

## OPTIMALISASI BALOK CASTELLA DENGAN PERGESERAN LUBANG KE BAWAH YANG DIBEKANI PADA BAGIAN YANG UTUH

Murniyati\*

Suprpto, S.Pd., MT\*\*

Pend. Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Kampus Ketintang Surabaya 60231

email: [nunny084@gmail.com](mailto:nunny084@gmail.com)

### ABSTRAK

Penggunaan baja kastela dalam pelaksanaan konstruksi akan memperoleh suatu penghematan biaya yang cukup berarti dari segi penggunaan material baja, di samping itu lebih bersifat padat karya. Penambahan lebar profil yang lebih tinggi dari aslinya, menjadikan momen inersia dan modulus penampang bertambah serta kapasitas lentur, lendutan, dan geser meningkat.

Jenis penelitian ini adalah penelitian uji laboratorium yang menggunakan profil baja sebagai bahan utama dalam penelitian. Pada penelitian ini akan dibuat enam benda uji, satu benda uji bahan dan lima benda uji baja castellated beam. Perbandingan  $d_{Ta}$  dan  $d_{Tb}$  yang digunakan pada penelitian ini yaitu, BU1 :  $d_{rb} = d_{ra}$ , BU2 :  $d_{rb} = 15\% d_{ra}$ , BU3:  $d_{rb} = 30\% d_{ra}$ , BU4:  $d_{rb} = 45\% d_{ra}$ , BU5:  $d_{rb} = 60\% d_{ra}$  yang kemudian akan diuji lendutannya.

Hasil penelitian menunjukkan pergeseran lubang balok kastela ke bawah akan memperluas daerah tekan. Semakin luas daerah tekan maka nilai momennya semakin besar. Nilai tegangan tarik hampir sama dengan nilai tegangan tekan sehingga tegangan dapat tersalurkan secara merata. Perhitungan  $V_u < V_n$  sebagai perencanaan kuat geser telah terpenuhi. Selain itu perluasan daerah tekan juga mempengaruhi besar nilai lendutan dan buckling. Jadi, ditinjau dari indikasi momen, kekuatan geser, tegangan, lendutan, dan buckling penampang balok kastela yang paling optimal yaitu benda uji 3 ( $d_{rb} = 30\% d_{ra}$ ) dengan kekuatan lentur sebesar 16,15 % melebihi kekuatan balok kastela normal.

Kata kunci : Balok kastela, kuat lentur, momen,  $d_{Ta}$  dan  $d_{Tb}$ .

### ABSTRACT

Castellated profiles are usually used for floor beams and roof beams which strand is long enough. The changes the steel becomes castellated will experience a reduction in the density of steel itself and improve the high-profile as needed. The use of steel castellated, the construction will have a significant cost savings in terms of the use of steel material, in addition, more labor intensive. The addition width higher profile than the original making the moment of inertia and section modulus increases as well as the bending capacity, deflection, and shear increases.

Type of research is a laboratory test that uses steel profile as the main material in research. In this research will be made six test objects, the test object material and five test specimens castellated beam with a length of each specimen approximately 1.6 meters. Comparison of  $d_{Ta}$  and  $d_{Tb}$  used in this research are, BU1:  $d_{rb} = d_{ra}$ , BU2:  $d_{rb} = 15\% d_{ra}$ , BU3:  $d_{rb} = 30\% d_{ra}$ , BU4:  $d_{rb} = 45\% d_{ra}$ , BU5:  $d_{rb} = 60\% d_{ra}$  later would be tested deflection of objects.

The result of research showed that the shift to the bottom of the hole castellated beam would extend the compressive area. Increasingly wide area compressive the greater the value of the moment. In terms of stress, tensile stress value is almost equal to the value of the compressive stress so that the stress can be distributed evenly. Calculation of shear strength  $V_u < V_n$  as planning has been fulfilled by the nominal shear strength and force latitude of loading. Then, expansion of the compressive area also affects large deflection and buckling. So, Terms of indication moment, shear strength, stress, deflection and buckling the optimization of castellated beam is objects 3 ( $d_{rb} = 30\% d_{ra}$ ) with flexural strength is 16,15% exceeds the strength of the normal castellated.

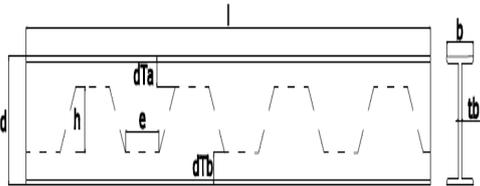
**Keywords:** Beam castellated, flexural strength, moments,  $d_{ra}$  and  $d_{rb}$ .

### PENDAHULUAN

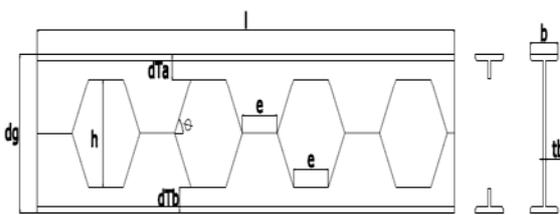
Baja memiliki kemampuan yang cukup besar untuk menahan kekuatan tarik dan tekan

walaupun dari bahan baja dengan jenis yang paling rendah mutunya dan mempunyai perbandingan kekuatan per volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan

bangunan lainnya yang umum dipakai. Perubahan baja menjadi kastela akan mengalami pengurangan berat jenis baja itu sendiri dan meningkatkan tinggi profil sesuai yang dibutuhkan. *Castellated Beam* merupakan profil baja I, H, atau U yang pada bagian badannya dipotong memanjang dengan pola zig-zag, kemudian bentuk dasar baja diubah dengan cara menggeser setengah bagian profil baja yang telah dipotong. Penyambungan setengah bagian profil dengan cara dilas pada bagian 'gigi-gigi'-nya, sehingga membentuk profil baru dengan lubang berbentuk segi enam.



Gambar 1. Profil balok I dipotong sepanjang badannya.



Gambar 2. Balok kastela segi enam

Profil baja kastela dilubangi untuk memperkecil berat sendiri profil dan agar sambungan lasnya dapat lebih efektif dan efisien. Sudut kemiringan  $\theta$  antara  $45^\circ$  sampai  $70^\circ$ , sedangkan yang sering dipakai dilapangan adalah sudut  $45^\circ$  dan  $60^\circ$ . Sudut  $\theta$  ditentukan dengan memperhitungkan tegangan geser yang terjadi pada bagian garis netral badan sehingga tidak melebihi tegangan ijin. Tinggi lubang ( $h$ ) pada lubang balok kastela tidak melebihi 50% dari tinggi profil sebelum dibuat balok kastela karena ada indikasi terjadinya rusak lentur dan *buckling* (Fitri, 2012: 78). Lebar potongan ( $e$ ) pada lubang kastela tidak diperbolehkan melebihi  $1\frac{1}{2} h$ , semakin besar lebar potongan profil ( $e$ ) maka tingkat *buckling* semakin tinggi (Yuliarti, 2012: 89).

Profil *castellated beam* dalam pemakaiannya memiliki beberapa keuntungan, berikut beberapa keuntungan dari profil *castellated beam*, menurut *Jihad Dokali Megharief (1997)* dan *Johann Grünbauer, (2001)*:

- 1) Dengan lebar profil yang lebih tinggi ( $d_g$ ), menghasilkan momen inersia dan modulus *section* yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku bila dibandingkan dengan profil asalnya.

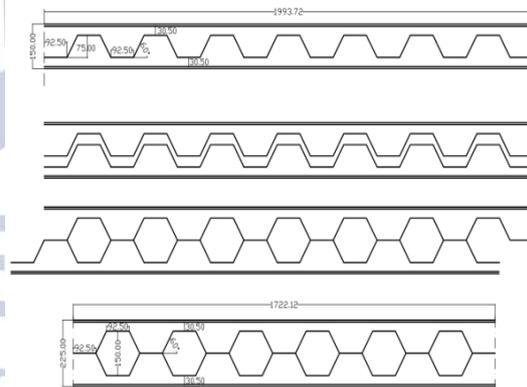
- 2) Mampu memikul momen lebih besar dengan tegangan ijin yang lebih besar dengan tegangan ijin yang lebih kecil.
- 3) Bahannya ringan, kuat, serta mudah dipasang.

Hasil Penelitian yang telah dilakukan, terkait dengan baja kastela, menunjukkan adanya kecenderungan kerusakan baja yang terjadi selalu di serat atas, untuk itu, perlu dilakukan kajian untuk menimalisir kerusakan baja yang terjadi di serat atas. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah menggeser lubang baja kastela ke bawah.

### METODE PENELITIAN

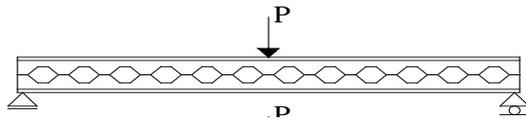
Jenis penelitian ini adalah penelitian uji laboratorium yang menggunakan profil baja sebagai bahan utama dalam penelitian. Proses eksperimennya adalah profil baja WF 150.75. Pada penelitian ini akan dibuat enam benda uji, satu benda uji bahan dan lima benda uji baja *castellated beam* dengan ukuran panjang masing-masing benda uji kurang lebih 1,5 meter. Perbandingan  $d_{Ta}$  dan  $d_{Tb}$  yang digunakan pada penelitian ini yaitu, BU1 :  $d_{Tb} = d_{Ta}$ , BU2 :  $d_{Tb} = 15\% d_{Ta}$ , BU3:  $d_{Tb} = 30\% d_{Ta}$ , BU4:  $d_{Tb} = 30\% d_{Ta}$ , BU5:  $d_{Tb} = 60\% d_{Ta}$  yang kemudian akan diuji lendutannya.

Penelitian ini dimulai dari merencanakan dimensi balok dan profil yang akan digunakan dan mengubah profil baja WF menjadi profil *castellated beam*.

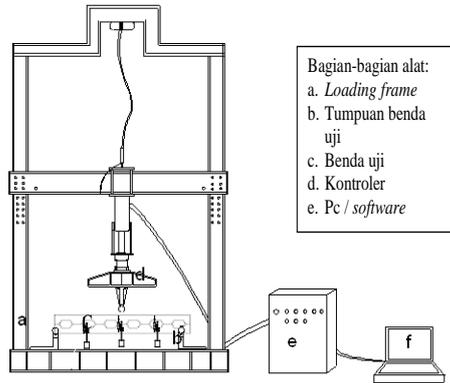


Gambar 3. Ilustrasi pembuatan benda uji

Tahap selanjutnya adalah pengujian benda uji. Pengujian benda uji yang dilakukan ada dua yaitu uji tarik dan uji kuat lentur. Sistem pengujian baja *castellated beam* yang dilakukan di laboratorium adalah dengan memberi beban terpusat di sekitar tengah bentang balok baja, kemudian pada daerah uji (*test region*) dipelajari perilaku balok baja saat menerima beban terpusat tersebut.



Gambar 4. Analisis benda uji



Gambar 5. Set-up alat pengujian benda uji.

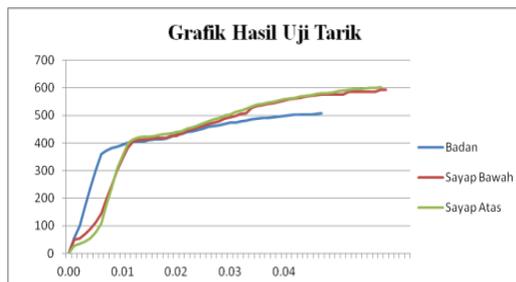
Alat di atas merupakan alat yang bekerja secara otomatis. Proses pengujian dilakukan dengan memasukkan dimensi benda uji, yaitu tinggi, lebar, dan panjang dari balok baja kastela pada PC software, kemudian mengatur kontroler untuk mengontrol *hidraulic jack* pada saat pengujian. Data *output* hasil dari pengujian akan langsung didapat beberapa data grafik dan nilai yaitu:

- P
- $\Delta$  (lendutan)
- Grafik hubungan waktu-beban
- Grafik hubungan tegangan-regangan
- Grafik hubungan beban-lendutan
- Grafik hubungan lendutan-tegangan

Di samping itu nilai hasil pengujian juga dibaca pada *dial gauge* yang meliputi data buckling dan lendutan. Data tersebut digunakan sebagai pembandingan dengan data yang diperoleh pada PC software.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian tarik baja WF 150.75.5.7 pada bagian badan, sayap atas dan sayap bawah dilakukan untuk mengetahui mutu bajanya. Mutu baja dipaparkan dalam bentuk grafik antara tegangan dan regangan. Mutu baja pada penelitian ini dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan dan regangan

Tabel 1. Mutu baja

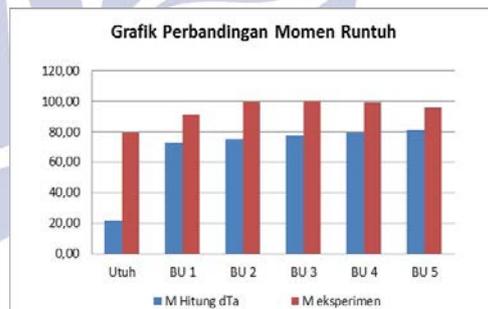
No	Keterangan	$\sigma$ Leleh	$\sigma$ Runtuh	E
1	Badan	360,00	515,00	30000
2	Sayap Bawah	405,00	689,57	16875
3	Sayap Atas	400,00	660,47	18181,82
Rata-rata Fy Leleh Badan		360,00		
Rata-rata Fy Leleh Sayap		402,50		
Rata-rata Fy Runtuh Badan			515,00	
Rata-rata Fy Runtuh Sayap			675,02	
Rata-rata		388		21685,61

### 1. Kekuatan lentur

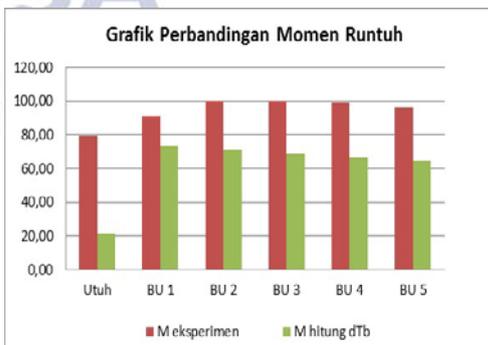
Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Momen Runtuh

BU	Bentang (L) (m)	P runtuh Eksperimen (KN)	Momen (KNm)		Peningkatan utuh & kastela %
			Eksperimen	Hitung	
			dTa	dTb	
Utuh	1,50	212,15	79,55	21,78	0,00
BU 1	1,64	222,58	91,26	73,12	14,71
BU 2	1,64	243,97	100,03	75,25	25,73
BU 3	1,64	244,14	100,10	77,38	25,82
BU 4	1,64	241,32	98,94	79,50	24,37
BU 5	1,64	234,42	96,11	81,63	20,81



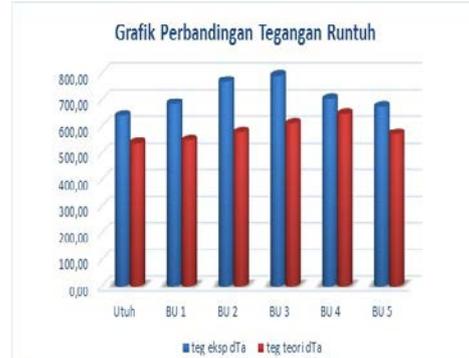
Gambar 7. Grafik perbandingan momen hitung dan momen eksperimen runtuh  $d_{Ta}$



Gambar 8. Grafik perbandingan momen hitung dan momen eksperimen runtuh  $d_{Tb}$

Hasil perhitungan momen lentur yang terdapat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa momen eksperimen pada benda uji 2 dan 3

memiliki nilai momen paling besar dibanding benda uji yang lainnya. Nilai momen leleh eksperimen benda uji 3 adalah 67,05 KN.m, sedangkan untuk momen runtuh eksperimen dari benda uji 3 adalah 100,10 KN.m. balok baja utuh menunjukkan nilai momen runtuh yang terkecil yaitu 86.18 KNm. Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan grafik momen runtuh yang menunjukkan momen eksperimen dan momen hitung penampang atas dan penampang bawah baja kastela. Pada grafik dapat dilihat peningkatan nilai momen yang signifikan dari setiap benda uji. Benda uji 2, 3 dan 4 memiliki nilai momen runtuh yang hamper sama. Pada grafik juga dapat dilihat benda uji 5 yang memiliki penurunan lubang sebesar 60% masih memiliki nilai momen yang lebih besar dibandingkan dengan balok kastela normal (benda uji 1). Hal ini menunjukkan bahwa balok kastela lebih kuat dan kaku dibandingkan balok baja utuh dalam menerima momen.



Gambar 9. Grafik perbandingan tegangan teori dan tegangan eksperimen runtuh dTa



Gambar 10. Grafik perbandingan tegangan teori dan tegangan eksperimen runtuh dTb

Tabel 3. Perhitungan Kekuatan Lentur Residu

BU	Bentang (L) (m)	P Eksperimen (KN)		Momen		Kekuatan Lentur Residu (%)
		Leleh (KN)	Runtuh (KN)	Leleh (KNm)	Runtuh (KNm)	
Utuh	1,50	141,43	229,82	53,04	86,18	33,15
BU 1	1,64	165,30	222,58	67,77	91,26	23,48
BU 2	1,64	153,10	243,97	62,77	100,03	37,26
BU 3	1,64	163,53	244,14	67,05	100,10	33,05
BU 4	1,64	157,16	241,32	64,44	98,94	34,50
BU 5	1,64	149,74	234,42	61,39	96,11	34,72
Rata-Rata						32,69

Kekuatan lentur balok (kekuatan residu) yang dihasilkan antara momen eksperimen leleh dan momen eksperimen runtuh. Rata-rata hasil nilai kekuatan lentur balok antara momen eksperimen leleh dan momen eksperimen runtuh adalah sebesar 36,69%.

## 2. Tegangan

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil pengujian tegangan runtuh

Benda Uji	Bentang (L) (m)	Momen (KNm)		Tegangan Eksp (N/mm <sup>2</sup> )		TeganganTeori (N/mm <sup>2</sup> )		Presentase Tegangan Eksp (%)
		Leleh	Runtuh	dTa	dTb	dTa	dTb	
Utuh	1,50	53,04	79,55	640,09	640,09	537,36	537,36	100
BU 1	1,64	67,77	91,26	685,01	685,01	548,85	548,85	102,14
BU 2	1,64	62,77	100,03	769,01	565,17	578,50	521,71	107,66
BU 3	1,64	67,05	100,10	790,40	570,29	610,97	496,84	113,70
BU 4	1,64	64,44	98,94	702,79	571,59	646,62	474,01	120,33
BU 5	1,64	61,39	96,11	674,02	566,32	572,47	453,05	106,53

Nilai tegangan eksperimen atas dan tegangan eksperimen bawah hampir sama besar dan lebih tinggi dari tegangan teoritik atas dan bawah, dengan kata lain tegangan daerah tekan mempunyai nilai yang hampir sama dengan daerah tarik sehingga tegangan dapat tersalurkan secara merata. Semakin besar penggeseran lubang balok kastela ke bawah (maksimal 30%), maka luas daerah tekan semakin besar. Semakin luas daerah tekan maka kemampuan menerima momennya semakin besar. Dan tegangan atas dan tegangan bawah nilainya melebihi mutu baja (388 Mpa) yang dihasilkan, sehingga dapat disimpulkan balok baja kastela mengalami kerusakan lentur bukan rusak geser.

## 3. Kontrol Geser

Berdasarkan hasil perhitungan kontrol geser diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 5. Kontrol kekuatan geser

Uji	P runtuh Eksperimen (KN)	Vu (KN)	Vn Ib (KN)	Vn Itb (KN)	Keterangan
Utuh	212,15	106,07		296,82	$Vu \leq Vn$ (geser aman)
BU 1	222,58	111,29	193,22	367,82	$Vu \leq Vn$ (geser aman)
BU 2	243,97	121,98	203,89	367,82	$Vu \leq Vn$ (geser aman)
BU 3	244,14	122,07	214,55	367,82	$Vu \leq Vn$ (geser aman)
BU 4	241,32	120,66	225,21	367,82	$Vu \leq Vn$ (geser aman)
BU 5	234,42	117,21	235,87	367,82	$Vu \leq Vn$ (geser aman)



Gambar 11. Grafik selisih Vu terhadap Vn pada daerah tidak berlubang

nilai Vn eksperimen lebih kecil dibanding dengan Vn bagian utuh dan Vn bagian berlubang, sehingga tidak memungkinkan balok untuk bergeser. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat uji lentur beban yang diberikan pada penampang baja utuh dari benda uji balok baja kastela tersalurkan sampai ke bawah atau gaya lintang dari pembebanan terdistribusi secara merata keseluruhan penampang baja, sehingga tidak terjadi runtuh geser melainkan terjadi rusak lentur.

#### 4. Lentutan

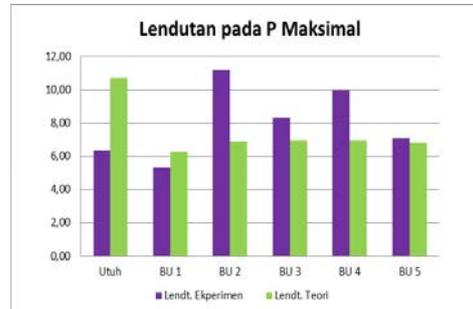
Berdasarkan hasil perhitungan lentutan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 6. Lentutan eksperimen pada P maksimal

Benda Uji	Bentang (L) (mm)	P Maksimal Eksperimen (N)	Lentutan Eksperimen (mm)	Rasio Lentutan Terhadap Bentang	Rasio
Utuh	1500	22982,49	6,35	0,0042	1/236 L
BU 1	1640	22257,66	5,28	0,0032	1/310 L
BU 2	1640	24396,80	11,19	0,0068	1/147 L
BU 3	1640	24414,47	8,30	0,0051	1/198 L
BU 4	1640	24131,61	9,95	0,0061	1/165 L
BU 5	1640	23442,14	7,07	0,0043	1/232 L

Tabel 7. Hasil pengujian lentutan teori pada P maksimal

Benda Uji	K I/L	Lendutan Max L/240	E N/mm <sup>2</sup>	I mm <sup>4</sup>	Δteori	Rasio
Utuh	4285,724	6,250	21685,606	6428586,67	10,70	1/33 L
BU 1	9138,552	6,833	21685,606	14987225,42	6,29	1/26 L
BU 2	9123,65	6,833	21685,606	14962785,2	6,91	1/24 L
BU 3	9078,942	6,833	21685,606	14889464,56	6,95	1/24 L
BU 4	9004,429	6,833	21685,606	14767263,48	6,92	1/24 L
BU 5	8900,111	6,833	21685,606	14596181,97	6,81	1/24 L



Gambar 12. Grafik lentutan teori dan eksperimen terhadap bentang pada P maksimal

Pada beban maksimal grafik yang dihasilkan dari data eksperimen, nilai lentutan eksperimen lebih besar dibandingkan lentutan teori. Hal ini kemungkinan dikarenakan terjadinya *buckling* yang cukup tinggi sehingga mengakibatkan benda mengalami lentutan yang tidak beraturan juga.

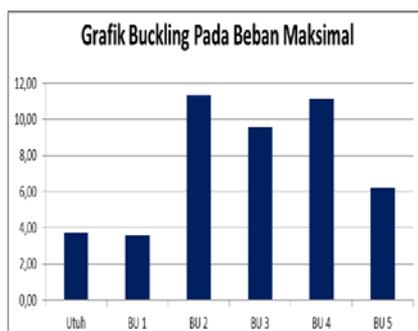
Jadi berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa besar kecilnya nilai lentutan dipengaruhi oleh tingkat kekuatan dan kekakuan benda uji yang mana berkaitan dengan besarnya momen inersia. Semakin besar momen inersia maka semakin kecil lentutannya, sehingga baja kastela akan semakin kaku.

#### 5. Pergoyangan (Buckling)

Dengan adanya penambahan tinggi profil baja tentu ada resiko indikasi untuk terjadi *buckling*. Untuk menganalisis bahwa ada indikasi terjadi buckling pada pengujian, maka dari pembacaan *dial* didapat data untuk pengujian sebagai berikut:

Tabel 12. Tabel hasil pengujian buckling pada P maksimal

Benda Uji	P Eksperimen (kN)	Pergoyangan (mm)
Utuh	212,15	3,72
BU 1	222,58	3,60
BU 2	243,97	11,32
BU 3	244,14	9,60
BU 4	241,32	11,13
BU 5	234,42	6,23



Gambar 13. Grafik buckling pada beban maksimal

Berdasarkan Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai buckling benda uji 2 sampai benda uji 5 cenderung tinggi, hal ini kemungkinan disebabkan karena perubahan tinggi yang terlalu besar. Nilai pergoyangan yang tinggi juga mungkin disebabkan banyaknya lubang sehingga berpengaruh pada luasan penampang utuh yang ada. Semakin luas penampang utuh maka semakin kecil bucklingnya. Berdasarkan data hasil pengujian dan hasil analisis di atas didapat bahwa pergeseran lubang pada balok baja kastela tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam mengurangi nilai buckling yang tinggi

#### KESIMPULAN

Dari hasil data dan analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi momen leleh dan momen runtuh dengan adanya pergeseran lubang kastela ke bawah, maka luas daerah tekan semakin bertambah. Semakin luas daerah tekan maka momennya semakin besar. Dengan besarnya nilai momen maka akan menambah tingkat kekakuan dari baja kastela tersebut. Dengan semakin kakunya balok tersebut maka akan semakin kecil lendutan, dan kekuatan momennya menjadi lebih besar. Hal ini terbukti pada benda uji 3 yang memiliki nilai momen runtuh yang paling besar yaitu, 100.10 KNm. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada momen leleh dan momen runtuh, untuk keamanan kekuatan lentur balok baja kastela dari segi lendutan maka perbandingan  $d_{Tb}$  tidak melebihi 30% dari  $d_{Ta}$ .
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya pergeseran lubang ke bawah pada semua benda uji, tegangan daerah tekan ( $d_{Ta}$ ) mempunyai nilai yang hampir sama dengan tegangan daerah tarik ( $d_{Tb}$ ). Dengan demikian tegangan dapat tersalurkan secara merata dan kemampuan menahan momennya pun sama besar antara  $d_{Ta}$  dengan  $d_{Tb}$ . Selain itu

pula tegangan leleh dan tegangan runtuh eksperimen yang terjadi melebihi tegangan mutu baja, sehingga yang di alami benda uji pada saat pengujian adalah runtuh lentur.

3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua benda uji mengalami lentur dan tidak terjadi runtuh geser, itu terbukti dengan besarnya gaya lintang dari pembebanan ( $V_u$ ) lebih kecil dari kuat geser nominal ( $V_n$ ), atau dengan kata lain persamaan  $V_u < V_n$  sebagai perencanaan kuat geser telah terpenuhi.

Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa ditinjau dari indikasi momen leleh, momen runtuh, kekuatan geser, lendutan dan *buckling* pada baja kastela. Perbandingan  $d_{Tb}$  tidak melebihi 30% dari  $d_{Ta}$ .

#### SARAN

1. Untuk pembacaan *dial gauge* pada saat pengujian harus benar-benar fokus dan teliti serta dilakukan oleh orang yang sama dan menggunakan *dial gauge* yang sama juga agar kesalahan data yang diperoleh tidak terlalu besar dan nilai yang diperoleh lebih akurat.
2. Mengacu pada hasil penelitian, maka ditinjau dari momen, tegangan, lendutan, *buckling*, dan pertambahan panjang, sebaiknya untuk daerah tarik ( $d_{Tb}$ ) perbandingannya dengan daerah tekan ( $d_{Ta}$ ) tidak terlalu besar maksimal 30%.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk tinggi pemotongan profil ( $h$ ) tidak boleh terlalu tinggi untuk mengurangi indikasi terjadinya *buckling*.

#### Daftar Pustaka

- Amayreh and Saka "Department of Civil Engineering, University of Bahrain". *Failure load prediction of castellated beams Using artificial neural networks*. 2005.
- Dougherty B.K. *Castellated beams: Astate of the art report*. *Journal of the South African Institution of Civil Engineers*, 35:2, 2nd Quarter, pp 12-20. 1993.
- Hayati Nur Masita. 2013. "Optimalisasi Balok Baja Kastela Ditinjau dari Lendutan". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Hosain and Spiers. *Experiments on castellated steel beams*. *J. American Welding Society, Welding Research Supplement*, 52:8, 329S-342S. 1973.
- Knowles, P.R. *Castellated beams*. *Proc. Institution of Civil Engineers, Part I, Vol. 90*, pp 521-536. 1991

Nethercot. D.A., and Kerdal.. O. *Laterai-torsional buckling of castellated beams Struct. Engr-60B:3, 53-61 .1983.*

**Putra Pradana A. 2011. [Stiffener Plate Modelling pada SAP 2000.](http://aryansah.wordpress.com/2011/01/26/) (<http://aryansah.wordpress.com/2011/01/26/>, diakses 2 februari 2014).**

Rakhman Fahmi. 2012. Modifikasi perencanaan Petra Square Apartemen and Shopping Acrade Surabaya Menggunakan Hexagonal Castellated Beam Non-Komposit. *Tugas akhir tidak dipublikasikan.* Surabaya. ITS.

Riza Miftakur M. 2011. "Perencanaan Balok Kastella (Honey Comb Beam)". (<http://www.perencanaanstruktur.com/2011/04/perencanaan-balok-kastella-honey-comb.html>, diakses 23 Nopemver 2013).

Suharjanto. 2005. Kajian Banding Secara Numerik Kapasitas dan Perilaku Balok Baja Kastela Menggunakan Program SAP 2000. *Jurnal Teknik Vol. 13 No 2.* Jakarta.

Widayanti Rohma F. 2012. Pengaruh Tinggi Pemotongan Profil (h) Terhadap Optimalisasi Tegangan Lentur dan Bahan Baja Balok Kastela (*Castellated Beam*) ditinjau dari Uji Lendutan. *Skripsi tidak dipublikasikan.* Surabaya. Unesa.

Yulianti Dwi. 2012. Pengaruh Perbedaan Lebar Potongan Profil (e) Terhadap Optimalisasi Kekuatan Tegangan Lentur Balok Kastela (*Castellated Beam*) ditinjau dari Uji Lendutan. *Skripsi tidak dipublikasikan.* Surabaya. Unesa.

