

PENGARUH VARIASI LEBAR CFRP PADA BAGIAN TARIK TERHADAP DAKTILITAS KURVATUR BALOK BETON BERTULANG PASKA PERBAIKAN

Atika Ulfah Jamal¹, Novi Rahmayanti², Helmy Akbar Bale³ dan Iqbal Haqiqi⁴

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
email: atika.ulfah@uii.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
email: novi.rahmayanti@uii.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
email: helmy_abe@yahoo.com

⁴PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk, Jakarta, Indonesia
email: iqbalhqq@yahoo.com

ABSTRACT

Retrofitting should be done on damaged reinforced concrete beams to restore or improve the strength and ductility. One of the innovations of materials that can be used for retrofitting is Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). CFRP installment on concrete beam tensile reinforcement retrofitting can improve beam flexure strength. Wider CFRP increases beam flexure strength. This research discusses influence of CFRP dimension on flexure area toward concrete beam ductility after damage. The beam dimension used for this research is 15x20x120 cm³, and CFRP dimension used is 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. The variety of CFRP widths used to repair the beam included 5 cm, 10 cm, and 15 cm. The results showed that the wider the CFRP used for the retrofit of reinforced concrete beams, the greater the percentage of decrease in ductility curvature.

Keywords: CFRP, retrofitting, ductility, reinforced concrete beams

PENDAHULUAN

Perbaikan (*retrofitting*) struktur perlu dilakukan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan dan daktilitas elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai dengan rencana. Kekuatan, kekakuan dan daktilitas merupakan aspek penting pada perencanaan elemen struktur beton bertulang.

Daktilitas adalah kemampuan dari suatu struktur tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba (*brittle*) tetapi masih mampu berdeformasi cukup besar pada saat mencapai beban maksimum sebelum struktur tersebut mengalami keruntuhan (Park dan Paulay, 1975). Struktur bangunan gedung yang daktil akan tetap berdiri walaupun sudah dalam kondisi plastik.

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) merupakan salah satu alternatif material

yang dapat digunakan untuk perbaikan dan perkuatan struktur beton. Menurut Parmo dan Taufikurrahman (2014), sifat material *fiber reinforced polymer (FRP)* setelah dipasang pada struktur beton mampu membuat struktur menjadi lebih daktil.

Tavio, dkk (2009), telah melakukan penelitian terhadap balok yang diberi perkuatan eksternal CFRP yang dibalutkan mengelilingi perimeter balok di tengah bentang, hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kapasitas momen dan daktilitas kurvatur yang cukup baik, persentase peningkatan daktilitas kurvatur yang terjadi mencapai rata-rata 265%, sedangkan peningkatan momen sebesar rata-rata 45%.

Sedangkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Pangestuti dkk (2006) menunjukkan penambahan pelat CFRP lebar 50 mm dan tebal 0,8 mm secara

eksternal pada sepanjang balok beton bertulang terhadap balok normal dapat menurunkan daktilitas sebesar 73% dan lendutan sebesar 77,6%. Namun pada penelitian tersebut, kuat lentur dan kekakuan mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 49% dan 68%.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Jamal dkk (2015), pemasangan CFRP untuk perbaikan pada bagian tarik balok beton bertulang dapat meningkatkan kekuatan yang mampu ditahan oleh balok. Semakin lebar CFRP yang digunakan untuk *retrofitting*, semakin besar pula peningkatan kekuatan lentur balok. Lebar CFRP 5 cm dapat meningkatkan kapasitas beban sebesar 60%, lebar 10 cm sebesar 123,38% dan lebar 15 cm sebesar 140,25%. Namun pengaruh lebar CFRP yang dipasang di bagian tarik terhadap daktilitas balok beton bertulang paska kerusakan belum diteliti.

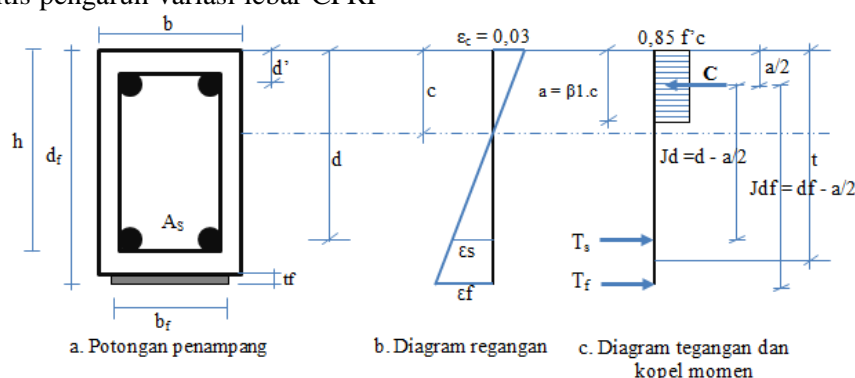
Oleh karena itu, pada penelitian ini dikaji secara analitis pengaruh variasi lebar CFRP

yang diletakkan di bagian tarik balok beton bertulang sebagai bahan perbaikan (*retrofitting*) terhadap perbaikan daktilitas balok beton bertulang paska kerusakan untuk mengetahui apakah penggunaan CFRP mampu mengembalikan daktilitas struktur paska terjadi kerusakan ke semula. Penelitian difokuskan pada pengaruh perbaikan balok menggunakan CFRP terhadap daktilitas kurvatur.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Tampang Balok Yang Dipasang CFRP di Bagian Serat Tarik

Pemasangan CFRP di bagian serat tarik di sepanjang balok beton bertulang akan menyebabkan bertambahnya gaya tarik pada balok (Gambar 1). Bertambahnya resultan gaya tarik akan meningkatkan kuat lentur dari balok tersebut (ACI-440.2R-08,2008).



Gambar 1 Diagram regangan tegangan untuk perkuatan FRP (ACI-440.2R-08,2008)

$$C = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \tag{1}$$

$$Ts = As \cdot fys \tag{2}$$

$$Tf = Af \cdot fyf \tag{3}$$

Syarat keseimbangan gaya-gaya dalam penampang balok dengan CFRP :

$$C = T$$

$$C = Ts + Tf$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b = As \cdot fys + Af \cdot fyf$$

$$a = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{As \cdot fys + Af \cdot fyf} \tag{4}$$

Sehingga akan menghasilkan Momen sebesar:

$$Mn = As \cdot fys \cdot jd + Af \cdot fyf \cdot jdf \tag{5}$$

Dengan Ts adalah resultan gaya tarik dari baja dan Tf adalah resultan gaya tarik dari CFRP.

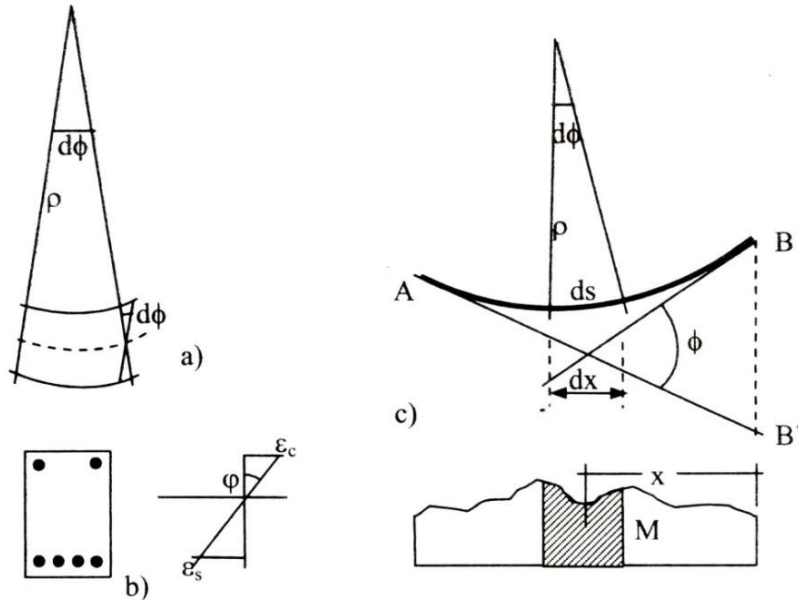
Hubungan Momen – Kurvatur Penampang

Suatu penampang beton bertulang yang ketika diberi beban akan mengalami lentur dan mengakibatkan terjadinya perubahan kelengkungan. Hubungan antara simpangan dan kelengkungan dapat ditunjukkan melalui Gambar 2. Dengan memperhatikan

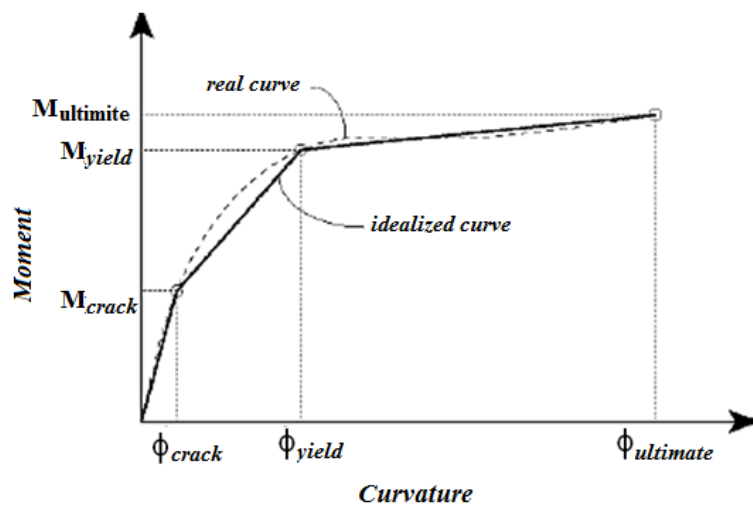
Gambar 2.a, maka kelengkungan dapat didefinisikan sebagai:

$$\phi = \frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (6)$$

Hubungan antara momen dan kelengkungan yang terjadi pada balok dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Hubungan Simpangan Dengan Kelengkungan (Pawirodikromo, 2012)



Gambar 3 Hubungan Momen dan Kelengkungan (*curvature*)

Perubahan kelengkungan yang terjadi pada balok akan berpengaruh terhadap daktilitas dari balok tersebut, yaitu daktilitas lengkung/kurvatur. Daktilitas lengkung/kurvatur adalah perbandingan antara sudut rotasi per unit panjang (kelengkungan) ϕ_u pada kondisi ultimit dan ϕ_y pada kondisi leleh pertama, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \tag{7}$$

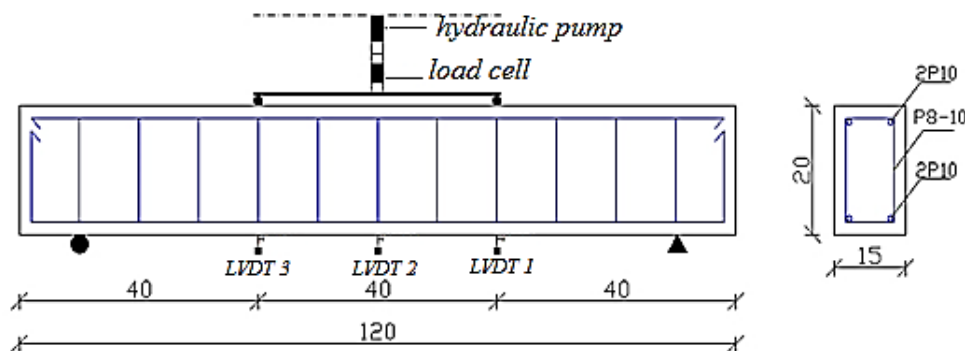
Kelengkungan akan berubah-ubah di sepanjang bentang karena adanya fluktuasi ketinggian sumbu netral dan regangan antara setiap retak. Perubahan jari-jari kurvatur, tinggi sumbu netral, regangan beton pada serta tekan terluar dan tegangan-regangan baja di sepanjang bentang

dikarenakan adanya retak beton yang juga memberikan tegangan.

METODE PENELITIAN

Properti Balok Yang Digunakan Pada Penelitian

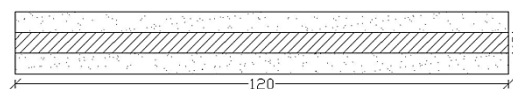
Balok yang digunakan dalam analisis adalah balok beton bertulang dengan dimensi 15cm x 20cm x 120cm. Balok dikelompokkan menjadi dua yaitu Balok Kontrol (BK) dan Balok Carbon (BC). BC1 adalah balok yang diperbaiki menggunakan CFRP dengan lebar 5 cm, BC2 adalah balok yang diperbaiki menggunakan CFRP dengan lebar 10 cm, dan BC3 adalah balok yang diperbaiki menggunakan CFRP dengan lebar 15 cm. Konfigurasi penulangan dapat dilihat pada Gambar 4.



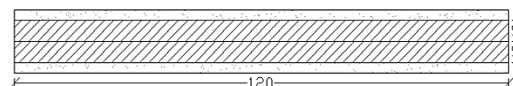
Gambar 4 Konfigurasi penulangan dan penempatan beban pada balok (Jamal,dkk., 2015)

Pada penelitian ini, properti balok, penempatan tulangan, dan data kuat tekan beton serta kuat tarik baja menggunakan hasil uji material pada penelitian Jamal dkk (2015). Mutu beton yang digunakan adalah 32,39 MPa. Tulangan tarik dan tekan menggunakan baja polos berdiameter 10 mm dengan $f_y = 315$ MPa, sedangkan tulangan sengkang menggunakan baja polos berdiameter 8 mm dengan $f_{ys} = 376$ MPa.

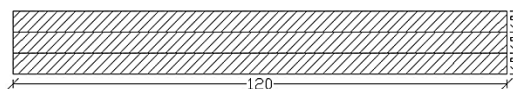
Pada penelitian ini, properti dan penempatan CFRP juga menggunakan data dari penelitian Jamal dkk (2015). Bahan CFRP yang digunakan adalah type Sika Carbodur S512/80. Posisi pemasangan CFRP seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5-7 berikut.



Gambar 5 Posisi pemasangan CFRP dengan lebar 5 cm pada BC1



Gambar 6 Posisi pemasangan CFRP dengan lebar 10 cm pada BC2

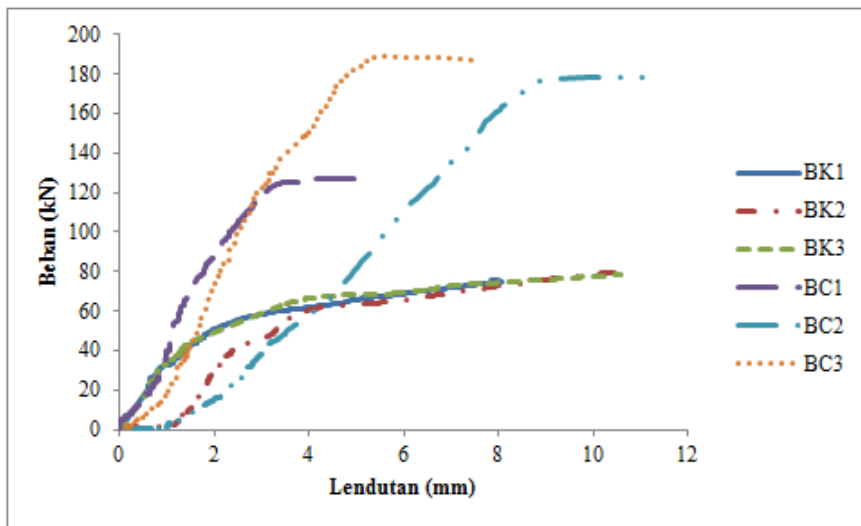


Gambar 7 Posisi pemasangan CFRP dengan lebar 15 cm pada BC3

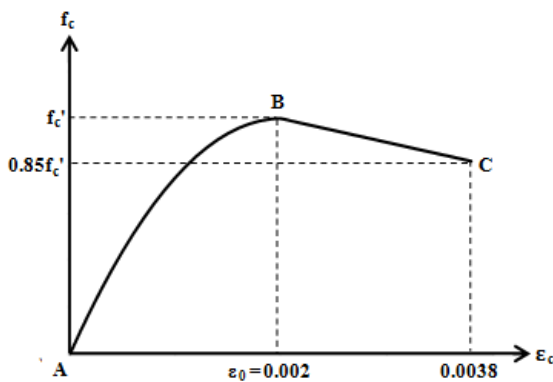
Metode Analisis

Pada penelitian ini, nilai momen dan kurvatur diperhitungkan berdasarkan data beban dari hasil penelitian Jamal dkk (2015), yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Namun kurva hubungan tegangan – regangan beton tak terkekang yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Model Hognestad, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8 Kurva hubungan beban dan lendutan hasil pengujian (Jamal,dkk.,2015)



Gambar 9 Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Model Hognestad (Nawy,1998)

Kurva tersebut terdiri dari dua bagian yaitu pada saat tegangan beton naik hingga puncak tegangan (bagian AB) dan setelah tegangan beton mengalami penurunan (Bagian BC).

Formula tegangan tekan beton sebagai fungsi regangan tekan beton pada bagian AB dan BC, berturut-turut ditunjukkan pada Persamaan 8 dan Persamaan 9.

Bagian AB, $\epsilon_c \leq \epsilon_o$

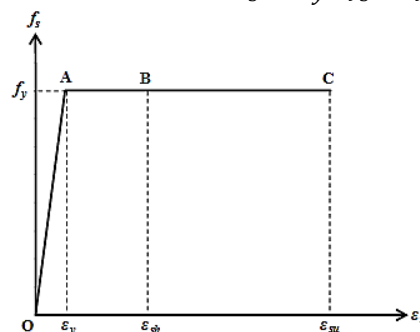
$$f_c = f_c' \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_o} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)^2 \right] \tag{8}$$

Bagian BC, $\epsilon_c \leq \epsilon_o \leq \epsilon_{co}$
 $f_c = f_c' (1 - 100(\epsilon_c - \epsilon_o))$ (9)

Sedangkan kurva hubungan tegangan – regangan baja yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kurva elasto-plastis bilinear dengan mengabaikan fase *strain hardening*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Daerah OA, $\epsilon_s < \epsilon_y$, $f_s = \epsilon_s \cdot E_s$

Daerah AB dan BC, $\epsilon_s > \epsilon_y$, $f_s = f_y$



Gambar 9 Kurva Hubungan Tegangan – Regangan Baja

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Momen dan Kurvatur

Nilai momen dihitung berdasarkan nilai beban pada grafik beban yang ditunjukkan pada Gambar 8, nilai momen diperoleh dari perkalian beban dengan jarak pembebanan. Pada penelitian ini, iterasi Bisection digunakan untuk menentukan nilai kurvatur ϕ agar memenuhi keseimbangan gaya pada analisis penampang $C = T$ untuk nilai ϵ_c yang konstan. Nilai batas iterasi untuk ϵ_s sebesar $-0,002$ pada batas bawah saat regangan putus baja dan $\epsilon_s = \epsilon_c$ pada batas atas diambil sama dengan regangan tekan beton. Gaya normal penampang pada batas bawah adalah tarik, sedangkan pada batas atas adalah tekan.

Analisis pada kondisi sebelum retak pertama dilakukan dengan menggunakan teori elastik dan transformasi penampang dimana baja tulangan ditransformasikan menjadi suatu luasan beton ekuivalen. Nilai

kurvatur pada kondisi leleh pertama ditentukan dengan mengambil nilai $\epsilon_s = \epsilon_y$ dan nilai ϵ_c ditrial untuk mendapatkan ϕ_y agar memenuhi keseimbangan gaya pada analisis penampang $C = T$. Sedangkan momen yang terjadi diambil momen pada kondisi leleh (M_y). Momen dan kurvatur dalam kondisi ultimit yang ditandai dengan keruntuhan tekan beton, dengan nilai ϵ_{cu} sebesar $0,003$.

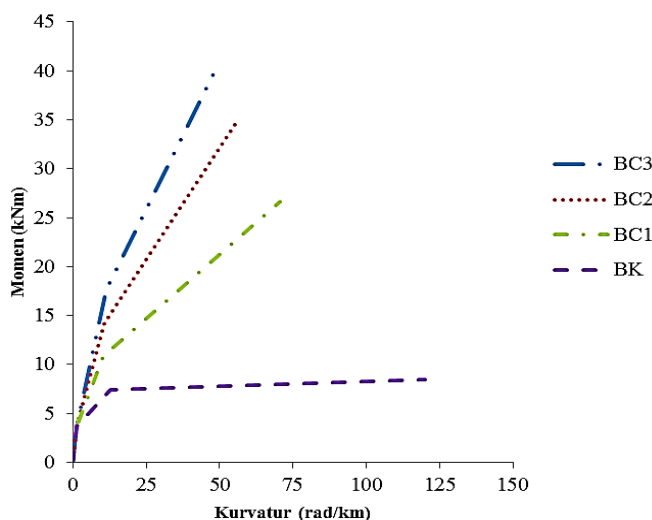
Nilai momen dan kurvatur pada kondisi sebelum retak, leleh pertama dan ultimit untuk balok kontrol (BK) dan balok carbon (BC) berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 1, dan Tabel 2. Kurva hubungan momen dan kurvatur ditunjukkan pada Gambar 11.

Tabel 1 Nilai Momen dan Kurvatur pada Balok Kontrol (BK)

No	Kondisi	Momen (kNm)	Kurvatur rad/km
1	Sebelum Retak	3,722	1,376
2	Leleh Pertama	7,450	12,732
3	Ultimit	8,434	120,000

Tabel 2 Nilai Momen dan Kurvatur Pada Balok Carbon (BC)

No	Kondisi	BC1		BC2		BC3	
		Momen (kNm)	Kurvatur rad/km	Momen (kNm)	Kurvatur rad/km	Momen (kNm)	Kurvatur rad/km
1	Sebelum Retak	3,722	1,376	3,722	1,376	3,722	1,376
2	Leleh Pertama	10,856	10,458	14,207	10,817	17,644	11,401
3	Ultimit	26,669	70,588	34,861	55,814	39,958	48,387



Gambar 11 Kurva Hubungan Momen Kurvatur Balok Uji

Pada Gambar 11 terlihat bahwa semakin besar nilai kurvatur penampang, nilai momen juga semakin meningkat. Namun kenaikan momen pada balok BK tidak signifikan dibandingkan dengan kenaikan kurvturnya (momen yang dihasilkan cenderung konstan). Namun pada balok BC terlihat bahwa semakin lebar CFRP, nilai momen yang terjadi semakin besar dengan nilai kurvatur penampang yang lebih kecil.

Daktilitas Lengkung/Kurvatur

Daktilitas kurvatur pada balok diukur berdasarkan kurvatur maksimum berbanding dengan kurvatur saat leleh. Nilai daktilitas kurvatur dihitung berdasarkan nilai momen dan kurvatur pada Tabel 2 dan Gambar 11. Nilai daktilitas kurvatur balok kontrol dan balok carbon dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan nilai daktilitas kurvatur pada balok yang telah diperbaiki dengan CFRP. Semakin lebar CFRP yang digunakan untuk perbaikan balok beton bertulang, semakin menurun nilai daktilitas kurvturnya. Persentase penurunan nilai daktilitas kurvatur pada balok BC1, BC2, dan BC3 berturut-turut sebesar 28,38%, 45,25% dan 54,96%.

Tabel 3 Nilai Daktilitas Kurvatur Balok Kontrol dan Balok Carbon

No	Kode Balok	Daktilitas Kurvatur (rad/mm)
1	BK	9,42
2	BC1	6,75
3	BC2	5,16
4	BC3	4,24

Menurut Prawirodikromo (2012), semakin besar *tension steel content* ρ maka daktilitas lengkung/kurvatur yang dapat dikerahkan oleh potongan balok beton *unconfined* akan semakin kecil. Semakin besar tegangan leleh baja maka nilai *ultimate curvature* akan semakin kecil. Elemen beton bertulang *unconfined concrete* akan semakin daktail apabila dipakai mutu beton

setinggi-tingginya, mutu baja serendah-rendahnya, tulangan desak sebanyak-banyaknya dan dipakai regangan desak beton yang relatif besar.

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa penambahan CFRP pada bagian tarik balok beton bertulang untuk perbaikan elemen balok paska kerusakan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan daktilitas kurvatur. Semakin lebar CFRP yang digunakan untuk perbaikan balok, nilai persentase penurunan daktilitas kurvatur semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar *tension steel content* pada balok uji paska perbaikan menggunakan CFRP.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan CFRP pada bagian tarik balok beton bertulang untuk perbaikan elemen balok paska kerusakan dapat meningkatkan kapasitas beban yang dapat ditahan oleh balok namun menurunkan daktilitas kurvatur.
2. Semakin lebar CFRP yang digunakan pada bagian tarik balok beton bertulang untuk perbaikan elemen balok paska kerusakan, semakin getas strukturnya. Hal ini terlihat dari semakin besar penurunan daktilitas kurvturnya.
3. Semakin kecil nilai daktilitas kurvatur maka dapat mengakibatkan semakin cepat terjadinya keruntuhan balok.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan berbagai variasi bentang dan dimensi benda uji, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daktilitas kurvatur, kekakuan balok paska perbaikan menggunakan CFRP yang diletakkan pada bagian tarik balok beton bertulang.

2. Material perekat antara balok beton bertulang dan CFRP perlu diperhatikan agar tidak terjadi *bonding failure*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute., (2008), *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-08)*: Reported by ACI Committee 440, ACI Committee 440.
- Jamal, Atika.U., Bale, Helmy A., dan Haqiqi, Iqbal., (2015), Perilaku Lentur Pada Perbaikan Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Lebar *Carbon Fibre Reinforced Polymer*, *Jurnal Teknisia*, Vol. XX No 2, ISSN 0853-8557, Universitas Islam Indonesia
- Nawy, Edward., (1998), *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, PT. RefikaAditama, Bandung.
- Pangestuti, E.K., Nuroji., Antonius., (2006), Pengaruh Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Terhadap Perilaku Lentur Struktur Balok Beton Bertulang, *PILAR* Volume 15, Nomor 2, September 2006.
- Park, R., Paulay, T., (1975), *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley and Sons, Canada.
- Parmo dan Taufikurrahman., (2014), Perbaikan Kekuatan Dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan *Glass Fibre Reinforced Polymer Strips*, *Jurnal Ilmu Ilmu Teknik*, Vol.X No.3, Universitas Wisnuwardhana, Malang.
- Pawirodikromo, W., (2012), *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Tavio, Purwono, R dan Rosyidah, A., (2009), Peningkatan Daya Dukung dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), *Jurnal Dinamika TEKNIK SIPIL*, Volume 9 No 1.