



Analisa Efisiensi Desain antara Balok Kastela dengan Balok Konvensional (Studi Kasus: *Workshop Smelter Tanjung Uncang*)

Bernard Hocking

Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil FTSP Universitas Internasional Batam

[*bernardhocking1998@gmail.com](mailto:bernardhocking1998@gmail.com)

Abstract

The demand for cheap and strong structure has been a norm for builders especially for steel construction. Steel construction is commonly used in building industrial workshop since it is easy to assemble in a limited time and stronger than concrete in terms of expansive length. Yet, the option of using conventional beam backfires in terms of the cost needed for the construction. This study uses an on-going construction at Tanjung Uncang for the analysis of design efficiency. In this study, data is acquired through direct observation on site. After the data is acquired, the data is analyzed and being calculated. Structural Engineering is exercised on this study. With the given loads and load cases according to SNI 1727-2013, the structural analysis is carried out by using ETABS. The analysis results are used to design the castellated beam according to AISC Castellated and Cellular Beam Design and then analyzing the efficiency between castellated beam and conventional beam. The cost efficiency of using castellated beam compared to conventional beam in this project is 8.43%. While the volume efficiency of using castellated beam compared to conventional beam in this project is 17.58%. As for the strength ratio of castellated beam B2 and B3 are 0.345 and 0.907, respectively. While as for conventional beam the strength ratio of B2 and B3 are 0.933 and 0.768, respectively. The design of castellated beam on B2 is much stronger than conventional beam, but the design of conventional beam on B3 is much stronger than castellated beam. Although the efficiency on cost is unappealing, castellated beam can be implemented for the installation of MEP works through the opening of the castellated beam.

Keywords : castellated beam, conventional beam, analysis, design, efficiency

Abstrak

Permintaan untuk membangun sebuah bangunan yang kuat namun murah merupakan sebuah hal yang sering terjadi kepada kontraktor. Konstruksi baja biasanya digunakan pada bangunan industrial seperti gudang atau bengkel beserta bangunan yang mempunyai sifat memfasilitasi kegiatan industrial. Kelebihan konstruksi baja adalah mudahnya untuk ereksi bangunan sehingga menggunakan waktu yang singkat, dan juga lebih kuat daripada beton pada bentangan yang sangat besar. Namun, biaya dalam konstruksi baja lebih besar daripada konstruksi beton. Pada penulisan ini, digunakan proyek perkembangan area peleburan timah pada Tanjung Uncang. Dalam pelaksanaan penelitian ini, dilakukan pengambilan data di lapangan beserta observasi langsung pada lapangan. Setelah data tersebut diperoleh, data tersebut akan dianalisa dan dihitung. *Structural Engineering* diterapkan pada penulisan ini. Dengan pembebanan dan kasus pembebanan yang ada sesuai dengan SNI 1727-2013, struktur tersebut akan dianalisa dengan bantuan program *ETABS* dan hasil dari pembebanan akan dimasukkan ke dalam perhitungan desain balok kastela sesuai dengan *AISC Castellated and Cellular Beam Design*. Hasil analisa tersebut akan digunakan dalam menganalisa dan membandingkan efisiensi antara balok kastela dengan balok konvensional. Efisiensi biaya menggunakan balok kastela dibandingkan dengan balok konvensional pada proyek ini sebesar 8.43%. Sedangkan efisiensi volume menggunakan balok kastela dibandingkan dengan balok konvensional pada proyek ini sebesar 17.58%. Untuk rasio kekuatan dari balok kastela B2 dan B3 adalah 0.345 dan 0.907 pada masing-masing profil, sedangkan untuk balok konvensional B2 dan B3 adalah 0.933 dan 0.768 pada masing-masing profil. Walaupun efisiensi pada biaya tidak menarik, namun balok kastela bisa berfungsi lebih efisien karena pekerjaan MEP bisa melalui bukaan dari balok kastela.

Kata kunci : balok kastela, balok konvensional, analisa, desain, efisiensi.

1. Pendahuluan

Konstruksi baja merupakan metode konstruksi yang sering digunakan pada fungsi bangunan industrial. Alasan mengapa konstruksi baja sering digunakan sebagai metode pembangunan *workshop* karena memiliki waktu pemasangan yang lebih singkat dan lebih kuat daripada beton. Namun kekurangan konstruksi baja adalah membutuhkan dana yang besar

untuk membangun struktur baja. Efisiensi struktur merupakan sebuah petunjuk kepada seorang *engineer* untuk menentukan apakah desain tersebut wajar terhadap kualitas dan biaya. [1] Penelitian tersebut membahas perbandingan efisiensi desain antara balok kastela dengan balok konvensional. Profil bukaan yang digunakan pada balok kastela adalah bukaan heksagonal. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk merancang bangunan yang lebih kuat dan menghitung efisiensi dari desain balok kastela. Maksud dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu perencanaan balok rafter atap sesuai dengan pembebanan dan peraturan yang berlaku dalam pembangunan struktur baja di Indonesia beserta desain baja balok kastela yang sesuai dengan standar *AISC*. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa perbandingan efisiensi desain balok rafter konvensional dengan balok rafter kastela dalam segi kekuatan, biaya dan volume. Rumusan masalah pada penulisan ini adalah mendesain bangunan *workshop smelter* lebih kuat daripada struktur yang telah didesain dan efisiensi desain antara balok kastela dengan balok konvensional.

2. Tinjauan Pustaka

Balok kastela adalah sebuah tipe balok baja dimana profil baja ditingkatkan ketinggian profilnya dengan cara memotong *web* profil baja tersebut untuk membentuk sebuah pola lubang pada *web* profil baja. Pabrikasi balok kastela dikerjakan dengan *cutting torch* yang dioperasikan oleh komputer untuk membentuk pola *zigzag* sepanjang *web* profil baja. Setelah dipotong dan dicetak, sisa dari ujung balok akan dibuang dan potongan yang telah disusun rapi menjadi sebuah *section* bukaan akan dilas secara penuh. [2]

Menurut Hayati [3], kelebihan dari balok kastela adalah sebagai berikut:

1. Dengan ketinggian profil ditingkatkan, menghasilkan momen inersia dan *modulus section* yang lebih besar sehingga lebih kuat beserta kaku dibandingkan dengan balok konvensional.
2. Momen yang dihasilkan besar.
3. Bahannya ringan, kuat, serta mudah dipasang.

Menurut Zirakian & Shokati [4], kelebihan dari balok kastela adalah sebagai berikut:

1. Dengan ketinggian profil yang ditingkatkan, menghasilkan momen inersia, daktilitas, kekakuan dan gaya lentur yang tinggi dibandingkan dengan balok konvensional.
2. Dengan berkurangnya berat balok akan berpengaruh terhadap pembebanan terhadap struktur.
3. Bukaan dari balok kastela bisa digunakan untuk pekerjaan MEP (*Mechanical Electrical Plumbing*).

Sedangkan untuk kekurangan dari balok kastela, adalah:

1. Pada ujung-ujung bentang terjadi peningkatan pemusatan tegangan.
2. Balok kastela tidak sesuai untuk bentang pendek dengan beban yang cukup berat.
3. Analisa dan defleksi lebih rumit daripada balok konvensional dan deformasi akibat gaya geser terjadi di penampang T (*tee section*).

Menurut Zirakian & Shokati, kekurangan dari balok kastela adalah sebagai berikut:

1. Balok kastela tidak cocok untuk menahan beban terpusat.
2. Perhitungan kekuatan struktur lebih kompleks daripada balok konvensional.
3. Kapasitas menahan beban aksial berkurang.
4. Biaya produksi balok kastela lebih tinggi daripada balok konvensional.

2.1. Perencanaan Pembebanan

Untuk merencanakan kekuatan suatu bangunan, diperlukan beban sehingga struktur tersebut bisa berfungsi. Beban disebabkan oleh aktivitas baik oleh kegiatan manusia maupun efek lingkungan pada struktur. Pembebanan pada bangunan harus sesuai dengan fungsi bangunan sehingga mencapai efisiensi desain dan menghemat biaya pembangunan struktur. Namun dalam operasional struktur, struktur tersebut tidak boleh melebihi fungsinya sehingga bisa menyebabkan kegagalan struktur. Untuk menanggulangi masalah tersebut, *engineer* dalam



merencanakan struktur akan mengaplikasikan faktor keamanan sehingga masih bisa menampung beban yang berlebih. Pada dasarnya, untuk bangunan *workshop* baja memerlukan perhitungan beban mati, beban hidup, beban hidup atap, dan beban angin. Dikarenakan Batam merupakan daerah yang tidak pernah dilanda gempa skala besar, maka beban gempa diabaikan dalam perencanaan. Untuk kombinasi yang dipakai pada perencanaan, ditinjau dari SNI 1727:2013 dengan kombinasi yang dipakai adalah:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6Lr + 0,5W$

Dalam perencanaan rafter atap hanya diperlukan beban mati (D), beban hidup atap (Lr), dan beban angin (W).

2.2. Perencanaan Balok Kastela

Berpacu kepada *AISC Castellated and Cellular Beam Design*, dengan adanya bukaan pada balok baja ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan:

1. Kekompakan profil baja dan *local buckling*
2. Kekuatan lentur balok
3. *Vierendeel bending* pada penampang T
4. *Buckling* pada *web*
5. Tekanan dan tegangan aksial
6. Gaya geser horizontal dan vertikal
7. *Lateral-torsional buckling*

Untuk profil bukaan balok kastela akan dilakukan *trial and error* dimana bukaan tersebut akan ditentukan oleh *engineer* dan diperiksa dengan ketentuan yang ada.

3. Metode Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, dilakukan pengambilan data di lapangan beserta observasi langsung pada lapangan. Setelah data tersebut diperoleh, data tersebut akan dianalisa dan dihitung.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Metode Observasi

Metode observasi merupakan cara pengumpulan data dimana data dikumpulkan secara pengamatan langsung dan dicatat secara sistematis terhadap obyek yang diteliti. Objek yang diobservasi berupa jenis kolom dan balok baja beserta komponen struktur lainnya yang digunakan di lokasi.

- Metode Literatur

Metode literatur atau kepastakaan berupa cara pengumpulan data dimana data dikumpulkan dari membaca buku-buku dan literatur yang berkaitan dengan topik beserta permasalahan dalam penelitian ini. Data yang diperoleh dari metode tersebut adalah cara pengolahan data yang berupa rumus-rumus untuk menghitung profil balok kastela.

Data teknis untuk struktur baja *Workshop Smelter* Tanjung Uncang:

- Fungsi bangunan industri
- Total area struktur 2448 m^2
- Tinggi struktur 13,88 m
- Bentangan *tie beam* 6 m
- Panjang rafter 18 m (B2), 12 m (B3)
- Mutu baja ST-37
- $F_y = 240 \text{ MPa}$

Untuk peraturan-peraturan dan standar perencanaan balok kastela, antara lain:

- Pedoman dari *AISC – AISC Steel Design Guide 31 Castellated and Cellular Beam Design*

- SNI 1727:2013 untuk aturan pembebanan

3.1. Tahap-Tahap Penelitian

- *Preliminary Design*

Preliminary design merupakan proses dari pembuatan konsep dan *modelling* struktur. Pada tahap ini, profil baja kolom dan balok beserta rafter atap akan didesain sesuai dengan kaidah yang berlaku.

- Analisa Pembebanan

Analisa pembebanan sesuai dengan pembebanan minimal yang dicantumkan pada SNI 1727:2013.

- Analisa Struktur

Analisa struktur akan dibantu oleh aplikasi *ETABS* dengan pembebanan yang telah ditentukan sebelumnya. Gaya dan momen yang telah dianalisa akan digunakan pada perhitungan balok kastela pada rafter atap.

- Kontrol Desain

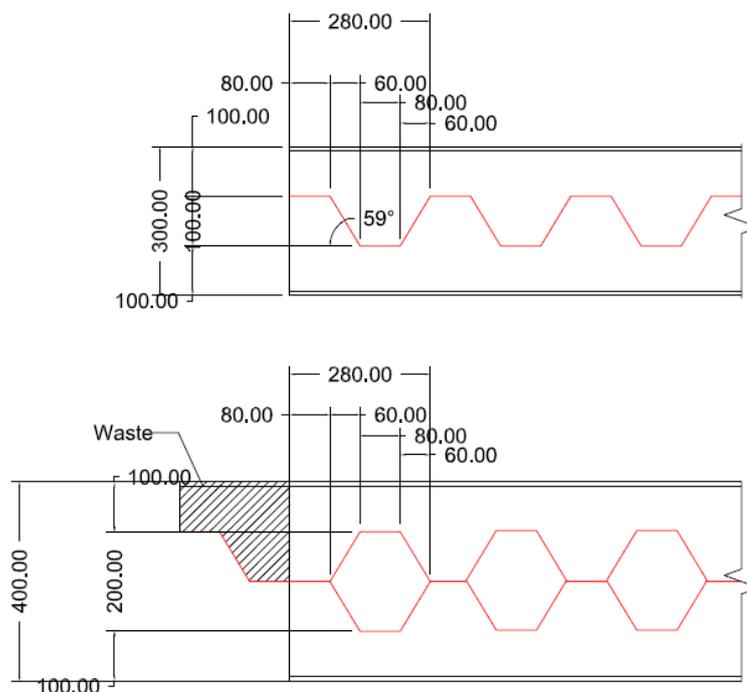
- Desain balok kastela akan diperhitungkan sesuai dengan *AISC Steel Design Guide 31 Castellated and Cellular Beam Design* beserta balok konvensional sesuai dengan SNI 1729:2015.

- Analisa Efisiensi

Dari hasil desain balok kastela dan balok konvensional, efisiensi secara kekuatan beserta volume dan biaya akan diperhitungkan.

4. Hasil dan Pembahasan

Profil balok kastela pada B2 dan B3 akan ditentukan ukuran bukaannya sesuai dengan kaidah yang telah dijelaskan dalam *AISC Steel Design Guide 31 Castellated and Cellular Beam Design*.

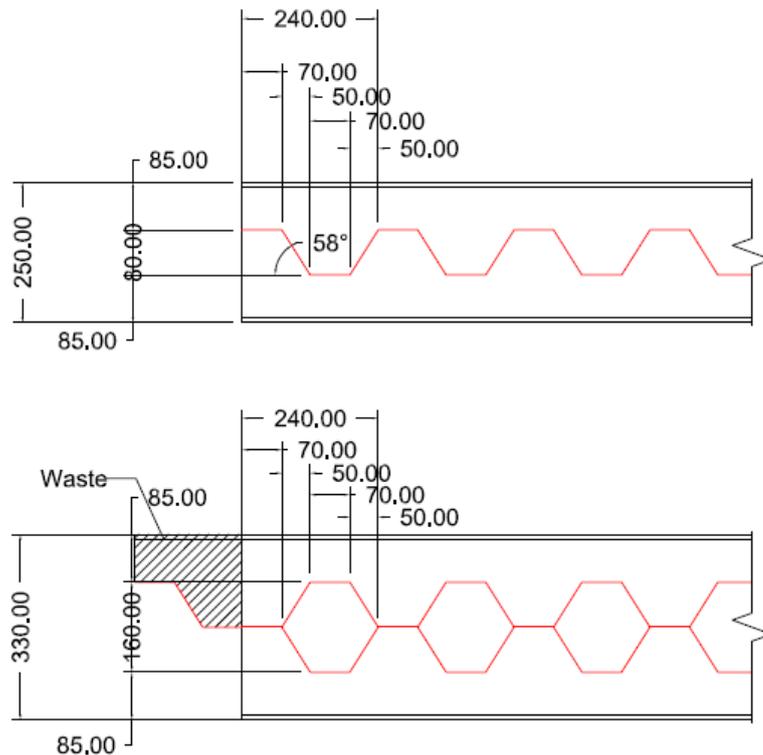


Gambar 4.1 Gambar potongan balok kastela B2

Sumber: AutoCAD

Pada desain awal, balok rafter atap B2 menggunakan profil IWF 350x175, 49,6 kg/m. Profil tersebut berupa balok konvensional. Sebagai pengganti balok B2, dirancang balok kastela dari profil IWF 300x150, 41,4 kg/m dengan ukuran tinggi bukaan heksagonal sebesar 200 mm, lebar bukaan heksagonal sebesar 200 mm, dan jarak antar bukaan heksagonal sebesar 80 mm.

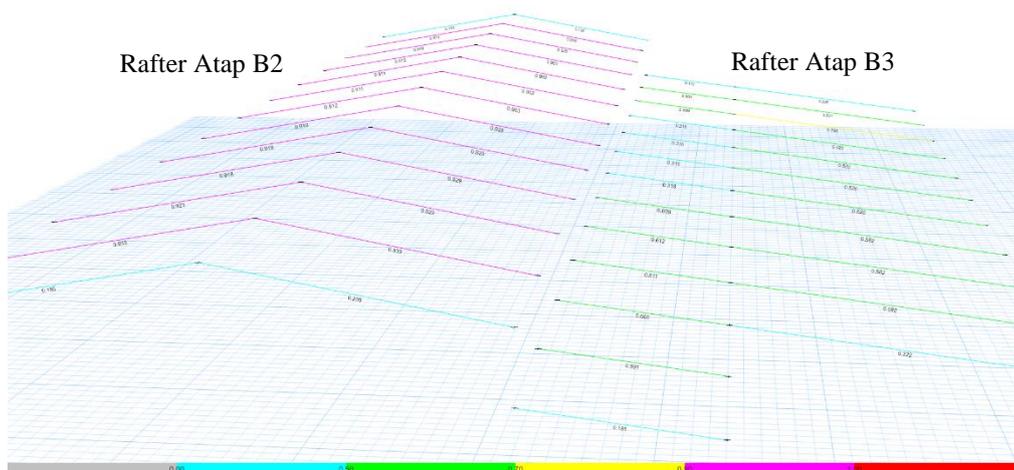
Sehingga balok kastela B2 mempunyai profil serupa dengan IWF 400x150 namun dengan spesifikasi ketebalan web dan *flange* seperti IWF 300x150, 41,4 kg/m.



Gambar 4.2 Gambar potongan balok kastela B3
Sumber: AutoCAD

Pada desain awal, balok rafter atap B3 menggunakan profil IWF 300x150, 36.7 kg/m. Profil tersebut berupa balok konvensional. Sebagai pengganti balok B3, dirancang balok kastela dari profil IWF 250x125, 29,6 kg/m dengan ukuran tinggi bukaan heksagonal sebesar 160 mm, lebar bukaan heksagonal sebesar 170 mm, dan jarak antar bukaan heksagonal sebesar 70 mm. Sehingga balok kastela B2 mempunyai profil serupa dengan IWF 330x125 namun dengan spesifikasi ketebalan web dan *flange* seperti IWF 250x125, 29,6 kg/m.

4.1. Perbandingan Rasio Kekuatan



Gambar 4.3 Hasil perhitungan rasio kekuatan pada rafter atap B2 dan B3
Sumber: ETABS

Gambar 4.3 merupakan hasil analisa struktur dengan pembebanan yang sesuai. Dapat disimpulkan bahwa untuk balok rafter atap B2 memiliki rasio kekuatan yang paling tinggi sebesar 0,933, sedangkan untuk balok rafter atap B3 memiliki rasio kekuatan yang paling tinggi sebesar 0,768.



Untuk perhitungan rasio kekuatan pada balok kastela, rasio antara momen *Vierendeel* dengan momen *ultimate* dipakai sebagai acuan pembandingan terhadap rasio kekuatan balok konvensional.

Rasio balok kastela B2 dapat dihitung sebagai berikut:

$$Rasio = \frac{M_n}{M_u}$$

$$Rasio = \frac{1.34 \text{ kN}}{3.89 \text{ kN}}$$

$$Rasio = \mathbf{0.345}$$

Rasio balok kastela B3 dapat dihitung sebagai berikut:

$$Rasio = \frac{M_n}{M_u}$$

$$Rasio = \frac{0.81 \text{ kN}}{0.893 \text{ kN}}$$

$$Rasio = \mathbf{0.907}$$

Tabel 4.1 Hasil Analisis Perhitungan Rasio Kekuatan

| Balok | Rasio Balok Konvensional | Rasio Balok Kastela |
|-------|--------------------------|---------------------|
| B2 | 0.933 | 0.345 |
| B3 | 0.768 | 0.907 |

Sumber : Analisis Data

Untuk balok B2, rasio balok konvensional lebih tinggi daripada rasio balok kastela. Untuk balok B2, balok kastela masih mampu menahan beban dikarenakan rasio yang sangat rendah, sehingga lebih kuat dari balok konvensional. Sedangkan untuk balok B3, rasio balok konvensional lebih rendah daripada rasio balok kastela. Bisa disimpulkan bahwa untuk B3, balok kastela telah menahan beban yang telah direncanakan dan tidak dapat menerima beban yang lebih.

4.2. Perbandingan Efisiensi

Tabel 4.2 Perhitungan Biaya Produksi Balok Rafter Atap B2 & B3

| No. | Pekerjaan | Panjang (m) | Volume (kg) | Harga per Unit (Rp.) | Harga Total (Rp.) |
|---------------------------|---|-------------|-------------|----------------------|-------------------|
| Balok Konvensional | | | | | |
| 1 | Rafter: IWF 350.175.49,6 Kg/m' (B2) | 280.80 | 13,927.68 | 18,000 | 250,698,240 |
| 2 | Rafter: IWF 300.150.36,7 Kg/m' (B3) | 226.80 | 8,323.56 | 18,000 | 149,824,080 |
| Total | | | | | 400,522,320 |
| Balok Kastela | | | | | |
| 1 | Rafter: Sample Beam IWF 300.150.41.4 kg/m' (B2) | 280.8 | 11,625.12 | 20,000 | 232,502,400 |
| 2 | Rafter: Sample Beam IWF 250.125.29.6 kg/m' (B3) | 226.8 | 6,713.28 | 20,000 | 134,265,600 |
| Total | | | | | 366,768,000 |

Sumber: Analisis Data

Dari hasil perhitungan biaya produksi dan ereksi baja balok rafter atap, dapat disimpulkan bahwa untuk harga keseluruhan balok konvensional dengan nilai Rp 400.522.320,- dan untuk harga keseluruhan balok kastela dengan nilai Rp 366.768.000,-. Biaya pada balok konvensional



lebih mahal daripada balok kastela walaupun harga per unit pada balok kastela lebih tinggi daripada balok konvensional. Efisiensi biaya tersebut sebesar 8,43%.

Untuk perbandingan volume dapat dilihat dari Tabel 4.2. Jumlah volume baja yang digunakan pada balok konvensional mempunyai total 22.251,24 m³. Sedangkan untuk volume baja yang digunakan pada balok kastela mempunyai total 18.338,40 m³. Volume baja pada balok kastela lebih sedikit daripada balok konvensional, sehingga efisiensi volume tersebut sebesar 17,58%.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan analisa, dapat disimpulkan bahwa efisiensi biaya pada proyek ini adalah sebesar 8,43%. Sedangkan untuk efisiensi volume pada proyek ini sebesar 17,58%. Perbandingan rasio kekuatan pada balok B2 dapat disimpulkan bahwa balok kastela mampu menerima beban yang lebih karena rasio yang rendah dibandingkan dengan balok konvensional. Sedangkan untuk rasio kekuatan pada balok B3 dapat disimpulkan bahwa balok kastela mampu menahan pembebanan yang telah direncanakan dan tidak sanggup menahan beban yang lebih. Dikarenakan efisiensi biaya pada proyek ini tidak menarik terhadap pemotongan biaya, faktor yang lain untuk mendukung penggunaan balok kastela adalah untuk mempermudah pekerjaan pemasangan pipa (MEP) melewati balok kastela. Balok kastela mempunyai bukaan yang bisa dilewati oleh pekerjaan MEP, dan tidak mengurangi kekuatan pada struktur tersebut.

Untuk penelitian selanjutnya, dapat disarankan penggunaan program analisa khusus baja seperti *Staad.Pro* yang mempunyai fitur perhitungan balok kastela. Dan juga menggunakan bukaan yang lain seperti bukaan bulat, bukaan persegi, dan bukaan sinusoidal untuk penelitian selanjutnya. Dengan analisa biaya dan volume, disarankan untuk melakukan analisa yang lebih intensif terhadap analisa harga satuan beserta metode untuk menghemat lebih banyak.

Daftar Pustaka

Skripsi

- [1] Juwanto, E, "Studi Perbandingan Struktur Beton Bertulang Dan Struktur Baja Pada Gable Frame," Universitas Internasional Batam, 2018.

Jurnal

- [2] Boyer, J. P., "*Castellated Beams-New Developments*," *AISC Engineering Journal*, 1964.
- [3] Hayati, M. N., "Pengaruh Lebar Potongan Profil (e) Terhadap Perilaku Lentur Pada Balok Baja Kastela (Castellated Beam)," *Jurnal Teknik Sipil UNESA*, 2013.
- [4] Zirakian, T. & Shokati H., "*Distortional Buckling of Castellated Beams*," *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 62 Issue 9, pp. 863-871, 2006.