

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 02	NOMER: 02	HALAMAN: 62 - 68	SURABAYA 2016	ISSN: 2252-5009
-------------------------------	---------------	--------------	---------------------	------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA.

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
2. Krisna Dwi Handayani,S.T.M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
• Vol 2 Nomer 2/rekat/16 (2016)	
PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO DAN <i>FLY ASH</i> SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PADA PEMBUATAN BATA BETON RINGAN	
<i>Wenny Masita Rosanti, E. Titiek Winanti,</i>	01 – 07
PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA TUKANG BESI UNTUK PEKERJAAN PEMBESIAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT DI SURABAYA DAN FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PRODUKTIVITAS	
<i>Yudha Karismawan, Hasan Dani,</i>	08 – 14
KAJIAN KUALITAS <i>CROSSWALK</i> PADA JALUR PEJALAN KAKI BERDASARKAN PEDESTRIAN <i>ENVIROMENTAL QUALITY INDEX</i> (PEQI) (STUDI KASUS : JALAN PAHLAWAN KOTA SEMARANG)	
<i>amanda Pattisinai,</i>	15 – 22
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KERANG TERHADAP WAKTU PENGIKATAN AWAL, <i>WORKABILITY</i> , DAN KUAT TEKAN PADA PEMBUATAN BETON <i>GEOPOLYMER</i> DENGAN TEMPERATUR NORMAL	
<i>Onny Liangsari, Arie Wardhono,</i>	23 – 30
STUDI RESPON HARMONIS PONDASI MESIN TIPE PORTAL DENGAN SISTEM PERLETAKAN JEPIT DAN SSI	
<i>Muhammad Imaduddin,</i>	31 – 43
ANALISA HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON <i>GEOPOLYMER</i> BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN SLAG SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN PADA TEMPERATUR NORMAL	
<i>Dini Wulan Ramadhani, Arie Wardhono,</i>	44 – 52

PENGARUH PENAMBAHAN *SLAG* TERHADAP WAKTU PENGIKATAN AWAL, *WORKABILITY*,
DAN KUAT TEKAN PADA PEMBUATAN BETON *GEOPOLYMER* PADA TEMPERATUR NORMAL

Dynie Siputri Titi, Arie Wardhono, 53 – 61

PENGARUH DIAMETER PEMOTONGAN PROFIL (D) TERHADAP KEKUATAN LENTUR
CASTELLATED BEAM BUKAAN LINGKARAN (*CIRCULAR*) UNTUK STRUKTUR BALOK

Nita Ratna Sari, Suprpto, 62 – 68



PENGARUH DIAMETER PEMOTONGAN PROFIL (D) TERHADAP KEKUATAN LENTUR CASTELLATED BEAM BUKAAN LINGKARAN (CIRCULAR) UNTUK STRUKTUR BALOK

Nita Ratna Sari

Program Studi S1- Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
e-mail : nitars1793@gmail.com

Suprpto

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : suprap_sipil@yahoo.com

Abstrak

Dalam penelitian *castellated beam* hampir semuanya terfokus pada *castellated beam* dengan bentuk hexagonal. Bentuk lubang dengan sisi tidak bersudut seperti lingkaran pada diameter pemotongan profil (D) diharapkan dapat menghindarkan lendutan yang besar. Semakin besar diameter pemotongan profil (D) maka akan meningkatkan performa dari tegangan lentur *castellated beam*. Begitu pula sebaliknya, hal ini dikarenakan semakin besar diameter pemotongan profil (D), maka momen inersia yang dihasilkan semakin besar. Hal itu mengakibatkan kekakuan dari *castellated beam* semakin meningkat, sehingga deformasi yang dihasilkan semakin kecil maka dapat menambah kekuatan dari *castellated beam*.

Pada penelitian ini adalah penelitian laboratorium, penelitian ini penulis menerapkan model *castellated beam* bukaan lingkaran dengan benda uji profil WF 150.75.5.7. Metode penelitian untuk mengetahui pengaruh *castellated beam* bila beban diletakkan di tengah bentang pada penampang tidak berlubang dan diameter pemotongan profil (D) yang berbeda-beda yaitu D= 125mm, D= 145mm, D= 150mm, D= 155mm, D=160mm, D= 170 mm, D= 180mm untuk struktur balok. Pada pemotongan profil *castellated beam* bukaan lingkaran, menggunakan tipe pemotongan *Beam ends left ragged*, $U = T$ dan *Beam ends finished with infill plates*, $U > T$ sehingga menghasilkan pemotongan yang baik (rapi) serta menhemat material (tidak banyak bahan yang berlubang).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada benda uji *castellated beam* mengalami rusak *buckling*. Sehingga harus diambil optimalnya, agar tidak terjadi kerusakan *buckling* yang lebih besar. Menghindari kerusakan *buckling* yang lebih besar maka disarankan menggunakan diameter pemotongan profil (D) tidak melebihi diameter optimal (D=155mm). Hal ini didasarkan atas analisis pada pembahasan momen, tegangan, dan kontrol geser. Berdasarkan hasil analisis SAP 2000 menunjukkan bahwa pada benda uji utuh tidak dibentuk *castellated beam* merupakan kombinasi elemen tekan dan elemen tarik. Namun, pada benda uji D=155mm balok mengalami tekan.

Kata Kunci: *buckling*, *castellated beam*, diameter, lingkaran, momen inersia

Abstract

In this research castellated beam almost entirely focused on castellated beams with hexagonal shape. Shape hole with no angled sides such as cutting diameter circle on the profile (D) is expected to avoid large deflections. The larger the diameter of the cutting profile (D) it will improve the performance of the bending stress castellated beam. On the other way, this is because the larger diameter of the cutting profile (D), the moment of inertia generated even greater. It resulted from the castellated beam stiffness has increased, so that the resulting of deformation is getting smaller, it can add to the strength of the castellated beam.

This research is the research laboratory. In here, the authors apply the model castellated beam with circular openings specimen WF 150.75.5.7 profile. The research method is to determine the effect castellated beam when the load is placed at mid-span on a cross-section no holes and the diameter of the cutting profile (D) Different is D=125mm, D=145mm, D=150mm, D=155mm, D=160mm, D=170mm, D=180mm for beam structure. In the castellated beam profile cutting circular with openings, it use of cutting-type *Beam ends finished*, $U = T$ and *Beam ends left ragged with infill plates*, $U > T$ so it can be as the produce a good cut (neat) and economize material (not a lot of material with holes).

The results showed that the test specimen damaged castellated beam buckling. So, it should be taken optimally, in order to avoid greater damage to buckling. To avoid the buckling larger damage it is advisable to use profile cutting diameter (D) does not exceed the optimal diameter (D = 155mm). It is based on the analysis on the discussion of the moment, stress, and a sliding control. Based on the analysis of SAP in 2000 indicates that the specimen was not formed castellated beams intact is a combination of elements tap and drag elements. However, the test object D = 155mm beams in compression.

Keywords: buckling, castellated beam, diameter, circle, momen inertia

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. Gagasan semacam ini pertama kali dikemukakan oleh H.E. Horton dari Chicago dan Iron Work sekitar tahun 1910, yang sekarang sekarang lebih dikenal dengan metode *Castella*.

Hasil penelitian Fitri Rohmah, 2012 menunjukkan bahwa, balok kastela yang di uji tidak terjadi runtuh lentur, namun runtuh geser dan pergoyangan (*buckling*). Penelitian Suprpto S.Pd, MT dan Masita Nur Hayati, 2014 menunjukkan bahwa kekuatan lentur yang cukup besar terletak pada tinggi profil (h) balok baja kastela melebihi 75mm dan 50% dari tinggi pemotongan profil (h) sebelum dibuat kastela. Hasil Penelitian Andys Wicaksono Saputro, 2014 didapatkan tinggi optimal baja kastela adalah tidak boleh lebih dari 50% dari tinggi profil sebelum dibuat balok kastela.

Hasil dari penelitian *castellated beam* hampir semuanya terfokus pada *castellated beam* dengan bentuk hexagonal. Di Indonesia, salah satu pabrik baja Gunung Garuda telah mengeluarkan katalog khusus tentang profil WF bukaan segi enam (*honey comb*) dan lingkaran (*cell form*) dengan ukuran standar masing-masing yang tercantum pada katalog tersebut. Menurut (Anonim, UNSU) *Castellated beam* bukaan lingkaran telah membuktikan menjadi salah satu jenis konstruksi baja yang berkembang sejak pengenalan *castellated beam* bukaan lingkaran yang lebih dikenal dengan nama *cellular beam* pada tahun 1987. Pada saat ini telah digunakan lebih dari 3500 proyek pembangunan 20 lebih Negara. Integritas structural dan kriteria perencanaannya telah di verifikasi dengan mengikuti percobaan terhadap structural *cellular beam* dalam skala besar.

Bentuk lubang dengan sisi tidak bersudut seperti bentuk lingkaran pada diameter pemotongan profil (D) diharapkan dapat menghindarkan lendutan yang besar. Secara teoristik semakin besar diameter pemotongan profil (D) maka akan meningkatkan performa dari kekuatan tegangan lentur *castellated beam* tersebut. Begitu pula sebaliknya, hal ini dikarenakan semakin besar diameter pemotongan profil (D), maka momen inersia yang dihasilkan semakin besar. Hal itu mengakibatkan kekakuan dari *castellated beam* tersebut semakin meningkat, sehingga deformasi yang dihasilkan semakin kecil maka dapat menambah kekuatan *castellated beam*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh momen, tegangan, dan geser pada diameter pemotongan profil (D) *castellated beam* bukaan lingkaran terhadap kekuatan lentur dan pola runtuhnya.

Castellated beam adalah suatu spesifikasi profil yang ditingkatkan kekuatan komponennya dengan memperpanjang kearah satu sama lain dan di las sepanjang pola. *Castellated beam* ini mempunyai tinggi (h) hampir 50% lebih dari profil awal sehingga meningkatkan nilai lentur axial, momen inersia (I_x), modulus section (S_x). (Knowles, 1991)

Namun disini lain dengan semakin tingginya balok maka kelangsingannya semakin meningkat sehingga akan menurunkan tegangan kritisnya, atau akan menghasilkan tegangan kritis yang lebih kecil daripada tegangan lelehnya ($f_{cr} < f_y$). Jika $f_{cr} < f_y$ maka profilnya akan cepat rusak (yang sering disebut *premature calleb*). (Anonim; 1). Selain itu jika balok dipertinggi maka momen inersia akan meningkat sehingga akan meningkatkan pula modulus potongan (S) Jika modulus potongannya meningkat maka tegangan yang terjadi pada balok tersebut akan menurun. Kondisi tersebut akan mengakibatkannya tegangan kritisnya (f_{cr}) akan lebih kecil daripada tegangan lelehnya (f_y), maka balok akan cepat rusak yang disebut (*premature calleb*). Semakin tinggi potongan lubang *castellated beam* maka semakin kecil pula lendutannya karena dengan lebar profil yang tinggi, menghasilkan momen inersia dan *section modulus* (kemampuan/ daya tahan bentuk *beam* terhadap pembebanan) yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan asalnya/ profil WF tidak dibentuk *castellated beam*. Semakin tinggi potongan lubang *castellated beam* maka semakin besar kapasitas momen lenturnya sehingga mampu memikul momen yang lebih besar. Selain itu juga terjadi kenaikan nilai momen dan gaya geser di daerah sekitar lubang.

Tipe- tipe pemotongan *castellated beam*, ada 4 tipe yaitu : *Beams ends left ragged*, $U = T$ pemotongannya mudah, sederhana, dan murah, tetapi kurang baik digunakan. *Beams ends laeft ragged*, $U > T$ menghasilkan ujung potongan yang panjang tetapi tidak efektif. *Beams ends finished*, $U = T$ menghasilkan potongan yang baik (rapi) serta menghemat material (tidak banyak bahan yang berlubang). *Beams ends finished with infill paltes*, $U > T$ kuat dan kaku, tetapi mahal karena adanya penambahan pelat. (Grunbaeur, 2001)

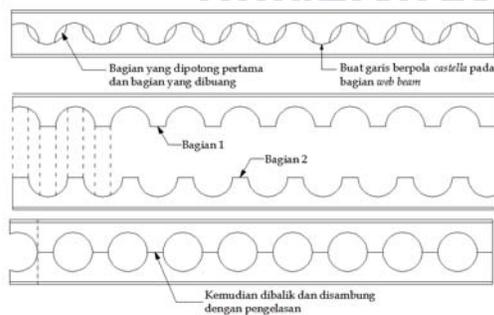
Ada beberapa kegagalan pada profil *castellated beam* antara lain : *Formation Virendeel* atau *Shear Machanism*, pada lubang dapat merubah bentuk bagian T (*tee section*) menjadi bentuk seperti jajar genjang (paralelogram) (Altifillisch, 1957 Toprac dan Cook, 1959). *Flexural Mechanism*, titik leleh yang terjadi pada

bagian T (*tee section*) bagian atas dan bawah pada ujung awa; (*the opening*) profil *castellated beam* hampir sama dengan profil WF solid pada kondisi *under pure bending forces*. *Lateral-Torsional-Buckling*, kegagalan akan mengalami tekuk lateral profil yang diakibatkan adanya *displacement* dan rotasi ditengah bentang. Kegagalan profil yang mengakibatkan berubahnya bentuk profil pada sayap tekan dan pelat badan disebut *local buckling* (Nethercot dan Kerdal, 1982). *Rupture of Welded Joint*, las pada jarak antra lubang yang satu dengan yang lainnya (e) dapat mengalami *rupture* (putus) ketika tegangan geser horizontal melebihi kekuatan leleh dari pengelasannya (*welded joint*) (Husain and Speirs, 1971). *Web Post Buckling due to Compression*, Kegagalan ini disebabkan oleh beban terpusat yang secara langsung dibebankan melebihi *web-post*. Kegagalan ini dapat dicegah bila penggunaan pengakunya diperkuat untuk menahan gaya.

METODE PENELITIAN

Lingkup penelitian *castellated beam* yaitu menganalisa permasalahan yang dibatasi oleh model *castellated beam* dengan bukaan lingkaran. Penelitian ini adalah penelitian Laboraturium. Pada penelitian ini bahan utama yang digunakan untuk penelitian adalah profil baja WF 150.75.5.7, profil tersebut dipilih karena pada penelitian sebelumnya menggunakan profil baja WF 200 namun hasilnya terlalu tinggi apabila dimodifikasi menjadi *castellated beam* serta belum mendapatkan hasil yang optimal.

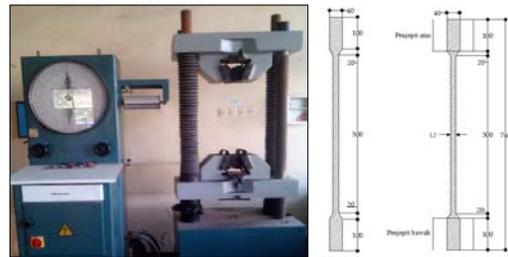
Variabel yang digunakan dalam penelitian meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas penelitian ini adalah diameter pemotongan profil (D) dimana terdapat delapan benda uji dengan ketetapan yang berbeda- beda yaitu benda uji WF tanpa lubang tidak dibentuk *castellated beam*, D=125mm, D=145mm, D=150mm, D=155mm, D=160mm, D=170mm, dan D=180mm. Tahapan pembuatan *castellated beam* bukaan lingkaran sebagai berikut :



Gambar 1. Ilustrasi pemotongan benda uji

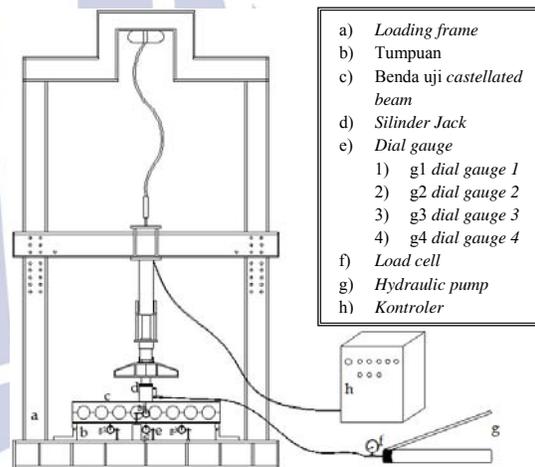
Standar pengujian kuat tarik baja berdasarkan SNI 07-2529-1991. Peralatan yang digunakan dalam pengujian

kuat tarik beton adalah UTM (*Universal Testing Machine*). Alat ini menggunakan hidrolis untuk memberikan gaya pada benda uji.



Gambar 2. Alat Uji Tarik UTM dan desain benda uji

Metode pengujian kuat lentur dengan balok uji sederhana yang dibebani terpusat langsung berdasarkan SNI 03-4154-1996. Pada pengujian di Laboraturium alat yang digunakan adalah *loading frame* dengan tumpuan benda uji sendi-rol.

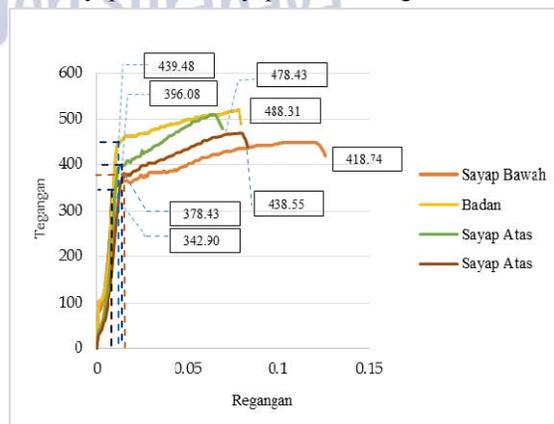


Gambar 3. Set-up alat pengujian kuat lentur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyajian Uji Tarik Baja

Hasil pengujian tarik baja WF 150.75.5.7 pada bagian badan, sayap atas, dan sayap bawah sebagai berikut :



Gambar 4. Hasil Uji Tarik Baja

Dari Grafik diatas diperoleh hasil pengujian pada tegangan leleh (f_y) = 389,22 MPa dan tegangan putus (f_u) = 456,01 MPa. Termasuk kategori baja paduan rendah mutu tinggi.

Ditinjau dari Kuat Lentur Balok *Castellated Beam*

Besarnya nilai momen yang diterima oleh *castellated beam* pada setiap bentang diuraikan dengan rumus perbandingan, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

P = Beban pada kondisi leleh
Momen di tengah bentang (M_u)

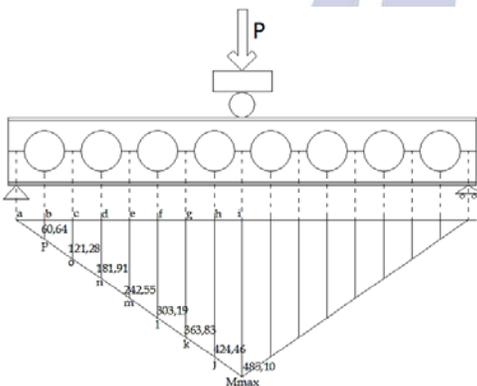
$$M_u = \frac{1}{4} \times P \times L$$

$$M_u = \frac{1}{4} \times 1386 \text{ kN} \times 1,4\text{m} = 485,10 \text{ kNm}$$

Momen di titik j

$$M_j = \frac{\text{Panjang}}{\text{Panjang}} \times M_u$$

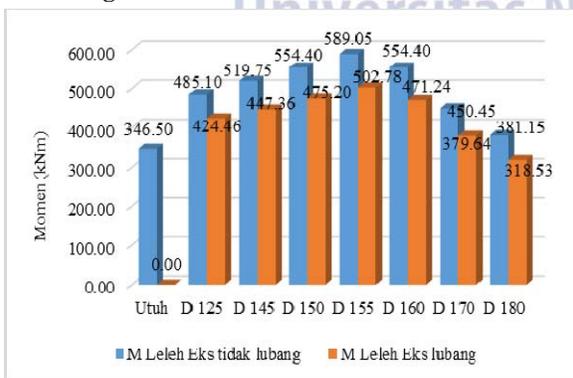
$$= \frac{615,8\text{mm}}{1000\text{mm}} \times 485,10 \text{ kNm} = 424,46 \text{ kNm}$$



Gambar 5. Distribusi momen setiap titik

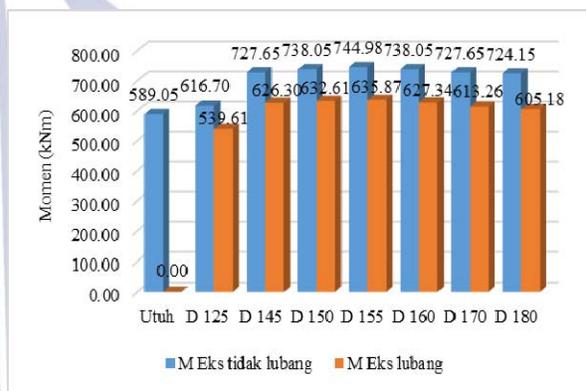
Berdasarkan Gambar 3 diatas, momen terbesar terletak pada bagian tengah bentang yang menerima beban terpusat, kemudian semakin ke bagian kiri maupun kanan nilai momenya semakin kecil.

Ditinjau dari Perbandingan Momen Eksperimen pada *Castellated Beam* Penampang Tidak Berlubang dan Berlubang



Gambar 6. Grafik Perbandingan Momen Leleh Eksperimen tidak Lubang dan lubang

Hasil perbandingan momen leleh eksperimen tidak lubang dan lubang menunjukkan bahwa momen leleh eksperimen tidak lubang memiliki nilai momen paling besar. Sehingga momen maksimum yang terjadi terletak pada tengah bentang, hal ini diakibatkan pada kondisi leleh, penampang masih elastic dan kuat leleh yang tercapai pada serat terluar. Sehingga *castellated beam* masih mampu memikul momen yang lebih besar sebelum terjadi runtuh. Apabila ditinjau secara teoritis semakin tinggi potongan lubang *castellated beam* menghasilkan momen inersia dan *section modulus* yang lebih besae sehingga lebih kuat dan kaku. Apabila ditinjau ulang berdasarkan Tabel 2 nilai momen leleh eksperimen paling besar adalah benda uji 4 (D=155mm) dengan nilai 589,05 kNm.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Momen Runtuh Eksperimen tidak Lubang dan Lubang

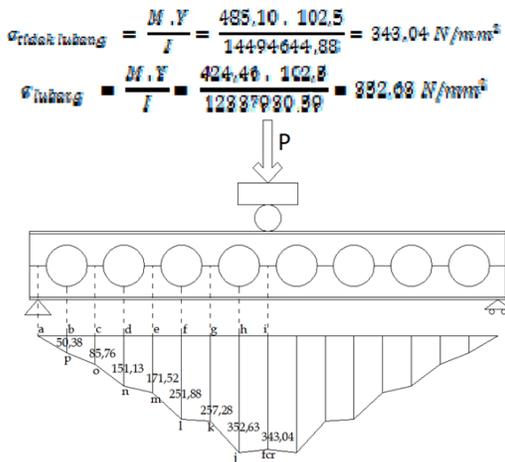
Hasil perbandingan momen runtuh eksperimen tidak lubang dan lubang menunjukkan momen runtuh eksperimen tidak lubang lebih besar, sehingga, pada kondisi runtuh beban sudah terdistribusi merata keseluruhan penampang *castellated beam*. Namun yang membedakan dengan kondisi leleh dan kondisi runtuh adalah terjadinya indikasi *buckling*. Berdasarkan Tabel 3 menunjukan bahwa momen runtuh terbesar pada benda uji 4 (D= 155mm) dengan nilai momen runtuh eksperimen sebesar 744,98 kNm. Untuk nilai momen eksperimen nilai beban (P) sangat berpengaruh.

Ditinjau dari Perbandingan Tegangan Eksperimen pada *Castellated Beam* Penampang Tidak Berlubang dan Berlubang

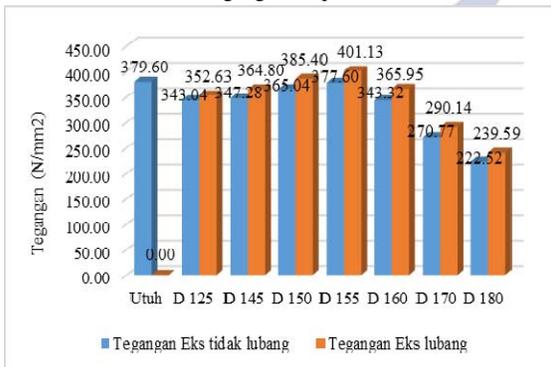
Hasil perhitungan inersia *castellated beam* D=125mm
 Inersia tidak lubang = 14494644,88 mm⁴
 Inersia lubang = 12337930,59 mm⁴

Momen Eksperimen
 Momen leleh tidak lubang = 485, 10 kNm
 Momen leleh lubang = 424, 46 kNm

Tegangan pada penampang tidak berlubang dan berlubang
 Tegangan leleh eksperimen



Gambar 8. Distribusi tegangan eksperimen *castellated beam*



Gambar 9. Grafik Perbandingan Tegangan Leleh Eksperimen tidak Lubang dan Lubang

Hasil perbandingan tegangan leleh eksperimen tidak lubang dan lubang menunjukkan bahwa tegangan leleh eksperimen lubang lebih besar dibandingkan tidak lubang. Hal ini diakibatkan karena momen inersia lubang lebih kecil, sehingga tegangan yang dihasilkan besar. Karena tegangan berbanding terbalik dengan momen inersia. Namun, apabila dibandingkan dengan tegangan profil WF utuh menunjukkan bahwa tegangan bahwa nilai tegangan leleh eksperimen lebih besar dibandingkan dengan profil WF utuh. Secara teori, semakin besar diameter pemotongan profil *castellated beam* maka semakin kecil lendutannya. Sehingga menghasilkan momen inersia dan *section modulus* yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan profil WF yang tidak dibentuk *castellated beam*. Tegangan leleh terbesar terdapat pada benda uji 4 (D=155mm).

Momen runtuh Eksperimen

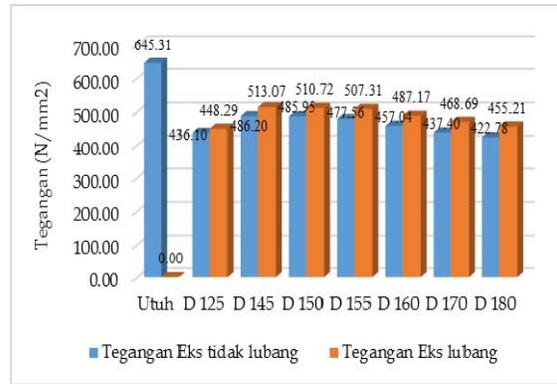
Momen runtuh tidak lubang = 616,70 kNm

Momen runtuh lubang = 539,61 kNm

Tegangan runtuh eksperimen

$$\sigma_{tidak\ lubang} = \frac{M \cdot Y}{I} = \frac{616,70 \cdot 102,5}{14494644,88} = 436,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{lubang} = \frac{M \cdot Y}{I} = \frac{424,46 \cdot 102,5}{12337930,99} = 448,29 \text{ N/mm}^2$$



Gambar 10. Grafik Perbandingan Tegangan Runtuh Eksperimen tidak Lubang dan Lubang

Hasil perbandingan tegangan runtuh eksperimen tidak lubang dan lubang menunjukkan bahwa tegangan runtuh eksperimen lubang lebih besar dibandingkan tidak lubang. Kondisi tersebut akan mengakibatkan tegangan kritis (f_{cr}) lebih kecil daripada tegangan lelehnya (f_y) atau dengan kata lain $f_{cr} < f_y$, maka balok akan cepat rusak dan mengalami *buckling*.

Tabel 1. Perbandingan tegangan leleh *castellated beam* dengan tegangan leleh baja (f_y)

Benda Uji	f_{cr} Eks		Tegangan leleh baja (f_y) (N/mm ²)	Keterangan Tidak Lubang	Keterangan Lubang
	Tegangan terjadi tidak lubang (N/mm ²)	Tegangan terjadi lubang (N/mm ²)			
Utuh	379.60	-	389.22	Buckling	-
D 125	343.04	352.63	389.22	Buckling	Buckling
D 145	347.28	364.80	389.22	Buckling	Buckling
D 150	365.04	385.40	389.22	Buckling	Buckling
D 155	377.60	401.13	389.22	Buckling	Lentur
D 160	343.32	365.95	389.22	Buckling	Buckling
D 170	270.77	290.14	389.22	Buckling	Buckling
D 180	222.52	239.59	389.22	Buckling	Buckling

Tabel 2. Perbandingan tegangan runtuh *castellated beam* dengan tegangan putus baja (f_u)

Benda Uji	f_{cr} Eks		Tegangan putus (f_u) (N/mm ²)	Keterangan Tidak Lubang	Keterangan Lubang
	Tegangan tidak lubang (N/mm ²)	Tegangan lubang (N/mm ²)			
Utuh	645.31	-	456.01	Lentur	-
D 125	436.10	448.29	456.01	Buckling	Buckling
D 145	486.20	513.07	456.01	Lentur	Lentur
D 150	485.95	510.72	456.01	Lentur	Lentur
D 155	477.56	507.31	456.01	Lentur	Lentur
D 160	457.04	487.17	456.01	Lentur	Lentur
D 170	437.40	468.69	456.01	Buckling	Lentur
D 180	422.78	455.21	456.01	Buckling	Buckling

Dari hasil tegangan pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa pada setiap benda uji memiliki perilaku kerusakan yang berbeda-beda. Pada Tabel 1. Perbandingan tegangan leleh *castellated beam* dengan tegangan leleh baja (f_y) menunjukkan bahwa nilai tegangan leleh baja (f_y) lebih besar daripada tegangan yang terjadi sehingga *castellated beam* mengalami rusak *buckling*. Sedangkan pada tegangan runtuh menunjukkan bahwa

tegangan yang terjadi pada *castellated beam* lebih besar dibandingkan dengan tegangan putus (f_u) sehingga *castellated beam* mengalami rusak lentur. Namun dari ketujuh benda uji, terdapat benda uji yang mengalami rusak *buckling*. Hal ini diakibatkan pada kondisi leleh sudah terjadi indikasi *buckling* sehingga pada kondisi runtuh beban sudah sudah terdistribusi merata dan mengakibatkan rusak *buckling* semakin besar.

Ditinjau dari Kontrol Kuat Geser Pada Balok

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 dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kontrol Geser tidak Lubang

BU	L (m)	Inersia tidak lubang (mm ⁴)	P Leleh (kN)	Vu (kN)	Vn Total (kN)	Selisih (Vn - Vu)	Keterangan
Utuh	1.40	6846079.82	1089.00	544.50	640.76	96.26	Geser Aman
D 125	1.40	14494644.88	1386.00	693.00	812.82	119.82	Geser Aman
D 145	1.40	15864094.12	1485.00	742.50	867.76	125.26	Geser Aman
D 150	1.40	16326646.14	1584.00	792.00	847.70	55.70	Geser Aman
D 155	1.40	17159691.76	1683.00	841.50	879.74	38.24	Geser Aman
D 160	1.40	18166863.72	1584.00	792.00	895.29	103.29	Geser Aman
D 170	1.40	19131371.26	1287.00	643.50	909.05	265.55	Geser Aman
D 180	1.40	20125961.30	1089.00	544.50	922.82	378.32	Geser Aman

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kontrol Geser Lubang

BU	(L) m	Inersia lubang (mm ⁴)	P Leleh (kN)	Vu (kN)	Vn Total (kN)	Selisih (Vn - Vu)	Keterangan
Utuh	1.40	-	1089.00	544.50	-	-	-
D 125	1.40	12337930.59	1386.00	693.00	695.35	2.35	Geser Aman
D 145	1.40	12998878.44	1485.00	742.50	646.55	-95.95	Tidak Aman
D 150	1.40	13254708.78	1584.00	792.00	633.76	-158.24	Tidak Aman
D 155	1.40	13787449.87	1683.00	841.50	631.98	-209.52	Tidak Aman
D 160	1.40	14486805.79	1584.00	792.00	633.76	-158.24	Tidak Aman
D 170	1.40	15047179.40	1287.00	643.50	606.23	-37.27	Tidak Aman
D 180	1.40	15621284.71	1089.00	544.50	503.00	-41.50	Tidak Aman

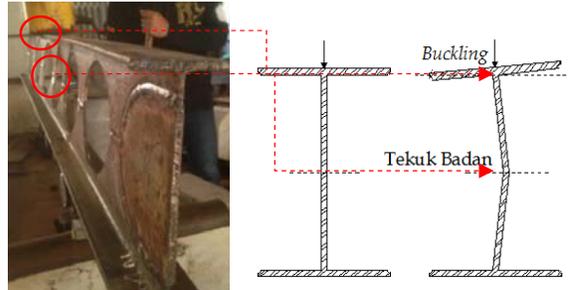
Dari Tabel 3. Hasil perhitungan kontrol geser tidak lubang menunjukkan bahwa pada penampang tidak lubang tidak terjadi rusak geser berupa patahan di daerah pengelasan. Hal ini juga dibuktikan pada pengujian, bahwa benda uji *castellated beam* tidak adanya rusak geser. Namun, apabila ditinjau pada penampang lubang menunjukkan bahwa terjadi geser pada bagian berlubang atau dengan kata lain $V_u \leq V_n$ sebagai perencanaan kuat geser tidak terpenuhi pada runtuhnya balok.



Gambar 11. Benda uji 7 (D=180mm) tidak terjadi patahan

Apabila dilihat dari hasil dokumentasi diatas pada benda uji 7 (D=180mm) penampang tidak lubang dan lubang tidak terjadi rusak geser berupa patahan. Sehingga, dari hasil pengujian *castellated beam* bukaan lingkaran harus diambil optimal benda uji 4 (D=155mm).

Ditinjau dari Pola Runtuh Benda Uji



Gambar 12. Pola Runtuh benda uji 7 (D=180mm)

Sesuai dengan pembahasan sub bab Pergoyangan (*buckling*) kerusakan *buckling* terbesar terdapat pada benda uji 7 (D=180mm). Pada benda uji 7 mengalami tekuk sayap sebelah kiri dan tekuk badan pada penampang tidak berlubang. Sehingga pada benda uji 7 (D=180mm) termasuk kegagalan profil yang mengakibatkan berubahnya bentuk profil pada sayap tekan dan pelat badan yang disebut *local buckling* (tekuk lokal).

Berdasarkan hasil analisis diatas menunjukkan bahwa pada benda uji *castellated beam* mengalami rusak *buckling*. Sehingga harus diambil optimalnya, agar tidak terjadi kerusakan *buckling* yang lebih besar. Untuk menghindari kerusakan *buckling* yang lebih besar maka disarankan menggunakan diameter pemotongan profil (D) tidak melebihi diameter optimal (D=155mm). Hal ini didasarkan atas analisis pada pembahasan momen, tegangan, dan kontrol geser.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

1. Diameter pemotongan yang optimal D=155mm.
2. Pengaruh diameter pemotongan profil (D) terhadap momen leleh menunjukkan bahwa dari WF utuh sampai D=180mm masih mampu memikul momen yang besar sebelum terjadi runtuh. Sedangkan, pada momen runtuh sudah terlihat adanya indikasi *buckling*.
3. Pengaruh diameter pemotongan profil (D) terhadap tegangan leleh menunjukkan bahwa kuat leleh yang tercapai pada serat terluar bagian sayap. Sedangkan, pada tegangan runtuh penampang sudah terdistribusi merata keseluruh penampang sehingga menyebabkan rusak *buckling*.

4. Pengaruh diameter pemotongan profil (D) terhadap geser menunjukkan bahwa pada penampang tidak berlubang dan berlubang tidak terjadi rusak geser atau patahan pada bagian las. Sehingga kerusakan keduanya yang terjadi karena tekuk pada bagian sayap.

SARAN

1. Pada penelitian selanjutnya, untuk menghindari kerusakan *buckling* yang lebih besar maka disarankan menggunakan diameter pemotongan profil (D) tidak melebihi diameter optimal (D=155mm).
2. Pada penelitian selanjutnya melaksanakan penelitian yang sejenis dengan variabel yang berbeda. Apabila hasil dari penelitian itu digabungkan maka akan didapat hasil yang paling optimal untuk dimensi *castellated beam* yaitu dengan lebar pemotongan profil (e) pada bukaan lingkaran (*circular*).
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk membuat benda uji dengan bentang yang lebih panjang dengan variasi besaran $\frac{a}{h}$ yang berbeda-beda, untuk mendapatkan hasil pengujian yang maksimal.
4. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk memperkuat benda uji dengan memberi pengaku dan penguatan pengelasan pada *castellated beam* bukaan lingkaran (*circular*) untuk mengantisipasi terjadinya rusak *buckling*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara Perencanaan Perhitungan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)*. Bandung :BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. *Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton (SNI 07-2529-1991)*. Bandung :BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. *Metode Pengujian Kuat Lentur dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung (SNI 03-4154-1996)*. Bandung: BSN
- Erdal, Ferhat. 2011. *Ultimate Load Capacity of Optimally Designed Cellular Beams*. Tesis tidak diterbitkan. Middle East Technical University
- Hayati, Masita Nur. 2013. *Pengaruh Lebar Potongan Profil (e) terhadap Perilaku Lentur Pada Balok Baja Kastella (Castellated Beam)*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya

Knowles, P.R. *Castellated Beams. Proc. Institution of Civil Engineers, Part I, Vol. 90, pp 521-536*. 1991

Rohmah, Fitri. 2012. *Pengaruh Tinggi Pemotongan Profil (h) Terhadap Optimalisasi Tegangan Lentur dan Bahan Baja Kastella (Castellated Beam) Ditinjau dari Lentutan*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

Saputro, Andys Wicaksono. 2013. *Pengaruh Tinggi Pemotongan (h) Terhadap Perilaku Lentur Pada Balok Baja Kastella (Castellated Beam)*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya

Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga

Suharjanto. 2011. "Kajian Kuat Geser Horizontal Circular Castellated Steel Beam With and Without Adding Plates". *Jurnal Teknik*. Vol 1 No. 2/ Oktober 2011.