

## Pengaruh Variasi Tebal Terhadap Kekuatan Lentur Pada Balok Komposit Menggunakan Response 2000

(Effect Of Thickness Web Variations Against Flexural Strength On The Encased Partially Composite Beam Using Response 2000)

MARTYANA DWI CAHYATI

### ABSTRACT

The tensile strength is one of disadvantage for the concrete beam. Therefore, the development of an innovation in the structural elements of the beam by using the composite material of steel and concrete is necessary. The composite system is capable of resisting expected tensile so the load capacity and moment on the beam can be increased. This study examined the effect of variations in the thickness of the cross section of the IWF's profile on flexural moment of the composite beam. The composite beam using IWF 150x75x5x7 with variations of thickness web are 8 mm, 10 mm and 12 mm and using simply supported. The analysis using Response 2000. The results obtained for the flexural moment capacity from the variations of thickness web 8 mm thick, 10 mm and 12 mm are given respectively 236.40 kN, kN 244.63 and 252.83 kN. The results have shown that the increasing of thickness variation on the profile web IWF will increase the capacity of the composite beam bending moment. In addition, the increasing of thickness web is also affected to the increasing of stiffness on beam.

**Keywords:** beam, composite, steel-concrete, flexural strength, Response 2000

### PENDAHULUAN

Perkembangan struktur balok dimulai dari balok homogen. Balok homogen merupakan balok yang terbuat dari satu material saja seperti balok beton, balok baja, dan balok kayu. Seiring dengan berjalannya waktu, aplikasi struktur balok tidak hanya digunakan pada struktur bangunan, namun juga digunakan pada bangunan struktur jembatan. Sehingga dibutuhkan elemen struktur balok yang mampu memikul kapasitas beban yang besar. Untuk mengatasi beberapa permasalahan tersebut maka diperlukan sebuah solusi yaitu dengan menggunakan struktur balok komposit.

Balok komposit merupakan elemen struktur horisontal yang terbuat lebih dari dua material. Dengan adanya perbedaan material tersebut maka akan meningkatkan kinerja dari struktur balok tersebut apabila kedua material tersebut bekerja secara bersama-sama. Salah satu material komposit yang sering digunakan dalam struktur balok yaitu beton dan baja. Kelebihan dari struktur komposit beton-baja yaitu mampu meningkatkan kapasitas momen balok, mampu

mencegah korosi jika struktur komposit baja terselimuti oleh beton, meningkatkan kapasitas beban pada balok, dan durabilitas struktur balok komposit yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan balok homogen.

Dengan memperhatikan beberapa permasalahan dan mempertimbangkan keuntungan material komposit maka dalam penelitian ini dikaji mengenai analisis kekuatan lentur struktur balok komposit baja IWF yang diselubungi oleh beton dengan variasi tebal badan pada penampang IWF. Tujuan dari penelitian ini yaitu

- mengkaji pengaruh variasi ketebalan *web* terhadap kapasitas momen lentur balok,
- menentukan nilai kapasitas beban maksimal yang mampu dipikul oleh balok pada setiap variasi ketebalan *web*,
- menentukan nilai kekakuan pada balok setiap variasi ketebalan *web*.

Pada penelitian ini digunakan *software* Response 2000 sebagai alat bantu menganalisis kapasitas momen yang terjadi pada balok

komposit. Jumlah balok yang dimodelkan 3 buah balok komposit dengan nilai ketebalan web pada penampang profil IWF sebesar 8 mm, 10 mm, dan 12 mm. Pembebanan yang dilakukan dengan menggunakan beban statis.

#### TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian kuat lentur balok komposit beton baja sudah sering dilakukan oleh beberapa peneliti. Salah satunya dilakukan oleh Oliveira (2012). Oliveira melakukan penelitian dengan membandingkan perilaku balok *castellated* bentuk lubang segiempat dengan balok *castellated* lubang segiempat komposit mortar. Balok terbuat dari profil IWF 75x150x5x7, mortar, tulangan dengan diameter 16 mm untuk tulangan utama balok, tulangan polos diameter 8 mm untuk tulangan sengkang. Jumlah benda uji pada penelitian ini adalah 2 buah. Benda uji pertama (BC-1) merupakan balok *castellated* baja sedangkan benda uji kedua (BC-2) merupakan balok *casstellated* komposit mortar. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat lentur di laboratorium. Hasil pengujian BC-1 menghasilkan nilai kapasitas beban sebesar 24,60 kN, sedangkan kapasitas beban BC-2 sebesar 181 kN. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya material komposit berupa mortar akan meningkatkan kapasitas beban pada balok.

Selanjutnya, penelitian dikembangkan oleh Azwanda (2014) dengan mengkaji perilaku lentur pada balok *castellated* komposit mortar dengan pengaku profil siku. Pada penelitian ini benda uji terbuat dari balok IWF 150x75x5x7, mortar, dan pengaku siku L 30x30x3x3. Mortar dibuat dengan perbandingan semen dengan pasir sebesar 1:1,5 dan nilai fas sebesar 0,4. Dimensi balok yang digunakan pada penelitian ini dibuat berdasarkan pembuatan balok *castellated* yaitu penampang profil dipotong sebesar 0,5 h, kemudian kedua bagian tersebut ditinggikan penampang sesuai dengan ketinggian yang direncanakan dan disatukan dengan menggunakan pengaku profil siku. Panjang bentang balok yang digunakan yaitu 3059 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban statis *two point loading* dengan tumpuan balok yang digunakan merupakan sendi-rol. Sebelum dilakukan pengujian utama dilakukan sebuah pemodelan terlebih dahulu dengan menggunakan *software*

Response 2000. Setelah itu, baru dilakukan pengujian kuat lentur di laboratorium. Hasil kapasitas beban berdasarkan pemodelan didapat sebesar 228,984 kN sedangkan hasil pengujian di laboratorium kapasitas beban yang didapat sebesar 250,3%. Selisih nilai antara hasil pemodelan dengan hasil laboratorium sebesar 8,52%. Hal ini berarti hasil pemodelan dengan menggunakan *software* Response 2000 sudah cukup mewakili untuk prediksi perhitungan awal sebelum dilakukan pengujian utama uji kuat lentur.

Kemudian penelitian selanjutnya dilakukan oleh Adityawarman (2014) mengenai perilaku lentur balok *castellated* komposit dengan menggunakan mortar dan pengaku tulangan baja. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kapasitas lentur maksimal dan lendutan maksimal pada balok komposit. Penelitian dilakukan dengan membuat model terlebih dahulu dengan menggunakan *software* Response 2000 dan diujikan di laboratorium. Benda uji terbuat dari profil IWF 150x75x5x7, mortar yang memiliki kuat tekan 31,052 MPa, dan tulangan baja berdiameter 22 mm sebagai pengaku pada balok. Balok memiliki dimensi 75x275. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban statis *two point loading*. Tumpuan pada balok merupakan tumpuan sederhana yaitu sendi-rol. Pemodelan yang dilakukan pada Response 2000 hanya memodelkan sebuah balok yang terbuat dari profil IWF 150x75x5x7 dan mortar tanpa memodelkan tulangan baja. Dari hasil analisis dengan menggunakan Response 2000 nilai kapasitas beban sebesar 157,150 kN. Sedangkan kapasitas lentur maksimum yang didapat dari hasil laboratorium sebesar 178,853 kN. Terdapat selisih sebesar 12,2% pada nilai kapasitas lentur balok komposit pemodelan dengan pengujian lentur balok. Hal ini dikarenakan pada saat pemodelan menggunakan *software* Response 2000 tidak dimodelkan pengaku tulangan baja 22 mm sehingga nilai kapasitas momen lentur pada balok komposit memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimen.

Berdasarkan studi literatur di atas bahwa penelitian mengenai kuat lentur pada balok komposit beton-baja IWF dengan variasi ketebalan web dengan analisis *software* Response 2000 belum pernah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

## LANDASAN TEORI

*Kapasitas Momen Lentur Balok Komposit*

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 bahwa balok komposit baja yang diberi selubung beton dianggap bekerja secara komposit dengan beton dan biasanya untuk tipe balok komposit yang seperti ini tidak ada penghubung geser. Kapasitas momen lentur pada balok dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang balok. Karena pada balok terdiri dari dua material beton dan baja, maka untuk mendapatkan momen lentur perlu dianalisis masing-masing materialnya. Kemudian nilai momen ultimate merupakan jumlah dari momen yang terjadi pada masing-masing materialnya. Kapasitas momen lentur pada sayap profil, badan profil, dan beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1), (2), (3).

Kapasitas momen ultimate pada sayap balok IWF,

$$M_u = A_f \times f_y \times y \quad (1)$$

dengan,  $M_u$  adalah momen ultimate (kNm);  $A_f$  merupakan luas sayap pada penampang baja profil IWF ( $\text{mm}^2$ );  $y$  merupakan jarak (mm).

Kapasitas momen pada badan balok IWF,

$$M_u = A_w \times f_y \times y \quad (2)$$

dengan,  $M_u$  adalah momen ultimate (kNm);  $A_w$  merupakan luas badan pada penampang baja profil IWF ( $\text{mm}^2$ );  $y$  merupakan jarak (mm).

Kapasitas momen pada sayap balok IWF,

$$M_{cu} = Z \times f_{cr} \quad (3)$$

dengan,  $M_{cu}$  adalah momen ultimate pada beton (kNm);  $Z$  merupakan modulus penampang balok beton ( $\text{mm}^3$ );  $f_{cr}$  merupakan tegangan first crack pada beton =  $0,1 f_c'$  (Mpa)

Berdasarkan Jensen dan Chenoweth (1991) bahwa nilai modulus penampang balok

segiempat dapat dihitung melalui persamaan [4].

$$Z = \frac{bh^2}{6} \quad (4)$$

Dengan,  $b$  merupakan lebar penampang balok (mm),  $h$  merupakan tinggi penampang balok (mm), dan  $Z$  merupakan modulus penampang balok ( $\text{mm}^3$ )

*1. Kapasitas Beban Balok*

Kapasitas beban maksimal yang mampu didukung oleh balok komposit dapat dihitung ketika nilai momen lentur pada balok sudah didapatkan. Dengan tipe struktur seperti pada Gambar 1, maka Kapasitas beban dapat dihitung melalui persamaan (4)

$$P = \frac{2 \times M}{a} \quad (5)$$

Dengan  $P$  adalah kapasitas beban (kN);  $M$  adalah kapasitas momen balok (kNm);  $a$  merupakan jarak dari tumpuan ke pusat beban (m).

*Lendutan Pada Balok*

Lendutan merupakan salah satu respon struktur terhadap sumbu vertikal akibat adanya beban yang berada di atas balok. Berdasarkan Timoshenko (1985) analisis untuk menghitung lendutan ada 3 metode yaitu metode integrasi ganda, luas bidang momen, dan luas bidang momen sebagai beban. Ketika bentuk struktur seperti pada Gambar 1, maka dapat dilakukan analisis lendutan berdasarkan persamaan (5) & (6)

Pada kondisi  $0 \leq x \leq a$  maka

$$\delta = \frac{Px}{6EI} (3aL - 3a^2 - x^2) \quad (6)$$

Pada kondisi  $a \leq x \leq L$  - a maka

$$\delta = \frac{Px}{6EI} (3Lx - 3x^2 - a^2) \quad (7)$$

Dengan  $\delta$  merupakan lendutan (mm);  $L$  merupakan panjang bentang balok (mm);  $x$  merupakan jarak yang ditinjau (mm);  $a$  merupakan jarak beban terhadap tumpuan

(mm);  $E$  merupakan modulus elastisitas (MPa);  $I$  merupakan momen inersia penampang balok (mm<sup>4</sup>).

#### Kekakuan Balok

Kekakuan balok merupakan rasio perbandingan antara beban dengan lendutan yang terjadi pada balok. Kekakuan balok dapat dianalisis melalui persamaan (7).

$$k = \frac{P}{\delta} \quad (8)$$

Dengan,  $k$  merupakan kekakuan balok (kN/m);  $P$  merupakan beban (kN);  $\delta$  merupakan lendutan balok (m).

#### Analisis Software Response 2000

Response 2000 merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk analisis perhitungan

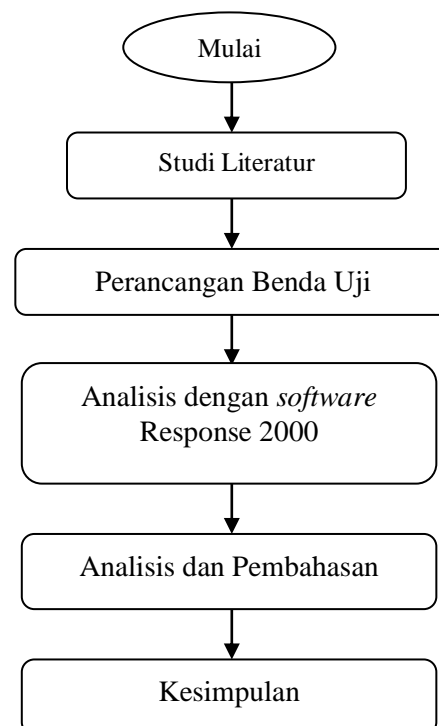
penampang balok. Parameter yang dihasilkan pada *software* Response 2000 ini yaitu kapasitas momen, curvature, gaya geser, lendutan, distribusi tegangan pada saat kondisi *crack*, *yield*, dan *ultmite*.

Sebelum dilakukan analisis perhitungan, maka perlu dimasukkan mengenai parameter kualitas dari material yang akan digunakan ke dalam program Response 2000. Pada studi kasus balok komposit parameter yang dimasukkan terdiri dari dua macam yaitu material dari beton dan material baja. Parameter material beton yang dimasukkan adalah kuat tekan, sedangkan parameter untuk baja seperti kuat leleh baja ( $f_y$ ), kuat ultimite baja ( $f_u$ ), regangan strain hardening ( $\epsilon_{sh}$ ). Berdasarkan SNI 03-1729-2002 klasifikasi mutu material baja dapat dilihat pada Tabel 1. Selain material juga harus diinutur mengenai dimensi penampang balok yang akan digunakan.

TABEL 1. Sifat mekanis material baja

Jenis Baja	$F_u$ (MPa)	$F_y$ (MPa)	$\epsilon_{\text{minimum}}$
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

SUMBER: SNI 03-1729-2002



GAMBAR 2. Prosedur Penelitian

## METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian pada tahap awal dimulai dengan melakukan studi literatur. Studi literatur yang dilakukan berupa pengumpulan jurnal-jurnal terkait dengan tema penelitian, perencanaan mutu material yang akan direncanakan dan buku terkait mengenai analisis yang dilakukan pada penelitian. Langkah selanjutnya dilakukan pemodelan pada *software* Response 2000. Dengan menggunakan *software* tersebut maka akan didapatkan data berupa kapasitas momen penampang dan *curvature*. Setelah itu, dilakukan pembahasan mengenai hubungan variasi ketebalan penampang pada *web* dengan nilai kapasitas momen lentur balok. Prosedur penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada penelitian ini, benda uji yang akan dimodelkan terbuat dari material beton dan baja

IWF 200x200. Material beton memiliki kuat tekan beton sebesar 20 Mpa dengan modulus elastisitas sebesar 21019,04 Mpa. Kualitas Baja yang digunakan merupakan BJ-37. Spesifikasi kualitas baja dapat dilihat pada Tabel 2.

Dimensi dari balok berukuran 200 mm x 300 mm. Jumlah benda uji yang akan dimodelkan ada 3 macam dengan variasi ketebalan web dapat dilihat pada tabel 3. Sistem Komposit yang digunakan merupakan sistem *encased partially composite beam*. Untuk lebih jelasnya Gambar penampang memanjang dan melintang benda uji dapat dilihat pada Gambar 3. Sistem pembebanan yang direncanakan dengan menggunakan *two point loading*. Tumpuan yang digunakan menggunakan tumpuan sederhana yaitu sendi dan rol.

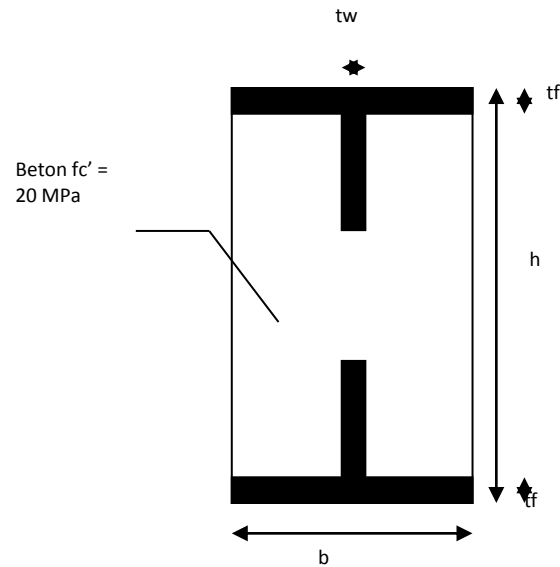
TABEL 2. Spesifikasi Baja BJ-37

No.	Parameter	Hasil	Satuan
1	Kuat Leleh ( $f_y$ )	240	MPa
2	Kuat Ultimate ( $f_u$ )	370	MPa
3	Regangan ( $\epsilon$ )	0,22	
4	Modulus elastisitas ( $E$ )	200.000	MPa

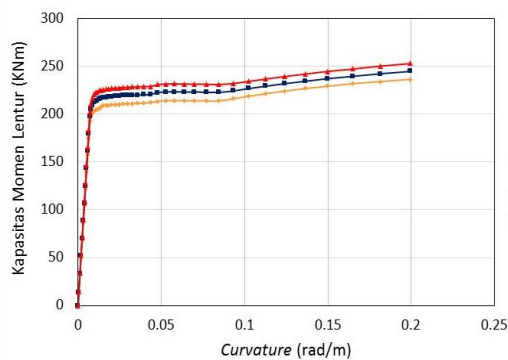
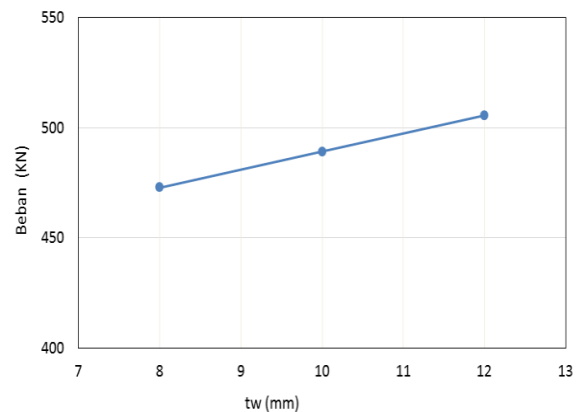
SUMBER: SNI 03-1729-2002

TABEL 3. Dimensi Benda uji

Benda Uji	IWF	$b$ (mm)	$h$ (mm)	Tebal web, $t_w$ (mm)	Tebal flange, $t_f$ (mm)
A	200x200	200	300	8	12
B	200x200	200	300	10	12
C	200x200	200	300	12	12



GAMBAR 3. Penampang Melintang Balok

GAMBAR 4. Hubungan antara momen dengan *curvature*GAMBAR 5. Hubungan kapasitas beban dengan nilai ketebalan *web* ( $t_w$ )

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### *Kapasitas Momen Lentur Balok Komposit*

Berdasarkan analisis *software* Response 2000 didapat nilai kapasitas momen lentur benda uji A ( $t_w = 8$  mm) sebesar 236,40 kNm, benda uji B ( $t_w = 10$  mm) sebesar 244,63 kNm, dan benda uji C ( $t_w = 12$  mm) sebesar 252,83 kNm. Rata-rata peningkatan momen balok komposit dengan ketebalan 8 mm, 10 mm, dan 12 mm sebesar 3,3%. Dari nilai tersebut menunjukkan

bahwa dengan penambahan ketebalan web maka akan berdampak pada kapasitas pada balok komposit semakin meningkat. Hal ini disebabkan adanya peningkatan ketebalan web maka akan berdampak pada luasan penampang penampang yang bertambah. Berdasarkan Persamaan [2] karena momen lentur sebanding dengan luasan penampang maka ketika nilai balok meningkat maka kapasitas momen juga akan meningkat. Hubungan anatara momen lentur dan *curvature* pada setiap benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.

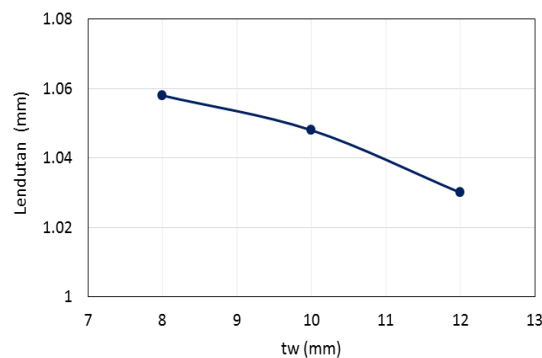
### Kapasitas Beban Balok Komposit

Berdasarkan nilai momen lentur yang didapat maka dapat dianalisis beban maksimal yang dapat didukung oleh balok tersebut. Pada penelitian ini dibatasi dengan bentuk tipe struktur balok ditumpu oleh sendi rol dan dibebani dengan dua beban titik dapat dilihat pada Gambar 1, sehingga dapat dianalisis beban maksimal. Kapasitas beban maksimal yang mampu didukung oleh balok dengan ketebalan *web* profil IWF sebesar 8 mm adalah 472,81 kN, sedangkan pada ketebalan *web* sebesar 10 mm sebesar 489,27 kN, dan ketebalan *web* 12 mm sebesar 505,66 kN. Berdasarkan Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai tebal *web* profil IWF akan berdampak pada nilai kapasitas yang didukung oleh balok akan semakin besar juga. Hal ini disebabkan nilai kapasitas beban sebanding dengan nilai momen sehingga ketika momen meningkat pada saat tebal *web* bertambah maka kapasitas beban

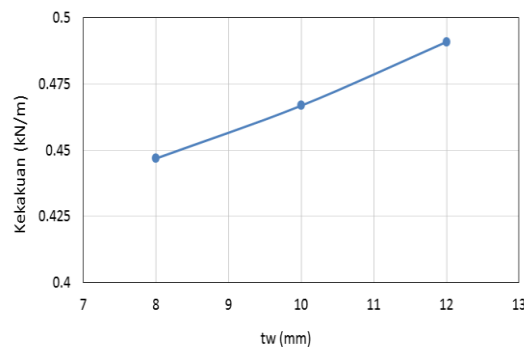
yang didukung oleh balok komposit juga akan meningkat.

### Lendutan Balok Komposit

Nilai lendutan yang didapatkan berdasarkan analisis *software* Response 2000 dengan variasi ketebalan *web* 8 mm, 10 mm, dan 12 mm sebesar 1,06 mm; 1,05 mm; 1,03 mm. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa ketika terjadi peningkatan pada ketebalan *web* maka lendutan maksimal yang terjadi pada balok akan menurun. Hal ini disebabkan karena adanya peningkatan momen inersia yang berbanding tidak sebanding dengan lendutan. Dapat dilihat pada Persamaan (5) dan Persamaan (6) bahwa ketika nilai momen inersia meningkat maka lendutan maksimum yang terjadi pada balok akan mengalami penurunan. Sedangkan peningkatan momen inersia dipengaruhi oleh ketebalan pada penampang.



GAMBAR 6. Hubungan lendutan maksimal dengan variasi ketebalan *web* (*tw*)



Gambar 7. Hubungan nilai kekakuan balok terhadap variasi ketebalan *web* (*tw*)

### Kekakuan Balok Komposit

Berdasarkan Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa peningkatan ketebalan web pada profil IWF maka akan menyebabkan nilai kekakuan balok komposit semakin tinggi. Besarnya nilai kekakuan pada balok komposit dengan ketebalan web 8 mm sebesar 0,45 kN/m; untuk ketebalan web sebesar 10 mm sebesar 0,47 kN/m ; dan ketebalan web 12 mm sebesar 0,49 kN/m. Hal ini disebabkan adanya peningkatan luasan baja yang terdapat pada balok sehingga kekakuan balok komposit akan meningkat.

### KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasn yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan

1. Nilai kapasitas momen lentur pada balok komposit yang didapat dengan variasi ketebalan web ( $t_w$ ) 8 mm, 10 mm, 12 mm sebesar 236,40 kNm; 244,63 kNm; dan 252,83 kNm.
2. Kapasitas beban yang didukung oleh balok akan meningkat seiring bertambahnya nilai ketebalan web ( $t_w$ ). Kapasitas beban maksimum balok komposit terletak pada variasi ketebalan web 12 mm dengan nilai 505,662 kN.
3. Lendutan maksimum yang terjadi pada blok komposit menurun seiring dengan peningkatan ketebalan web ( $t_w$ ). Nilai lendutan maksimum sebesar 1,06 mm pada ketebalan web sebesar 8 mm.
4. Tidak hanya nilai kapasitas momen dan kapasitas beban yang meningkat namun bertambahnya nilai ketebalan web ( $t_w$ ) akan berpengaruh pada nilai kekakuan struktur balok komposit yang semakin tinggi. Nilai kekakuan maksimum diperoleh sebesar 0,49 kN/m terletak pada ketebalan web sebesar 12 mm.

### DAFTAR PUSTAKA

Adityawarman, G.M. (2014). *Perilaku Lentur Balok Castellated Modifikassi Dengan Pengaku Tulangan dan Komposit*

*Mortar*. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Azwanda. (2014). *Perilaku Lentur Balok Castellated Modifikasi Dengan Penyambung Profil Siku dan Perkuatan Tulangan Komposit Mortar*. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Badan Standar Nasional. (2002). *SNI-0301729-2002 Tata Cara Perhitungan Struktural Baja Untuk Bangunan Gedung*. Bandung.

Jensen. A, Chenoweth, H., H. (1983). *Applied Strength of Materials*, Fourth Edition. New York: Mc Graw-Hill Inc.

Morisco. (1998). *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Kanisius.

Oliviera, A. T. C. R. (2012). *Perilaku Lentur Balok Castellated Bentuk Lubang Segiempat dengan Tulangan dan Komosit Mortar*. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Timoshenko. (1985). *Mechanics of Materials*, Ledds: Wadsworth, Inc.

---

### PENULIS:

Martyana Dwi Cahyati

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik , Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta. Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta. 55183

Email: martyana.dc@gmail.com