

# Development Of Optimization Of Steel Castella As The Steel Beams Construction

Agus Wiyono  
State University of Surabaya  
aguswiyono77@yahoo.com

## ABSTRACT

Beam castella (castellated Beam) is formed by beams of profile H-beam, i-beam or wide flange beam used for construction of long span more than 8 meters by modifying the ' web ' of her being higher than the original profile. The web part is cut with a pattern of castella and then hooked up again with the way las. The result of the merged profile pieces will form holes with 3 shapes: hexagon (honey comb), rhombi, and circles (circular). These profiles are perforated to minimize the weight of its own profile. Castellated beam profile can be used for beams, the eastern limit of block length either as on the roof. With the overhaul of the steel changes and becomes a form of castella will experience a reduction in the weight of the steel itself and increase the height of the steel profile according to the desired.

This research was conducted to determine the influence of angle ( $\theta$ ), high (h) and width (e) profile-pieces of steel beams on elastic behavior of castellated beam. This study applies the model of castellated beam horizontal zig-zag profile test objects with WF 200.100.5.5.8. WF intact then formed steel castella with angle, height and width of the cutting profile is different for each test object. The test objects to cutting corners the profile treatment namely  $\theta_1 = 0^\circ$  (whole),  $\theta_2 = 45^\circ$ ,  $\theta_3 = 50^\circ$ ,  $\theta_4 = 60^\circ$ ,  $\theta_5 = 65^\circ$ ,  $\theta_6 = 70^\circ$  and  $\theta_7 = 75^\circ$ . The test objects for high profile cutting treatment i.e.,  $h_1 = 0$  mm (whole),  $h_2 = 26$  mm wide,  $h_3 = 50$  mm,  $h_4 = 76$  mm,  $h_5 = 102,5$  mm, and  $h_6 = 150$  mm. width of the treatment to test objects are pieces of profile (e) i.e.  $e_{std} = 51,25$  mm,  $e_0 = 0$  (intact),  $e_1 = 177$  mm,  $e_2 = 150$  mm,  $e_3 = 125$  mm,  $e_4 = 50$  mm, and  $e_5 = 75$  mm. castellated steel beam testing Systems conducted in the laboratory is by giving a load of centered around the Middle span steel beam, and then on the test (test region) studied the behavior of steel beam while receiving the centralized load by using the tool hidrolic jack. Quality steel voltage is the voltage that occurs at the time before starting to melt. To find out the

quality of steel ( $f_y$ ) then pull-test test will be performed, i.e. by taking a sample of steel profiles to test his steel quality.

The results showed that at the melting condition and collapsed, cutting the corner profile ( $\theta$ ) is not too influential to the strength of flexure, there was a rise in the value of this banding if large corner profile is getting bigger but the accession was not significant. When are reviewed from the angle of the cutting profile buckling condition ( $\theta$ ) affects to the buckling, the greater the angle of the cutting profile ( $\theta$ ) showed a trend of buckling that occurs is getting smaller. The results showed on the conditions of yiel and collapsing, cutting height profile (h) affect the strength of the flexure, the more high profile then the greater the strength of the flexure. When are reviewed from a high profile cutting of buckling condition (h) affect to the buckling, the more high profile cutting (h) there is a tendency that happens the greater the buckling. Whereas in terms of the width of the cutting profile (e), affects the value of buckling, the width of the cutting profile (e) then the greater the value of buckling. Based on the results of the study treatment angle profile pieces ( $\theta$ ) on the most optimal castella steel when are reviewed from the moment, shear strength, buckling and deflection is the range between the angle  $45^\circ - 60^\circ$  or angle must not exceed  $60^\circ$ . For high-profile pieces (h) on the most optimal castella steel recommended height pieces (h) may not exceed 50% of the high-profile intact. Is the width of the profile pieces (e) on steel the most optimal castella is e should not be in excess of  $2\frac{1}{2}$  times the height profile intact.

Key words: Castellated beam, the cutting angle profile ( $\theta$ ) high-profile cuts, (h) and width of profile pieces (e), strength of flexure.

## I. PENDAHULUAN

*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 (H.E. Horton, Chicago, 1910), kemudian sekarang lebih dikenal dengan metode *Castella*. Bentuk badan profil baja castella 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 di masyarakat sebagai konstruksi bangunan, sehingga banyak juga pilihan jenis dan bentuk yang ditawarkan oleh pasar. Salah satunya adalah balok castella (*castellated Beam*).

Balok castella (*Castellated Beam*) adalah balok bentukan dari profil *H-beam*, *I-beam* atau *wide flange beam* yang dipakai untuk konstruksi bentang panjang lebih dari 8 meter dengan memodifikasi bagian 'web' nya menjadi lebih tinggi dari profil aslinya. Bagian web dipotong dengan pola *castella* lalu disambungkan kembali dengan cara las. Bagian web yang dipotong dengan pola *Castella* disambungkan dengan cara las. Hasil dari potongan profil yang disatukan akan membentuk lubang dengan 3 bentuk yakni segi enam (*honey comb*), belah ketupat, dan lingkaran (*circular*). Profil tersebut dilubangi untuk memperkecil berat sendiri profil. Balok castella (*castellated beam*) merupakan profil I WF yang bagian webnya di potong dengan cara dan model tertentu, sehingga membentuk dua bagian profil yang kemudian disambung untuk mendapatkan tinggi profil tertentu. Sehingga penampang balok yang didapat menjadi lebih tinggi dan lebih kuat. Kedua profil hasil pemotongan tersebut disatukan dengan cara di las, sehingga membentuk 1,5 D dari profil I WF yang satu dibentuk.

Ada beberapa kegagalan dari pembuatan *castellated beam* antara lain: (1) *Lateral – Torsional – Buckling*, *Nethercot dan Kerdal* (1982) menyatakan bahwa pada web *opening* mempunyai efek yang diabaikan pada *lateral torsional buckling* pada balok-balok yang telah mereka uji; (2) *Rupture of Welded Joint*, Las pada jarak antara lubang yang satu dengan yang lainnya ( $e$ ) dapat mengalami *rupture* (putus) ketika tegangan geser horisontal melebihi kekuatan leleh dari pengelasannya (*welded joint*) (*Husain and Speirs, 1971*). Panjang horisontal pada lubang (*horizontal length of the opening*) berbanding lurus dengan panjang pengelasan, dan ketika panjang horisontal berkurang untuk menambah secondary moment (*Vierendeel truss*). Maka las sepanjang

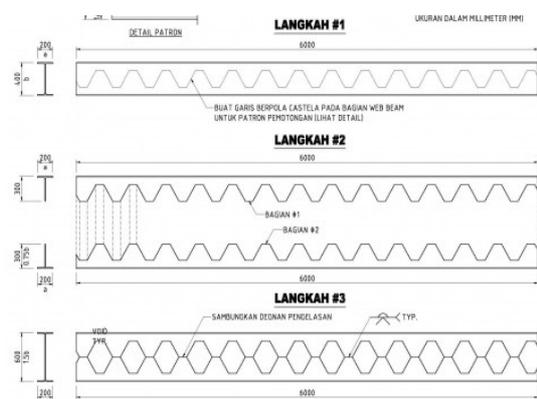
badan profil menjadi lebih mudah gagal (*failure*). Mekanisme *Vierendeel* biasanya terjadi pada balok-balok yang mempunyai jarak lubang horisontal yang cukup panjang (oleh karena itu mempunyai panjang las lebih panjang) (*Dougherty, 1993*).

Dengan harga bahan bangunan khususnya bahan baja yang relatif harganya semakin meningkat, maka dengan menggunakan balok kastela (*castellated beam*) dalam pelaksanaan konstruksi akan diperoleh suatu penghematan biaya yang cukup berarti dari segi penggunaan material baja, di samping itu juga lebih bersifat padat karya.

Bentuk badan profil baja kastela tergantung dari teknis pembelahan pelat badan profil yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Ada beberapa macam bentuk yang sering dipergunakan dilapangan, salah satunya adalah bentuk belah zig-zag horisontal.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan uji laboratorium, dengan membuat model *castella beam* zig-zag horisontal dengan benda uji profil baja WF. Penulis berencana untuk meneliti optimalisasi kekuatan tegangan lentur *castella beam* bila diberlakukan sudut ( $\emptyset$ ), tinggi ( $h$ ) dan lebar ( $e$ ) pemotongan profil yang berbeda-beda pada setiap benda uji. Pada benda uji untuk perlakuan sudut pemotongan profilnya yaitu  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $65^\circ$  dan  $70^\circ$ . Untuk benda uji perlakuan tinggi pemotongan profilnya yaitu  $h_1=0\text{mm}$  (utuh),  $h_2=26\text{mm}$ ,  $h_3=50\text{mm}$ ,  $h_4=76\text{mm}$ ,  $h_5=102,5\text{mm}$ , dan  $h_6=150\text{mm}$ . Untuk benda uji perlakuan lebar potongan profilnya yaitu  $e_1=51,25\text{mm}$ ,  $e_2=0$  (utuh),  $e_3=177\text{mm}$ ,  $e_4=150\text{mm}$ ,  $e_5=125\text{mm}$ ,  $e_6=75\text{mm}$  dan  $e_7=50\text{mm}$ . Tahapan pembuatan benda uji seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 5. Pembuatan *Castellated Beam* Bentuk Segi Enam

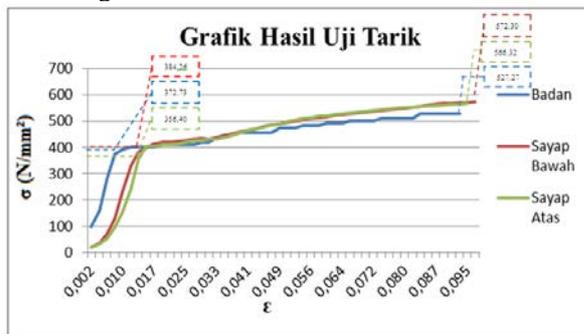
Pengujian balok baja kastela yang dilakukan di laboratorium dengan memberi beban terpusat di sekitar tengah bentang balok baja, kemudian pada daerah uji (*test region*) dipelajari perilaku balok baja saat

menerima beban terpusat tersebut. Detail gambar pengujian seperti di bawah ini.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

#### 1. Penyajian Uji Tarik

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 pada gambar grafik sebagai berikut :



Gambar 7. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan

Dari Grafik 7 hasil pengujian tarik diatas didapat rata-rata mutu baja seperti dirinci pada table di bawah ini.

Tabel 1. Karakteristik baja

No	Keterangan	$\sigma$ Leleh	$\sigma$ 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

#### 2. Pengaruh Besar Sudut Terhadap Kuat Lentur Balok Castella

Pada penelitian ini ada tujuh benda uji balok baja kastela dengan sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) yang digunakan yaitu  $\emptyset_1= 0^\circ$  (utuh),  $\emptyset_2= 45^\circ$ ,  $\emptyset_3= 50^\circ$ ,  $\emptyset_4= 60^\circ$ ,  $\emptyset_5= 65^\circ$ ,  $\emptyset_6= 70^\circ$ ,  $\emptyset_7= 75^\circ$  dan masing-masing benda uji memiliki bentang yang berbeda-beda. Setelah dilakukan pengujian kuat lentur dengan beban terpusat di atas penampang baja yang tidak berlubang, maka didapat beban maksimum balok yang berbeda juga.

Secara teoritis semakin besar sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) maka semakin kecil lubang pada penampang badan baja, sehingga balok baja kastela semakin kaku. Mengacu dari hal tersebut, maka momen inersia juga semakin besar, karena nilai momen inersia berbanding lurus dengan besarnya tingkat kekakuan. Ketinggian benda uji juga mempengaruhi besarnya momen inersia, dimana semakin tinggi benda uji maka momen inersianya semakin besar. Hal ini dapat dibuktikan dari benda uji 1 (utuh) yang memiliki momen inersia lebih kecil dibandingkan dengan benda uji lainnya yang sudah dalam bentuk balok baja kastela. Jadi semakin besar sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) maka momen inersia semakin besar dan balok menjadi semakin kaku, sehingga kemampuan menahan momen juga semakin besar sehingga balok semakin kuat.

Grafik menunjukkan semua benda uji memiliki nilai momen leleh eksperimen lebih besar dibandingkan dengan momen leleh teori. Pada momen leleh eksperimen menunjukkan adanya kecenderungan semakin besar mulai benda uji 1 (utuh) hingga benda uji 4 ( $\emptyset_4= 60^\circ$ ), kemudian mengalami penurunan pada benda uji 5 ( $\emptyset_5= 65^\circ$ ) dan benda uji 7 ( $\emptyset_7= 75^\circ$ ). Sedangkan pada benda uji 6 ( $\emptyset_6= 70^\circ$ ) mengalami lonjakan karena memiliki bentang yang panjang dan beban yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa ditinjau dari segi momen leleh, sudut optimalnya terletak pada benda uji 4 ( $\emptyset_4= 60^\circ$ ) atau tidak boleh melebihi sudut  $60^\circ$ .

Berdasarkan Rumus momen teori hasil perhitungan momen teori setiap benda uji balok baja kastela memiliki nilai yang hampir sama (selisih nilainya tidak terlalu besar). Momen teori berkaitan erat dengan tinggi profil baja, semakin tinggi sebuah profil baja maka semakin besar nilai momen teorinya. Mengacu dari hal tersebut, maka dalam penelitian ini benda uji 1 ( $\emptyset_1=$  utuh) memiliki tinggi profil yang paling rendah dibandingkan benda uji lainnya, sehingga benda uji 1 memiliki nilai momen teori yang paling kecil. Kemudian untuk benda uji 2 ( $\emptyset_2= 45^\circ$ ) hingga benda uji 7 ( $\emptyset_7= 75^\circ$ ) yang sudah dirubah menjadi profil balok baja kastela dengan tinggi yang hampir sama memiliki nilai momen teori yang hampir sama pula.

Jadi berdasarkan analisis pada momen leleh dan momen runtuh di atas, untuk keamanan kekuatan momen lentur pada balok baja kastela maka besar sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) yang optimal berkisar antara sudut  $45^\circ-60^\circ$  atau tidak boleh melebihi sudut  $60^\circ$ .

#### 3. Pengaruh Tinggi Pemotongan Profil (h) Terhadap Kuat Lentur Balok Castella.

Secara teoritis semakin tinggi pemotongan profil (h) maka semakin besar pula momen inersianya, sehingga kemampuan

menahan momen balok baja kastela semakin besar yang pada akhirnya akan membuat balok tersebut menjadi kuat dan kaku. Kemudian setelah menarasikan data penelitian pada kondisi leleh dari benda uji, dilihat kecenderungan bahwa semakin tinggi pemotongan profil (h), benda uji maka momen inersia yang dihasilkan juga semakin besar ini dibuktikan bahwa besarnya momen yang dihasilkan semakin meningkat dari benda uji ke-1 sampai ke-6. Dimana momen inersia akan berbanding lurus dengan besarnya momen eksperimen dan juga tingkat kekuatan dan kekakuan dari balok baja tersebut. Jadi semakin tinggi pemotongan profil (h), maka akan dihasilkan momen yang semakin besar.

Dalam hal ini bila ditinjau secara teoritis semakin tinggi pemotongan profil (h) maka semakin besar pula momen inersianya, sehingga kemampuan menahan momen balok baja kastela semakin besar yang pada akhirnya akan membuat balok tersebut menjadi kuat dan kaku. Kemudian setelah menarasikan data penelitian pada kondisi runtuh dari benda uji, dilihat kecenderungan bahwa semakin tinggi pemotongan profil (h), benda uji maka momen inersia yang dihasilkan juga semakin besar ini dibuktikan bahwa besarnya momen yang dihasilkan semakin meningkat dari benda uji ke-1 sampai ke-6. Dimana momen inersia akan berbanding lurus dengan besarnya momen eksperimen dan juga tingkat kekuatan dan kekakuan dari balok baja tersebut. Jadi semakin tinggi pemotongan profil (h), maka akan dihasilkan momen yang semakin besar. Namun yang membedakan untuk kondisi leleh dan runtuh adalah adanya gejala *buckling*. Jadi dengan adanya tinggi pemotongan profil (h), semakin tinggi pemotongannya maka gejala *buckling* yang terjadi juga akan semakin bertambah. Namun pada kondisi tertentu harus diambil optimalnya supaya tidak terjadi *buckling* yang besar, sehingga balok baja kastela masih memiliki kekuatan dan kekakuan yang diharapkan.

Ditinjau dari kekuatan sisa pada kondisi runtuh yang dihasilkan antara momen eksperimen dan momen teori, berkisar diatas 20%. Kemudian untuk mengeneralisasi kekuatan lentur yang ditunjukkan oleh momen dari seluruh benda uji, maka dihitung rasio momen terhadap bentangnya dengan rumus momen/bentang (M/L), karena besarnya momen juga dipengaruhi oleh bentang benda uji.

Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa berdasarkan beberapa analisis diatas, bahwa untuk keamanan kekuatan lenturnya, tinggi potongan profil (h) balok baja kastela dianjurkan tidak melebihi 50% dari tinggi pemotongan profil (h) sebelum dibuat kastela.

#### 4. Pengaruh Lebar Potongan Profil (e) Terhadap Kuat Lentur Balok Castella.

Hasil perhitungan momen lentur menunjukkan bahwa momen eksperimen pada benda uji 6 ( $e=5.125\text{cm}$ ) 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 untuk perhitungan momen teori ketinggian profil yang berpengaruh.

Berdasarkan hasil perhitungan momen teori setiap benda uji balok kastela memiliki nilai yang hampir sama (nilainya tidak terlalu besar selisihnya). Hal ini dikarenakan benda uji memiliki dimensi yang sama. Jadi perubahan besar lebar potongan profil (e) tidak terlalu berpengaruh, dalam hal ini yang paling berpengaruh pada kekuatan balok kastela adalah ketinggian profil. Berdasarkan tabel 4.12 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%. Bila dilihat pada tabel 4.10 dan 4.12 terbukti bahwa 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  $2\frac{1}{2} h \text{ cm}$  ( $e=12.5\text{cm}$ ).

#### 5. Pengaruh Sudut Pemotongan Profil ( $\emptyset$ ) Terhadap Kekuatan Geser.

Hasil perhitungan kekuatan geser pada bagian berlubang pada benda uji balok baja kastela yaitu sebagai berikut untuk indikasi keamanan kekuatan geser pada penampang balok baja kastela, maka besar sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) dianjurkan berkisar antara sudut  $45^\circ - 60^\circ$  atau tidak boleh melebihi sudut  $60^\circ$ .

#### 6. Pengaruh Tinggi Pemotongan Profil (h) Terhadap Kekuatan Geser.

Untuk membuktikan adanya kerusakan geser pada penelitian ini, maka akan dilakukan kekuatan geser untuk membuktikan kebenarannya. Pada bagian yang berlubang memiliki kecenderungan selisih penurunan  $V_u < V_n$  secara konsisten, dimana nilai dari selisih penurunan  $V_u < V_n$  berbanding terbalik dengan tinggi pemotongan profil baja (h). Hal ini sesuai harapan sehingga pada keseluruhan benda uji tersebut mengalami rusak lentur bukan rusak geser atau patah. Namun pada kondisi benda uji ke 6, mulai menunjukkan penurunan untuk kekuatan gesernya. Sedangkan untuk kekuatan geser pada bagian tidak berlubang

memiliki kecenderungan yang relatif sama untuk kerusakan yang terjadi pada keseluruhan benda ujinya. Sehingga rata-rata yang terjadi pada penampang baja yang tidak berlubang ini mengalami kerusakan lentur.

Jadi untuk indikasi keamanan kekuatan geser pada penampang balok kastela, tinggi pemotongan profil yang dianjurkan adalah  $h < 102,5\text{mm}$  atau dapat dikatakan tinggi pemotongan ( $h$ ) tidak boleh lebih dari 50% dari tinggi profil sebelum dibuat balok kastela.

#### 7. Pengaruh Lebar Potongan Profil ( $e$ ) Terhadap Kekuatan Geser.

Kekuatan geser pada bagian yang berubang dan pada bagian yang tidak berlubang didapatkan hasil bahwa 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.

Berdasarkan tabel 6 dan Tabel 7 juga menunjukkan bahwa kekuatan 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 keseluruh penampang baja, sehingga tidak terjadi runtuh geser melainkan terjadi rusak lentur.

#### 8. Pengaruh Sudut Pemotongan Profil ( $\emptyset$ ) Terhadap Lentutan

Secara teoritis semakin besar sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) maka semakin kecil lubang pada penampang badan baja dan semakin banyak jumlah lubangnya, sehingga balok baja kastela semakin kaku karena luasan penampang utuh pada bagian badan semakin besar. Mengacu dari hal tersebut, maka momen inersia juga semakin besar, karena nilai momen inersia berbanding lurus dengan besarnya tingkat kekakuan. Jadi semakin besar sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) maka momen inersia semakin besar dan balok menjadi semakin kaku, sehingga lentutan yang dihasilkan semakin kecil dan kemampuan menahan momen semakin

besar sehingga balok semakin kuat. Disamping itu besarnya lendutan yang dihasilkan pada saat pengujian juga dipengaruhi oleh terjadinya *buckling*.

Pada Tabel 8 hasil pengujian lendutan eksperimen pada P sebelum leleh belum menunjukkan adanya kecenderungan semakin kecilnya lendutan yang dihasilkan. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya terjadinya *buckling* pada benda uji saat pengujian karena semakin besar *buckling* yang terjadi maka lendutan yang dihasilkan juga semakin besar, kemudian kurang efektifnya proses pengelasan sambungan pada bagian badan baja yang dapat mempengaruhi kekuatan benda uji, dan kurang telitinya pembacaan *dial gauge* pada saat uji tekan di laboratorium. Lendutan terkecil terjadi pada benda uji 4 ( $\emptyset_4 = 60^\circ$ ), karena bentangnya tidak terlalu panjang dan luasan penampang utuh pada bagian badan juga besar, sehingga lendutan yang dihasilkan kecil. Kemudian pada benda uji 2 ( $\emptyset_2 = 45^\circ$ ) hingga benda uji 3 ( $\emptyset_3 = 50^\circ$ ) atau sebelum benda uji 4 lendutannya relatif masih rendah, sedangkan pada benda uji 5 ( $\emptyset_5 = 65^\circ$ ) hingga benda uji 7 ( $\emptyset_7 = 75^\circ$ ) atau sesudah benda uji 4 lendutannya cenderung semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa ditinjau dari segi lendutan pada beban sebelum leleh, sudut optimalnya terletak pada benda uji 4 ( $\emptyset_4 = 60^\circ$ ) atau tidak boleh melebihi sudut  $60^\circ$ .

Pada Tabel 9. hasil perhitungan lendutan teori pada P sebelum leleh sudah menunjukkan adanya kecenderungan semakin kecilnya lendutan yang dihasilkan. Pada benda uji 3 ( $\emptyset_3 = 50^\circ$ ) hingga benda uji 7 ( $\emptyset_7 = 75^\circ$ ) terlihat bahwa lendutan yang terjadi semakin kecil. Pada benda uji 6 ( $\emptyset_6 = 70^\circ$ ) besarnya lendutan mengalami lonjakan karena memiliki bentang yang panjang. Sama halnya pada benda uji 3 juga memiliki lendutan teori terbesar karena mempunyai bentang yang paling panjang dibandingkan benda uji lainnya.

Jadi berdasarkan analisis lendutan eksperimen dan lendutan teori pada beban sebelum leleh, beban maksimal dan beban yang sama di atas, untuk keamanan kekuatan lentur balok baja kastela dari segi lendutan maka besar sudut pemotongan profil ( $\emptyset$ ) yang optimal berkisar antara sudut  $45^\circ - 60^\circ$  atau tidak boleh melebihi sudut  $60^\circ$ .

## IV. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Dari hasil dan analisis data, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari indikasi momen leleh, momen runtuh, lendutan dan *buckling* pada baja kastela. Sudut potongan profil ( $\emptyset$ ) pada lubang kastela yang paling optimal berkisar antara

sudut  $45^\circ - 60^\circ$  atau tidak boleh melebihi sudut  $60^\circ$ .

2. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari indikasi momen leleh, momen runtuh, lendutan dan *buckling* pada baja kastela. tinggi potongan profil (h) pada lubang kastela yang paling optimal tidak boleh melebihi 50% (dg) dari tinggi profil sebelum dibuat balok kastela (0.5 dg).
3. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari indikasi momen leleh, momen runtuh, lendutan dan *buckling* pada baja kastela. tinggi potongan profil (h) pada lubang kastela yang paling optimal tidak diperbolehkan melebihi dari  $\frac{3}{4} D_s$  atau tidak boleh lebih dari 150mm.

## B. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas dapat disarankan bahwa:

1. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut bila ditinjau dari ketinggian pemotongan profil dengan  $h \leq 50\%$  dari tinggi profil sebelum dibuat balok kastela kekuatan baja kastelanya terus meningkat, maka sebaiknya untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian bahan dengan tinggi (h) lebih dari 50% dari tinggi profil sebelum dibuat balok kastela.
2. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut kerusakan yang terjadi pada baja kastela ini adalah runtuhnya pada kondisi *buckling* sehingga diperlukan pengaku pada baja kastela, maka untuk penelitian selanjutnya diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai optimalisasi pengaku untuk baja kastela.
3. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut bahwa sayap bagian bawah balok baja kastela tidak bekerja secara optimal, sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai distribusi beban pada setiap bagian pada balok baja kastela agar semua bagian baik sayap atas, badan dan sayap bawah dapat bekerja secara optimal.
4. Pada penelitian berikutnya sebaiknya bentuk penampang berlubang dibuat berbeda dengan penelitian ini, misalnya bentuk segi empat atau lingkaran.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- Adhibaswara, Banu. 2010. *Perencanaan Struktur Jembatan Baja Komposit dengan Profil Castellated Beam*.
- Amon, Rene dan Knobloch Atanu Mazumder, Bruce.1999. "Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur Dan Arsitek 2. Jakarta:PT. AKA
- Anonim.2011. *Cara Membuat Balok Castella (Castella Beam)*.  
<http://mikhamarthen.wordpress.com/2011/01/16/>

[cara-membuat-balok-castella-castella-beam/.Diakses](#) Rabu, 3 Oktober 2012.

- Davis, H.E., Troxel. G.E., Wiskocil, C.T., 1955. *The Testing and Inspection of Engineering Materials*. McGraw-Hill Book Company. New York, USA.
- 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.*
- Griinbauer, Johann. 2001. *Engineering Theories of Software Intensive Systems*.  
(<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=book&isbn=978-1-4020-3530-2>, diakses 4 Oktober 2012).
- 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.*
- Megharief, Jihad Dokali. 1997. *Behavior of Composite Castellated Beam*. MCGILL UNIVERSITY Montreal, CANADA.
- Nethercot.. D.A., and Kerdal.. O. *Laterai-torsional buckling of castellated beams Struct. Engr~ 60B:3, 53-61 . 1982*
- Sudarmadi. 2008. *Evaluasi Kekuatan dan Lendutan Struktur Balok Baja Pada Gedung Dengan Uji Beban Lapangan, (Online)*.  
(<http://www.scribd.com/doc/84649774/23082412> 49, diakses 4 Oktober 2012).