

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 01	NOMER: 01	HALAMAN: 308- 315	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

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii

- Vol 1 Nomer 1/rekat/17 (2017)

ANALISIS PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF

Puspa Dewi Ainul Mala, Machfud Ridwan, 01 – 12

PEMANFAATAN SERAT KULIT JAGUNG SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PLAFON ETERNIT

Dian Angga Prasetyo, Sutikno, 13 – 24

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT BAMBU PADA PLAFON GIPSUM DENGAN PEREKAT POLISTER

Tiang Eko Sukoko, Sutikno, 25 – 33

PENERAPAN SAMBUNGAN MEKANIS (METODE PEMBAUTAN) PADA BALOK DENGAN PERLETAKAN SAMBUNGAN $\frac{1}{2}$ PANJANG BALOK DITINJAU DARI KUAT LENTUR BALOK

Hehen Suhendi, Sutikno, 34 – 38

STUDI KELAYAKAN EKONOMI DAN FINANSIAL RENCANA PELEBARAN JALAN TOL WARU-SIDOARJO

Reynaldo B. Theodorus Tampang Allo, Mas Suryanto HS, 39 – 48

PENGARUH SUBSTITUSI *FLY ASH* DAN PENAMBAHAN SERBUK CANGKANG KERANG DARAH PADA KUALITAS GENTENG BETON

Mohamad Ari Permadi, Sutikno, 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 SUDUT PEMOTONGAN PROFIL (\emptyset) TERHADAP KEKUATAN LENTUR *CASTELLATED BEAM* PADA BUKAAN RHOMB (RHOMB) UNTUK STRUKTUR BALOK

Muhammad Irfan Yasin, Suprpto, 308 - 315

PENGARUH SUDUT PEMOTONGAN PROFIL (\emptyset) TERHADAP KEKUATAN LENTUR CASTELLATED BEAM PADA BUKAAN RHOMB (*RHOMB*) UNTUK STRUKTUR BALOK

Muhammad Irfan Yasin

Program Studi S1- Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
e-mail : irfanyas0@gmail.com

Suprpto

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

Abstrak

Inovasi dalam pembuatan dan pemakaian *castellated beam* terus berkembang. Di Indonesia sendiri sudah ada salah satu pembuat *castellated beam* yang membuat *castellated beam* dengan bukaan segi enam dan segi delapan. Bentuk lubang dengan sisi bersudut lainnya seperti bentuk belah ketupat (*rhomb*) sangat jarang sekali ditemukan di pasaran. Sudut pemotongan profil diteliti untuk membuktikan benar atau tidaknya sudut pemotongan yang biasa digunakan di lapangan yaitu antara sudut 45° - 60° . Semakin kecil sudut pemotongan profil (\emptyset) momen inersia yang dihasilkan semakin besar. Sehingga semakin landai sudut pemotongan profil pada *castellated beam* maka akan semakin kaku dan meningkatkan kuat lentur dari *castellated beam*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sudut pemotongan profil (\square) *castellated beam* bukaan belah ketupat yang optimal untuk menahan kekuatan lentur.

Penelitian ini adalah penelitian uji laboratorium dengan memakai model *castellated beam* bukaan belah ketupat (*rhomb*) dan digunakan benda uji profil WF 150.75.5.7. Metode penelitian untuk mengetahui pengaruh *castellated beam* jika beban diletakkan di tengah bentang pada penampang tidak berlubang dan sudut pemotongan profil (\emptyset) yang berbeda-beda yaitu $\emptyset=65^{\circ}$, $\emptyset=60^{\circ}$, $\emptyset=55^{\circ}$, $\emptyset=50^{\circ}$, $\emptyset=45^{\circ}$ untuk struktur balok. Hasil analisis yang nantinya akan didapatkan yaitu momen, tegangan, dan pola runtuh.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh sudut pemotongan profil (\square) pada benda uji *castellated beam*. Optimalisasi *castellated beam* bila ditinjau dari momen didapat sudut pemotongan ($\emptyset=60^{\circ}$). Sedangkan jika ditinjau dari tegangan, sudut pemotongan ($\emptyset=60^{\circ}$) yang paling optimal. Namun dari hasil pola runtuh yang terjadi, sudut pemotongan ($\emptyset=65^{\circ}$) yang paling optimal. Terdapat indikasi buckling pada setiap benda uji sehingga harus diambil optimalnya, agar tidak terjadi kerusakan buckling yang lebih besar. Maka disarankan menggunakan sudut pemotongan profil (\emptyset) tidak melebihi sudut pemotongan optimal ($\emptyset=60^{\circ}$). Berdasarkan uraian diatas benda uji dengan sudut pemotongan ($\emptyset=60^{\circ}$) yang paling optimal. Hal ini ditunjukkan dari hasil analisis pada pembahasan momen, tegangan, kontrol geser, dan pola runtuh yang terjadi.

Kata kunci : buckling, *castellated beam*, sudut pemotongan profil (\emptyset), momen inersia

Abstract

The innovation of *castellated beam* is being developed. There was a construction company which makes *castellated beam* with slit shaped hexagon and octagon. The slit with another angle side such as *rhomb* shaped are very rare. The profile cutting angle was being observed to establish the proof of cutting's angle in the field which 45° - 60° . The smaller of profile cutting angle, the inertia moment occurred is bigger. Therefore, the more slightly the profile cutting angle of *castellated beam* is the stiffer and it will increase the flexibility's strength of *castellated beam*. This research was conducted to establish the effect of profile cutting's angle of *castellated beam* toward the flexibility's strength, tension, and the decay pattern.

. This research is a laboratory's research, the researcher applied *castellated beam* with *rhomb* slit model with specimen WF 150.75.5.7. The research method was to determine the effect of *castellated beam* when the load was placed at mid-span on a cross-section with no slit and different profile cutting's angle. The cutting's

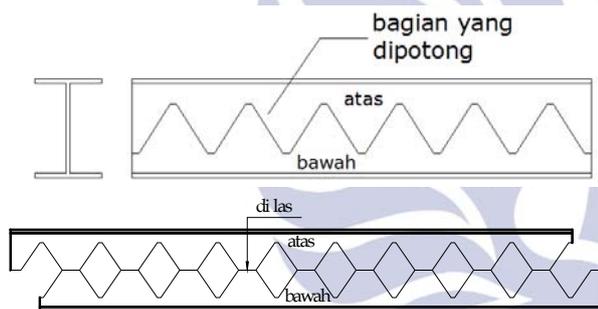
angle were $\varnothing=65^\circ$, $\varnothing=60^\circ$, $\varnothing=55^\circ$, $\varnothing=50^\circ$, $\varnothing=45^\circ$ for the beam structure. The result of the analysis was about the moment, tension, and decay pattern.

The result of this research showed that there is an effect of profile cutting's angle toward the specimen of castellated beam. The castellated beam optimum observed from the moment had cutting angle ($\varnothing=60^\circ$) while observed by tension, the optimum cutting's angle was ($\varnothing=65^\circ$). There was a buckling indication toward the specimen. Therefore the optimal should be taken so that the buckling damaged was not bigger thus being suggested to use profile cutting's angle which is not more than optimum angle ($\varnothing=60^\circ$). Based on the explanation above, the specimen with angle's cutting ($\varnothing=60^\circ$) is the optimum. It is showed from the analysis result in the discussion of moment, tension, shear control, and decay pattern which was happening.

Keywords : buckling, castellated beam, angle cutting profile, 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 kastella memiliki besar sudut kemiringan (\varnothing) antara 45° sampai 70° , sedangkan yang sering dipakai di lapangan adalah 45° dan 60° . Sudut (\varnothing) ditentukan dengan memperhitungkan tegangan geser yang terjadi pada bagian garis netral badan sehingga tidak melebihi tegangan ijinnya. Jarak (e) bervariasi

sesuai dengan tegangan geser yang bekerja. Untuk sudut (\varnothing) pemotongan profil castellated beam di lapangan sendiri belum pernah dikaji secara spesifik.

Berdasarkan hal diatas, serta dari beberapa jurnal terkait dengan balok castellated beam, belum disebutkan adanya pengaruh sudut potongan profil (\varnothing) terhadap lendutan. Oleh sebab itu, penulis berencana melakukan penelitian baja kastela untuk mengetahui optimalisasi kekuatan castella ditinjau dari pengaruh sudut potongan profil (\varnothing) kaitannya dengan daerah tekan (dt) dan kekuatan lentur profil baja itu sendiri.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan sudut potongan profil (\varnothing) balok *castella* bukaan belah ketupat menggunakan baja WF 150.75.5.7 dengan tinggi potongan 65 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)

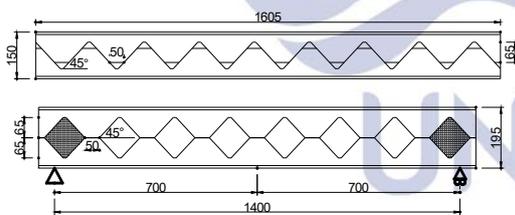
Ada beberapa kegagalan pada profil *castellated beam* antara lain : *Formation Virendeel* atau *Shear Machanism*, pada lubang dapat merubah bentuk bagian T (*tee section*) menjadi bentuk seperti jajar genjang (*parallelogram*) (Altifillisch, 1957 Toprac dan Cook, 1959). *Flexural Mechanism*, titik leleh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

METODE PENELITIAN

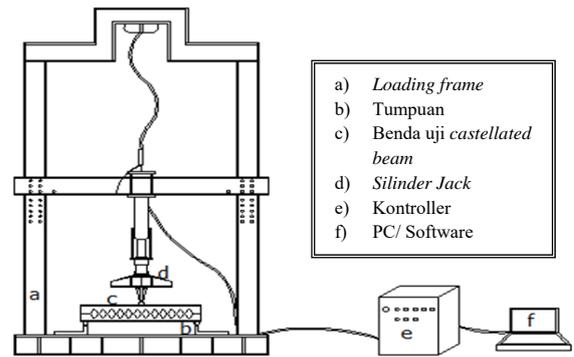
Lingkup penelitian baja *castella* ini yaitu menganalisis permasalahan yang dibatasi oleh model baja *castella* dengan bukaan belah ketupat. Perencanaan baja *castella* hanya terbatas pada sudut pemotongan profil (\emptyset) yang berbeda-beda untuk setiap benda ujinya. Penelitian ini adalah penelitian 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 sudut pemotongan profil (\emptyset) dimana terdapat lima benda uji dengan ketetapan yang berbeda-beda yaitu $\emptyset=65^\circ$, $\emptyset=60^\circ$, $\emptyset=55^\circ$, $\emptyset=50^\circ$, $\emptyset=45^\circ$. Tahapan pembuatan *castellated beam* bukaan belah ketupat 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

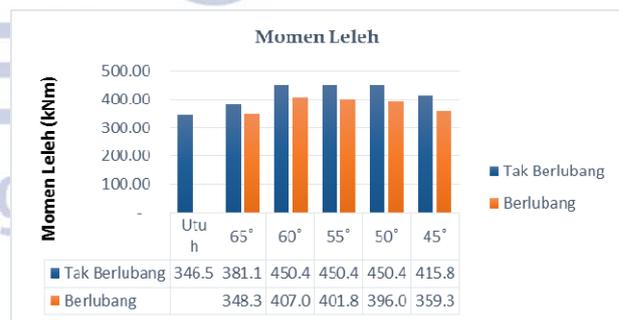
HASIL DAN PEMBAHASAN

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. Perhitungan momen lentur (kondisi leleh) dapat dilihat di bawah ini:

Sudut Pot. Profil (\emptyset)	Jarak Antar Tumpuan (mm)	Tinggi (dg) (mm)	Beban (P) (kN)	Momen Teori		Momen Eksperimen	
				Tak Berlubang (kNm)	Berlubang (kNm)	Tak Berlubang (kNm)	Berlubang (kNm)
Utuh	1400	150	990	355.28		346.50	
45°	1400	195	1188	494.41	424.46	415.80	359.37
50°	1400	190	1287	500.27	437.13	450.45	396.05
55°	1400	186	1287	467.69	414.27	450.45	401.86
60°	1400	181	1287	448.34	407.00	450.45	407.00
65°	1400	171	1089	411.09	366.92	381.15	348.31

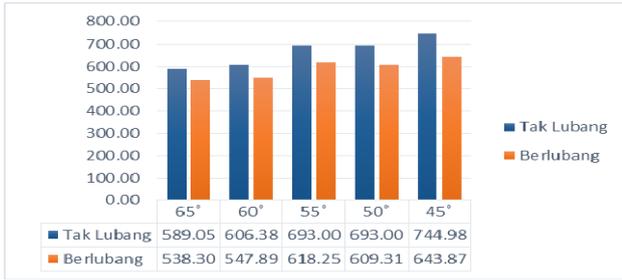
Gambar 4. Tabel perbandingan momen leleh teori dan eksperimen pada penampang tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*



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

Dari Gambar 5 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 $\emptyset=60^\circ$ memiliki nilai momen leleh eksperimen terbesar dan juga

memiliki arti mempunyai kapasitas momen lentur terbesar yaitu 407 kNm pada bagian tidak berlubang dan 450,4 kNm pada bagian berlubang.



Gambar 6. Grafik perbandingan momen runtuh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

Berdasarkan Gambar 6 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 dihindarkan pada penampang lubang. Hasil perhitungan *castellated beam* kondisi runtuh menunjukkan bahwa nilai momen runtuh terbesar pada benda uji $\varnothing=45^\circ$ memiliki nilai momen runtuh eksperimen tidak berlubang sebesar 744,98 kNm dan 643,87 kNm pada bagian berlubang.

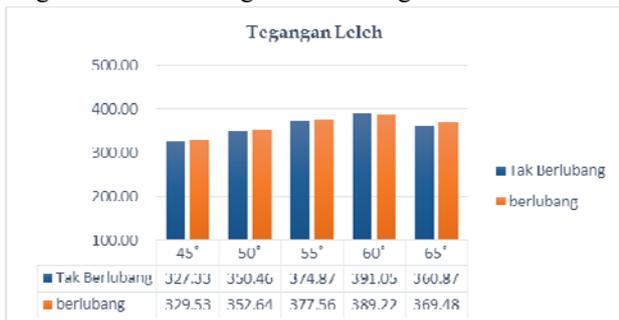
Analisis Tegangan Castellated Beam

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.

Data penelitian sebagai berikut:

Sudut Pot. Profil (°)	Jarak Antar Tumpuan (mm)	Tinggi (dg) (mm)	Beban (P) (kN)	Tegangan Teori		Tegangan Eksperimen	
				Tak Berlubang	Berlubang	Tak Berlubang	Berlubang
Utuh	1400	150	990	389.22		379.60	
45°	1400	195	1188	389.22	389.22	327.33	329.53
50°	1400	190	1287	389.22	389.22	350.46	352.64
55°	1400	186	1287	389.22	389.22	374.87	377.56
60°	1400	181	1287	389.22	389.22	391.05	389.22
65°	1400	171	1089	389.22	389.22	360.87	369.48

Gambar 7. Tabel perbandingan tegangan leleh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

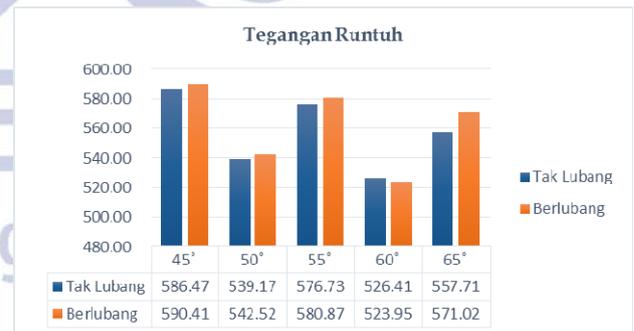


Gambar 8. Grafik perbandingan tegangan leleh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

Dari Gambar 8 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 $\varnothing=60^\circ$ sebesar $391,05 \text{ N/mm}^2$ pada bagian tidak berlubang dan benda $\varnothing=60^\circ$ sebesar $389,22 \text{ N/mm}^2$ pada bagian berlubang.

Sudut Pot. Profil (°)	Jarak Antar Tumpuan (mm)	Tinggi (dg) (mm)	Beban (P) (kN)	Tegangan Teori		Tegangan Eksperimen	
				Tak Berlubang	Berlubang	Tak Berlubang	Berlubang
Utuh	1400	150	1683	560.58		645.31	
45°	1400	195	2129	565.72	560.58	586.47	590.41
50°	1400	190	1980	564.89	548.20	539.17	542.52
55°	1400	186	1980	565.48	535.67	576.73	580.87
60°	1400	181	1733	564.58	518.34	526.41	523.95
65°	1400	171	1683	564.21	516.15	557.71	571.02

Gambar 9. Tabel perbandingan tegangan runtuh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*



Gambar 10. Tabel perbandingan tegangan runtuh eksperimen bagian tidak berlubang dan berlubang *castellated beam*

Gambar 10 menunjukkan nilai tegangan runtuh tertinggi terletak pada benda uji $\varnothing=45^\circ$ sebesar $586,47 \text{ N/mm}^2$ pada bagian tidak berlubang dan $590,41 \text{ N/mm}^2$ pada bagian berlubang. Dalam hal ini memiliki arti benda uji

$\phi=45^\circ$ 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

Sudut Pot. Profil (ϕ)	Jarak Antar Tumpuan (mm)	Tinggi (dg) (mm)	Beban (P) (kN)	Vu	Vn	Vn - Vu	Kontrol Geser
Utuh	1400	150	990	495.00	711.96	216.96	AMAN
45°	1400	195	1188	594.00	843.62	249.62	AMAN
50°	1400	190	1287	643.50	812.93	169.43	AMAN
55°	1400	186	1287	643.50	779.23	135.73	AMAN
60°	1400	181	1287	643.50	763.34	119.84	AMAN
65°	1400	171	1089	544.5	738.81	194.31	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

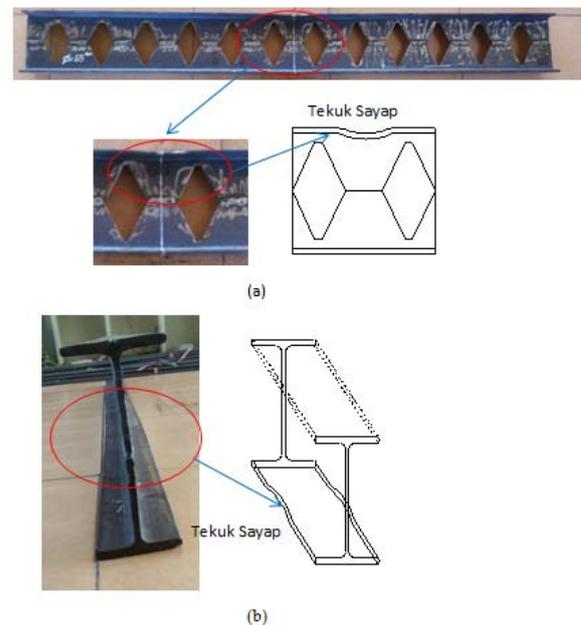
Sudut Pot. Profil (ϕ)	Jarak Antar Tumpuan (mm)	Tinggi (dg) (mm)	Beban (P) (kN)	Vu	Vn	Vn - Vu	Kontrol Geser
Utuh	1400	150	990				
45°	1400	195	1188	594.00	428.73	-165.27	TIDAK AMAN
50°	1400	190	1287	643.50	431.13	-212.37	TIDAK AMAN
55°	1400	186	1287	643.50	406.22	-237.28	TIDAK AMAN
60°	1400	181	1287	643.50	393.51	-249.99	TIDAK AMAN
65°	1400	171	1089	544.5	368.96	-175.54	TIDAK 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

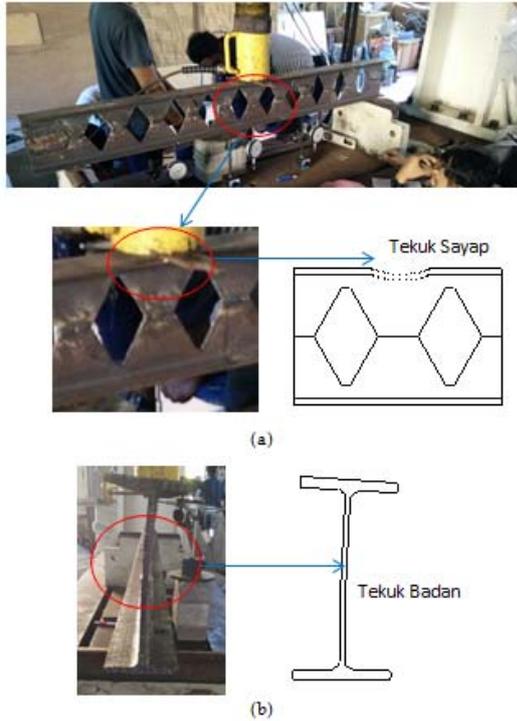
sebelum baja mengalami putus juga berpengaruh sehingga tidak terjadi keruntuhan geser pada benda uji.

Pola Runtuh Benda Uji

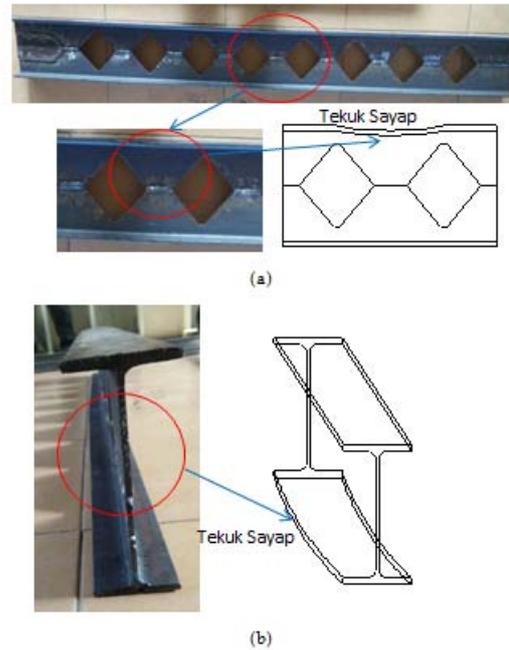
Sesuai dengan teori, ada beberapa jenis kerusakan atau pola runtuh dari profil castellated beam. Diantaranya berupa rusak geser, buckling, dan putusnya las yang disebabkan oleh beberapa faktor berbeda. Berdasarkan hasil pengujian lima benda uji castellated beam bukaan lingkaran dengan lebar pemotongan 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:



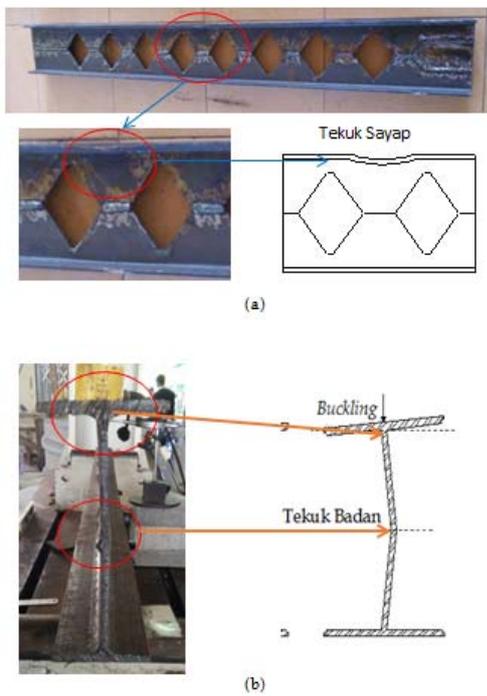
Gambar 11. Pola runtuh benda uji 1 ($\phi=65^\circ$) setelah pengujian (a) pola runtuh pada tengah bentang; (b) benda uji tampak samping



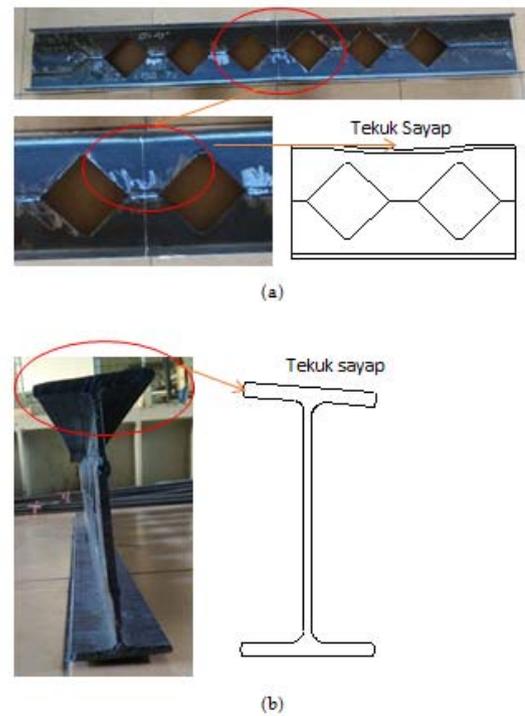
Gambar 12. Pola runtuh benda uji 2 ($\varnothing=60^\circ$) setelah pengujian (a) pada tengah bentang; (b) tampak samping



Gambar 14. Pola runtuh benda uji 4 ($\varnothing=50^\circ$) setelah pengujian (a) pada tengah bentang; (b) tampak samping;



Gambar 13. Pola runtuh benda uji 3 ($\varnothing=55^\circ$) setelah pengujian (a) pola runtuh pada tengah bentang; (b) tampak samping;



Gambar 15. Pola runtuh benda uji 5 ($\varnothing=45^\circ$) setelah pengujian (a) pada tengah bentang; (b) tampak samping

Berdasarkan foto hasil dokumentasi benda uji 1 ($\varnothing = 65^\circ$) dan benda uji 3 ($\varnothing = 55^\circ$) terjadi indikasi *buckling* dengan terlihat adanya tekuk pada bagian badan. Sesuai dengan teori yang ada bahwa web atau badan yang terlalu tipis, mudah mengalami *buckling*. Dengan bertambahnya tinggi sudut pemotongan profil, maka akan menimbulkan potensi *buckling* semakin tinggi juga. Hal ini dibuktikan pada benda uji dengan sudut pemotongan profil 65° mengalami tekuk terlebih dahulu sebelum mencapai beban (P) pada kondisi runtuh. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi sudut pemotongan profil, kemungkinan mengalami tekuk semakin besar karena sisa luas penampang pada area berlubang sangat kecil dengan semakin bertambahnya sudut potongan.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

1. Berdasarkan hasil penelitian menunjukan bahwa pada momen leleh eksperimen tidak berlubang maupun berlubang dari benda uji utuh sampai benda uji ke- 4 ($\varnothing = 60^\circ$) mengalami peningkatan kekuatan dan cenderung mengalami penurunan dari benda uji ke- 5 ($\varnothing = 65^\circ$). 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. Momen leleh eksperimen yang paling besar yaitu pada benda uji dengan sudut pemotongan 60° sehingga jika ditinjau dari momen leleh benda uji dengan sudut pemotongan 60° yang paling optimal.
2. Berdasarkan hasil penelitian menunjukan bahwa nilai momen runtuh eksperimen lebih besar dibandingkan dengan momen runtuh teori. Hal ini dibuktikan pada benda uji 3 ($\varnothing = 55^\circ$) dan benda uji 5 ($\varnothing = 45^\circ$). Hal ini menunjukan bahwa, pada kondisi runtuh beban sudah terdistribusi merata keseluruhan penampang baja. Namun, yang membedakan kondisi leleh dan runtuh adalah terjadi indikasi *buckling*. Apabila ditinjau dari indikasi *buckling*, semakin tinggi sudut pemotongan *castellated beam* maka indikasi terjadinya *buckling* semakin besar. Sehingga *castellated beam* masih memiliki kekuatan dan kekakuan yang diharapkan. Momen runtuh yang paling besar terjadi pada benda uji dengan sudut pemotongan 45° dan 55° , sehingga jika ditinjau dari momen runtuh sudut pemotongan 45° dan 55° adalah yang paling optimal.
3. Berdasarkan hasil penelitian menunjukan bahwa tegangan leleh eksperimen tidak berlubang maupun berlubang menghasilkan tegangan leleh eksperimen lubang lebih besar. Hal ini diakibatkan karena momen inersia lubang lebih kecil, sehingga tegangan dihasilkan besar. Karena tegangan berbanding terbalik dengan momen inersia. Sehingga tegangan leleh eksperimen lubang yang dihasilkan lebih besar dibandingkan tidak lubang. Namun, apabila dibandingkan dengan tegangan profil WF utuh tidak dibentuk *castellated beam* menunjukan bahwa nilai tegangan leleh eksperimen lubang lebih besar dibandingkan profil WF utuh. Tegangan leleh pada benda uji dengan sudut pemotongan 60° adalah yang paling besar sehingga benda uji ini merupakan sudut pemotongan yang optimal.
4. Berdasarkan hasil penelitian menunjukan bahwa tegangan runtuh eksperimen lubang lebih besar dibandingkan tidak lubang. Kondisi tersebut mengakibatkan tegangan (f_{cr}) lebih kecil daripada tegangan lelehnya (f_y), maka balok akan cepat rusak dan mengalami *buckling*. Sama halnya dengan tegangan runtuh eksperimen lubang lebih besar dibandingkan tidak lubang. Maka pada penampang tidak lubang akan mengalami *buckling* pada sayap maupun badan. Tegangan runtuh yang paling besar terjadi pada benda uji dengan sudut pemotongan 45° , sehingga sudut pemotongan 45° jika ditinjau dari tegangan runtuh adalah yang optimal.
5. Berdasarkan hasil penelitian ditinjau dari kontrol kuat geser menunjukan bahwa pada penampang tidak lubang dan lubang tidak terjadi rusak geser atau patahan. Hal ini dibuktikan pada dokumentasi benda uji. Sehingga kerusakan yang terjadi pada benda uji merupakan rusak *buckling*. Selisih control kuat geser terkecil yaitu pada benda uji dengan sudut pemotongan 60° , sehingga benda uji dengan sudut pemotongan ini yang optimal.
6. Berdasarkan hasil penelitian ditinjau dari pola runtuh menunjukan bahwa kerusakan terbesar terdapat pada benda uji 6 ($\varnothing = 65^\circ$) mengalami tekuk sayap sebelah kiri dan tekuk badan pada penampang tidak berlubang, maka semakin tinggi indikasi *buckling*. Sehingga pada benda uji 6 ($\varnothing = 65^\circ$) termasuk kegagalan profil yang mengakibatkan berubahnya bentuk profil pada sayap tekan dan pelat badan yang disebut *local buckling* (tekuk local). Pola keruntuhan pada seluruh benda uji yang paling kecil mengalami kerusakan yaitu pada benda uji dengan sudut pemotongan 45° , sehingga sudut pemotongan ini adalah yang optimal

SARAN

1. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk memperkuat benda uji dengan memberi pengaku dan penguatan pengelasan pada *castellated beam* bukaan belah ketupat (*rhomb*) untuk mengantisipasi terjadinya rusak *buckling*.
2. Pada penelitian berikutnya sebaiknya pembacaan data pada saat pengujian di Lapangan harus lebih teliti dan konsentrasi, agar tidak terjadi kesalahan pada saat pembacaan.
3. Penelitian selanjutnya disarankan supaya mempelajari terlebih dahulu sistem kerja alat uji lentur dan alat uji tarik, sehingga tidak terjadi kesalahan pada saat pengujian.
4. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk setiap pengujian selalu dikontrol kelurusan dari benda uji menggunakan *waterpass*. Agar beban dapat mencapai kondisi optimal, sebelum terjadi kerusakan dari benda uji.
5. Pada penelitian selanjutnya melaksanakan penelitian yang sejenis dengan variable 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 belah ketupat (*rhomb*).
6. Pada penelitian berikutnya 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.

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 Lendutan*. 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.