L (N/mm)	Presentase T.Eksperimen (%)
				Eksperimen	Teori		
Utuh	1170	100,0	17609323	675,15	528,85	0,58	100
$\phi=45^\circ$	1231	150,5	41863817	638,79	534,23	0,52	94,61
$\phi=50^\circ$	1654	147,5	39815720	650,59	533,85	0,39	96,36
$\phi=60^\circ$	1317	150,0	41518524	630,07	534,15	0,48	93,32
$\phi=65^\circ$	1199	148,5	40492121	589,29	533,95	0,49	87,28
$\phi=70^\circ$	1423	145,0	38152096	736,44	533,75	0,52	109,08
$\phi=75^\circ$	1258	148,0	40153135	536,21	533,89	0,43	79,42



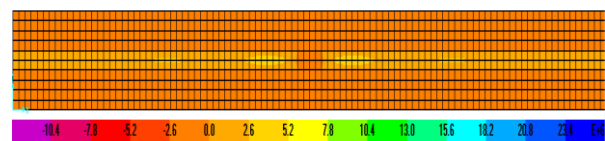
Gambar 10. Grafik perbandingan tegangan runtuh eksperimen dan teori

3. Analisis dengan SAP 2000

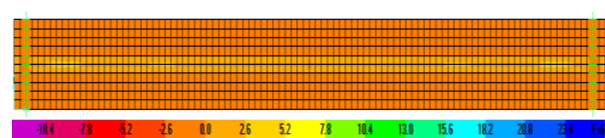
a) Analisis benda uji 4 ($\phi=60^\circ$)



Gambar 11. Distribusi tegangan pada web



Gambar 12. Distribusi tegangan pada top flange



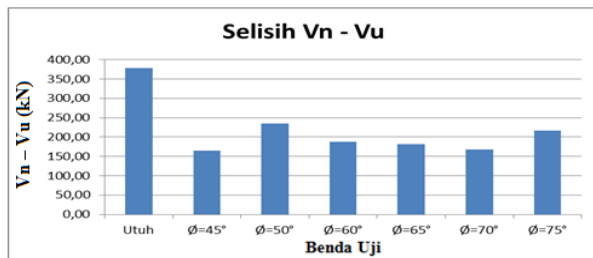
Gambar 13. Distribusi tegangan pada bottom flange

4. Kontrol Geser

a) Bagian berlubang

Tabel 7. Kontrol geser pada bagian berlubang

Benda Uji (°)	Bentang (L) (mm)	P Runtuh Eksperimen (kN)	Vu (kN)	Vn (kN)	Selisih Vn - Vu (kN)	Keterangan
Utuh	1170	406,5	203,23	581,84	378,61	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=45°	1231	577,2	288,60	453,92	165,32	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=50°	1654	424,7	212,36	446,54	234,18	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=60°	1317	529,7	264,84	452,69	187,85	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=65°	1199	536,1	268,03	449,00	180,97	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=70°	1423	544,7	272,34	440,39	168,05	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=75°	1258	462,6	231,28	447,77	216,49	Vu < Vn (Geser Aman)

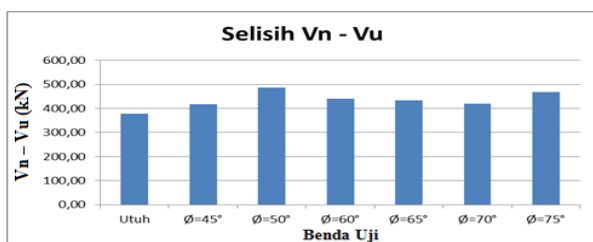


Gambar 14. Selisih Vu terhadap Vn pada bagian berlubang

b) Bagian tidak berlubang

Tabel 8. Kontrol geser pada bagian utuh

Benda Uji (°)	Bentang (L) (mm)	P Runtuh Eksperimen (kN)	Vu (kN)	Vn (kN)	Selisih Vn - Vu (kN)	Keterangan
Utuh	1170	406,5	203,23	581,84	378,61	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=45°	1231	577,2	288,60	706,07	417,48	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=50°	1654	424,7	212,36	698,69	486,33	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=60°	1317	529,7	264,84	704,84	440,00	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=65°	1199	536,1	268,03	701,15	433,12	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=70°	1423	544,7	272,34	692,54	420,20	Vu < Vn (Geser Aman)
Ø=75°	1258	462,6	231,28	699,92	468,64	Vu < Vn (Geser Aman)

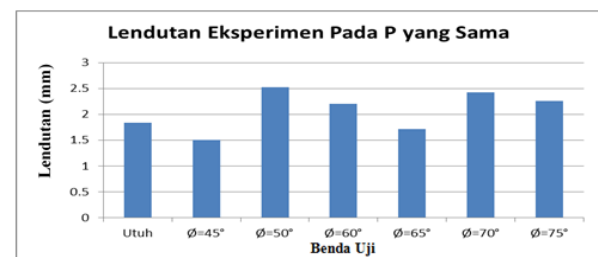
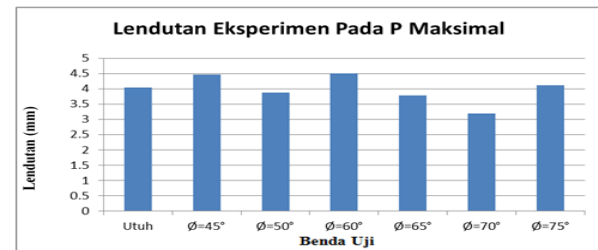
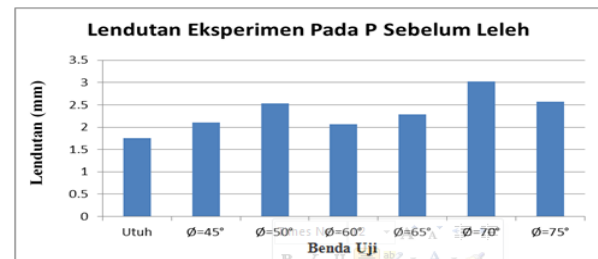


Gambar 15. Selisih Vu terhadap Vn pada bagian utuh

Optimalisasi Balok Baja Kastela (Castellated Beam)

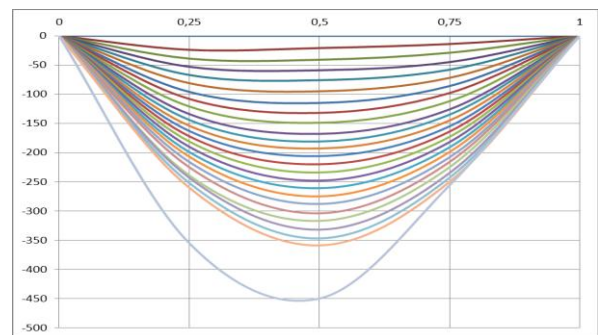
1. Pengaruh Besar Sudut Pemotongan Profil

(Ø) Terhadap Lendutan



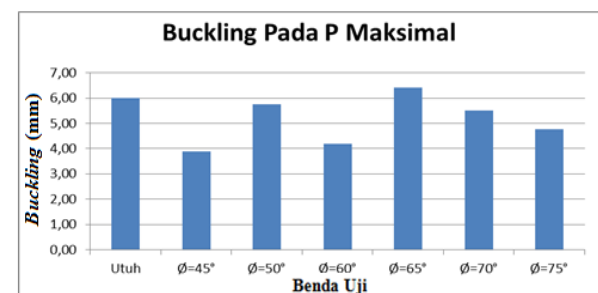
Gambar 16. Grafik Lendutan Eksperimen

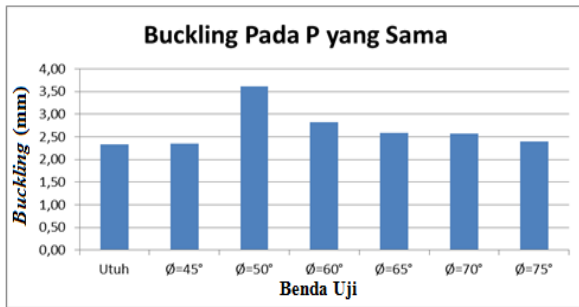
Contoh bentuk grafik lendutan pada benda uji balok baja kastela.



Gambar 17. Grafik rasio lendutan benda uji 4 (Ø₄ = 60°)

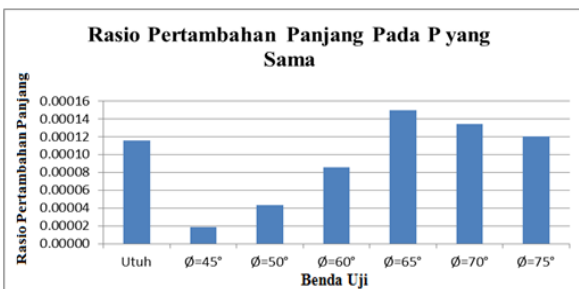
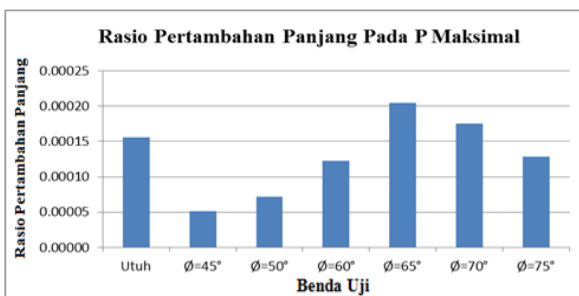
2. Pergoyangan (Buckling)





Gambar 18. Grafik *buckling* Eksperimen

3. Pertambahan Panjang



Gambar 19. Grafik rasio pertambahan panjang eksperimen

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penelitian ini sudah memenuhi ketentuan yakni pada semua benda uji hasil perhitungan momen eksperimen lebih besar dari momen teori. Pada kondisi leleh semakin besar sudut pemotongan profil (\emptyset) menunjukkan adanya

kecenderungan momen yang terjadi semakin besar namun belum menyeluruh. Sedangkan pada kondisi runtuh belum menunjukkan adanya kecenderungan momen yang terjadi semakin besar.

2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada beban yang sama, semakin besar sudut pemotongan profil (\emptyset) menunjukkan adanya kecenderungan lendutan eksperimen yang terjadi semakin kecil namun belum menyeluruh yakni ada titik optimal pada kondisi tertentu.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada beban yang sama, semakin besar sudut pemotongan profil (\emptyset) sudah menunjukkan adanya kecenderungan *buckling* yang terjadi semakin kecil secara signifikan. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kerusakan yang terjadi merupakan runtuh lentur karena *buckling* tingkat kecil yang terjadi pada sayap dan badan yang terkena beban terpusat di tengah bentang benda uji.
4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada semua benda uji tegangan leleh dan tegangan runtuh eksperimen yang terjadi melebihi tegangan mutu baja, sehingga

yang di alami benda uji pada saat pengujian adalah runtuh lentur.

5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua benda uji mengalami runtuh lentur dan tidak terjadi runtuh geser, itu terbukti dengan besarnya gaya lintang dari pembebanan (V_u) lebih kecil dari kuat geser nominal (V_n), atau dengan kata lain persamaan $V_u < V_n$ sebagai perencanaan kuat geser telah terpenuhi.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, untuk keamanan kekuatan lentur balok baja kastela maka besar sudut pemotongan profil (\emptyset) yang optimal berkisar antara sudut 45° - 60° atau tidak boleh melebihi sudut 60° .

DAFTAR PUSTAKA

- Amon, Rene dan Knobloch Atanu Mazumder, Bruce.1999.*Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur Dan Arsitek 2*. Jakarta:PT. AKA
- Dougherty, B.K. *Castellated beams: Astate of the art report. Journal of the South African Institution of Civil Engineers*, 35:2, 2nd Quarter, pp 12-20. 1993.
- Hosain.. M.U., and Spiers. W.G. *Experiments on castellated steel beams. J. American Welding Society, Welding Research Supplement*, 52:8, 329S-342S. 1971.
- Knowles, P.R. *Castellated beams. Proc. Institution of Civil Engineers, Part I, Vol. 90, pp 521-536*. 1991
- L. Amayreh and M. P. Saka Department of Civil Engineering, University of Bahrain. *Failure load prediction of castellated beams Using artificial neural networks*. 2005.
- Nethercot. D.A., and Kerdal.. O. *Laterai-torsional buckling of castellated beams Struct. Engr~ 60B:3, 53-61* . 1982
- Arikunto, Suharsimi. 2002. *Metodologi Penelitian*. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Dieter, G. E., 1987, *Metalurgi Mekanik*, Jilid 1 Erlangga, Jakarta.
- Megharief, Jihad Dokali. 1997. *Behavior of Composite Castellated Beam*. MCGILL UNIVERSITY Montreal, CANADA.