

KAPASITAS LENTUR DAN DAKTILITAS BALOK BETON BERTULANG YANG DIPASANG CARBON WRAPPING

Antonius¹⁾ dan Januar Prihanantio²⁾

- 1) Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA),
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang; e-mail: antoni67a@yahoo.com
2) Staf PT. Adhi Karya Div. Konstruksi IV - Jatim, Jateng, DIY

ABSTRAK

Dewasa ini telah dikembangkan teknologi sistim perkuatan struktur yaitu dengan memasang bahan eksternal yang terbuat dari bahan komposit non-logam yang disebut Carbon Wrapping. Carbon Wrapping mempunyai beberapa keuntungan antara lain mudah dalam pemasangan, mempunyai kuat tarik yang tinggi (3500 MPa), dan dapat dipasang pada bagian permukaan beton, baja maupun kayu. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk mengetahui pengaruh pemasangan Carbon Wrapping pada balok beton bertulang ($f_c' = 30$ MPa) terhadap kapasitas lentur dan daktilitas balok. Di dalam program eksperimen, dibuat sebuah benda uji sebagai balok kontrol (kode BK) dan tiga spesimen lainnya berupa balok dengan variasi pemasangan Carbon Wrapping. Penempatan Carbon Wrapping adalah pada bagian bawah balok di sepanjang bentang, yang pertama dipasang sebesar setengah lebar balok (kode BCW-0,5b), kedua dipasang sebesar lebar balok (kode BCW-b), dan ketiga dipasang menyerupai model "U" (kode BCW-U). Balok diuji dengan sistim pengujian kontrol deformasi dengan model pembebanan 'two point load'. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pemasangan Carbon Wrapping pada balok dapat meningkatkan kapasitas lentur dan daktilitas balok. Hasil lainnya adalah peningkatan kapasitas lentur dan daktilitas secara optimum terjadi dengan cara pemasangan Carbon Wrapping sebesar lebar balok (BCW-b).

Kata-kata kunci: Carbon Wrapping, kapasitas lentur, daktilitas

I. PENDAHULUAN

Elemen struktur dan struktur harus selalu didesain untuk dapat memikul beban berlebih dengan besar tertentu. Kapasitas cadangan diperlukan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya faktor-faktor *overload* dan faktor *undercapacity*. *Overload* dapat terjadi akibat perubahan fungsi struktur, *underestimate* pengaruh beban karena penyederhanaan perhitungan, urutan dan metoda konstruksi. *Undercapacity* dapat terjadi akibat variasi kekuatan material, *workmanship* dan tingkat pengawasan.

Apabila elemen struktur menerima beban di luar yang diperhitungkan, maka struktur tersebut harus diperkuat. Perkuatan dapat berupa perbesaran dimensi penampang, memasang bahan eksternal dan metoda perkuatan lainnya.

Dewasa ini telah dikembangkan cara perkuatan balok beton bertulang yaitu dengan memasang bahan komposit non-logam berupa lembaran seperti kain yang disebut *Carbon Wrapping*. Pemakaian bahan tersebut memiliki beberapa keuntungan, antara lain lebih mudah dipasang dibanding dengan memakai selubung baja maupun perluasan tampang beton bertulang, mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan bisa dipasang pada bagian permukaan dari beton, baja maupun kayu.

Material *Carbon Wrapping* biasanya digunakan sebagai perkuatan geser, baik pada kolom maupun balok [7]. Namun demikian, berdasarkan sifat mekanis yang dimilikinya *Carbon*

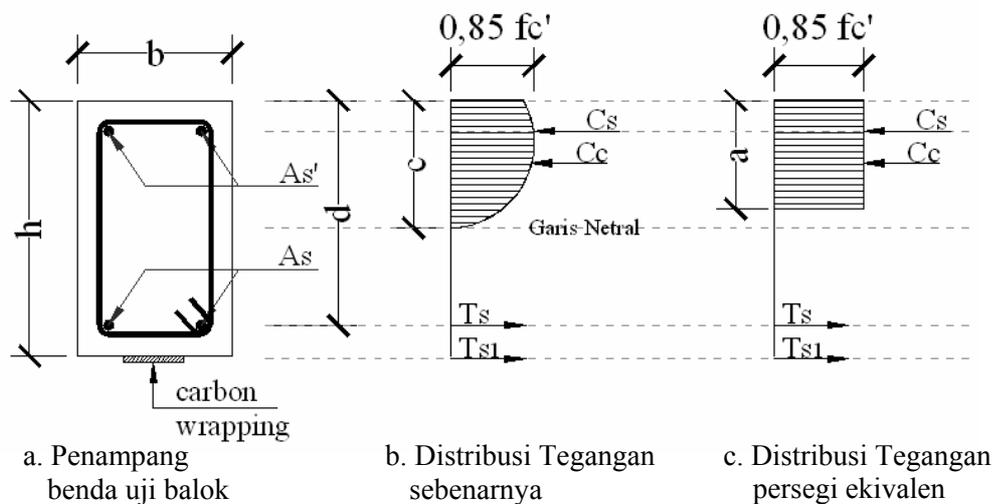
Wrapping mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi, sehingga bahan tersebut juga sangat berpotensi untuk digunakan sebagai perkuatan lentur. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk mengetahui pengaruh perkuatan balok beton bertulang oleh *Carbon Wrapping* terhadap kapasitas lentur dan daktilitasnya. Selain itu, di dalam paper ini juga akan dibahas perilaku keruntuhan balok yang terjadi akibat pemasangan *Carbon Wrapping* tersebut. Tabel 1 menunjukkan karakteristik material *Carbon Wrapping* jenis Sika Wrap Hex 230 C.

Tabel 1 Karakteristik Material Sika Wrap Hex 230C

Properties	SikaWrap Hex 230 C
Tensile Strength	3.500 N/mm ²
E – Modulus	230.000 N/mm ²
Strain at failure	> 1.5 %
Thickness	0,13 mm
Width	600 mm
Length / roll	50 m

II. KUAT LENTUR BALOK PENAMPANG PERSEGI DENGAN PERKUATAN

Kuriger dkk. (2001) dan Sika (2000) mengusulkan distribusi tegangan balok setelah diberi perkuatan seperti gambar 1 berikut :



Gambar 1. Distribusi Tegangan Persegi dengan Perkuatan

Berdasarkan gambar 1, keseimbangan gaya – gaya dalam :

$$C_c + C_s = T_s + T_{s1} \quad (1)$$

dimana $C_c = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \quad (2)$

$$C_s = A_s' \cdot f_y \quad (3)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (4)$$

dan $T_{s1} = A_L \cdot f_L \quad (5)$

Momen nominal penampang dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$M_n = C_c (h/2 - a/2) + C_s (h/2 - d') + T_s (d - h/2) + T_{s1} (h - h/2) \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan (6) diatas, terdapat penambahan kapasitas momen sebesar $T_{s1}(h-h/2)$, yang merupakan kontribusi dari *Carbon Wrapping*.

III. PROGRAM EKSPERIMEN

Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Struktur dan Bahan Undip.

III.1. Material

III.1.1. Beton dan bahan pembentuknya

Semen yang dipakai adalah Semen Nusantara Cilacap jenis I. Pasir yang digunakan untuk pembuatan beton bertulang menggunakan pasir Muntilan. Kerikil yang dipakai butirannya mempunyai ukuran maksimum 20 mm. Beton didesain dengan kuat tekan (f_c') 30 MPa. Rancangan campuran beton terlihat pada tabel 2. Tulangan baja yang digunakan terdiri dari tulangan ulir dengan diameter 10 mm sebagai tulangan utama yang mempunyai tegangan leleh (f_y) 340,5 MPa dan tulangan polos diameter 8 mm sebagai tulangan geser.

Tabel 2. Rancangan campuran beton ($f_c'=30$ MPa)

Material	Jumlah (kg/m ³)
Semen	366,07
Pasir	743,47
Krikil	1101,93
Air	203,52
w/c	0,56

III.1.2. Carbon Wrapping

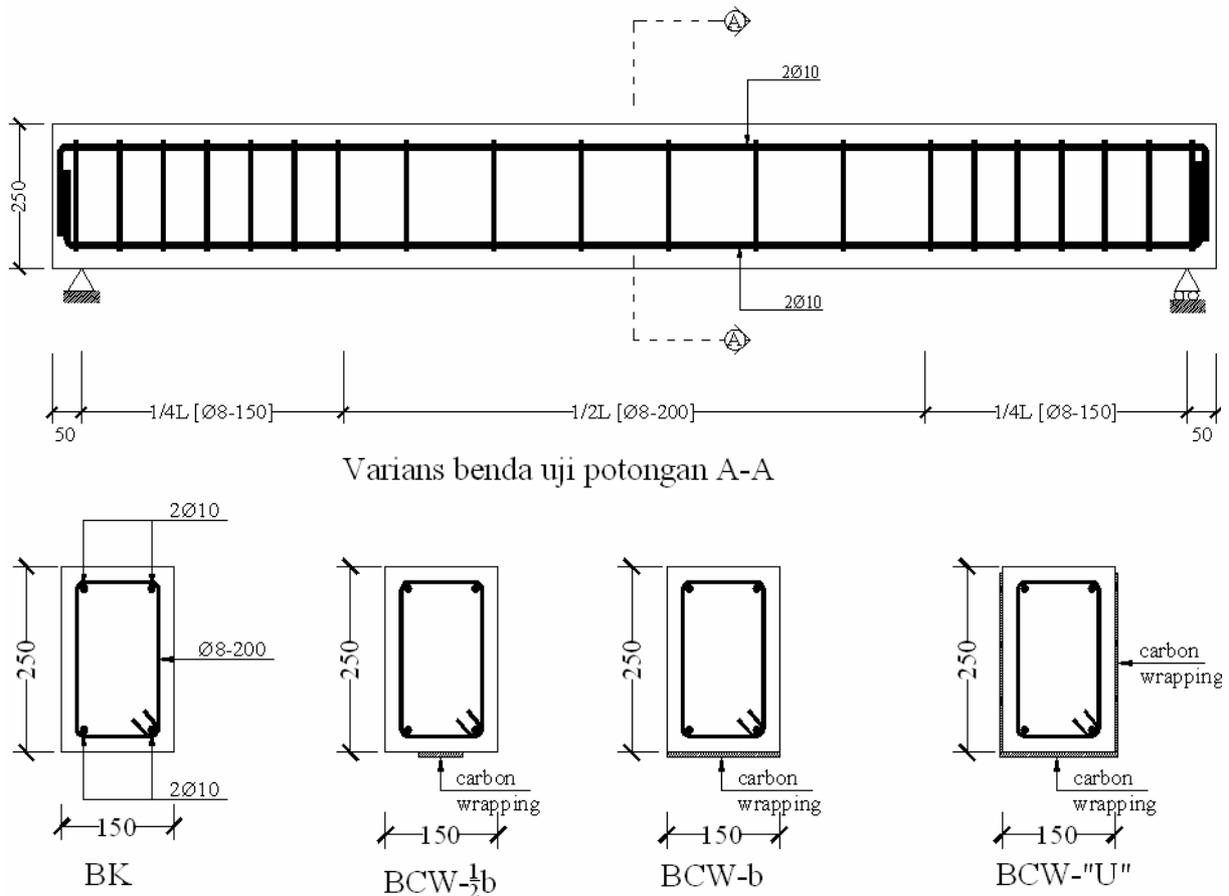
Carbon wrapping yang digunakan dalam penelitian ini berupa lembaran seperti kain dengan nama dagang *SikaWrap Hex-230 C* dengan lebar 610 mm.

III.1.3. Epoxy adhesives (perekat)

Untuk merekatkan *SikaWrap Hex-230 C* dengan beton digunakan *Epoxy adhesives* yaitu jenis *Sikadur 330*.

III.3. Spesimen / Benda Uji dan Variabel Pengujian

Spesimen berupa balok beton bertulang yang mempunyai panjang 2000 mm, lebar (b) 150 mm dan tinggi penampang (h) 250 mm. Spesimen dibuat sebanyak 4 buah, yang terdiri dari sebuah balok uji sebagai balok kontrol tanpa perkuatan *Carbon Wrapping* (kode BK), dan tiga balok yang lain diberi perkuatan dengan variasi yang berbeda. Balok yang pertama dipasang *Carbon Wrapping* pada bagian bawah sebesar setengah lebar balok (kode BCW-1/2b), balok kedua dipasang *Carbon Wrapping* pada bagian bawah sebesar lebar balok (kode BCW-b). Balok ketiga dipasang *Carbon Wrapping* keliling menyerupai bentuk U (kode BCW-U) yang dipasang pada jarak setiap lebar *Carbon Wrapping* (200 mm). Spesifikasi pengelompokan spesimen balok dan variabelnya terlihat pada gambar 2.



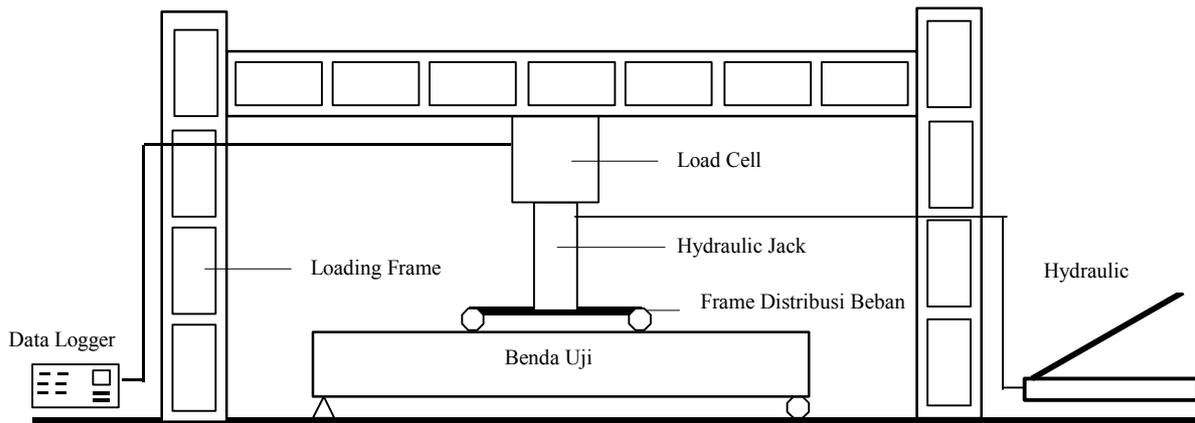
Gambar 2. Penulangan dan variabel benda uji

III.4. Strain Gauge

Strain gauge yang digunakan adalah produksi Tokyo Sokki Kenkyujo Co.Ltd yang terdiri dari type PL-60-11 untuk mengukur regangan beton dan type FLA-6-11 untuk mengukur regangan *carbon wrapping* dan regangan baja. Untuk mengetahui regangan beton, *strain gauge* dipasang pada permukaan beton bagian atas (sisi tekan). Sedang untuk *carbon wrapping* yang berfungsi sebagai perkuatan lentur dipasang pada permukaan bagian bawah (sisi tarik). Nilai regangan yang terjadi pada *strain gauge* dibaca lewat *Data Logger*.

III.5. Set-up Pengujian

Balok beton bertulang diuji terhadap beban statik. Tumpuan badan uji balok adalah sendi-rol. Pembebanan dilakukan dengan sistim *two point load* dengan jarak antar titik pembebanan 600 mm dan sejauh 650 mm dari masing-masing tumpuan di kedua sisi. Pembebanan dilakukan dengan bantuan *hydraulic jack* dan *load cell* yang masing-masing mempunyai kapasitas 50 ton. Aplikasi beban dilakukan secara bertahap dengan interval kenaikan sebesar 200 kg. Set-up pengujian balok dapat dilihat pada gambar 3.

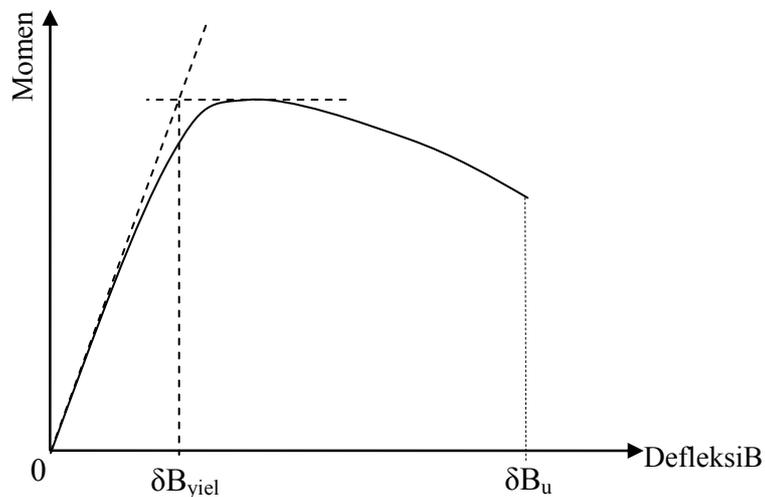


Gambar 3. Set-up pengujian

III.6. Daktilitas

Daktilitas menyatakan kemampuan struktur untuk berdeformasi secara signifikan tanpa mengalami penurunan kekuatan yang berarti. Di dalam penelitian ini, penentuan daktilitas balok dinyatakan sebagai perbandingan antara defleksi ultimit terhadap defleksi pada saat leleh pertama kali berdasarkan kurva Momen-defleksi balok di tengah bentang. Dalam penelitian ini besarnya nilai daktilitas (μ) dinyatakan sebagai berikut (lihat gambar 4):

$$\mu = \frac{\delta_{ult.}}{\delta_{yield}} \quad (7)$$



Gambar 4. Penentuan nilai daktilitas (μ)

IV. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Pengujian

Hasil pengujian spesimen ditampilkan pada tabel 3. Secara umum spesimen dengan penambahan Carbon Wrapping mengalami peningkatan beban maksimum terhadap balok kontrol.

Tabel 3. Hasil Pengujian

	<i>BK</i>	<i>BCW-1/2b</i>	<i>BCW-b</i>	<i>BCW-U</i>
Beban Maks	3,6 ton	6,2 ton	6,9 ton	3,9 ton
Momen Maks	1,17 tm	2,015 tm	2,2425 tm	1,2675 tm
Beban Leleh	2,1 ton	2,8 ton	3 ton	1,8 ton
Regangan Leleh	0,0016	0,0017	0,0017	0,0019
Lendutan Leleh	5 mm	2 mm	1 mm	3,5 mm
Daktalitas	5,7	12,5	19	6,14
Beban Retak Awal	1,6 ton	2 ton	2,4 ton	1,2 ton
Keruntuhan	Lentur	Geser	Geser	Lentur

Berdasarkan tabel 4 di atas terjadi peningkatan beban maksimum spesimen BCW-1/2b sebesar 72,2% dan spesimen BCW-b 91,7 % terhadap beban maksimum balok kontrol. Sementara untuk spesimen BCW-U beban maksimum juga meningkat terhadap beban maksimum balok kontrol meskipun tidak signifikan yaitu sebesar 8,33 %.

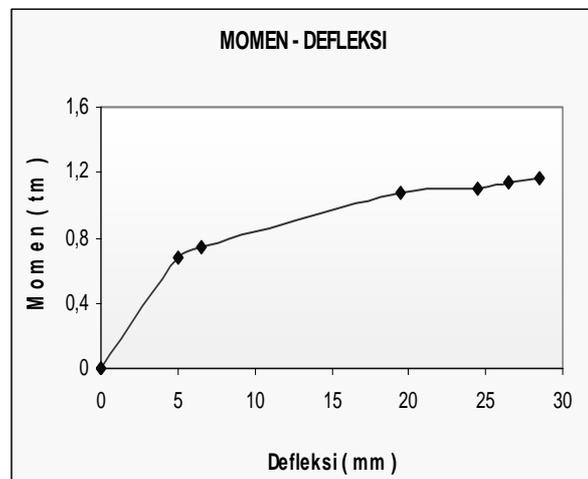
IV.2. Perilaku Keruntuhan

4.2.1. Spesimen Balok Kontrol (BK)

Pola retak balok kontrol terlihat pada gambar 5. Retak awal terjadi pada beban 1,6 ton ditandai dengan munculnya retak rambut pada bagian tarik balok. Tulangan tarik mulai leleh pada saat nilai regangan 0,0016 dan beban 2,1 ton. Sementara itu keruntuhan balok terjadi pada beban sebesar 3,6 ton, dan besarnya nilai daktalitas adalah 5,7.



Gambar 5a. Pola Retak Balok Kontrol

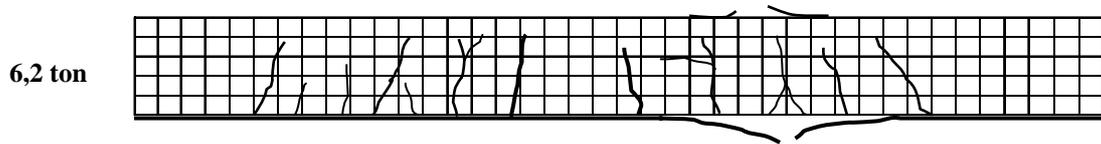


Gambar 5b. Foto pola retak Balok Kontrol

Gambar 5c. Hubungan Momen–Defleksi tengah bentang Balok Kontrol

IV.2.2. Spesimen BCW -1/2b (Carbon Wrapping 1/2b)

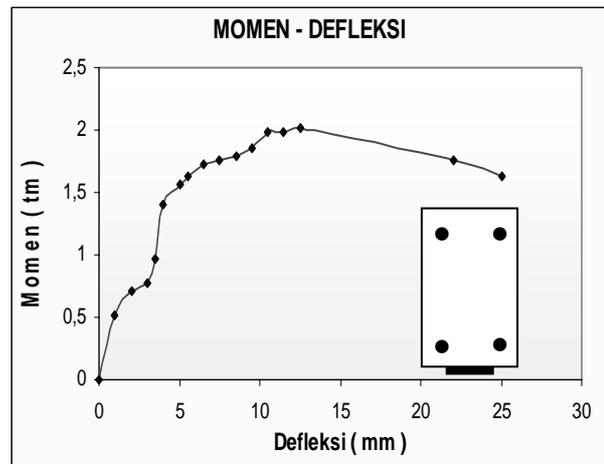
Pola retak spesimen BCW -1/2b terlihat pada gambar 6.



Gambar 6a. Pola Retak BCW-1/2b



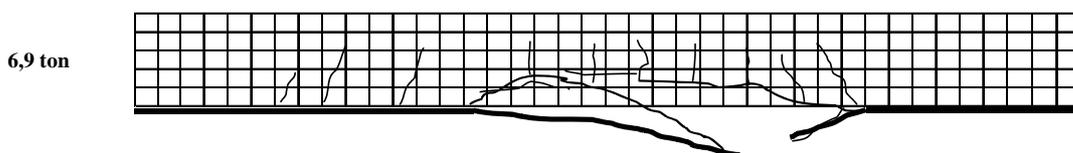
Gambar 6b. Foto pola retak spesimen BCW-1/2b



Gambar 6c. Hubungan Momen–Defleksi tengah bentang spesimen BCW-1/2b

Retak awal terjadi pada beban 2 ton ditandai dengan munculnya retak rambut pada bagian tarik balok. Tulangan tarik mulai leleh pada beban 2,8 ton dengan nilai regangan sebesar 0,0017. Pada beban 5 ton tulangan tarik sudah leleh dan regangan *Carbon Wrapping* cukup besar yaitu 0,0026. Pada saat tulangan tarik mulai leleh, *Carbon Wrapping* mulai berperan sehingga kapasitas lentur balok meningkat. Indikasi tersebut terlihat dari beban (P) yang bekerja pada balok hingga regangan *Carbon Wrapping* menurun, yaitu pada beban (P) 5,9 ton. Nilai daktilitas spesimen BCW-1/2b adalah 12,5.

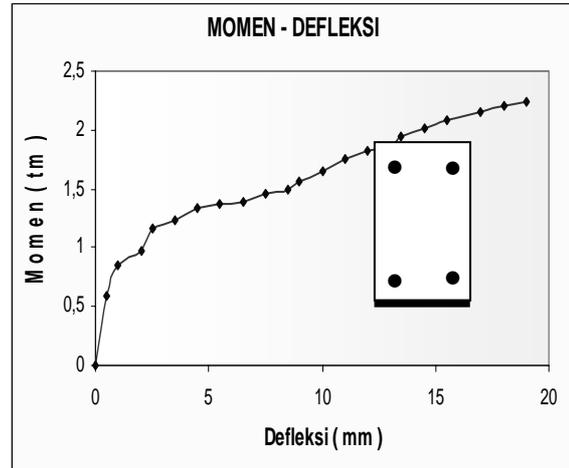
IV.2.3. Spesimen BCW–b



Gambar 7a. Pola Retak BCW-b



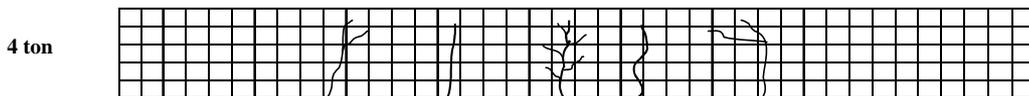
Gambar 7b. Foto pola retak spesimen BCW-b



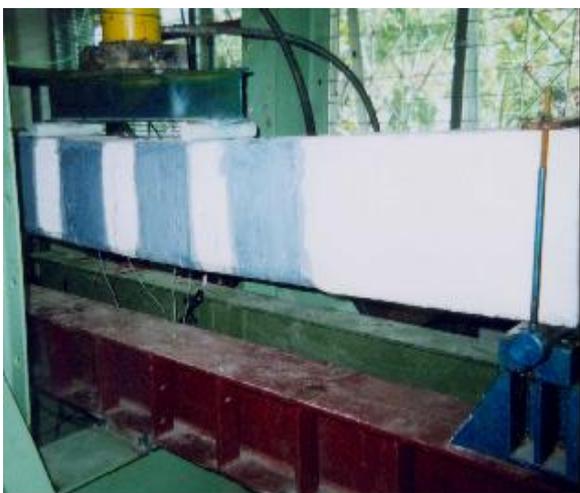
Gambar 7c. Hubungan Momen–Defleksi tengah bentang spesimen BCW-b

Gambar 7 memperlihatkan pola keruntuhan spesimen BCW-b. Retak awal terjadi pada beban 2,4 ton ditandai dengan munculnya retak rambut pada bagian tarik balok. Tulangan tarik mulai leleh pada beban 3 ton dengan nilai regangan sebesar 0,0017. Pada saat tulangan tarik mulai leleh, *Carbon Wrapping* mulai berperan sehingga kapasitas lentur balok meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan bertambahnya beban (P) yang bekerja pada balok hingga regangan *Carbon Wrapping* menurun, yaitu pada beban (P) 6,8 ton. Besarnya nilai daktilitas spesimen BCW-b adalah 19.

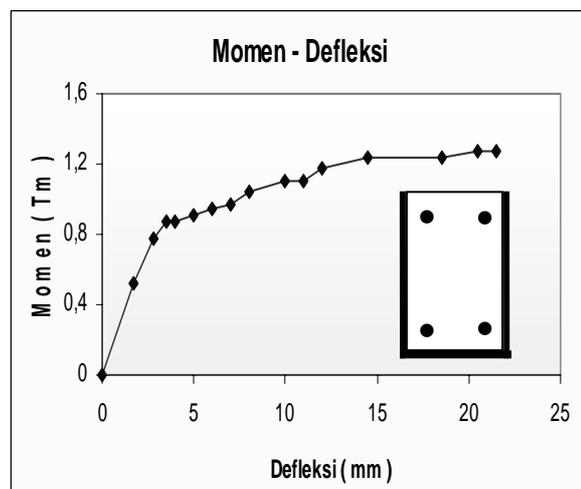
IV.2.4. Spesimen BCW – U



Gambar 8a. Pola Retak BCW-U



Gambar 8b. Foto pola retak spesimen BCW-U



Gambar 8c. Hubungan Momen–Defleksi tengah bentang spesimen BCW-U

Pola retak spesimen BCW-U disajikan pada gambar 8. Retak awal terjadi pada beban 1,2 ton ditandai dengan munculnya retak rambut pada bagian tarik balok. Tulangan tarik mulai leleh pada beban 1,6 ton dengan nilai regangan sebesar 0,0019. Pada spesimen BCW-U ini *Carbon Wrapping* rusak karena dengan pola pemasangan model – U ini serat *Carbon Wrapping* searah dengan pola retak balok sehingga tidak berperan sama sekali. Besarnya nilai daktilitas adalah 6,14.

IV.3. Perbandingan Hasil Eksperimen - Analisis

Di dalam penelitian ini, hasil eksperimen dibandingkan terhadap hasil analisis yang diperoleh berdasarkan kalkulasi persamaan (6.), seperti terlihat dalam tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut, secara keseluruhan tidak ada perbedaan yang berarti antara hasil eksperimen dan analisis.

Tabel 4. Perbandingan hasil eksperimen dan analisis

Spesimen	Momen Ultimit (Tm)		P.Ult (Ton)		Eksp/ Analisis
	Eksp.	Analisis	Eksp.	Analisis	
BK	1,17	1,02	3,6	3,15	1,15
BCW-1/2b	2,015	1,82	6,2	5,6	1,11
BCW-b	2,243	2,6	6,9	8,01	0,86
BCW- U	1,2675	-	3,9	-	

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil pengujian dan pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Pemasangan Carbon Wrapping pada balok beton bertulang dapat meningkatkan kapasitas momen dan daktilitas balok, dimana kontribusi peningkatan penampang juga ditentukan oleh cara pemasangan Carbon Wrapping tersebut.
2. Perkuatan balok dengan Carbon Wrapping selebar b (spesimen BCW-b) adalah paling optimum dibandingkan pola pemasangan Carbon Wrapping pada spesimen lainnya.
3. Dengan peningkatan kapasitas momen yang cukup signifikan pada spesimen BCW-1/2b terhadap balok kontrol, menjadikan pemakaian luasan Carbon Wrapping pada spesimen BCW-1/2b lebih ekonomis daripada pemasangannya terhadap spesimen BCW-b.
4. berdasarkan pola keruntuhan spesimen, balok BK dan BCW-U mempunyai pola keruntuhan lentur, dan balok BCW-1/2b dan BCW-b mempunyai pola keruntuhan geser.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Aprile, A.; Spacone, E. and Limkatanyu, Suchart (2001), *Role of Bond in RC Beams Strengthened with Steel and FRP Plates*, Journal of Structural Engineering, ASEC, December.
- Badan Standardisasi Nasional (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002.
- De Lorenzis, Laura and Nanni, Antonio (2001), *Characterization of FRP Rods As Near Surface Mounted Reinforcement*, Journal of Composite for Construction, May.

- Kuriger, R.; Sargand, S.; Ball, R. and Alam, K (2001), *Analysis of Composite Reinforced Concrete Beams*, Dept. of Mechanical Engineering, Ohio University.
- Purwanto; Suhendro, B. dan Triwiyono, A. (2002), *Perkuatan Lentur Dan Geser Balok Beton Bertulang Pasca Bakar Dengan Carbon Fiber Strips Dan Carbon Wrapping*, Forum Teknik Sipil No.XI / 1, FT. Sipil UGM Yogyakarta.
- Prihanantio, Januar (2006); *Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Carbon Wrapping*, Tesis Magister, Universitas Diponegoro.
- Sika Nusa Pratama, P.T. (2000), *The Latest SIKA Technology in Structural Strengthening with "SIKA CARBODUR" Composite Strengthening Systems*.

NOTASI

- a = tinggi distribusi tegangan persegi ($= \beta \cdot c$)
b = lebar balok
c = jarak garis netral dari serat tekan terluar
d = tinggi bersih balok (jarak serat tekan terluar terhadap tulangan tarik)
 β = faktor koreksi
 C_c = gaya tekan dalam beton
 C_s = gaya tekan dalam tulangan tekan
 f'_c = kuat tekan beton
 f_y = kuat leleh baja
 T_s = gaya dalam akibat tulangan tarik
 T_{s1} = gaya dalam akibat perkuatan