

# Analisis Perbandingan Lebar Potongan Profil ( e ) Terhadap Tegangan Lentur Baja *Castella* Ditinjau Dari Lendutan

Hamsyah

Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia

[aca.archa@yahoo.co.id](mailto:aca.archa@yahoo.co.id)

## ABSTRAK

Suatu Balok Baja *Castella* yang diberikan beban terpusat pada posisi horisontal ditengah akan mengalami deformasi vertical. penelitian ini untuk menganalisis perilaku lentur dan pengaruh tegangan dengan desain yang berbeda serta mengetahui besarnya beban yang bekerja pada balok baja *castella*. untuk pengujian beban terhadap balok baja *castella* menggunakan referensi dari SNI dan ASCE 2005. Pengujian dilakukan dengan model fisik dilaboratorium dengan desain yang dibuat dengan metode pengujian balok berukuran 200.100.5,5.8 cm dengan menempatkan beban diatas penampang utuh dengan harapan tegangan yang terjadi bisa menyebar keseluruh penampang dan kekuatannya bisa menjadi lebih tinggi. Program pola pembebanan secara yang sama yang hasilnya kemudian dibandingkan dengan perhitungan analisis antara baja solid dengan baja *castella*. Dari hasil pengujian yang dilakukan, kapasitas beban lateral akan naik seiring dengan bertambahnya gaya tegangan, dapat diamati terjadinya mekanisme kerusakan dan kegagalan yang berbeda pada benda uji tersebut.

Kata Kunci : Perbandingan Lentur baja *castella*, pengaruh lebar potongan profil balok.

## ABSTRACT

A *Castella* Steel Beam that is given a load centered in a horizontal position in the center will experience vertical deformation. This research is to analyze the flexural behavior and the effect of stress with different designs and to know the magnitude of the load acting on *castella* steel beams. for testing the load on *castella* steel beams using references from SNI and ASCE 2005. Testing is carried out with a physical model in a laboratory with a design made with the *beam* test method measuring 200,100.5,5.8 cm by placing the load above the intact cross section in the hope that the stress that occurs can spread throughout the cross section and strength can be higher. The same loading pattern program whose results are then compared with the analytical calculations between solid steel and *castella* steel. From the results of tests carried out, lateral load capacity will increase along with the increase in stress force, it can be observed the occurrence of different damage and failure mechanisms on the test object.

Keywords: Comparison of flexural steel *castella*, the effect of the width of the *beam* profile cut.

## PENDAHULUAN

Konstruksi baja sebagai struktur utama adalah salah satu pilihan yang mulai sering dipakai masyarakat. Karenadisamping kemampuan baja yang cukup besar untuk menahan kekuatan tarik dan tekan, baja juga mempunyai perbandingan kekuatan per volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan lain yang umumnya digunakan, 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.

*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*. Bentuk badan profil baja kastela tergantung dari teknis pembelahan pelat badan profil yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Baja dapat dipakai untuk konstruksi kolom, balok dan rangka atap. Dengan semakin banyaknya penggunaan baja dimasyarakat sebagai konstruksi bangunan, sehingga banyak juga pilihan jenis dan bentuk yang ditawarkan oleh pasar. Salah satunya adalah balok kastela (*castellated Beam*). Balok kastella disebut juga *honey comb beam*, karena bentuk lubang segi enamnya yang menyerupai sarang lebah (*honey comb*). Bagian web yang dipotong dengan pola *Castella* disambungkan dengan cara las.

Penelitian besar sudut potongan pada balok baja *castella beam* terhadap optimalisasi tegangan lentur menghasilkan terjadi rusak geser pada penampang balok yang berlubang jika besar sudut pemotongan profil lebih dari  $40^\circ$ , sedangkan terjadi pergoyangan yang paling besar, momen, tegangan, dan lendutan yang paling kecil jika besar sudut pemotongan profil kurang dari  $40^\circ$  [1].

Penelitian studi perbandingan perencanaan struktur baja menggunakan profil biasa dan profil kastela pada proyek Gedung PGN di Surabaya dengan profil kolom H.250.175.7.11 dan profil balok WF 175.90.5.8 dijadikan bentuk kastela 260.90.5.8. Dari segi biaya ekonomis struktur baja kastela Rp.1.791.453.000 dan biaya menggunakan baja biasa Rp.484.095.000 [2].

Penelitian optimasi tinggi pemotongan lubang hexagonal pada *castellated beam* menghasilkan perlunya pemaku di sekitar lubang karena tinggi pemotongan *castelled beam* yang besar mempengaruhi kemungkinan terjadinya kegagalan pada profil yang berada di sekitar lubang, terutama yang terletak di dekat perletakan [3].

Penelitian *bending analysis of castellated beam* menghasilkan pada balok pendek dan menengah dengan bagian sempit atau lebar sangat berpengaruh terhadap efek geser pada lendutan balok kastela. Jika Panjang balok kastela bertambah maka efek geser pada web pada defleksi akan berkurang [4].

Penelitian *review on characteristics of castellated beam* menghasilkan penambahan pada *stiffeners* pada web baja kastela berpengaruh terhadap penambahan kekuatan dan mengurangi defleksi yang terjadi [5].

Penelitian *study of the behavior of composite castellated beam* membandingkan struktur rangka dengan komposit baja kastela untuk elemen balok dengan struktur rangka balok solid komposit sebagai elemen balok, menghasilkan struktur rangka dengan komposit baja kastela memiliki kekuatan, kekakuan, daktilitas, momen maksimum, momen rotasi, dan disipasi energi yang lebih baik [6].

## METODOLOGI PENELITIAN

### 1. Lokasi dan Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data dalam penelitian ini dilakukan di laboratorium Bahan Dan Struktur Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar. Benda uji yang digunakan adalah baja WF 200x200x8x5,5 yang dimodelkan berupa balok dengan perletakan jepit pada salah satu ujung balok. Penelitian dilakukan dengan memberi gaya vertikal merata pada benda uji balok tersebut sedemikian sehingga diperoleh keadaan defleksi murni. *Setting* pengujian dan *setting* pembebanan balok kantilever di laboratorium

### 2. Pembuatan Benda Uji

Pada pembuatan benda uji ini digunakan skala geometri 1 : 1. Benda uji balok kantilever pada penelitian ini menggunakan profil WF 200x100x5,5x8. yang dirakit dengan panjang balok yang sama., dimensi profil WF 200x100x5,5x8 dimana  $d = 200$  mm,  $bf = 100$  mm,  $tw = 5,5$  dan  $tf = 8$  mm. Untuk sambungan balok.

#### A. Desain Benda Uji

- a. Membuat garis patron (garis pola desain) berbentuk *castella* atau trapesium tanpa alas pada bagian web profil profl.
- b. Menggunakan oxygen + acetylene dengan *cutting torch* untuk memotong web sesuai garis pola yang sudah dibuat. Usahakan pemotongan dengan seluruh dan sekecil mungkin badan web yang termakan untuk mendapatkan ukuran yang paling mendekati tujuan tinggi web nanti
- c. Memisahkan setelah terpotong menjadi 2. Kemudian sambungkan kembali sisi-sisi horizontal dari 2 bagian tersebut. Balik dan sesuaikan kedua jujung-ujungnya agar menjadi simetris dan untuk memaksimalkan hasil panjang *beam* agar sama dengan aslinya. Sistem sambungan las sesuaikan dengan ketebalan web dari *beam* tersebut.

### 3. Pemodelan Benda Uji

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen, dimana pada penelitian ini diterapkan model *castellated beam* zig-zag horizontal dengan benda uji profil WF 200.100.5,5.8 untuk diteliti optimalisasi kekuatan tegangan lentur *castellated beam* bila diberlakukan beban diletakkan diatas baja yang tidak berlubang dan lebar pemotongan profil ( $e$ ) yang berbeda-beda yaitu  $e=51,25$  mm,  $e_0=0$  (utuh),  $e=177$  mm. ditinjau dari uji ledutan, dengan ketinggian lubang *castellated beam* disesuaikan dengan perhitungan rumus yang ada yaitu  $h = d(K_1 - 1)$

### 4. Pemasangan Benda Uji

Perakitan benda uji dimana kedudukan Balok diletakan pada tumpuan dimana masing-masing ujung benda uji berada pada tumpuan yang sudah didesain kemudian balok diletakan posisi melintang.

### 5. Test Setup dan Instrumentasi

Pembebanan diberikan melalui Hidraulik Jack pada ujung atas Balok berupa perpindahan beban quasi statik yang diatur mengikuti pola pembebanan yang ditunjukkan dalam Pencatatan dilakukan selama pembebanan terhadap besarnya beban yang bekerja, pembacaan perpindahan ujung Baja kantilever menggunakan LVDT (*Linier Variabel Differential Transformer*) yang terhubung melalui kabel ke data *logger*. , dan pembacaan regangan pada baja, yaitu regangan lentur pada pelat sayap dan regangan geser pada pelat badan baja IWF menggunakan *Dial gauge*. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban

monoton pada balok yang disimulasikan dengan alat yang terdiri dari *hydraulic Jack* dengan kapasitas 1500KN yang dilengkapi oleh *load cell*, 2 (dua) buah LVDT untuk mengukur lendutan dan *Dial gauge* yang dipasang pada badan dan sayap untuk mengetahui regangan yang terjadi. Sistem pembebanan yang dilakukan pada struktur balok mengacu pada pola pembebanan *load controlled*. Tahap *load controlled* adalah tahap dimana beban positif maupun beban negatif ditentukan besarnya, kemudian dilakukan pengamatan terhadap defleksi yang terjadi, serta pembacaan regangan yang terjadi dari *Dial gauge* yang dipasang pada sisi sayap dan badan balok kantilever.

Tiap siklus terdiri dari tiga putaran pembebanan, positif dan negatif. Untuk pembebanan tahap kedua yakni tahap *displacement controlled*, Tiap siklus pada tahap *load controlled* ini dilakukan sebanyak tiga kali putaran pembebanan. Pembebanan disimulasikan dengan alat *hydraulic actuator* yang mempunyai kapasitas 1500 KN. *Hydraulic actuator* diletakkan pada balok dengan jarak 100 cm dari muka kolom.

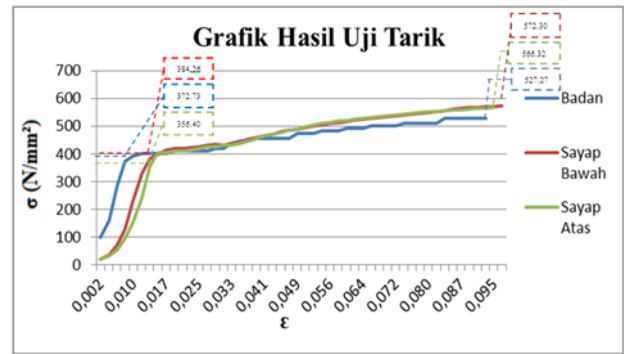
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Pemeriksaan Bahan**

Penyajian terhadap ukuran dimensi balok *castella* ditentukan sesuai dengan kebutuhan atau sesuai dengan model potongan yang sudah ditentukan baik panjang dan kemiringan potongan dalam lubang dimensi *castella*.

Dari hasil pengujian tarik baja WF 200.100.5,5.8 pada bagian badan, sayap atas, dan sayap bawah dapat diketahui mutu bajanya. Mutu baja dinyatakan dalam bentuk grafik antara tegangan regangan. Mutu baja ditunjukkan oleh tegangan leleh pertama dari benda uji, tegangan leleh pertama dapat dilihat dari Gambar 1 (Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan) dan hasil pengujian tarik di atas didapat rata-rata mutu baja yaitu pada Tabel 1.

Dari hasil pengujian di laboratorium (tes lentur) didapatkan tabel hasil momen seperti pada Tabel 2 (Hasil Pengujian Momen Leleh)



Gambar 1. Hasil tarik uji (Hubungan Tegangan dan Regangan)

Tabel 1. Mutu baja

NO	KETERANGAN	Σ	
		LELEH	RUNTUH
1	Badan	372.73	527.27
2	Sayap Bawah	384.26	572.30
3	Sayap Atas	356.40	566.32
	<b>Rata-rata Fy Leleh Badan</b>	<b>372.73</b>	
	Rata-rata Fy Leleh Sayap	370.33	
	<b>Rata-rata Fy Runtuh Badan</b>		<b>527.27</b>
	Rata-rata Fy Runtuh Sayap		569.31

Dari perhitungan hasil pengujian tarik diatas didapat nilai modulus elastis (E) baja WF 200.100.5,5.8 sebesar 45580.81 N/mm<sup>2</sup>. Hasil modulus elastis tersebut nilainya jauh dibawah nilai standar yang dinyatakan dalam buku yaitu 210000 N/mm<sup>2</sup>.

**2. Kuat Lentur Balok**

- a. Perbandingan Momen teori dengan momen eksperimen terhadap lebar potongan profil (e).

Tabel 2. Hasil pengujian momen leleh

BENDA	BENTANG	P LELEH	MOMEN	RASIO	PRESENTASE	
UJI	(L)	Eksperimen	(KNm)	(Meks/MT)	Momen	
	(mm)	(N)	Eksperimen	Teori	%	(%)
<b>E=51,25MM</b>	1285	357576.288	114.87	93.71	122.58	149.04
<b>UTUH</b>	1170	263504.038	77.07	63.47	121.44	100
<b>E=177MM</b>	1650	231716.313	95.58	78.75	121.37	124.01
<b>E=150MM</b>	1430	286963.475	102.6	79.28	129.40	133.10
<b>E=125MM</b>	1230	312130.494	95.98	80.49	119.24	124.53

Lanjutan Tabel 2. Hasil pengujian momen leleh

BENDA UJI	Bentang	P leleh	Momen		Rasio	Presentase
	(L)	Eksperimen	(KNm)		(Meks/MT)	Momen
	(mm)	(N)	Eksperimen	Teori	%	(%)
E=75MM	1240	311161.959	96.46	80.34	120.06	125.15
E=50MM	1250	305232.93	95.39	78.75	121.12	123.76

Grafik perbandingan momen teori leleh dan momen eksperimen leleh yang tercantum pada kajian pustaka merupakan fungsi dari beban (P) dikalikan dengan panjang benda uji (L) kemudian dibagi empat. Maka erat hubungannya antara beban (P) dengan panjang benda uji (L).

Secara teoritis semakin lebar pemotongan profil (e) maka semakin sedikit lubang pada penampang badan baja, sehingga balok baja kastela semakin kuat dan kaku. Nilai momen leleh terbesar adalah benda uji 1 (e = 51.25 mm), benda uji 2 (utuh) memiliki nilai momen leleh terkecil dan untuk benda uji 3 sampai 7 hasil nilai momen lelehnya hampir sama. Hal ini dikarenakan momen leleh dipengaruhi momen inersia dan ketinggian profil baja dengan pengecualian benda uji 1 tinggi profilnya lebih besar, sehingga untuk baja kastela yang tinggi profil bajanya bertambah maka kekuatan menahan momennya juga semakin besar dibanding benda uji yang utuh. Namun bila dilihat dari segi lendutan teori pada kondisi leleh benda uji ke 3 sampai 5 lendutannya menurun tapi benda uji ke 6 nilai lendutannya naik lagi. Hal ini karena momen lelehnya menurun sehingga lendutannya semakin besar, tetapi penurunan nilai momen lelehnya juga tidak terlalu besar.

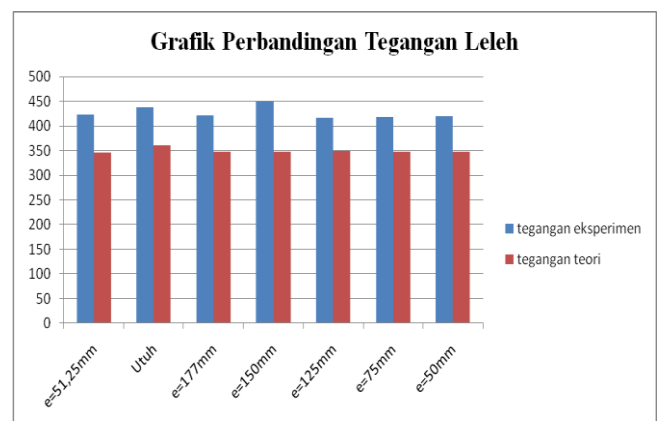
Berdasarkan Tabel 2 dihitung pula kekuatan sisa pada kondisi leleh yang dihasilkan antara momen eksperimen dan teori. Hasil nilai kekuatan sisa yang didapat dari perbandingan momen eksperimen terhadap momen teori berkisar diatas 20%.

Setelah menarasikan data penelitian pada kondisi runtuh dari benda uji, dilihat kecenderungan bahwa semakin tinggi benda uji maka momen inersia yang dihasilkan juga semakin besar ini dibuktikan antara benda uji ke 2 (utuh) dan benda uji lain (baja kastela) yang tingginya bertambah. Jika nilai momen inersia semakin besar maka nilai momennya juga semakin besar, sehingga balok kastela semakin kuat dan kaku. Nilai momen runtuh terbesar adalah benda uji 1 (e = 51.25 mm), benda uji 2 (utuh) memiliki nilai momen runtuh terkecil dan untuk benda uji 3 sampai 7 hasil nilai momen lelehnya hampir sama. Hal ini dikarenakan momen leleh dipengaruhi momen inersia dan ketinggian profil baja dengan pengecualian benda uji 1 tinggi profilnya lebih besar, sehingga untuk baja kastela yang tinggi profil bajanya bertambah maka kekuatan menahan momennya juga semakin

besar dibanding benda uji yang utuh. Bila dilihat dari segi lendutan teori pada bebabn maksimal benda uji ke 3 sampai 5 lendutannya menurun tapi benda uji ke 6 nilai lendutannya naik lagi tetapi kenaikannya tidak terlalu besar atau hampir sama. Lendutan terkecil adalah benda uji 1 (e = 51.25 mm) yang memiliki nilai momen runtuh dan tinggi profil terbesar sehingga nilai lendutannya juga terkecil. Namun bila dilihat juga dari kondisi *bucklingnya* benda uji 5 (e = 125 mm) terindikasi paling optimal, karena pada kondisi ini berdasarkan momen, lendutan dan *buckling* adalah paling aman.

Kekuatan sisa pada kondisi runtuh yang dihasilkan antara momen eksperimen dan teori. Hasil nilai kekuatan sisa yang didapat dari perbandingan momen eksperimen terhadap momen teori berkisar diatas 20%.

Penelitian ini sudah memenuhi ketentuan, yakni hasil perhitungan momen eksperimen lebih besar dari hasil perhitungan momen teori. Pada kondisi ini dibuktikan pada Gambar 2, bahwasannya dari grafik menunjukkan semua benda uji memiliki nilai momen leleh dan runtuh eksperimen lebih besar dibandingkan dengan momen teori.



Gambar 2. Perbandingan tegangan leleh

Perbedaan tersebut terjadi karena rumus teori pada kondisi elastis.

Dari hasil perhitungan momen lentur menunjukkan bahwa momen eksperimen pada benda uji 6 (e = 5.125 cm) memiliki nilai momen paling besar dibanding benda uji yang lainnya. Nilai momen runtuh

eksperimen dari benda uji 1 adalah 178.09 KNm. Untuk nilai momen eksperimen bentang benda uji sangat berpengaruh, namun untuh perhitungan momen teori ketinggian profil yang berpengaruh.

Setelah itu dihitung pula kekuatan lentur balok (kekuatan residu) yang dihasilkan antara momen eksperimen leleh dan momen eksperimen runtuh. Rata-rata hasil nilai kekuatan lentur balok adalah sebesar 53,75%. Baja kastela kekuatan menahan momennya lebih besar dibandingkan dengan baja utuh, kondisi ini terdapat pada tabel kolom presentase momen.

Berdasarkan beberapa analisis diatas, bahwa untuk keamanan kekuatan lenturnya, indikasi optimal lebar potongan profil baja ( $e$ ) dianjurkan tidak melebihi  $2 \frac{1}{2} h$  cm ( $e = 12.5$  cm).

#### b. Analisis Momen pada Balok Baja Kastela

Besarnya nilai momen yang diterima oleh balok baja kastela pada setiap bentangnya dapat diuraikan secara mendetail dengan rumus perbandingan. Dalam hal ini diambil salah satu contoh benda uji yang dijadikan perhitungan, yaitu benda uji ke 5 ( $e = 12.5$ cm) dengan perhitungan dan rumus yang telah ditentukan

Berdasarkan perhitungan momen di atas, momen terbesar terletak pada bagian tengah bentang yang menerima beban terpusat, kemudian semakin ke bagian kiri atau ke bagian kanan nilai momennya semakin kecil. Jarak bentang terhadap tumpuan atau terhadap titik beban yang diterima juga sangat berpengaruh kepada besar kecilnya momen yang diterima pada bentangan.

#### c. Perbandingan Tegangan teori dengan tegangan eksperimen Terhadap Lebar Potongan Profil ( $e$ )

Berdasarkan rumus tegangan yang ada menunjukkan bahwa erat hubungannya antara momen ( $M$ ) dengan tegangan ( $\sigma$ ), dimana semakin besar momen maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar dan semakin kecil momen maka tegangan juga semakin kecil. Selain itu tinggi profil baja juga berpengaruh terhadap tegangan, yakni semakin tinggi profilnya maka tegangannya juga semakin besar, begitu pula sebaliknya. Namun ketinggian profil juga mempengaruhi momen inersianya, semakin tinggi profilnya maka semakin besar momen inersianya. Jika momen inersia semakin besar maka nilai tegangannya semakin kecil, karena momen inersia berbanding terbalik dengan tegangan.

Dari hasil pengujian tegangan runtuh menunjukkan bahwa benda uji 4 ( $e = 150$  mm) memiliki tegangan eksperimen yang paling besar, hal ini dikarenakan pada benda uji 4 momen eksperimennya besar, tinggi profil dan momen inersianya cenderung sama sehingga tegangan yang dihasilkan besar. Namun untuk tegangan teori nilai terbesar adalah benda 2

(utuh), karena nilai momen inersianya terkecil sehingga tegangannya semakin besar. Sesuai dengan teori bahwa semakin besar momennya maka tegangan yang dihasilkan juga semakin besar, maka hasil perhitungan tegangan sudah sesuai dengan teori tersebut.

#### d. Hasil Kontrol Geser

Semua elemen struktur balok, baik struktur beton maupun baja, tidak lepas dari masalah geser. Untuk membuktikan adanya kerusakan geser pada penelitian ini, maka akan dilakukan kontrol geser untuk membuktikan kebenarannya.

Pada struktur balok, baik beton maupun baja, tidak terlepas dari masalah gaya geser. Untuk membuktikan adanya kerusakan geser pada penelitian ini, maka akan dilakukan kontrol geser untuk membuktikan kebenarannya.

Pada keseluruhan benda uji balok baja kastela besarnya gaya lintang dari pembebanan lebih kecil dari kuat geser nominal, atau dengan kata lain persamaan  $V_u \leq V_n$  sebagai perencanaan kuat geser telah terpenuhi. Hal ini berarti benda uji tersebut dapat dikatakan terjadi rusak lentur karena untuk perencanaan gesernya semua benda uji tersebut telah terpenuhi.

Untuk kontrol geser pada bagian yang berlubang dan tidak berlubang memiliki kecenderungan selisih untuk tiap benda uji  $V_u \leq V_n$  hampir sama, karena bila dilihat dari perhitungan rumus lebar pemotongan profil ( $e$ ) tidak mempengaruhi nilai gesernya. Namun bila dilihat secara logika semakin besar lebar pemotongan profil maka semakin sedikit lubangnya atau dengan kata lain lebih besar untuk penampang utuhnya, sehingga nilai gesernya juga lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat uji lentur beban yang diberikan pada penampang baja utuh dari benda uji balok baja kastela tersalurkan sampai kebawah atau gaya lintang dari pembebanan terdistribusi secara merata keseluruhan penampang baja, sehingga tidak terjadi runtuh geser melainkan terjadi rusak lentur.

Jadi untuk indikasi keamanan geser pada penampang yang tidak berlubang pada balok kastela, lebar yang dianjurkan tidak melebihi  $2 \frac{1}{2} h$  cm ( $e = 12.5$  cm).

#### e. Hasil Lendutan

Dari hasil pengujian di laboratorium (tes lentur) didapatkan hasil nilai dari lendutan yang dibaca oleh alat *Dial gauge* 3.

Pada beban maksimal grafik yang dihasilkan dari data eksperimen hasilnya naik turun tidak beraturan, mulai benda uji ke 3 ( $e = 177$  mm) sampai benda uji 4 ( $e = 150$  mm) hasilnya turun kemudian benda uji ke 5 ( $e = 125$  mm) hasilnya naik lagi. Hal ini kemungkinan

dikarenakan beberapa faktor, antara lain nilai *buckling* yang semakin tinggi, sehingga mengakibatkan benda mengalami lendutan yang semakin besar, kemudian terjadi kesalahan dalam pembuatan benda uji, pembacaan dial dilakukan oleh orang yang berbeda-beda atau kesalahan pembacaan dial pada saat pengujian dilapangan. Namun setelah dilakukan perhitungan secara teoritis sebagai penguatan data penelitian, hasil dari grafik lendutan dan rasio lendutan terhadap bentang cenderung turun secara konsisten dan pada benda uji ke 6 ( $e = 75\text{mm}$ ) hasilnya naik karena dari nilai *bucklingnya* juga naik tetapi nilai kenaikannya tidak terlalu besar atau hampir sama. Bila dilihat dari rasio bentang terhadap lendutannya baja kastela terbukti lebih kaku dibanding dengan utuh karena nilai lendutannya lebih kecil.

Jadi berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa besar kecilnya nilai lendutan dipengaruhi oleh tingkat kekuatan dan kekakuan benda uji yang mana berkaitan dengan besarnya momen inersia. Semakin besar momen inersia maka semakin kecil lendutannya, sehingga baja kastela akan semakin kaku. Selain itu luas penampang pada bagian badan yang utuh yang mencakup komponen jumlah lubang dan bentang benda uji, juga mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap lendutan. Semakin luas penampang utuh yang ada maka semakin kecil juga lendutannya.

#### f. Pergoyangan (*buckling*)

Dengan adanya penambahan tinggi profil baja tentu ada resiko indikasi untuk terjadi *buckling*. Untuk menganalisis bahwa ada indikasi terjadi *buckling* pada pengujian, maka dari pembacaan *Dial gauge* 5 didapat data untuk pengujian.

Kecenderungan untuk nilai pergoyangan (*buckling*) pada saat pengujian. Pada pembacaan beban maksimal Nilai *buckling* berbanding lurus dengan lendutannya, semakin besar lendutannya maka semakin besar juga *bucklingnya*. Hal ini dapat dilihat yaitu mulai benda uji 3 ( $e = 177\text{ mm}$ ) sampai benda uji 7 ( $e = 50\text{ mm}$ ) nilai *bucklingnya* cenderung menurun. Nilai *buckling* yang lebih kecil dari benda uji utuh adalah mulai dari benda uji 5 ( $e = 125\text{ mm}$ ) sampai 7 ( $50\text{ mm}$ ). Pada benda uji 6 ( $e = 75\text{ mm}$ ) nilai *buckling* naik secara drastis kemungkinan pada ( $e = 75\text{ mm}$ ) terjadi kesalahan dalam pembacaan. Kondisi *buckling* kemungkinan terjadi pada benda uji ke 4 ( $e = 150\text{ mm}$ ).

#### g. Pertambahan Panjang

Untuk menganalisis bahwa ada indikasi terjadi pertambahan panjang pada pengujian, maka dari pembacaan *Dial gauge* 1 didapat data untuk pengujian.

Bahwa semakin lebar pemotongan profil ( $e$ ), maka ada kecenderungan untuk nilai pertambahan panjang semakin besar, kedua hal ini saling berbanding lurus.

Pertambahan panjang juga dipengaruhi oleh banyaknya lubang sehingga berpengaruh pada luasan penampang utunya. Semakin luas penampang utunya maka semakin kecil pertambahan panjangnya. Pada benda uji ke 3 ( $e = 177\text{ mm}$ ) nilai pertambahan panjang turun secara konsisten namun pada benda uji ke 7 ( $e = 50\text{ mm}$ ) nilainya naik lagi. Bila dilihat berdasarkan rasio pertambahan panjang terhadap bentangnya lebar potongan profil juga berbanding lurus dengan nilai rasionya, Pada benda uji ke 3 ( $e = 177\text{ mm}$ ) nilai pertambahan panjang turun secara konsisten namun pada benda uji ke 7 ( $e = 50\text{ mm}$ ) nilainya naik lagi. Berdasarkan hasil data dan analisis, indikasi optimal lebar pemotongan profil ( $e$ ) baja kastela tidak melebihi  $2\frac{1}{2} h\text{ cm}$  ( $e = 12.5\text{ cm}$ ).

#### h. Optimalisasi balok kastela (*castellated beam*)

Berdasarkan hasil analisis di atas, optimalisasi kuat lentur pada penelitian ini sudah tercapai, karena beban terpusat diletakkan diatas penampang utuh sehingga distribusi pembebanan bisa tereduksi secara merata ke seluruh permukaan balok. Kerusakan yang terjadi pada benda uji balok baja kastela juga merupakan rusak lentur bukan rusak geser.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian tarik baja WF 200.100.5,5.8 pada bagian badan, sayap atas, dan sayap bawah dapat diketahui mutu bajanya. Mutu baja dinyatakan dalam bentuk grafik antara tegangan regangan. Mutu baja ditunjukkan oleh tegangan leleh pertama dari benda uji, Dari perhitungan hasil pengujian tarik diatas didapat nilai modulus elastis ( $E$ ) baja WF 200.100.5,5.8 sebesar  $45580.81\text{ N/mm}^2$ . Hasil modulus elastis tersebut nilainya jauh dibawah nilai standar yang dinyatakan dalam buku yaitu  $210000\text{ N/mm}^2$ .

Secara teoritis semakin lebar pemotongan profil ( $e$ ) maka semakin sedikit lubang pada penampang badan baja, sehingga balok baja kastela semakin kuat dan kaku. Kemudian setelah menarasikan data penelitian pada kondisi leleh dari benda uji, dilihat kecenderungan bahwa semakin tinggi benda uji maka momen inersia yang dihasilkan juga semakin besar, sehingga benda uji baja kastela juga semakin kaku. Hal ini dibuktikan antara benda uji ke 2 (utuh) dan benda uji lain (baja kastela) yang tingginya bertambah. Jika nilai momen inersia semakin besar maka kemampuan menahan momennya juga semakin besar, sehingga balok kastela semakin kuat dan kaku. dihitung pula kekuatan sisa pada kondisi leleh yang dihasilkan antara momen eksperimen dan teori. Hasil nilai kekuatan sisa yang didapat dari perbandingan momen eksperimen terhadap momen teori berkisar diatas 20%.

Dalam pengujian dan analisa pada penelitian ini ada terdapat beberapa saran untuk melengkapi kekurangan-kekurangan yang dialami antara lain,

Perlu diadakan penelitian lebih lanjut lanjut sampai batas. Pada penelitian berikutnya sebaiknya bentang pada benda uji balok kastela dibuat sama untuk memudahkan dalam menganalisis optimalisasi berdasarkan lendutan, Pada struktur atap bangunan gudang yang panjangnya lebih dari 10 meter sebaiknya menggunakan balok baja kastela, karena berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terjadi runtuh geser pada balok baja kastela, di samping itu juga lebih kuat dan hemat, Dalam pelaksanaan penelitian ini ada dua peneliti lain yang melaksanakan penelitian sejenis dengan variabel yang

berbeda. Dan apabila hasil dari penelitian itu digabungkan maka akan didapat hasil yang paling optimal untuk dimensi baja balok kastela yaitu dengan sudut yang optimal ( $\theta$ ), lebar pemotongan profil ( $e$ ) yang optimal, dan tinggi pemotongan profil ( $h$ ) yang paling optimal, Pada penelitian berikutnya disarankan untuk menganalisis ulang pada sistem kerja profil mulai bagian sayap atas, badan dan sayap bawah agar semua komponen tersebut dapat bekerja secara maksimal pada saat pengujian, sehingga pada bagian sayap atas akan terjadi tekanan dan pada bagian sayap bawah terjadi tarikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zega, "Besarnya Sudut Potongan Pada Balok Baja Castella Beam Terhadap Optimalisasi Tegangan Lentur, Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)." [Online]. Available: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/ijocet/article/view/4084>.
- [2] Lukmansa, "Studi Perbandingan Perencanaan Struktur Baja Menggunakan Profil Biasa dan Profil Kastela Pada Proyek Gedung PGN di Surabaya" EXTRAPOLASI: Jurnal Teknik Sipil." [Online]. Available: <http://jurnal.untagsby.ac.id/index.php/EXTRAPOLASI/article/view/990>.
- [3] S. R. Toreh, S. E. Wallah, and S. O. Dapas, 2015, "Optimasi Tinggi Pemotongan Lubang Hexagonal Pada Castellated Beam", p. 9.
- [4] S. Elaiwi, B. Kim, and L.-Y. Li, 2019, "Bending Analysis of Castellated Beams," Athens J. Technology Eng., vol. 6, no. 1, pp. 1–16, doi: 10.30958/ajte.6-1-1.
- [5] G. S. Nair, "Review on Characteristics of Castellated Beam," vol. 05, no. 04, p. 5.
- [6] "Study of The Behavior of Composite Castellated Beam." [Online]. Available: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2018.1767.1773>.