

**PERILAKU GESER BALOK BAJA CASTELLATED BENTUK BUKAAN LUBANG SEGIEMPAT DENGAN TULANGAN DAN KOMPOSIT MORTAR**

*(The Shear Behaviors Of Square Shape Castellated Steel Beam With Reinforcement and Mortar Composite)*

**Dina Heldita**

Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Kotabaru  
Email : dinaheldita@ymail.com

**ABSTRACT**

Castellated steel beam is upgraded beam from IWF profile to have large inertia moment in order to obtain higher flexural capacity than standard IWF profile. One of the weaknesses of castellated steel is the inefficiency in continuous beam. Commonly, when positive moment is much lesser than the negative, the profile shape is constant. Thus, to cope with its weakness and to increase the shear and moment capacity of the castellated steel, it is required to add longitudinal reinforcement, shear reinforcement and the mortar composite. The objective of this study is to identify the shear behaviors in the castellated steel with reinforcement and mortar composite. The test was taken to two castellated steel beams: one non-composite castellated steel beam (BC) and one composite castellated steel beam (BK) in 277 mm height, 75 mm flange width, 7 mm flange thickness and 5 mm web thickness. The reinforcement used was 2D16 for longitudinal reinforcement and 2P8 (114-146) mm for shear reinforcement. Mortar was made in cement-sand weight composition of 1:1,5, with 0,4 fas and viscocerete-10 in 0,7% of the cement weight. The test method used the two point static load with average load increase of 5 kN. The test was stopped when minimum load decrease occurred in 20% of the ultimate load. Results indicated the increase of maximum load ( $P_{maks}$ ) for BC and BK specimens were 34 kN and 582 kN, respectively. For BK, significant increase of load occurred after the specimen swelled and experience significant crack distribution. Based on the crack pattern, BC can be categorized as plastically joint collapsing and BK as shear collapse. Based on the test results, it can be concluded that the addition of reinforcement and mortar would increase the shear capacity and cope with the weakness of castellated steel beam itself.

**Key words** : *castellated, reinforcement, mortar, shear behaviors.*

**PENDAHULUAN**

Dalam aplikasi, sistem baja *castellated* memiliki beberapa kelemahan sebagai berikut:

Gaya lintang yang diperbolehkan lebih kecil. Untuk alasan ini, baja *castellated* sangat cocok untuk bentang besar dengan beban kecil. Untuk mencegah tekuk dari *web*, pelat pada bagian *web* perlu dilakukan pengelasan. Inefisiensi dalam balok menerus, umumnya saat momen positif jauh

lebih sedikit daripada momen negatif sedangkan bentuk profil konstan. Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan tersebut, meningkatkan kapasitas geser penampang dan meningkatkan kapasitas momen akibat lubang pada baja *castellated* adalah dengan menambah tulangan longitudinal, tulangan geser dan mortar atau disebut sebagai baja *castellated* komposit.

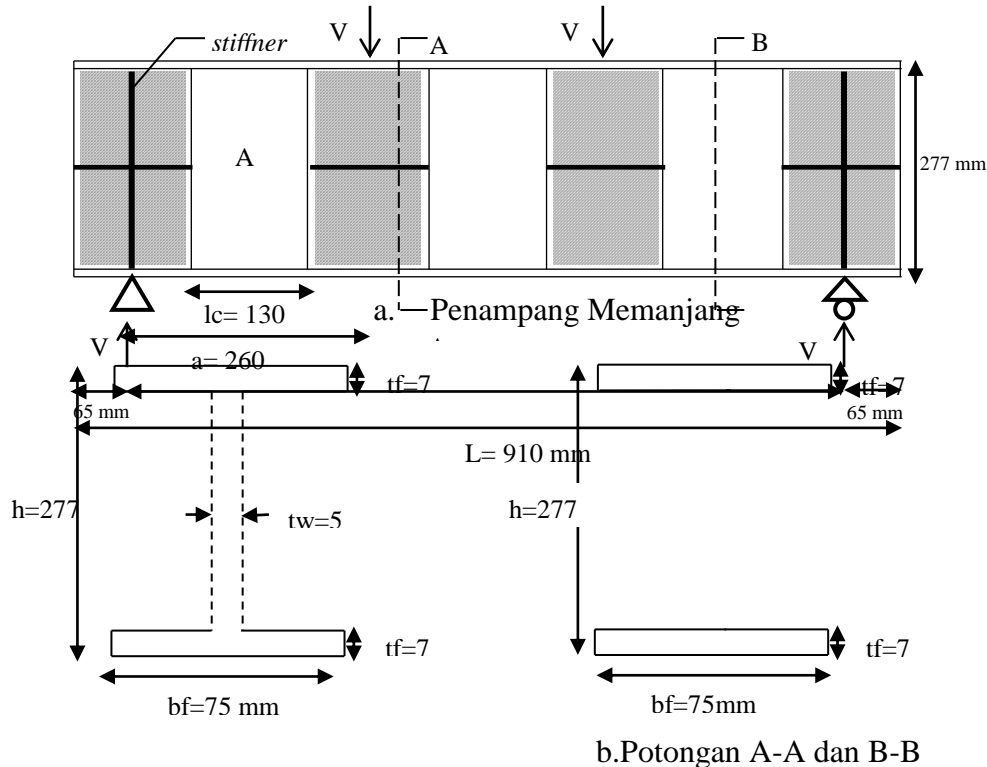
Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah: (1) Memperoleh besarnya peningkatan kapasitas geser, nilai

*displacement* dan tegangan dan regangan antara baja *castellated* non-komposit dan baja *castellated* komposit. (2) Membandingkan hasil eksperimen dengan analisis teoritis yaitu menggunakan program *Response 2000* dan perhitungan kapasitas momen masing-masing penampang. (3) Membandingkan efisiensi penggunaan baja *castellated* komposit dengan baja profil IWF non-komposit setara berdasarkan perbandingan kapasitas beban dan perbandingan berat.

Dengan menggunakan dimensi yang lebih kecil daripada balok bertulang biasa, pemilihan baja *castellated* komposit ini sangat efektif untuk digunakan. Karena baja *castellated* komposit ini akan dibuat dengan sistem *semiprecast* maka manfaat lain yang bisa diperoleh adalah mempercepat pelaksanaan pekerjaan di lapangan dan akan lebih menghemat biaya pelaksanaan pekerjaan di lapangan, karena pemasangan *scaffolding* tidak dilakukan.

### METODE PENELITIAN

#### A. Benda Uji Baja *Castellated* Non-Komposit (BC)



Gambar 1. Penampang Benda Uji Baja *Castellated* Non-Komposit (BC)

Bahan dasar dari benda uji *castellated* ini adalah baja profil IWF 150x75. Pemotongan pada baja IWF yaitu dilakukan secara zig-zag sedekat mungkin dengan bagian *flange* sehingga tidak ada bagian *stem* yang tersisa. Setelah terbentuk menjadi 2 (dua) buah potongan profil, maka selanjutnya kedua profil tersebut disatukan

kembali dengan melakukan proses pengelasan. Benda uji baja *castellated* ini dibuat sebanyak 2 (dua) buah, 1 (satu) buah digunakan untuk benda uji baja *castellated* non-komposit (BC) dan 1 (satu) buah dibuat untuk benda uji dengan tulangan dan komposit mortar (BK). Untuk *setting up* pengujian menggunakan beban statis 2 (dua)

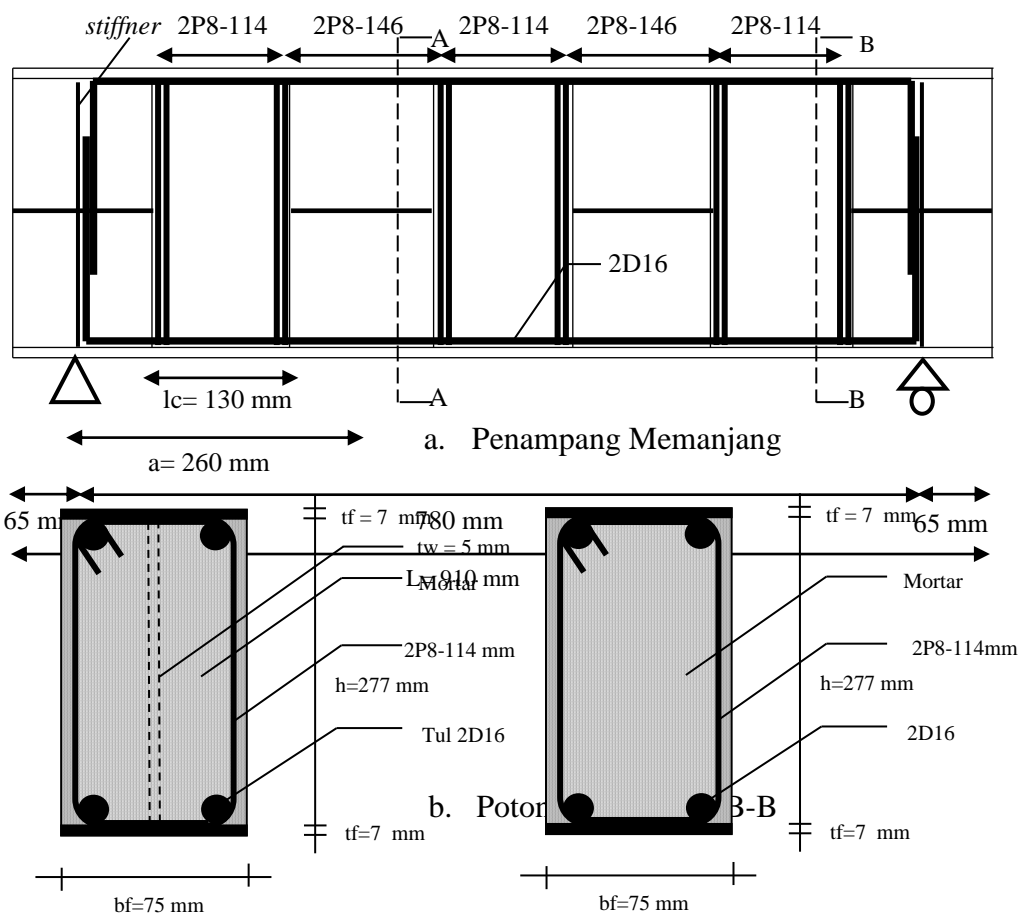
titik dengan jarak pembebanan 1/3 dan 2/3 dari panjang bentang. Untuk pembacaan lendutan, digunakan 5 (lima) buah LVDT. LVDT 1,2 dan 3 dipasang pada bagian tarik

**Benda Uji Baja *Castellated* Komposit (BK)**

Untuk benda uji baja *castellated* komposit (BK) ini, tulangan longitudinal yang digunakan adalah 2D16 adalah 1:1.5 dengan faktor air semen (fas) adalah 0.4. Untuk lebih memudahkan pengerjaan pada

(*flange*) arah vertikal, LVDT 4 dan 5 dipasang pada bagian web arah utara dan selatan.

saat pengecoran mortar, maka digunakan *viscocrete-10* dengan komposisi sebesar 0.7% dari berat total semen yang diperlukan dan tulangan geser adalah 2P8 (114-146) mm. Mortar yang digunakan adalah mortar semen dengan perbandingan berat semen dan pasir.



Gambar 2. Penampang Benda Uji Baja *Castellated* Komposit (BK)

**B. Pengujian**

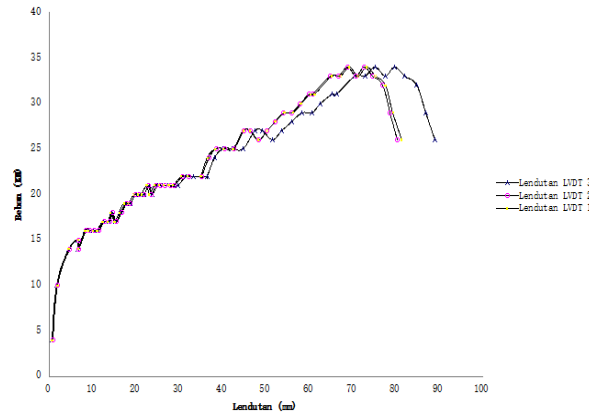
Pengujian dilakukan terhadap kedua benda uji yaitu benda uji BC dan BK. Pemberian pembebanan dilakukan secara konstan dengan kenaikan beban rata-rata adalah sebesar 1 kN untuk benda uji BC dan

5 kN untuk benda uji BK. Pengujian dihentikan pada saat terjadi penurunan kapasitas beban dari beban maksimum sebesar 24% untuk benda uji BC dan 41% untuk benda uji BK.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Baja Castellated Non-Komposit (BC)**

Hubungan beban-lendutan untuk benda uji baja *castellated* non-komposit (BC) dapat dilihat pada Gambar 3.



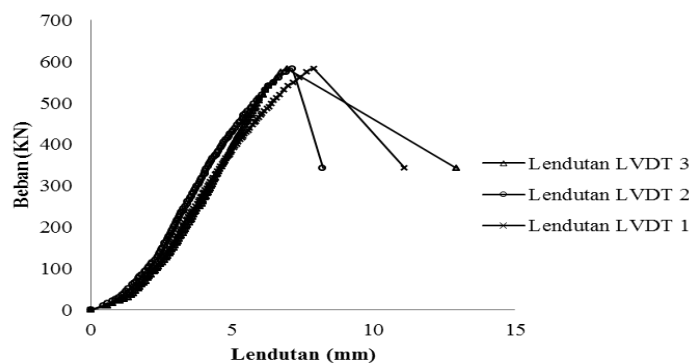
Gambar 3. Hubungan Beban-Lendutan (LVDT 1,2 dan 3) Baja *Castellated* Non-Komposit (BC)

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa beban ultimit yang dimiliki oleh baja *castellated* non-komposit (BC) adalah sebesar 34 kN dengan lendutan maksimum yang terjadi pada arah vertikal yaitu pada LVDT 1 sebesar 69.28 mm, LVDT 2 sebesar 68.87 mm dan LVDT 3 sebesar 75.31 mm. Nilai regangan terbesar pada baja berada di bagian *flange* wilayah tarik ditengah bentang yaitu sebesar 230 mikrostrain, sedangkan nilai regangan terbesar pada baja bagian *flange* wilayah tekan ditengah bentang yaitu sebesar 574 mikrostrain. Berdasarkan data hasil pengujian kuat tarik untuk baja IWF, dapat

diketahui bahwa pada pengujian baja *castellated* non-komposit (untuk bagian *flange* tarik), baja belum mencapai kondisi leleh (*yield*). Hal ini dikarenakan regangan yang terjadi pada bagian *flange* wilayah tarik ditengah bentang masih 230 mikrostrain = 0.0002, sedangkan pada pengujian tarik baja IWF sudah leleh pada regangan 0.004.

**B. Baja Castellated Komposit (BK)**

Dari hasil pengujian baja *castellated* komposit (BK) didapat grafik hubungan beban-lendutan yang terjadi akibat proses pembebanan.



Gambar 4. Hubungan Beban-Lendutan (LVDT 1,2 dan 3) Baja *Castellated* Komposit (BK)

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik baja IWF, maka baja *castellated* komposit (untuk bagian *flange* tarik) sudah mengalami *yield* (leleh). Hal ini dikarenakan regangan yang terjadi pada bagian *flange* wilayah tarik ditengah bentang sudah mencapai 5961 mikrostrain = 0.006, sedangkan pada pengujian tarik baja IWF sudah leleh pada regangan 0.004. Dengan melakukan pengukuran lebar retak yang menggunakan alat *Microcrack*, dapat diketahui lebar retak pada saat pertama kali retak ( $F_c$ ) adalah 0.04 mm, terjadi pada saat beban 11 kN.

### C. Perbandingan Hasil Pengujian dan Hasil Analisis Teoritis

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan kemudian dilakukan perbandingan

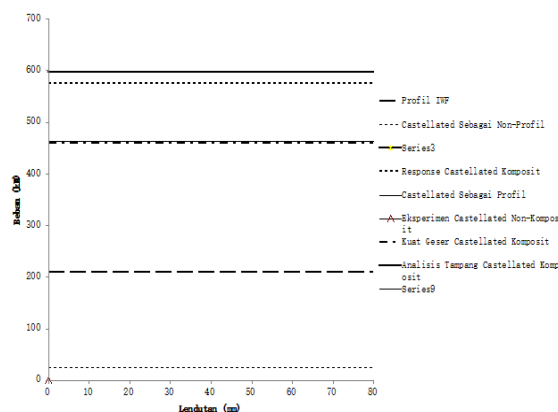
terhadap hasil analisis teoritis baik analisis menggunakan program *Response-2000* maupun analisis kapasitas momen masing-masing penampang. Untuk perhitungan teoritis baja *castellated* komposit yaitu menggunakan program *Response-2000* dan analisis tampang. Untuk nilai *material properties* yang diinput merupakan nilai dari hasil pengujian pendahuluan yang sebelumnya dilakukan, yaitu pengujian kuat tarik baja IWF, baja tulangan dan kuat tekan mortar. Tabel hasil perbandingan analisis teoritis dan eksperimen semua jenis profil dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Gambaran umum mengenai perbandingan perilaku benda uji dari hasil pengujian dan hasil analisis teoritis dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 1. Perbandingan Beban Maksimum Baja *Castellated* Non-Komposit (BC) Antara Hasil Eksperimen Dengan Analisis Teoritis

Analisis	Momen (kNm)	Beban (kN)
IWF ( <i>Yield</i> )	24.65	189.62
IWF ( <i>Ultimit</i> )	27.26	209.69
<i>Castellated</i> Profil ( <i>Yield</i> )	39.35	302.70
<i>Castellated</i> Profil ( <i>Plastis</i> )	60.18	462.92
<i>Castellated</i> Non-Profil ( <i>Yield</i> )	0.26	16.00
<i>Castellated</i> Non-Profil ( <i>Plastis</i> )	0.39	24.00
Eksperimen	0.55	34.00

Tabel 2. Perbandingan Beban Maksimum Baja *Castellated* Komposit (BK) Antara Hasil Eksperimen Dengan Analisis Teoritis

Analisis	Momen (kNm)	Beban (kN)
Penampang Tulangan	38.28	294.46
<i>Response-2000</i> ( <i>Yield</i> )	63.40	487.85
<i>Response-2000</i> ( <i>Ultimit</i> )	74.70	574.62
Anl. Tampang ( <i>Ultimit</i> )	77.63	597.15
Eksperimen	75.66	582.00



Gambar 5. Perbandingan Hasil Pengujian dan Hasil Perhitungan Teoritis

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dapat dilihat bahwa perhitungan pendekatan sendi plastis untuk baja *castellated* non-komposit sebagai non-profil lebih mendekati dengan hasil eksperimen, sedangkan untuk pendekatan baja *castellated* sebagai profil sangat terlampaui jauh dengan hasil eksperimen. Hal ini dapat diartikan bahwa perhitungan teoritis untuk baja *castellated* non-komposit sebagai non-profil lebih tepat untuk digunakan dalam perhitungan perbandingan kapasitas momen dan beban dari pada baja *castellated* sebagai profil. Ratio tingkat kecocokan hasil perhitungan

teoritis dan eksperimen untuk baja *castellated* non-komposit (BC) adalah 0.71.

Untuk analisis teoritis baja *castellated* komposit dengan menggunakan program *Response-2000* maupun dengan analisis tampang apabila dibandingkan dengan hasil eksperimen adalah sangat mendekati. Ratio tingkat kecocokan hasil perhitungan analisis teoritis dengan menggunakan program *Response-2000* apabila dibandingkan dengan hasil eksperimen adalah 0.99. Untuk ratio tingkat kecocokan hasil perhitungan analisis tampang apabila dibandingkan dengan hasil eksperimen adalah 0.97.

### C. Mekanisme Kerusakan



Gambar 6. Mekanisme Kerusakan Benda Uji BC dan BK

Kerusakan dan perubahan bentuk struktur baja *castellated* non-komposit (BC) sudah mulai terlihat pada saat beban mencapai 14 kN. Pada beban tersebut

lendutan maksimum terjadi sebesar 4.61 mm. Sedangkan pada bagian *flange* baja baik pada wilayah tarik maupun tekan sudah mulai mengalami kerusakan (baja mulai

terkelupas). Seiring dengan peningkatan beban yang terjadi, maka kerusakan dan perubahan bentuk struktur benda uji juga semakin terlihat. Kerusakan (baja terkelupas) semakin terlihat di bagian *flange* (tarik dan tekan). Kerusakan pada bagian *flange* tersebut simetris berada disetiap sudut lubang pada baja *castellated*, sehingga mekanisme kerusakan benda uji baja *castellated* non-komposit (BC) ini adalah kerusakan sendi plastis. Untuk benda uji baja *castellated* komposit (BK), retak pertama terjadi pada saat beban mencapai 11 kN menyebar di wilayah beban titik dan wilayah tumpuan dengan lendutan maksimum yang terjadi sebesar 0.58 mm. Retak pada benda uji semakin melebar dan berkembang menuju ke daerah tekan dan dibawah titik pembebanan. Hal tersebut diikuti dengan munculnya retak-retak baru yang menyebar ke arah tumpuan. Selanjutnya lendutan terus terjadi pada beban yang hampir konstan. Mekanisme keruntuhan terakhir ditandai dengan kerusakan bahan mortar pada serat tekan terluar. Kerusakan tersebut juga menyebabkan tulangan geser dan tulangan longitudinal mulai terlihat yang menandakan mortar telah kehilangan kemampuan dalam menahan tegangan desak yang terjadi. Dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa tipe keruntuhan yang terjadi untuk benda uji baja *castellated* komposit (BK) adalah keruntuhan atau kegagalan geser.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium dan analisis teoritis baik analisis menggunakan program *Response-2000* maupun analisis berdasarkan kapasitas momen dan kapasitas beban, maka dapat diambil beberapa kesimpulan untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Penambahan tulangan (longitudinal dan geser) dan komposit mortar pada baja *castellated* bukaan lubang segiempat mampu meningkatkan kapasitas geser

dan mengatasi kelemahan pada baja *castellated* khususnya untuk permasalahan tekuk (*buckling*). Dengan persentase peningkatan kapasitas beban baja *castellated* non-komposit dan komposit yaitu sebesar 1611.76%.

2. Lendutan pada saat beban ultimit yang terjadi pada baja *castellated* non-komposit (BC) jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan dengan baja *castellated* komposit (BK), yaitu 6.95 mm untuk BK dan 75.31 mm untuk BC.
3. Perhitungan kapasitas beban masing-masing benda uji berdasarkan hasil perhitungan teoritis kapasitas momen menunjukkan tingkat kecocokan yang tinggi terhadap hasil pengujian di Laboratorium, khususnya untuk benda uji baja *castellated* komposit (BK). Ratio tingkat kecocokan untuk analisis teoritis dan eksperimen BC adalah 0.71. Ratio tingkat kecocokan untuk analisis teoritis dan eksperimen BK adalah 0.99 terhadap analisis *Response-2000* dan 0.97 terhadap analisis tumpang.
4. Berdasarkan pola retak yang terjadi untuk benda uji baja *castellated* non-komposit dapat disebut sebagai keruntuhan sendi plastis. Untuk benda uji baja *castellated* komposit dapat dikategorikan sebagai kegagalan atau kerusakan geser. Dimana dengan kerusakan retak rambut terjadi pada saat beban masih relatif rendah, kerusakan pada mortar serat tekan terluar mulai terjadi pada saat mendekati beban maksimum. Sedangkan *spalling* terjadi pada saat tercapai beban maksimum.

### Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan sehubungan dengan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bentuk bukaan lubang baja *castellated* bisa lebih di variasikan, misalnya *circullar* atau elips.
2. Pemasangan *strain gauge* sebaiknya diperbanyak, agar dapat diketahui data

regangan yang lengkap. Misalnya dengan melakukan pemasangan *strain gauge* pada tulangan (baik itu tulangan geser dan tulangan longitudinal).

3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan posisi tulangan geser tersebar merata dengan jarak yang simetris pada setiap bagian lubang baja *castellated*.
4. Agar peningkatan kapasitas beban dapat lebih jelas terlihat, maka untuk penelitian selanjutnya jumlah benda uji agar lebih diperbanyak, misalnya dari benda uji profil baja IWF, benda uji baja *castellated* dan mortar, benda uji mortar dan tulangan, atau bisa dengan memvariasikan jumlah tulangan tarik dan tekan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Apriyatno H. 2000. Pengaruh Ratio Tinggi Dan Tebal badan Balok Castella Pada Kapasitas Lentur., Tesis Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada., Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002. SNI 03-2847-2002 dan S-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Itspress., Surabaya.
- Beng Dan Natawidjaya. 1998. *Perbandingan Kekuatan Profil IWF Biasa Dengan Profil WF Kastela Pada Struktur Rangka Gable*.
- Bradley, P. 2003., *Stability of castellated Beams During Erection.*, Blacksburg, Virginia
- Salmon, CG., *Struktur Baja Desain Dan Perilaku.*, Jilid 1 dan 2, Gramedia., Jakarta.
- Satyarno. 1995. *Hand Out Mekanika Plastis.*, Yogyakarta
- Setiawan.A, 2008. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (berdasarkan SNI 03-1729-2002)*, Erlangga., Jakarta.
- Sunggono. 1995. *Buku Teknik Sipil*, Nova., Bandung
- Susilawati. 2009. *Perkuatan Geser Balok Tampang Persegi Dengan Penambahan Tulangan Sengkan Dan Komposit Mortar.*, Tesis Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada., Yogyakarta.
- Tjokrodinudjo, K., 2007. *Teknologi Beton.*, Biro Penerbit Teknik Sipil UGM., Yogyakarta