

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

# REKATS



## UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 01	NOMER: 01	HALAMAN: 301- 307	SURABAYA 2017	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](http://tekniksipilunesa.org)

**Email:** [REKATS](mailto:REKATS)

## DAFTAR ISI

	Halaman
TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
<ul style="list-style-type: none"><li>• Vol 1 Nomer 1/rekat/17 (2017)</li></ul>	
ANALISIS PENAMBAHAN <i>FLY ASH</i> TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF	
<i>Puspa Dewi Ainul Mala, Machfud Ridwan, .....</i>	01 – 12
PEMANFAATAN SERAT KULIT JAGUNG SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PLAFON ETERNIT	
<i>Dian Angga Prasetyo, Sutikno, .....</i>	13 – 24
PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT BAMBU PADA PLAFON GIPSUM DENGAN PEREKAT POLISTER	
<i>Tiang Eko Sukoko, Sutikno, .....</i>	25 – 33
PENERAPAN SAMBUNGAN MEKANIS (METODE PEMBAUTAN) PADA BALOK DENGAN PERLETAKAN SAMBUNGAN $\frac{1}{2}$ PANJANG BALOK DITINJAU DARI KUAT LENTUR BALOK	
<i>Hehen Suhendi, Sutikno, .....</i>	34 – 38
STUDI KELAYAKAN EKONOMI DAN FINANSIAL RENCANA PELEBARAN JALAN TOL WARU-SIDOARJO	
<i>Reynaldo B. Theodorus Tampang Allo, Mas Suryanto HS, .....</i>	39 – 48
PENGARUH SUBSTITUSI <i>FLY ASH</i> DAN PENAMBAHAN SERBUK CANGKANG KERANG DARAH PADA KUALITAS GENTENG BETON	
<i>Mohamad Ari Permadi, Sutikno, .....</i>	49 – 55

PENGARUH PENAMBAHAN *SLAG* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN PERMEABILITAS PADA CAMPURAN PANAS (*HOT MIX*) ASPAL PORUS

*Rifky Arif Laksono, Purwo Mahardi, ..... 56 – 64*

ANALISA PEMANFAATAN LIMBAH *STYROFOAM* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI KE DALAM ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS

*Taufan Gerri Noris, Purwo Mahardi, ..... 65 – 70*

ANALISIS PERSEDIAAN MATERIAL PADA PEMBANGUNAN PROYEK *MY TOWER HOTEL & APARTMENT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *MATERIAL REQUIREMENT PLANNING* (MRP)

*Tri Wahyuni, Arie Wardhono, ..... 71 – 85*

ANALISIS KECELAKAAN KERJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* PADA PROYEK PEMBANGUNAN APARTEMENT GRAND SUNKONO LAGOON SURABAYA

*Great Florentino Miknyo Hendarich, Karyoto, ..... 86 - 100*

PEMANFAATAN *SLAG* BAJA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA PEMBUATAN *PAVING BLOCK*

*Arifin Kurniadi, Sutikno, ..... 101 - 106*

PENERAPAN *E-PROCUREMENT* PADA PROSES PENGADAAN PEKERJAAN KONSTRUKSI DI UNIT LAYANAN PENGADAAN PEMERINTAH KABUPATEN GRESIK

*Anastastia Ria Utami, Hendra Wahyu Cahyaka, ..... 107 - 116*

PENGARUH PENAMBAHAN SULFUR TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN PERMEABILITAS PADA ASPAL BERPORI

*Qurratul Ayun, Purwo Mahardi, ..... 117 - 122*

PENGARUH PENAMBAHAN DINDING GESER PADA PERENCANAAN ULANG GEDUNG FAVE HOTEL SURABAYA <i>Irwan Wahyu Wicaksana, Sutikno, .....</i>	123 - 128
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK (PET) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN PERMEABILITAS PADA ASPAL BERPORI <i>Rizky Putra Ramadhan, Purwo Mahardi, .....</i>	129 - 135
PENGARUH TREATMENT LUMPUR LAPINDO TERHADAP MUTU BATU BATA BAHAN LUMPUR LAPINDO BERDASARKAN SNI 15-2094-2000 <i>Ah. Yazidun Ni'am, Arie Wardhono, .....</i>	136 - 143
ANALISIS PRODUKTIVITAS <i>TOWER CRANE</i> PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG TUNJUNGAN PLAZA 6 SURABAYA <i>Sofia Dewi Amalia, Didiek Purwadi, .....</i>	144 - 155
ANALISIS PENAMBAHAN LIMBAH MARMER TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO GRESIK <i>Machfid Ridwan, Falaq Karunia Jaya, .....</i>	156 - 166
ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA PADA PEMASANGAN DINDING BATA RINGAN DI PROYEK PERUMAHAN <i>Loga Geocahya Pratama, Sutikno, .....</i>	167 - 181
ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA PADA PEMASANGAN GENTENG ATAP METAL DI PROYEK PERUMAHAN <i>Siti Komariyah, Hasan Dani, .....</i>	182 - 191
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KARBIT TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO GRESIK <i>Nur Fauzan, Nur Andajani, .....</i>	192 - 200

PEMANFAATAN BAHAN TAMBAH <i>POZZOLAN</i> LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN DENGAN AGREGAT <i>PUMICE</i> PADA KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON RINGAN <i>Dwi Kurniawan, Arie Wardhono, .....</i>	201 - 211
PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO SEBAGAI BAHAN DASAR PENGGANTI PASIR PADA PEMBUATAN <i>PAVING BLOCK GEOPOLYMER</i> <i>Feminia Heri Cahyanti, Arie Wardhono, .....</i>	212 - 219
<i>ANALISIS PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA</i> <i>Siswo Hadi Murdoko, Karyoto, .....</i>	220 - 228
<i>ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN PELENGKUNG BAJA</i> <i>Achmad Fajrin, Karyoto, .....</i>	229 - 237
<i>ANALISA HASIL PERHITUNGAN KONSTRUKSI GEDUNG GRAHA ATMAJA MENGGUNAKAN GEMPA SNI 1726-2002 DENGAN MENGGUNAKAN PERHITUNGAN BETON SNI 2847-2013</i> <i>Mohamad Sukoco, Sutikno, .....</i>	238 - 241
<i>ANALISA PENGARUH VARIASI BENTANG KOLOM PADA PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU FMIPA UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TERHADAP PERSYARATAN KOLOM KUAT BALOK LEMAH PADA SRPMK</i> <i>Imam Awaludin Asshidiq Ramelan, Arie Wardhono, .....</i>	242 - 246
<i>PENGARUH PENAMBAHAN SERAT IJUK TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG</i> <i>Dyah Rinjani Ratu Pertiwi, Bambang Sabariman, .....</i>	247 - 255
<i>PENGARUH PENAMBAHAN SERAT IJUK DALAM PEMBUATAN BALOK BETON BERTULANG BERDASARKAN UJI KUAT GESER</i> <i>Dennes Yuni Puspita, Bambang Sabariman, .....</i>	256 - 265

PERBANDINGAN PERHITUNGAN EFISIENSI BESI JEMBATAN GELAGAR BETON STRUKTUR ATAS ANTARA JARAK GELAGAR JEMBATAN 1,10 METER; 1,38 METER; 1,83 METER; DAN 2,75 METER

*Tri Wida Amaliya, Sutikno, ..... 266 - 271*

ANALISA PENYEBAB KETERLAMBATAN PROYEK PADA PEMBANGUNAN APARTEMEN *ROYAL CITYLOFT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS*

*Reffi Ike Parastiwi N, Mas Suryanto H.S, ..... 272 - 277*

*ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA UNTUK PEKERJAAN PEMASANGAN ALUMUNIUM COMPOSITE PANEL PADA PROYEK GEDUNG BERTINGKAT*

*Eka Yuliawati, Mas Suryanto H.S, ..... 278 - 290*

*STUDI KELAYAKAN INVESTASI PEMBANGUNAN PEMANFAATAN BEKAS LAHAN TAMBANG BATU KAPUR SEBAGAI PERUMAHAN DI DESA BEKTIHARJO KECAMATAN SEMANDING KABUPATEN TUBAN*

*Shintiya Nofen Rosila Putri, Mas Suryanto H.S, ..... 291 - 300*

PENGARUH LEBAR PEMOTONGAN PROFIL (e) TERHADAP KEKUATAN LENTUR *CASTELLATED BEAM* PADA BUKAAN LINGKARAN (*CIRCULAR*) UNTUK STRUKTUR BALOK

*Arditya Ridho Putra Pratama, Suprpto, ..... 301 - 307*

## PENGARUH LEBAR PEMOTONGAN PROFIL (e) TERHADAP KEKUATAN LENTUR CASTELLATED BEAM PADA BUKAAN LINGKARAN (CIRCULAR) UNTUK STRUKTUR BALOK

**Arditya Ridho Putra Pratama**

Program Studi S1- Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : [pratama.atditya@gmail.com](mailto:pratama.atditya@gmail.com)

**Suprpto**

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email : [suprap\\_sipil@yahoo.com](mailto: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 bentuk lingkaran (*circular*) pada lebar pemotongan profil (e) diharapkan dapat menghindari lendutan yang besar. Secara teoristik semakin kecil lebar pemotongan profil (e) maka akan meningkatkan performa dari kekuatan tegangan lentur balok *castella* tersebut. Begitu pula sebaliknya, hal ini dikarenakan semakin kecil lebar pemotongan profil (e), maka momen inersia yang dihasilkan semakin besar yang mengakibatkan kekakuan dari balok *castella* tersebut semakin meningkat, sehingga tegangan yang dihasilkan semakin tinggi. Diharapkan dalam penelitian ini ditemukan lebar potongan profil (e) balok *castella* bukaan lingkaran yang optimal untuk menahan kekuatan lentur

Penelitian ini adalah penelitian uji laboratorium. Dalam 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 lebar pemotongan profil (e) yang berbeda-beda yaitu e=70 mm, e=60 mm, e=50 mm, e=40 mm, e=30 mm untuk struktur balok. Dari pengujian yang dilakukan akan mendapatkan data berupa beban (P) dan lendutan ( $\Delta$ ) yang kemudian dilakukan analisis untuk memperoleh nilai momen, nilai lendutan, nilai tegangan, dan pola runtuh.

Hasil penelitian menunjukkan benda uji dengan lebar pemotongan profil e=50 mm yang paling optimal. Keseluruhan benda uji tidak menunjukkan kerusakan geser berupa sobek ataupun patah. Pola runtuh menunjukkan bahwa pada benda uji *castellated beam* mengalami rusak *buckling* berupa tekuk sayap dan juga tekuk badan. Dari hasil analisis SAP 2000 menunjukkan bahwa pada benda uji utuh tidak dibentuk *castellated beam* dan benda uji 4 (e=50 mm) merupakan kombinasi elemen tekan dan elemen tarik.

**Kata Kunci:** *buckling*, *castellated beam*, lebar potongan profil (e), momen inersia

### Abstract

In the *castellated beam* research, it almost entirely focuses on *castellated beams* with hexagonal shape. The hole shape with no angled side such as a circular shape (*circular*) on the profile cutting width (e) is expected to prevent huge deflection. Theoretically, the smaller profile cutting width (e) will increase the performance of the strength of flexible stress at the *castella*. In reverse, it is caused by the smaller profile cutting width (e), then the moment of inertia will become bigger and it causes in the increasing of *castellated beam* stiffness, so the produced stress is higher. In this research, it is expected to find profile cutting width (e) of *castellated beam* with optimal circular opening to hold the flexible strength.

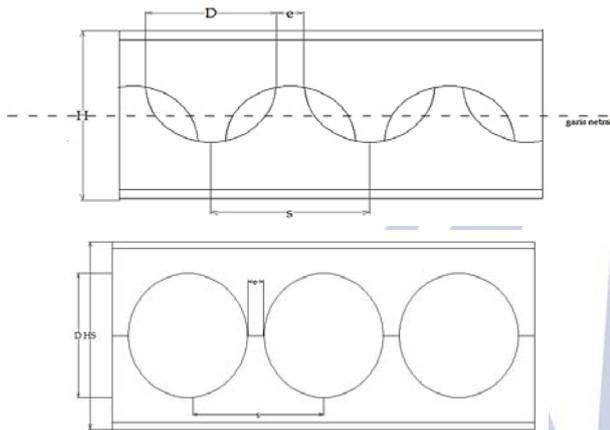
This research is a laboratory research. In this research, the researcher applied *castellated beam* with circular openings model with WF 150.75.5.7 as profile specimen. The research method was used to determine the influence of *castellated beam* when the load was placed in the middle of the intact span and the different width of cutting profiles (e) were e=70 mm, e=60 mm, e=50 mm, e=40 mm, e=30 mm for the structural beam. From the tests that were done, it will obtain the data in the form of load (P) and the deflection ( $\Delta$ ) which was analyzed to obtain the moment value, the deflection value, the stress value, and collapse pattern.

According to the analysis result, it shown the test specimen with profile cutting width e=50 mm was the most optimal. None of the specimens showed shear damage in the form of torn or broken. The collapse pattern showed that the *castellated beam* specimen had *buckling* damage in the form of flange *buckling* and web *buckling*. From the SAP 2000 analysis indicated that the intact specimen was not formed to be *castellated beam* and the four specimens (e=50 mm) was a combination of pressure elements and tensile elements.

**Keywords:** *buckling*, *castellated beam*, profile cutting width (e), momen of 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 (Hosain dalam Fitri Rohmah, 2012: 1), yang sekarang sekarang lebih dikenal dengan metode *Castella*.



Gambar 1. Ilustrasi pemotongan benda uji

Hasil penelitian (Fitri Rohmah, 2012) menunjukkan bahwa, balok *castella* 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 *castella*.

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. Secara umum, spesifikasi teknis baja *castella* memiliki besar diameter lingkaran sebesar 100mm sampai 155mm dengan  $e=25\%$  dari diameter.

Hasil-hasil penelitian diatas hampir semuanya terfokus pada *castellated beam* dengan bentuk segi enam. Bentuk lubang dengan sisi tidak bersudut seperti bentuk lingkaran (*circular*) pada lebar pemotongan profil (e) diharapkan dapat menghindari lendutan yang besar. Secara teoristik semakin kecil lebar pemotongan profil (e) maka akan meningkatkan performa dari kekuatan tegangan lentur balok *castella* tersebut. Begitu pula sebaliknya, hal ini dikarenakan semakin kecil lebar pemotongan profil (e), maka momen inersia yang dihasilkan semakin besar. Hal itu mengakibatkan

kekakuan dari balok *castella* tersebut semakin meningkat, sehingga tegangan yang dihasilkan semakin tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan lebar potongan profil (e) balok *castella* bukaan lingkaran menggunakan baja WF 150.75.5.7 dengan diameter 150 mm yang optimal untuk menahan kekuatan lentur.

*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* menjadi lebih tinggi dari profil aslinya. Bagian *web* yang dipotong dengan pola *castella* disambungkan dengan cara di 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. (Journal Agus Wiyono)

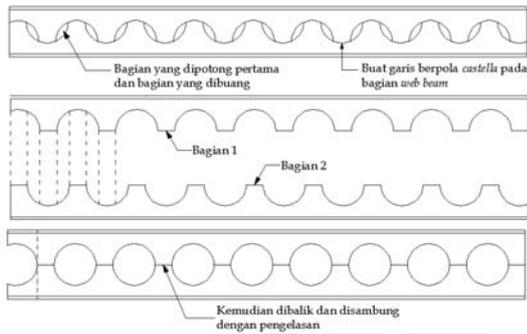
Ada beberapa kegagalan pada profil *castellated beam* antara lain : *Formation Virendeel* atau *Shear Machanism*, pada lubang dapat merubah bentuk bagian T (*tee section*) menjadi bentuk seperti jajar genjang (*parallelogram*) (Altifillisch, 1957 Toprac dan Cook, 1959). *Flexural Mechanism*, titik leleh 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 baja *castella* ini yaitu menganalisis permasalahan yang dibatasi oleh model baja *castella* dengan bukaan lingkaran. Perencanaan baja *castella* hanya terbatas pada lebar pemotongan profil (e) yang berbeda-beda untuk setiap benda ujinya. Penelitian ini adalah penelitian Laboratorium. Pada penelitian ini bahan utama yang digunakan untuk penelitian adalah profil baja WF 150.75.5.7, profil tersebut dipilih karena

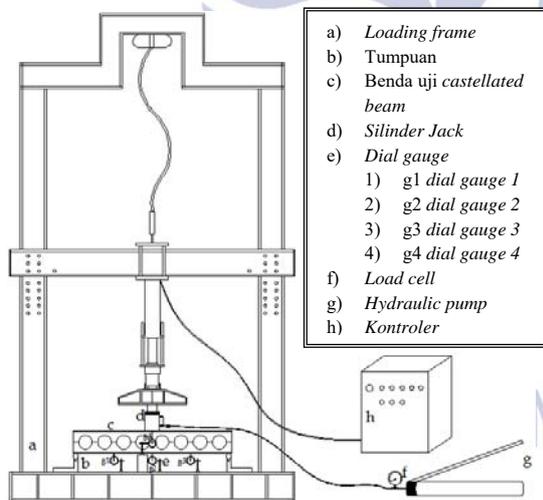
pada penelitian sebelumnya menggunakan profil baja WF 200 namun hasilnya terlalu tinggi apabila dimodifikasi menjadi *castellated beam* serta belum mendapatkan hasil yang optimal.

Benda uji dibuat dengan memodifikasi lebar pemotongan profil ( $e$ ) dimana terdapat lima benda uji dengan ketetapan yang berbeda-beda yaitu  $e = 70$  mm,  $e = 60$  mm,  $e = 50$  mm,  $e = 40$  mm,  $e = 30$  mm Tahapan pembuatan *castellated beam* bukaan lingkaran sebagai berikut :



Gambar 2. Ilustrasi pemotongan 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**

**Mutu Baja**

Hasil pengujian tarik baja WF 150.75.5.7 menunjukkan tegangan leleh ( $f_y$ ) = 389,22 MPa dan tegangan putus ( $f_u$ ) = 456,01 MPa. Termasuk kategori baja paduan rendah mutu tinggi.

**Analisis Momen Castellated Beam**

Momen lentur benda uji ditinjau akibat beban terfaktor ( $M_u$ ), pada penelitian ini diberikan beban terpusat pada benda uji yang diletakkan di atas sambungan las.



Gambar 4. Grafik perbandingan momen leleh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

Dari Gambar 4 Grafik perbandingan momen leleh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang menunjukkan nilai momen leleh tidak berlubang lebih besar dibandingkan dengan nilai momen leleh berlubang. Sehingga secara keseluruhan momen maksimum terletak pada tengah bentang *castellated beam*. Benda uji  $e=50$  mm memiliki nilai momen leleh eksperimen terbesar dan juga memiliki arti mempunyai kapasitas momen lentur terbesar yaitu 554,40 kNm pada bagian tidak berlubang dan 475,20 kNm pada bagian berlubang.



Gambar 5. Grafik perbandingan momen runtuh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

Berdasarkan Gambar 5 Grafik perbandingan momen runtuh eksperimen tidak berlubang dan berlubang menunjukkan bahwa nilai momen runtuh eksperimen tidak berlubang lebih besar dibandingkan yang berlubang. Sehingga kerusakan *buckling* dapat terhindarkan pada penampang lubang. Hasil perhitungan *castellated beam* kondisi runtuh menunjukkan bahwa nilai momen runtuh terbesar pada benda uji  $e=50$  mm memiliki nilai momen runtuh eksperimen tidak berlubang sebesar 738,05 kNm dan 632,61 kNm pada bagian berlubang.

Semakin kecil lebar pemotongan profil semakin tinggi *castellated beam* maka menghasilkan balok yang semakin kuat dan kaku bila dibandingkan dengan profil

WF yang tidak dibentuk *castellated beam*. Yang membedakan kondisi leleh dan runtuh adalah terjadi indikasi *buckling*. Apabila ditinjau dari indikasi *buckling*, semakin tinggi *castellated beam* maka indikasi terjadinya *buckling* juga semakin besar. Namun pada kondisi tertentu harus diambil optimalnya, supaya tidak terjadi *buckling* yang lebih besar. Sehingga *castellated beam* masih memiliki kekuatan dan kekakuan yang diharapkan.

Untuk nilai momen eksperimen tidak berlubang nilai beban (P) yang sangat berpengaruh, sedangkan untuk perhitungan momen eksperimen lubang bentang benda uji sangat berpengaruh.

**Analisis Tegangan Castellated Beam**

Tegangan pada *castellated beam* digunakan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas struktur tersebut dalam menahan beban. Pada penelitian ini, tegangan ditinjau dari tegangan leleh hingga tegangan runtuh.

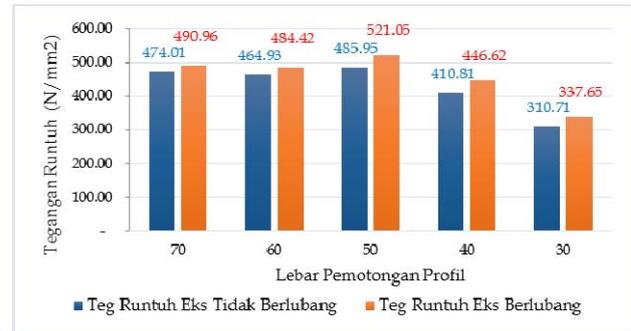


Gambar 6. Grafik perbandingan tegangan leleh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

Salah satu keuntungan dari *castellated beam* adalah dapat memikul momen yang lebih besar dengan tegangan ijin yang lebih kecil. Berdasarkan rumus tegangan menunjukkan bahwa erat hubungannya antara momen (M) dengan tegangan ( $\sigma$ ). Semakin tinggi *castellated beam* maka momen inersia akan meningkat sehingga akan meningkatkan modulus potongan (S). Jika modulus potongan meningkat maka tegangan yang terjadi akan menurun.

Dari Gambar 6 Grafik perbandingan tegangan leleh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang menunjukkan nilai tegangan pada bagian berlubang memiliki nilai lebih tinggi dari pada bagian tidak berlubang. Hal ini terjadi diakibatkan karena pada bagian berlubang memiliki nilai momen inersia yang lebih kecil dibandingkan dengan bagian yang tidak berlubang. Kondisi ini sesuai dengan teori perhitungan tegangan yang menunjukkan bahwa tegangan berbanding terbalik dengan momen inersia. Dari perhitungan yang telah dilakukan di atas menunjukkan nilai tegangan leleh eksperimen terbesar terdapat pada benda uji e=60 mm sebesar 368,26 N/mm²

pada bagian tidak berlubang dan benda e=50 mm sebesar 391,40 N/mm² pada bagian berlubang.



Gambar 7. Grafik perbandingan tegangan runtuh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

Sesuai dengan teori, jika balok dipertinggi maka momen inersia akan meningkat sehingga akan meningkatkan pula modulus potongan ( $S_x$ ). Jika modulus potongannya meningkat maka tegangan yang terjadi pada balok akan menurun. Ditinjau melalui penampang terlihat bahwasanya tegangan runtuh eksperimen yang terjadi pada bagian berlubang lebih besar dari pada bagian yang tidak berlubang. Gambar 9 menunjukkan nilai tegangan runtuh tertinggi terletak pada benda uji e=50 mm sebesar 485,95 N/mm² pada bagian tidak berlubang dan 521,05 N/mm² pada bagian berlubang. Dalam hal ini memiliki arti benda uji e=50 dapat menahan gaya terbesar dibandingkan dengan benda uji yang lainnya.

**Kontrol Geser Castellated Beam**

*Castellated beam* memiliki penampang badan (*web*) yang cukup tipis terutama dalam menerima beban tarik. Pada pengujian ini *castellated beam* dibuat dengan penyambungan berupa las. Ketahanan pada elemen tersebut ditentukan oleh kondisi batas sobek atau sering disebut geser.

Tabel 1. Kontrol geser *castellated beam* tidak berlubang

Lebar Pot. Profil (e)	Jarak Antar Tumpuan	Tinggi (dg)	Beban Leleh (P)	Vu	Vn	Selisih (Vn-Vu)	Keterangan
(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
Utuh	1400	150	990	495	711,96	216,96	Aman
70	1400	214	1485	742,5	834,46	91,96	Aman
60	1400	219	1584	792	838,70	46,70	Aman
50	1400	215	1584	792	825,96	33,96	Aman
40	1400	221	1386	693	813,61	120,61	Aman

Lebar Pot. Profil (e)	Jarak Antar Tumpuan	Tinggi (dg)	Beban Leleh (P)	Vu	Vn	Selisih (Vn-Vu)	Keterangan
30	1400	225	1089	544,5	798,28	253,78	Aman

Dari tabel 1 Kontrol geser *castellated beam* bagian tidak berlubang terlihat untuk semua benda uji *castellated beam* dinyatakan aman. Hal ini juga dibuktikan pada pengujian, menunjukkan bahwa pada benda uji *castellated beam* tidak adanya kerusakan geser berupa patahan pada penampang tidak berlubang maupun pada daerah pengelasan. Sehingga, pada benda uji *castellated beam* tidak terjadi rusak geser melainkan rusak *buckling*.

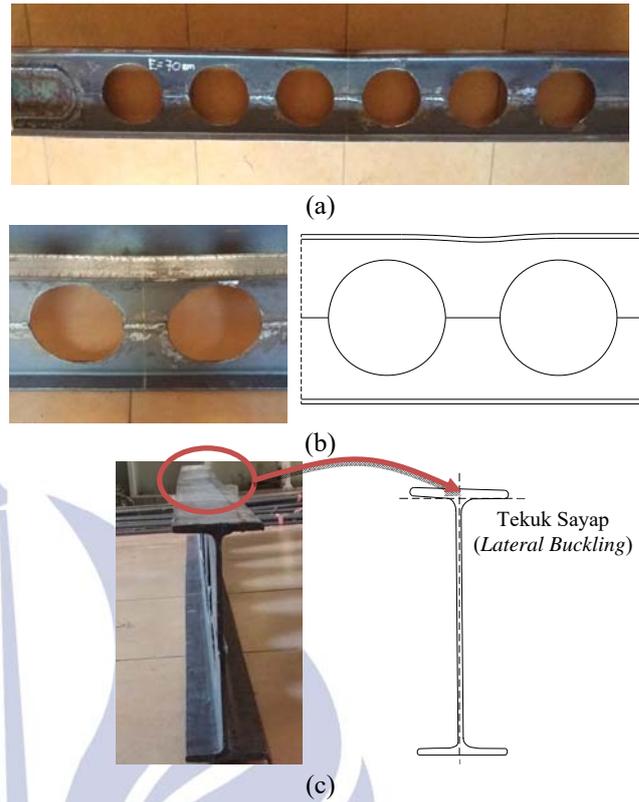
Tabel 2. Kontrol geser *castellated beam* berlubang

Lebar Pot. Profil (e)	Jarak Antar Tumpuan	Tinggi (dg)	Beban Leleh (P)	Vu	Vn	Selisih (Vn-Vu)	Keterangan
(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
Utuh	1400	150	990	495	-	-	-
70	1400	214	1485	742,5	607,23	-135,27	Tak Aman
60	1400	219	1584	792	618,10	-173,90	Tak Aman
50	1400	215	1584	792	586,37	-205,63	Tak Aman
40	1400	221	1386	693	581,21	-111,79	Tak Aman
30	1400	225	1089	544,5	581,32	36,82	Aman

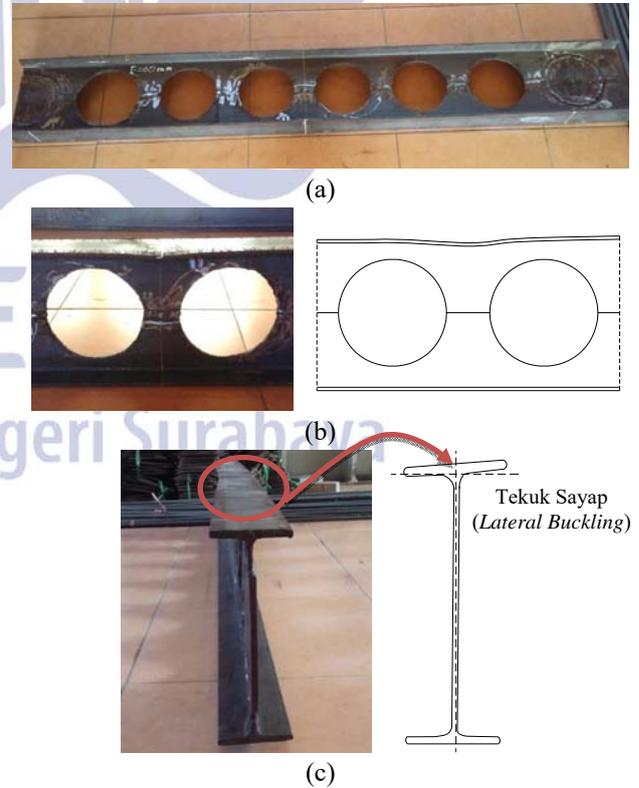
Dilihat dari Tabel 2 menunjukkan bahwa kontrol kuat geser pada bagian berlubang tidak aman. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi geser pada bagian berlubang karena tidak dapat memenuhi persamaan kontrol kuat geser  $V_u \leq V_n$ . Kondisi ini dikarenakan pada bagian berlubang memiliki luasan penampang yang kecil dengan menyisakan sedikit pelat badan yang mampu menerima beban tarik dan juga untuk perhitungan kontrol geser menggunakan angka reduksi yang sangat besar. Sifat keuletan baja yakni kemampuan baja berdeformasi sebelum baja mengalami putus juga berpengaruh sehingga tidak terjadi keruntuhan geser pada benda uji.

**Pola Runtuh Benda Uji**

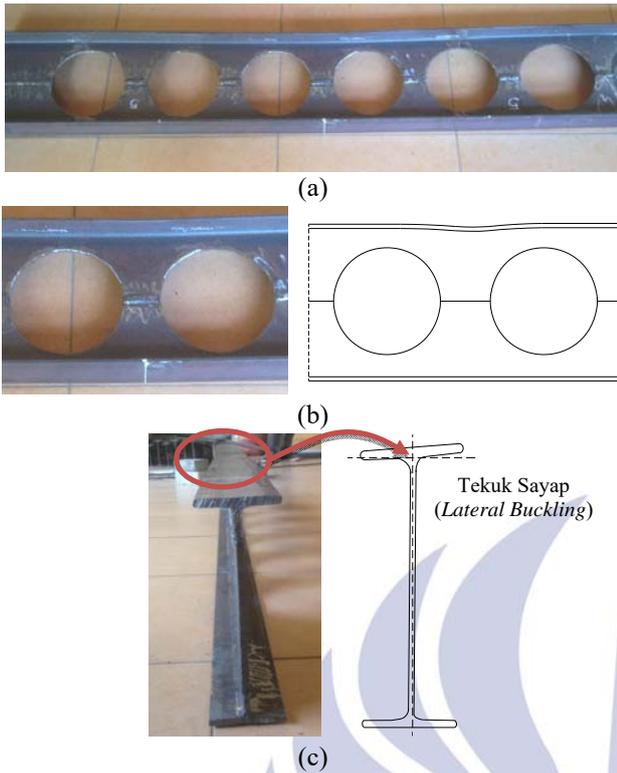
Sesuai dengan teori, ada beberapa jenis kerusakan atau pola runtuh dari profil *castellated beam*. Diantaranya berupa rusak geser, *buckling*, dan putusnya las yang disebabkan oleh beberapa faktor berbeda. Berdasarkan hasil pengujian lima benda uji *castellated beam* bukaan lingkaran dengan lebar pemotongan yang berbeda-beda dapat ditinjau pola runtuh dari masing-masing benda uji. Dalam pembahasan pola runtuh ini akan membahas kerusakan yang terjadi pada lima benda uji yang ditampilkan melalui hasil dokumentasi berupa foto. Pola runtuh yang terjadi pada benda uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



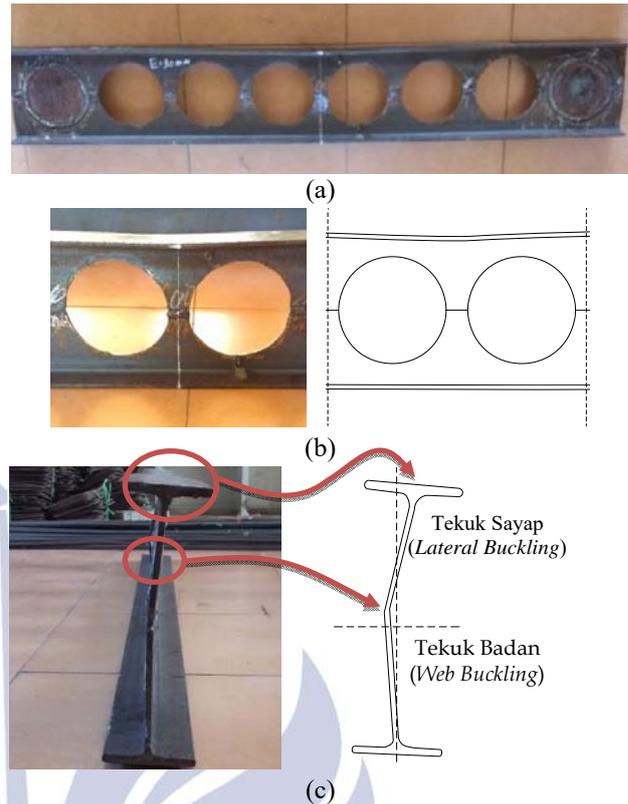
Gambar 8. Pola runtuh benda uji e=70 mm (a) kondisi setelah pengujian; (b) tampak memanjang; (c) tampak melintang



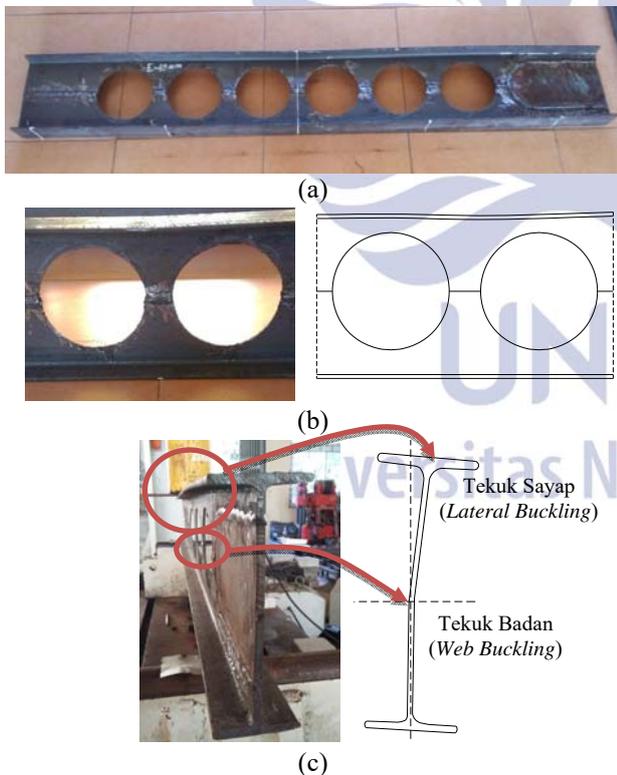
Gambar 9. Pola runtuh benda uji e=60 mm (a) kondisi setelah pengujian; (b) tampak memanjang; (c) tampak melintang



Gambar 10. Pola runtuh benda uji 4 ( $e=50$  mm) (a) setelah pengujian; (b) tampak memanjang; (c) tampak melintang



Gambar 12. Pola runtuh benda uji 6 ( $e=30$  mm) (a) kondisi setelah pengujian; (b) tampak memanjang; (c) tampak melintang



Gambar 11. Pola runtuh benda uji 5 ( $e=40$  mm) (a) kondisi setelah pengujian; (b) tampak memanjang; (c) tampak melintang

Sesuai dengan pembahasan sebelumnya bahwa dalam pengamatan lendutan yang berhubungan dengan rusak lentur sangat sulit untuk dilakukan analisis yang terjadi pada *castellated beam*. Hal ini diakibatkan kekurangan dari *castellated beam* sendiri yaitu analisa dari defleksi (lendutan) lebih rumit daripada balok solid. Tetapi jika ditinjau melalui analisis momen ataupun tegangan terdapat dua benda uji yang mendekati runtuh lentur yakni pada benda  $e=60$  mm dan benda uji  $e=50$  mm.

Sesuai dengan teori yang ada bahwa web atau badan yang terlalu tipis, mudah mengalami *buckling*. Beban yang diberikan pada benda uji tertahan oleh bagian sayap (lateral), sehingga ketika tersalur ke bagian badan tidak mengalami rotasi sepenuhnya atau hanya mengalami sedikit tekuk. Hal ini diakibatkan karena semakin kecil lebar pemotongan profil membuat profil *castellated beam* menjadi semakin tinggi. Dengan bertambahnya tinggi profil, maka akan menimbulkan potensi *buckling* semakin tinggi juga. Berdasarkan foto hasil dokumentasi terjadi indikasi *buckling* dari semua benda uji dengan terlihat adanya tekuk pada bagian sayap maupun badan. Tekuk sayap terjadi pada benda uji  $e=70$  mm sampai benda  $e=50$  mm. Sedangkan untuk benda uji  $e=40$  mm dan  $e=30$  mm terjadi kerusakan berupa tekuk sayap dan juga tekuk badan.

Keseluruhan benda uji *castellated beam* yang dapat dilihat melalui hasil foto dokumentasi diatas tidak terjadi kerusakan geser ataupun patahan baik pada bagian berlubang atau pada bagian tidak berlubang. Sehingga untuk tinjauan rusak geser keseluruhan benda uji *castellated beam* aman.

## SIMPULAN DAN SARAN

### SIMPULAN

1. Lebar pemotongan profil ( $e$ ) yang optimal  $e=50$  mm.
2. Momen inersia pada benda uji 4 ( $e=50$  mm) sebesar  $16.326.646,14 \text{ mm}^4$  untuk bagian tidak berlubang dan  $13.051.520,98 \text{ mm}^4$  untuk bagian berlubang.
3. Benda uji 4 ( $e=50$  mm) memiliki nilai momen eksperimen terbesar yaitu momen leleh sebesar  $554,40 \text{ kNm}$  pada bagian tidak berlubang dan  $475,20 \text{ kNm}$  pada bagian berlubang dan momen runtuh sebesar  $738,05 \text{ kNm}$  dan  $632,61 \text{ kNm}$  pada bagian berlubang.
4. Benda uji 4 ( $e=50$  mm) memiliki nilai tegangan tertinggi sebesar  $365,04 \text{ N/mm}^2$  pada bagian tidak berlubang dan  $391,40 \text{ N/mm}^2$  pada bagian berlubang untuk tegangan leleh dan sebesar  $485,95 \text{ N/mm}^2$  pada bagian tidak berlubang dan  $521,05 \text{ N/mm}^2$  pada bagian berlubang untuk tegangan runtuh.
5. Berdasarkan analisis kontrol kuat geser yang dapat diambil benda uji optimal dengan mempertimbangkan selisih antara  $V_u$  dan  $V_n$  pada bagian tidak berlubang yaitu pada benda uji 4 ( $e=50$  mm) dengan nilai selisih sebesar  $33,96 \text{ kN}$ .
6. Berdasarkan hasil penelitian pola runtuh dapat diambil optimal yaitu minimal lebar pemotongan profil  $e=50$  mm.

### SARAN

1. 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*.
2. Pada penggunaan di konstruksi sebaiknya pada daerah geser tinggi untuk daerah lubang diberikan penutup pelat.
3. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk membuat benda uji dengan bentang yang lebih panjang dengan variasi besaran  $a/h$  yang berbeda-beda, untuk mendapatkan hasil pengujian yang maksimal.

## 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 Dibebeani 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.
- 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.