

## ANALISIS BALOK GESER KASTELLA MENGGUNAKAN METODE ANALISIS PENAMPANG DAN METODE LAYER

Andina Prima Putri<sup>1</sup>, Iman Satiyarno<sup>2</sup>, Suprpto Siswosukarto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta Sunter Agung, Tanjung Priok [Andinap.putri@gmail.com](mailto:Andinap.putri@gmail.com)

<sup>2</sup>Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2, Sleman Yogyakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2, Sleman Yogyakarta, Indonesia

### ABSTRAK

Balok Kastella merupakan pengembangan dari profil IWF (*I Wide Flange*). Dalam proses pembuatannya profil IWF dibelah menjadi dua bagian, hal ini dimaksudkan agar tinggi balok kastella dapat disesuaikan dengan tinggi yang sudah didesain. Balok kastella memiliki keunggulan dalam hal peningkatan kapasitas momen, sekaligus dapat mengatasi permasalahan yang ditimbulkan pada balok kastella yaitu berupa *web buckling* dan penurunan kapasitas geser. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kapasitas geser, kapasitas beban leleh dan kapasitas beban ultimit serta pola keruntuhan yang terjadi pada benda uji ini. Penelitian ini dilakukan dengan 1 buah benda uji, yaitu balok kastella dengan penyambung diagonal tulangan baja D22 dan komposit mortar dengan dimensi 275x75x7x5 mm. Panjang bentang profil IWF untuk pengujian ini sebesar 780 mm. Pengujian ini memakai tumpuan sendi dan rol. Beban yang diaplikasikan pada balok adalah beban dua titik yang bekerja pada arah tegak lurus bidang balok, dimana posisi titik pembebanan adalah 1/3 dan 2/3 dari panjang total benda uji. Benda uji ini akan dianalisis menggunakan analisis penampang. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode analisis penampang dan metode layer didapatkan pola keruntuhan yang terjadi adalah pola keruntuhan geser. Dengan menggunakan metode layer didapatkan kapasitas beban leleh adalah sebesar 494,06 kN sedangkan kapasitas beban ultimit sebesar 580,99 kN. Dengan menggunakan metode analisis tampang didapatkan kapasitas beban leleh sebesar 402,90 kN sampai dengan 512,45 kN sedangkan untuk kapasitas beban ultimit adalah sebesar 567,15 kN sampai dengan 842,52 kN.

**Kata Kunci : Balok Kastella, Balok Geser, Analisis Penampang.**

### ABSTRACT

*Castella beam is a development of IWF (I Wide Flange) profile, which is made by splitting the IWF profile along its span into two pieces equally, with the intention to get a proper height as the height that had been designed. Castella beam have excellency in moment capacity increment, and resolving usual problem that occurs in Castella Beam at once, which is web buckling and shear capacity decreament. This research is intended to analyze shear capacity, yield capacity, and ultimate load capacity alongside with the failure pattern which occurring in the specimen. This research was done with 1 specimen, that is castella beam with reinforcement D22 as diagonal bracing and composite mortar with dimension of 275x75x7x5 mm. The span of IWF profile is 780 mm. The test using hinge and roll support. The load which is applied to the beam are two joint loads which perpendicular to the beam. The joint loads positioned at 1/3 and 2/3 of beam span length. The specimen would be analyzed using section analysis. Based on calculation using section analysis method and layer method, failure pattern that occurs in the specimen are shear failure pattern. Yield capacity result obtained using layer method is 494,06 kN and ultimate load capacity is 580,99 kN. Yield capacity obtained using section analysis method are range from 402.90 kN to 512,45 kN and ultimate load capacity result are range from 567.15 kN to 842,52 kN.*

**Keyword : Castella Beam, Shear Beam, Section Analysis.**

## 1. Pendahuluan

Balok Kastella merupakan balok yang ditingkatkan dari profil IWF dengan tujuan memperbesar momen inersia untuk memperoleh kapasitas lentur yang lebih besar dari profil IWF standart. Pada umumnya balok kastella dibuat dari profil IWF dengan cara membelah profil secara zig - zag seanjang sumbu balok, sehingga didapat dua potongan profil yang selanjutnya kedua potongan profil ini disusun kembali / disatukan dengan cara dilas, dengan demikian diperoleh profil baru yang lebih tinggi dari profil standart (Blodget, 1982) [1]. Penggunaan profil IWF (*I Wide Flange*) sebagai komponen struktur pendukung beban mulai umum digunakan. Salah satu upaya yang dilakukan untuk menghemat biaya konstruksi dan memperoleh desain konstruksi yang ekonomis adalah dengan meminimalisasi bahan pada balok profil IWF yang dilakukan dengan menambah tinggi balok melalui pembuatan badan yang dibelah menjadi dua bagian pada badan, yang dikenal dengan balok castellated. Bukan pada balok castellated ini dapat berupa bukaan lingkaran, elips, heksagonal, segi empat dan penyambung diagonal.

*Castellated beam* dengan bentuk bukaan heksagonal, lingkaran, persegi dan penyambung diagonal mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya yaitu penambahan tinggi yang terbatas, proses pemotongan perlu dilakukan dengan lebih teliti, terjadi masalah tekuk, mekanisme kegagalan yang terjadi didominasi oleh mekanisme *vierendeel* karena berkurangnya kekakuan pada *flens* dan terjadi buckling pada penyambung diagonal. Penelitian ini menggunakan *castellated beam* modifikasi dengan penyambung tulangan baja agar dapat meminimalisir kelemahan yang terjadi pada *castellated beam* dengan bentuk bukaan heksagonal, lingkaran, persegi, penyambung diagonal dan mendapatkan kelebihan antara lain:

1. Pemotongan profil dilakukan secara lurus tepat ditengah badan profil sepanjang bentang.
2. Dapat memiliki tinggi yang tidak terbatas, tetapi tentunya juga harus mempertimbangkan kekurangan-kekurangan yang ada pada balok baja *castellated* modifikasi tersebut.
3. Terjadinya mekanisme *vierendeel* dapat diminimalisasi karena tinggi *stem* balok mencapai 0,5 h.

4. Mengurangi terjadinya tekuk pada pangkaku diagonal.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Kapasitas Momen balok Kastella Sebagai Profil

Kapasitas momen balok *castellated* sebagai profil dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

Pada kondisi leleh:

$$M_y = A_s \times f_y \times d$$

Pada kondisi plastis:

$$M_p = A_s \times f_u \times d$$

dengan :

$$M_y = \text{Momenyield (Nmm)}$$

$$M_p = \text{Momen plastis (Nmm)}$$

$$A_s = \text{Luas sayap profil (mm}^2\text{)}$$

$$f_y = \text{Tegangan leleh baja (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_y = \text{Tegangan ultimit baja (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_u = \text{Tegangan ultimit baja (N/mm}^2\text{)}$$

$$d = \text{Tinggi efektif (mm)}$$

### 2.2. Kapasitas Geser Penampang

Kapasitas geser penampang dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

1. Kapasitas geser badan / *web* ( $V_s$ ):

$$V_s = t_w \times h \times f_y$$

dengan :

$$V_s = \text{Kuat geser bagian badan (N)}$$

$$t_w = \text{Tebal badan balok } castellated \text{ (mm)}$$

$$h = \text{Tinggi penampang (mm)}$$

$$f_y = \text{Tegangan leleh balok } castellated \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

2. Kapasitas geser mortar ( $V_c$ ):

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times t_w \times d$$

dengan :

$$V_c = \text{Kuat geser pada mortar (N)}$$

$$f_c = \text{Kuat tekan mortar (N/mm}^2\text{)}$$

$$t_w = \text{Lebar penampang (mm)}$$

$$d = \text{Tinggi efektif penampang mortar (mm)}$$

### 2.3. Balok Baja Katella

Balok baja kastella merupakan balok yang ditingkatkan dari profil IWF dengan tujuan memperbesar momen inersia untuk memperoleh kapasitas lentur yang lebih besar dari profil IWF standar. Pada umumnya balok kastella dibuat dari

profil IWF dengan cara membelah profil secara zig-zag sepanjang sumbu balok, sehingga didapat dua potongan profil yang selanjutnya kedua potongan profil ini disusun kembali/disatukan dengan cara dilas, dengan demikian diperoleh profil baru yang lebih tinggi dari profil standar (Blodgett, 1982).

Menurut Kerdal dan Nethercot yang dikutip Bradley (2003), menjelaskan bahwa dalam mendesain suatu balok kastella dengan menggunakan struktur balok. Untuk menganalisis dengan baik dan mengerti secara penuh mengenai balok kastella adalah dengan melihat secara individual setiap komponen pada balok kastella. Ketika selesai maka balok kemudian dapat difungsikan dengan baik dan mencapai kekuatan yang sesuai dengan desain.

Peningkatan rasio tinggi dan tebal badan profil ( $d_g/t_w$ ) dapat meningkatkan kemampuan dukung lentur, namun disisi lain menyebabkan badan profil balok kastella menjadi lebih langsing sehingga peristiwa tekuk pada badan akibat geser vertikal dan tekuk akibat kolom pada penampang T akibat momen lentur perlu diwaspadai (Tamboli, 1997) sedangkan banyaknya lubang pada badan akan mempengaruhi jenis keruntuhannya (Blodgett, 1982).

#### 2.4. Metode Layer

Menurut Park dan Paulay (1975) analisis dengan menggunakan metode diskrit elemen atau metode pias (*layer*) dapat digunakan untuk menentukan kapasitas lentur penampang balok beton bertulang berdasarkan diagram tegangan-regangan dari bahan-bahan penyusunnya. Metode pias (*layer*) dilakukan dengan cara membagi penampang balok beton bertulang menjadi sejumlah pias, kemudian mengasumsikan nilai kedalaman garis netral. Jika regangan pada satu titik diketahui maka regangan pada tiap pias dapat dihitung. Berdasarkan nilai regangan yang telah dihitung untuk masing-masing pias maka dapat dihitung juga nilai tegangan dan gaya yang bekerja. Prosedur dilakukan dengan mengasumsikan nilai kedalaman garis netral sampai tercapai keseimbangan gaya.

Menurut Satyarno (2012), Perhitungan dalam metode layer memiliki beberapa tahapan, yaitu :

- a. Membuat layer atau lapisan pada penampang
- b. Setiap lapis mempunyai tegangan dan regangan yang sama (berdasarkan diagram tegangan dan regangannya)
- c. Coba suatu nilai kedalaman garis netral ( $c$ )
- d. Tentukan nilai regangan di suatu lapis
- e. Tentukan tegangan di setiap lapis
- f. Tentukan regangan di setiap lapis
- g. Menghitung gaya di setiap lapis ( $C_c$ ,  $C_s$  dan  $T_s$ )
- h. Menghitung komponen gaya tekan  $C$  ( $C=C_c+C_s$ )
- i. Menghitung komponen gaya tarik  $T$  ( $T=T_s$ )
- j. Mengontrol kesetimbangan gaya tarik dan tekan dengan mencoba variasi nilai garis netral ( $C=T$ )
- k. Menghitung momen,  $M=\Sigma(C_i y_i+T_i y_i)$

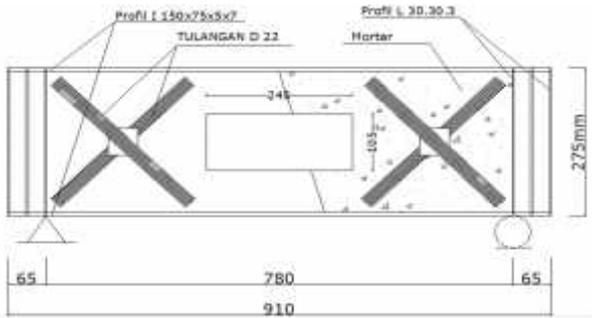
### 3. Metode Penelitian

#### 3.1. Benda Uji

Benda uji utama terdiri dari satu buah benda yaitu balok kastella dengan penyambung diagonal tulangan baja D22 dan komposit mortar dengan dimensi 275x75x7x5 mm. Panjang bentang profil IWF untuk pengujian ini sebesar 780 mm. Pengujian ini memakai tumpuan sendi dan rol. Beban yang diaplikasikan pada balok adalah beban dua titik yang bekerja pada arah tegak lurus bidang balok, dimana posisi titik pembebanan adalah 1/3 dan 2/3 dari panjang total benda uji.

Tabel 1. Benda Uji Utama

L (mm)	h (mm)	b <sub>w</sub> (mm)	t <sub>r</sub> (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	Tumpuan ke titik pembebanan (mm)
910	275	75	7	5	260



Gambar 1. Benda Uji Utama

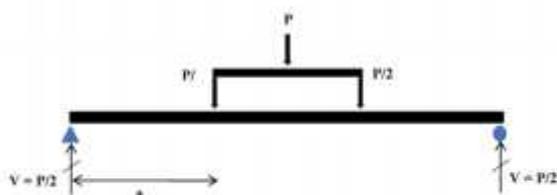
Material - material benda uji memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2. Spesifikasi Benda Uji

Jenis Pengujian	Jumlah	Keterangan
Kuat Tekan Mortar	3 buah	Silinder (d=150 mm, h=300 mm)
Kuat Tarik Baja IWF	3 buah	Panjang 50 mm
Kuat Tarik Baja Siku	2 buah	Panjang 50 mm
Kuat Tarik Tulangan D 22	3 buah	Panjang 50 mm
Material Properties Agregat Halus	-	Daerah Merapi, Yogyakarta

### 3.2. Analisis Benda Uji

Untuk menganalisis benda uji pertama kali yang dilakukan adalah menguji propertis bahan benda uji. Setelah itu dilakukan analisis penampang untuk mengetahui keruntuhan yang terjadi, kapasitas geser, kapasitas beban leleh serta kapasitas beban ultimit. Berikut adalah system pembebanan untuk perhitungan kapasitas beban menggunakan metode analisis penampang.



Gambar 2. Skema Pembebanan

## 4. Pembahasan dan Analisa

### 4.1 Perhitungan Kapasitas Momen Balok Penampang

Kapasitas momen balok kastella modifikasi komposit dihitung berdasarkan beberapa kondisi meliputi perhitungan kapasitas saat kondisi *crack*, kondisi leleh dan kondisi ultimit. Perhitungan pada kondisi *crack* dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh dari profil IWF. Hasil perhitungan kapasitas momen balok *castellated* modifikasi komposit disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Teoritis Kapasitas Momen Balok Castellated Modifikasi Komposit Mortar

No	Kondisi	Kapasitas Momen Penampang (kN)	
1	<i>Crack</i>	64,84	
2	Yield	402,90	s/d 512,45
3	Ultimit	567,15	s/d 842,52

### 4.2 Perhitungan Kapasitas Geser Balok Penampang

Perhitungan kapasitas momen balok kastella modifikasi komposit meliputi perhitungan kapasitas geser pengaku dan kapasitas geser mortar. Setelah didapatkan kapasitas geser pengaku dan kapasitas geser tulangan akan dijumlahkan dan hasilnya akan dibandingkan dengan beban lentur yang didapatkan untuk membuktikan kegagalan yang terjadi, apakah gagal geser atau gagal lentur. Hasil perhitungan kapasitas momen balok kastella modifikasi komposit disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan teoritis kapasitas geser balok *castellated* modifikasi komposit mortar

Perhitungan	Kapasitas Geser (kN)
	Kapasitas Geser Mortar
Kapasitas Geser Pengaku	286,53
Kapasitas Geser Penampang Komposit	436,17

### 4.3. Metode Layer

Perhitungan dengan menggunakan metode *layer* dilakukan dengan cara mencari besarnya nilai kedalaman garis netral sehingga nilai kesetimbangan gaya yang terjadi antara daerah tekan dan tarik pada penampang balok menjadi sama besar atau seimbang

Tabel 5. Hasil perhitungan teoritis kapasitas geser balok *castellated* modifikasi komposit mortar dengan metode layer

Perhitungan Balok <i>Castellated</i> Modifikasi Komposit Mortar	Kapasitas Momen (kNm)		Kapasitas Beban (kN)	
	My	Mp	Py	PP
Metode <i>Layer</i>	64,22	75,52	494,06	580,99

### 4.4. Prediksi Keruntuhan Berdasarkan Tipe Pembebanan

Prediksi keruntuhan didasarkan pada hasil perhitungan kapasitas pembebanan geser dan kapasitas pembebanan lentur.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{lentur}} &= 557.87 \quad \text{k (hasil analisis numerik N metode layer/pias)} \\
 P_{\text{geser}} &= 2 * \frac{V}{r} \\
 &= 2 * 65.00 \\
 &= 130.01 \quad \text{k} \\
 &= 130.01 + 46.977 \quad \text{N} \\
 &= 176.98 \quad \text{k} \\
 &= 176.98 \quad \text{N} \\
 P_{\text{lentur}} &< P_{\text{geser}} \\
 557.8 \text{ kN} &> 176.98 \text{ kN} \quad \text{OK...!}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas tipe keruntuhan yang terjadi adalah tipe keruntuhan geser.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diatas didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan analisis penampang dan metode layer didapatkan

bahwa keruntuhan yang terjadi adalah pola keruntuhan geser.

2. Berdasarkan hasil analisis penampang didapatkan hasil kapasitas beban leleh adalah sebesar 402,90 kN sampai dengan 512,45 kN. Sedangkan untuk kapasitas beban ultimit adalah sebesar 567,15 kN sampai dengan 842,52 kN.
3. Berdasarkan hasil perhitungan metode layer didapatkan kapasitas beban leleh sebesar 494,06 kN sedangkan kapasitas beban ultimit sebesar 580,99 kN.

### 5.2. Saran

Penelitian ini tentunya masih memerlukan kajian lebih lanjut, sehingga beberapa saran yang dapat diberikan sebagai masukan untuk penelitian yang lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan metode tambahan untuk memperkuat hasil perhitungan.
2. Diperlukan pembuktian hasil dengan pengujian dilaboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Bradley, T. P., 2003, "Stability of Castellated Beams During Erection", *Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg
2. Blodgett, O., 1982, *Design of Welded Structures, in Wide-Flange Beams*, The James F Lincoln Arc Welding Foundation, Ohio
3. Boyer, J.P., 1964, *Castellated Beams-New Developments*, AISC National Engineering Conference, Omaha, Nebraska
4. Park and Paulay, 1974, *Reinforced Concrete Structures*, University Of Canterbury, New Zealand
5. Satyarno, I., 2012, *Mekanika Plastis, Bahan Kuliah Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada*.
6. Setiawan, A., 2008, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (berdasarkan SNI 03-1729-2002)*, Erlangga., Jakarta.
7. Satyarno. 1995. *Hand Out Mekanika Plastis*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
8. Salmon, CG., *Struktur Baja Desain Dan Perilaku*, Jilid 1 dan 2, Gramedia, Jakarta.
9. Tjokrodimudjo, K., 2007, *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil UGM, Yogyakarta
10. Timoshenko., 1985, *Mechanics of Materials*, Wadsworth, Inc., Ledds
11. Tamboli, A. R., 1997, *Steel Design Handbook*, Mc Graw-Hill, New York.