

# KUAT GESER DAN DAKTILITAS PADA BALOK *CASTELLATED* MODIFIKASI KOMPOSIT MORTAR AKIBAT BEBAN SIKLIK

Martyana Dwi Cahyati<sup>1</sup> dan Iman Satyarno<sup>2</sup>

## Abstract

*Castellated steel beam is structural element made by WF steel beam with hexagonal, round, and square openings. Because of the openings, It can be increase the capacity of the moment on the beams, so that when the capacity of moment increases, the maximum load that occurs in the beam will also increase. Hence this study assessed the mortar composite castellated beams due to cyclic loading. The cyclic load used as applications of earthquake loads. This study has proposed to obtain ultimate strength, ductility, and pattern of collapse on the mortar composite castellated beams. The material of specimen using 2L.30.3.3 profiles, reinforcement  $\phi$  13 mm, and a mortar which has a value of 0.4 fas with a ratio of 1: 1.5. The cyclic load applied to the beam refers to ACI T1.1-01. Based on the results, the load capacity ultimate on the beam at 203.5 kN for the positive cycle and 201.5 for the negative cycle. Deflection occurs by 3.46 mm for the positive cycle and 3.36 for the negative cycle. Ductility obtained an average of 3.45. From these results can be classified that the structure has a moderate level of ductility.*

**Keywords:** *the composite castellated beam, cyclic load, shear strength, load capacity ultimate*

## Abstrak

Struktur baja *castellated* merupakan struktur yang terbuat dari balok IWF yang memiliki bukaan lubang berupa heksagonal, lingkaran, maupun persegi. Dengan adanya bukaan lubang maka akan menambah ketinggian penampang yang mampu meningkatkan momen inersia yang terjadi pada balok, sehingga beban maksimum yang dapat dipikul balok juga akan meningkat, namun balok tersebut juga memiliki kelemahan yaitu terjadinya mekanime vierendeel. Oleh karena itu, Pada penelitian ini dikaji perilaku balok *castellated* komposit mortar akibat beban siklik yang memodelkan beban gempa di lapangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kekuatan *ultimite*, daktilitas, dan pola keruntuhan pada balok *castellated* komposit mortar. Benda uji terbuat dari profil 2L.30.3.3, tulangan  $\phi$  13 mm, dan mortar yang memiliki nilai fas 0,4 dengan perbandingan 1:1,5. Beban siklik yang diaplikasikan mengacu pada ACI T1.1-01. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai kapasitas beban *ultimate* pada balok sebesar 203,5 kN untuk siklus positif dan 201,5 untuk siklus negatif. Lendutan yang terjadi sebesar 3,46 mm untuk siklus positif dan 3,36 untuk siklus negatif. Nilai daktilitas rata-rata yang didapat sebesar 3,45. Dari hasil tersebut dapat diklasifikasikan bahwa struktur memiliki tingkat daktilitas sedang.

**Keywords:** balok; *castellated-composit*, siklik, kapasitas geser *ultimite*, beban maksimal

## I. PENDAHULUAN

Balok merupakan elemen struktur horisontal yang diharapkan mampu menahan momen akibat beban yang bekerja di atasnya. Untuk mendapatkan kapasitas momen yang tinggi, balok dapat dibuat dari beberapa material dan karena itu disebut dengan balok komposit. Material yang sering digunakan yaitu beton dengan baja. Beton memiliki karakteristik mampu menahan gaya tekan namun lemah dalam menahan gaya tarik. Ketika dikombinasikan dengan baja, beban tarik akan

didukung oleh material baja yang memiliki kuat tarik tinggi.

Tulisan ini membahas struktur balok *castellated*, yaitu struktur balok baja terbuat dari profil IWF yang dipotong menjadi dua bagian kemudian ditinggikan dan disatukan kembali dengan menambah ketinggian balok. Kelebihan dari struktur balok *castellated* ini adalah adanya penambahan ketinggian yang akan meningkatkan nilai kapasitas momen sehingga memperbesar kemampuan balok dalam mendukung beban. Namun, kelemahan struktur balok *castellated* adalah lebih mudah mengalami tekuk (*buckling*). Untuk mengatasi *buckling*, Putri (2016) melakukan penelitian dengan menambahkan tulangan baja sebagai pengaku pada balok *castellated* modifikasi komposit mortar. Sehingga untuk membedakan dengan penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini

1. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jl. Lingkar Selatan Tamantirto Kasihan Bantul Yogyakarta, 55183. Pos-el: martyana.dc@ft.umy.ac.id.
2. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta., Pos-el: iman@tsipil.ugm.ac.id.

digunakan metode pembebanan siklik pada balok *castellated* komposit mortar. Hal ini bertujuan untuk menentukan parameter siklik seperti kuat geser dan daktilitas pada balok.

## II. TINJAUAN PENELITIAN

Pengujian balok *castellated* komposit sudah pernah dilakukan oleh Atmaja (2012) dengan membandingkan kapasitas geser ultimit pada balok *castellated* dengan balok *castellated* komposit mortar. Pengujian dilakukan dengan menggunakan pembebanan statis dua titik pembebanan. Balok *castellated* dibuat dengan menggunakan profil IWF 150x75x7x5 sedangkan untuk benda uji yang lain dibuat dengan menggunakan profil IWF dengan komposit mortar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas benda uji *castellated* komposit mortar memiliki nilai kapasitas yang tinggi jika dibandingkan dengan balok *castellated* tanpa komposit mortar. Nilai peningkatan kapasitas geser sebesar 232,96%. Dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan komposit mortar maka dapat mengatasi permasalahan tekuk yang terjadi pada balok *castellated* baja.

Karena balok *castellated* baja dianggap kurang efisien, Kristianta (2014) melakukan penelitian tentang perilaku geser pada balok *castellated* modifikasi dengan bukaan persegi empat dan pengaku yang terbuat dari profil siku dan komposit mortar. Profil baja yang digunakan untuk pembuatan benda uji yaitu profil IWF 150x75x5x7 dan profil siku 30x30x3x3. Pembebanan yang dilakukan dengan menggunakan beban statis dengan dua titik pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas beban yang dihasilkan sebesar 627,77 kN. Hal ini mengalami peningkatan 33,30% jika dibandingkan penelitian yang dilakukan oleh Atmaja (2012). Hal ini dikarenakan adanya pengaku berupa profil siku yang dapat meningkatkan kapasitas beban tersebut.

Kemudian Putri (2016) melanjutkan penelitian dengan lebih memfokuskan untuk dapat meningkatkan kapasitas geser pada balok *castellated* modifikasi mortar yaitu dengan mengganti pengaku siku L 30x30x3x3 dengan menggunakan tulangan baja yang berdiameter 22 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan pengaku diameter 22 berpengaruh pada beban yang semakin

meningkat. Kapasitas geser yang dihasilkan sebesar 715 kN. Jika dibandingkan dengan penelitian Kristianta (2014) kapasitas geser meningkat sebesar 13,89%.

Ujianto (2016) mengkaji lendutan dan kekakuan balok beton bertulang akibat beban siklik. Tipe pembebanan yang dilakukan ada dua macam pembebanan siklik dan pembebanan statis. Pembebanan siklik dimulai pada siklus 0, 25000, 50000, 75000. Pada saat mencapai siklus 100000, benda uji balok beton bertulang dibebani secara statis. Dari hasil penelitian didapatkan kapasitas beban maksimum balok mencapai 70,81 kN dengan displacement sebesar 4,335 mm. Dan nilai kekakuan balok sebesar 16,22 kN/mm.

Marpaung (2013) mengkaji kemampuan peredaman energi pada balok beton bertulang yang dibebani secara siklik maupun monotonik. Berdasarkan hasil penelitian, redaman energi yang dibebani monotonik dan siklik sebesar 8793,3 dan 42024,3. Hal ini membuktikan bahwa kemampuan peredaman energi pada balok beton bertulang akibat beban monotonik memiliki nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pembebanan siklik. Hal ini dikarenakan bahwa beban monotonik yang bekerja secara terus menerus akan menimbulkan degradasi kekuatan spesimen yang sangat besar dan menimbulkan penurunan energi yang sangat tinggi, karena tidak ada kesempatan spesimen untuk memberikan perlawanan akibat pembebanan.

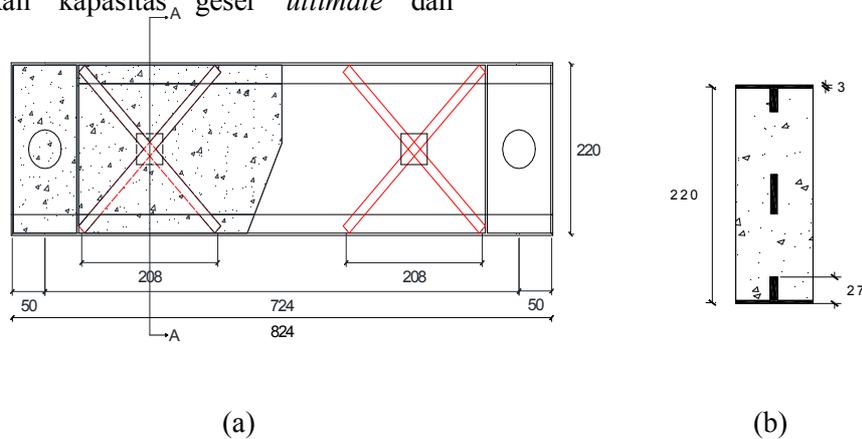
Chalioris (2012) mengkaji tentang pengaruh penggunaan *steel fibres* atau serat baja pada balok beton bertulang yang dibebani secara monotonik dan siklik. Hasil penelitian difokuskan pada respon *hysteretic*, kekuatan geser pada saat retak pertama (*first crack*) dan *ultimate*, kemampuan disipasi energi, pola keruntuhan dan moda kegagalan balok. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *fibrous steel* dapat meningkatkan performa geser yaitu ketika kapasitas geser meningkat pada saat kondisi *crack* dan *ultimate*, terjadi peningkatan disipasi energi, dan mengurangi pola retak lentur dibanding dengan balok tanpa menggunakan *fibrous steel*.

## III. PELAKSANAAN PENGUJIAN

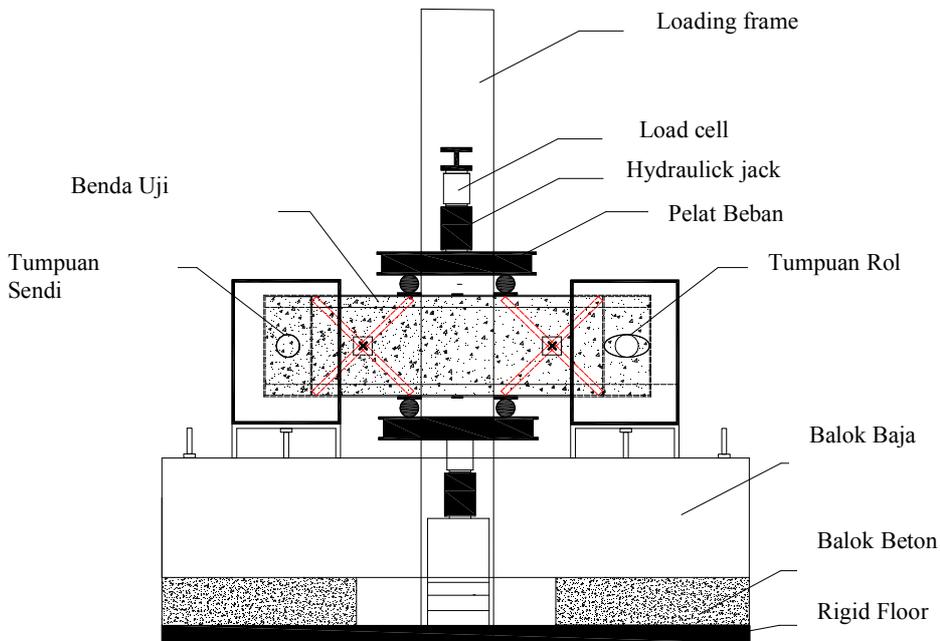
Lokasi penelitian ini bertempat di Laboratorium Struktur Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Penelitian ini terdiri dari dua pengujian yaitu pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Pengujian pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan kualitas material yang digunakan pada benda uji. Pengujian pendahuluan terdiri dari tiga macam yaitu pengujian kuat tekan mortar, pengujian kuat tarik baja profil siku L 30.30.3.3, dan pengujian kuat tarik baja tulangan diameter 13 mm. Setelah mendapatkan kualitas material yang diuji, dilaksanakan pengujian utama berupa pengujian siklik pada benda uji. Setelah pengujian siklik selesai dilaksanakan pengolahan data dan pembahasan untuk mendapatkan kapasitas geser *ultimate* dan

daktilitas pada struktur balok *castellated* komposit mortar akibat beban siklik.

Benda uji terbuat dari mortar, profil siku L.30.30.3.3, dan baja tulangan dengan diameter 13 mm. Mortar yang digunakan dibuat dengan perbandingan semen dan pasir sebesar 1:4 dengan fas 0,4 dan bahan tambah *viscocrete-10* 1,5% dari berat semen. Sketsa penampang memanjang dan melintang benda uji dapat dilihat pada Gambar 1. Pengujian siklik dilakukan dengan tipe pembebanan *displacement control* berdasarkan ACI T1.101. *Set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Potongan penampang benda uji (a) memanjang (b) melintang



Gambar 2. *Setting up* pengujian

#### IV. ANALISIS DAN DISKUSI

##### A. Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan dilakukan pada benda uji mortar, profil siku L.30.30.3, dan profil IWF 150.75.5.7. Setiap benda uji terdiri dari 3 sampel. Dari hasil pengujian kuat tekan mortar didapat kuat tekan maksimum sebesar 45,7 MPa. Selain itu, kuat leleh dan kuat *ultimate* baja profil siku L.30.30.3 sebesar 400,89 MPa dan 601,77 MPa, sedangkan kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan diameter 13 mm sebesar 349,62 MPa dan 530,52 MPa. Hasil pengujian pendahuluan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1.

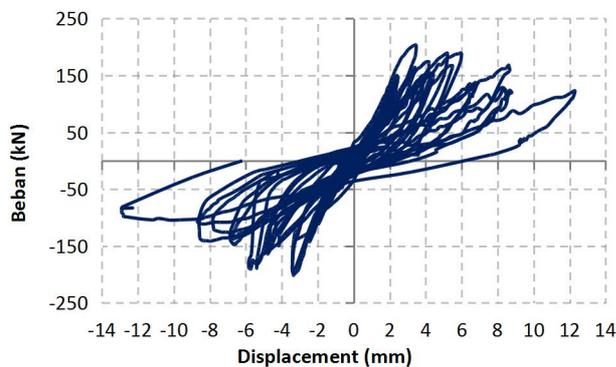
Tabel 1. Hasil Pengujian Pendahuluan

No	Item Pengujian	Hasil
1.	Uji Mortar	
	Kuat Tekan (MPa)	45,7
2.	Uji Tarik L 30x30x3	
	$F_y$ (MPa)	400,89
	$F_u$ (MPa)	601,77
3.	Uji Tarik baja 13 mm	
	$F_y$ (MPa)	349,62
	$F_u$ (Mpa)	530,52

## B. Pengujian Utama

### 1. Hysteresis Loop

*Hysteretic loop* merupakan kurva yang menunjukkan hubungan antara beban dengan lendutan akibat pembebanan siklik berupa beban tarik dan tekan. Hasil pembebanan siklik tersebut terlihat pada Gambar 3. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa beban bertambah seiring dengan bertambahnya *drift*. Kurva juga menunjukkan terjadinya penurunan kekakuan seiring dengan siklus pembebanan. Hal ini yang disebut dengan *pinching effect*.



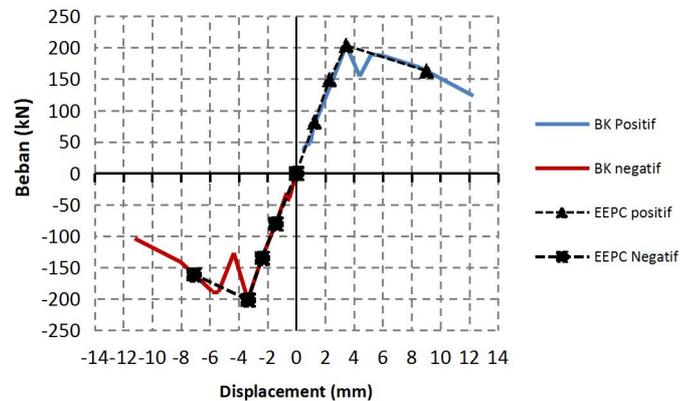
Gambar 3. *Hysteretic Loop*

Setelah mendapatkan grafik *hysteretic loop* selanjutnya membuat grafik antara *displacement* dengan beban dengan mengambil daa siklus

pertama pada setiap drifnya. Berdasarkan analisis *Equivalent Elastic Plastic Curve* (EEPC) terhadap *backbone curve* didapatkan parameter beban dan perpindahan pada saat kondisi *crack*, *yield*, *ultimate*, dan *failure*. Besarnya nilai beban siklus tarik pada saat kondisi *crack*, *yield*, *ultimite*, dan *failure* sebesar 81,39 kN, 140,37 kN, 203,5 kN, dan 162,77 kN. Pada saat siklus tekan dihasilkan beban pada saat kondisi *crack*, *yield*, *ultimite*, dan *failure* sebesar -80,58 kN; -145,21 kN; -201,5 kN; -161,17 kN (lihat Tabel 2). Kurva *backbone* dan *displacement* dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Tabel 2. Analisis EEPC pada setiap kondisi

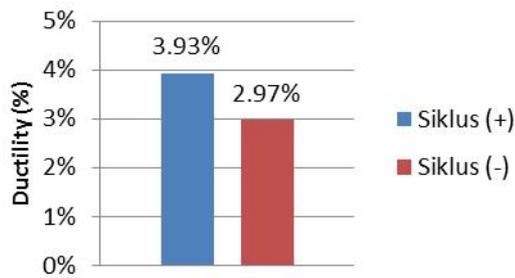
Kon-disi	Beban (+)		Beban (-)	
	Beban	Displacement	Beban	Displacement
	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)
<i>Crack</i>	81,39	1,26	-80,58	-1,43
<i>Yield</i>	140,37	2,18	-145,21	-2,57
<i>Ultimate</i>	203,5	3,46	-201,5	-3,36
<i>Failure</i>	162,77	9,04	-161,17	-7,55



Gambar 4. *Equivalent Elastic Plastic Curve*

### 2. Daktilitas

Berdasarkan *Equivalent Elastic Plastic Curve* (EEPC) dapat dianalisis nilai daktilitas struktur balok dengan membandingkan *displacement ulltimit* dengan *displacement yield*. Nilai daktilitas yang didapat sebesar 3,93% pada siklus tarik dan 2,97% pada siklus tekan, sehingga didapatkan nilai daktilitas rata-rata sebesar 3,45%.



Gambar 5. Daktilitas

### 3. Pola Retak

Pola keruntuhan pada balok *castellated* modifikasi komposit mortar ditandai dengan terjadinya retak pertama pada balok pada saat beban 40 kN. Seiring dengan bertambahnya beban, retakan semakin berkembang dan menyebar dimulai dari tumpuan ke pusat beban. Pada saat beban mencapai 141,8 kN terjadi leleh pada tulangan. Pola retak geser terlihat jelas ketika pada saat kondisi beban *ultimate* sebesar 203,5 kN untuk beban tarik dan -201,5 untuk beban tekan. Pola Retak diagonal membentuk sudut 45° Mekanisme terakhir ditandai dengan terjadinya *spalling* yang terjadi pada beton. Setelah terjadi *spalling*, beton sudah tidak mampu mendukung beban sehingga menyebabkan tulangan mengalami *buckling* dan *lateral buckling* pada baja *castellated* modifikasi saja seperti dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai kuat geser maksimum pada struktur balok *castellated* komposit sebesar 203,5 kN untuk siklus tarik dan -201,5 kN untuk siklus tekan. Dari hasil analisis EEPC didapat nilai daktilitas rata-rata struktur balok sebesar 3,45. Berdasarkan FEMA 306 bahwa struktur termasuk dalam kategori daktilitas sedang. Pola keruntuhan yang terjadi pada balok *castellated* komposit mortar yaitu pola keruntuhan geser. Hal ini terlihat dari adanya pola retak membentuk garis diagonal dengan sudut sekitar 45° dan retakan dimulai dari arah tumpuan ke pusat beban.



Gambar 6. Mekanisme keruntuhan

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai kuat geser maksimum pada struktur balok *castellated* komposit sebesar 203,5 kN untuk siklus tarik dan -201,5 kN untuk siklus tekan. Dari hasil analisis EEPC didapat nilai daktilitas rata-rata struktur balok sebesar 3,45. Berdasarkan FEMA 306 bahwa struktur termasuk dalam kategori daktilitas sedang. Pola keruntuhan yang terjadi pada balok *castellated* komposit mortar yaitu pola keruntuhan geser. Hal ini terlihat dari adanya pola retak membentuk garis diagonal dengan sudut sekitar 45° dan retakan dimulai dari arah tumpuan ke pusat beban.



## REFERENSI

- ATC-43 Project, (1998), FEMA 306, “*Evaluation of Earthquake Damage Concrete and Masonry Wall Building*”, Applied Technology Council, California.
- Atmaja, D., (2012), “*Perilaku Geser Balok Komposit Castellated Bukaan Heksagonal dengan Selimut Mortar*”, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Chalioris, C.E., (2012), *Steel Fibrous RC Beams Subjected to Cyclic Deformations Under Predominant Shear, Engineering Structures*, Vol.49, pp 104-118.
- Heldita, D., (2012), “*Perilaku Geser Balok Baja Castellated Bentuk Bukaan Lubang Segiempat dengan Tulangan dan Komposit Beton Agregat Praletak*”, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kristianta, I.P.H., (2014), “*Perilaku Geser Balok Castellated Modifikasi Dengan Penyambung Profil Siku Dan Komposit Mortar*”, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Marpaung .R, Suhadi, Tilik L.F., (2013), “*Perbandingan Energi Pada Percobaan Beton Bertulang Akibat Pembebanan Siklik dan Monotonik*”, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 9, pp 126-133.
- Putri, A.P., (2014), “*Prilaku Geser Balok Castellated Modifikasi Komposit Mortar Dengan Penyambung Tulangan Baja*”, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ujiyanto, M., (2006), “*Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Bertulang dengan Lubang Segiempat di Badan*”, Jurnal eco Rekayasa, Vol.2, hal 52-57