

PERBANDINGAN DAKTILITAS BALOK BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN PERKUATAN *CFRP* DAN *GFRP*

Siti Nurlina, Hendro Suseno, M. Taufik Hidayat, I Made Yana Pratama

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 165, Malang 65145

ABSTRAK

Selama ini dalam pembangunan sebuah struktur bangunan, hanya memperhatikan kekakuan dan kekuatan pada bangunan. Kekakuan diperlukan agar bangunan tidak bergoyang berlebihan, dan kekuatan agar bangunan tidak runtuh. Terdapat satu faktor lagi yang harus diperhatikan yaitu daktilitas, karena bangunan harus didesain memiliki daktilitas yang tinggi (artinya didesain mampu berdeformasi yang besar), apalagi pada perbaikan struktur bangunan yang usia bangunannya sudah tua atau penambahan struktur bangunan yang mengakibatkan bertambahnya beban yang ditahan memerlukan perkuatan yang sangat kuat dan daktilitasnya juga tinggi. Dalam makalah ini penulis melakukan pengujian tentang peningkatan daktilitas balok beton bertulang yang diperkuat dengan bahan perkuatan baru yaitu *Carbon Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*, dengan dimensi balok berulang 10 x 15 x 120 cm. Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu bahwa balok yang diperkuat dengan GFRP memiliki daktilitas yang lebih besar daripada CFRP dan balok tanpa perkuatan. Dimana GFRP memiliki daktilitas sebesar 2.707 sedangkan untuk balok tanpa perkuatan dan balok yang diperkuat dengan CFRP masing-masing yaitu 2.053 dan 2.333. Prosentase peningkatan daktilitas balok yang diperkuat dengan GFRP dari balok tanpa perkuatan yaitu sebesar 31.859% sedangkan balok yang diperkuat dengan CFRP yaitu sebesar 13.736% dari balok tanpa perkuatan.

Kata kunci : balok beton bertulang, perkuatan, CFRP dan GFRP, daktilitas

1. PENDAHULUAN

Bangunan merupakan suatu komponen yang sangat penting bagi kehidupan manusia misalnya sebagai tempat tinggal, sebagai tempat suatu usaha, dan berbagai fungsi bangunan lainnya. Seiring perkembangan jaman, bangunan dan strukturnya mulai bervariasi dan lebih inovatif selain itu pembangunan bangunan struktur pada saat ini, hampir sebagian besar menggunakan beton bertulang. Hal ini disebabkan oleh penggunaan beton bertulang memiliki kekuatan yang besar dan bahannya mudah dicari.

Disamping pembangunan baru, perbaikan struktur bangunan mulai banyak dilakukan. Hal ini disebabkan kondisi struktur bangunan tidak kuat menahan beban yang ditahan struktur tersebut. Ketidakkuatan

struktur bangunan tersebut dikarenakan mutu beton tidak sesuai dari perencanaan, adanya penambahan struktur bangunan yang mengakibatkan bertambahnya beban yang ditahan, kebakaran, gempa bumi, dan usia bangunan. Struktur bangunan yang diperkuat yaitu kolom, balok, pelat, dan dinding. Perkuatan atau *retrofit* yang digunakan seperti penambahan tulangan dengan jacketing, penambahan pelat baja, penambahan rangka batang, dengan CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*), GFRP (*Glass Fiber Reinforcement polymer*) dan jenis perkuatan lainnya.

Terdapat 3 faktor penting dalam merencanakan struktur bangunan yaitu kekakuan, kekuatan, dan daktilitasnya. Kekakuan diperlukan agar bangunan tidak

bergoyang berlebihan, dan kekuatan agar bangunan tidak runtuh. Faktor ketiga yaitu daktilitas, sering tidak diperhatikan, karena faktor ini baru teruji ketika bangunan menerima beban luar biasa seperti gempa bumi yang kuat. Bangunan harus didesain memiliki daktilitas yang tinggi agar memberikan kesempatan orang untuk menyelamatkan diri pada saat terjadi keruntuhan struktur secara tiba-tiba.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perkuatan CFRP terhadap daktilitas balok beton bertulang, mengetahui pengaruh perkuatan GFRP terhadap daktilitas balok beton bertulang, dan juga mengetahui perbandingan daktilitas dengan menggunakan perkuatan CFRP dan GFRP.

2. TINJAUAN PUSTAKA

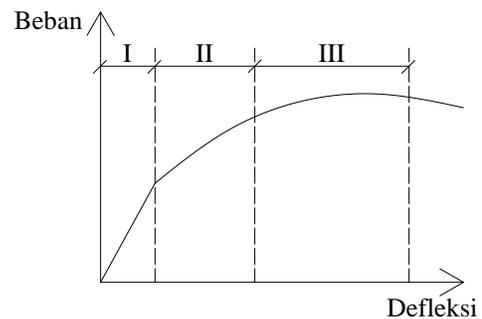
Daktilitas

Daktilitas merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan suatu elemen struktur disamping aspek kekuatan dan kekakuan. Pada saat terjadi gempa, elemen-elemen struktur yang mempunyai daktilitas besar akan menyerap energi lebih banyak dibandingkan dengan elemen-elemen struktur dengan daktilitas kecil atau getas. Daktilitas pada balok beton bertulang didefinisikan sebagai perbandingan suatu parameter deformasi struktur pada saat runtuh terhadap parameter deformasi pada saat tulangan tarik terluar penampang mengalami leleh pertama.

Daktilitas menyatakan suatu kemampuan dari struktur untuk mengalami lendutan yang besar tanpa mengalami penurunan kekuatan yang berarti. Dalam penelitian ini besarnya nilai daktilitas berdasarkan perbandingan antara lendutan maksimum dengan lendutan leleh pertama.

$$Daktilitas = \frac{\Delta Ultimate}{\Delta Leleh 1}$$

Dimana lendutan *ultimate* di didapatkan dari hasil pengujian balok beton bertulang pada saat balok mengalami beban maksimum (balok runtuh). Sedangkan lendutan leleh pertama didapatkan pada saat balok mengalami retak pertama pada kondisi II. Ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 1. Grafik Hubungan beban – Defleksi balok Beton Bertulang (Sumber: Nawi, 1990)

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) merupakan salah satu jenis FRP. CFRP serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat halus dari karbon. *Carbon Fiber Reinforced Polymer* digunakan pada konstruksi struktur bangunan yang sudah ada. Pemakaian CFRP pada suatu konstruksi biasanya disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

Aplikasi material CFRP sebagai fungsi perbaikan dan perkuatan struktur beton yang sudah ada telah berkembang pesat di beberapa negara seperti Amerika Utara, Eropa dan di Jepang. Teknik perkuatan seperti ini dapat dibuat efisien, tidak menyebabkan karat seperti plat baja eksternal. Fungsi perkuatan dengan sistim komposit CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas, atau berbagai kombinasi diantaranya. Daya tahan CFRP yang tinggi lebih ekonomis digunakan pada lingkungan korosif dimana baja akan mudah berkarat.

CFRP dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser balok

beton bertulang, lentur pelat, desak, geser dan lentur kolom. CFRP dalam bentuk lembaran, plat atau batangan dapat dipasang pada permukaan balok atau plat yang mengalami peregangan sebagai perkuatan lentur. Sebagai perkuatan geser balok, lembaran CFRP dapat direkatkan pada sisi balok. Penggunaan pada kolom, lembaran CFRP atau pelapisan dapat ditempatkan pada bagian luar kolom untuk meningkatkan daktilitas dan kekuatan.

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

Glass Fiber Reinforcement Polimer (GFRP) adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat halus dari kaca. Di Jerman GFRP juga dikenal dengan nama *GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff)*. GFRP merupakan jenis perkuatan yang memiliki kekuatan yang sangat besar, dan bahan yang ringan. Meskipun sifat kekuatan yang agak lebih rendah dari serat karbon dan kurang kaku, bahan yang biasanya jauh lebih sedikit rapuh, dan bahan baku jauh lebih murah. Kekuatan massal dan sifat berat badan juga sangat menguntungkan bila dibandingkan dengan logam, dan dapat dengan mudah dibentuk dengan menggunakan proses pencetakan. Didalam pemasangannya menggunakan perekat *epoxy resin*, yang sama digunakan dengan perkuatan CFRP.

Penggunaan GFRP biasanya digunakan untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur bangunan lainnya. Selain untuk perkuatan GFRP, juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan, karena GFRP merupakan bahan yang tahan akan segala jenis cuaca, tahan dengan air yang mengandung garam seperti air laut, dan lainnya. Untuk pengaplikasiannya GFRP merupakan bahan yang sangat serbaguna dimana bahan ini memiliki jenis bahan yang ringan, kekuatan, dan ketahanan terhadap segala jenis cuaca.

3. METODOLOGI PENELITIAN

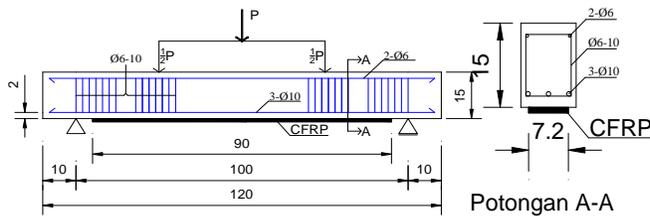
Bahan

- Beton Bertulang
Analisis bahan – bahan untuk beton bertulang diuji dengan pengujian laboratorium dengan rencana kuat tekan beton 20 Mpa.
- Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)
CFRP yang dipakai merupakan produk dari *Fyfe Company*, yaitu *Tyfo[®] The Fibrwrap Composite System SCH-41* yang mempunyai tebal 1 mm, kuat tarik 834 MPa dan *elongation* 0,85%.
- Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)
GFRP yang dipakai merupakan produk dari *Fyfe Company*, yaitu *Tyfo[®] The Fibrwrap Composite System SEH-51A* yang mempunyai tebal 1,3 mm dan kuat tarik 460 MPa dan *elongation* 2,2%.

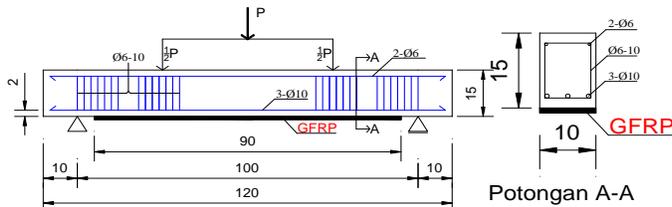
Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan ukuran 10x15x120 cm³. Benda uji dibuat sebanyak 9 buah. Kesembilan benda uji dibagi menjadi 3 kelompok. Kelompok pertama diberi nama BK, yaitu balok kontrol. Kelompok kedua diberi nama BC, yaitu balok yang diberi perkuatan CFRP. Kelompok ketiga diberi nama BG, yaitu balok yang diberi perkuatan GFRP. benda uji BK diberikan beban sampai benda uji runtuh. Setelah didapatkan beban maksimal, enam benda uji lainnya diberikan 75% beban runtuh yang didapat dari pengujian BK. Setelah diberikan 75% beban runtuh, tiga benda uji BC diberi perkuatan CFRP dan tiga benda uji BG diberi perkuatan GFRP. Setelah itu, balok diberi beban sampai runtuh.

Berikut ini adalah gambar dari balok yang diperkuat CFRP dan GFRP:



Gambar 2. Balok Menggunakan Perkuatan CFRP



Gambar 3. Balok Menggunakan Perkuatan GFRP

Variabel Penelitian

- **Variabel bebas**
Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah beban dan penggunaan perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*.
- **Variabel terikat**
Dalam penelitian ini yang termasuk variabel terikat adalah daktilitas balok bertulang dengan menggunakan perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*.

Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara melihat dan mencatat hasil dari P_{max} dan lendutan benda uji yang dibebani sampai runtuh. Dimana hasil pencatatan tersebut berupa tabel dan grafik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Baja Tulangan

Pegujian dilakukan pada Laboratorium Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya. Dimana baja tulangan yang digunakan adalah diameter 6 dan 10. Diameter tulangan dicari dengan menggunakan rumus:

$d = 12,74 \cdot \sqrt{w}$. Dari pengujian dan perhitungan didapatkan mutu baja sebesar:

Ø 6 : 191,135 MPa

Ø 10 : 285,886 MPa

Campuran Beton

Pegujian dilakukan pada Laboratorium Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya. Dimana pada pengujian ini direncanakan mutu beton sebesar 20 Mpa. Saat perhitungan mix desain didapat perbandingan campuran penyusun beton sebagai berikut,

Semen : Pasir : Kerikil = 1 : 1,730 : 3,303

Sedangkan untuk pengujian beton segar menggunakan uji *slump* dengan alat kecucut abrasi. Hasil uji *slump* didapat nilai *slump* sebesar 105 – 120 mm.

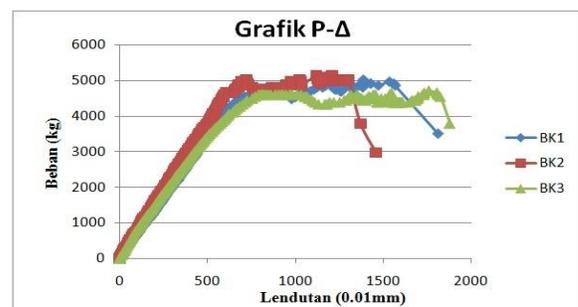
Kuat Tekan Beton

Pegujian dilakukan pada Laboratorium Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya. Dimana pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton genap berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

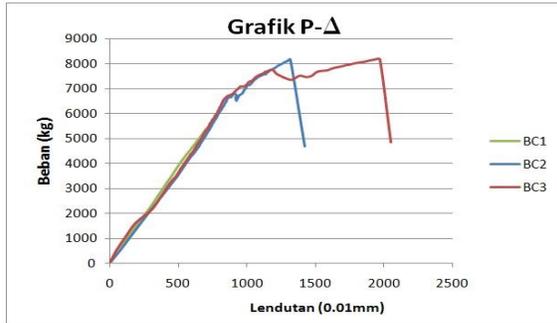
Dari pengujian dan perhitungan didapat mutu beton sebesar 20,37 MPa. Kuat tekan beton rata – rata yang didapat dari pengujian lebih besar dari kuat beton rencana.

Daktilitas

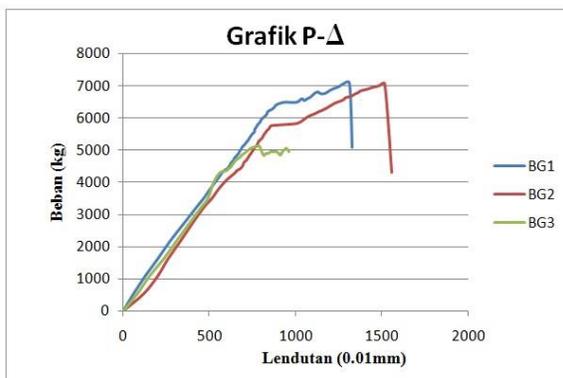
Daktilitas didapatkan dari hasil penelitian yang dicantumkan berupa tabel dan grafik perbandingan beban-lendutan. Dimana besarnya nilai daktilitas berdasarkan perbandingan antara lendutan maksimum dengan lendutan leleh pertama. Dibawah ini akan dicantumkan grafik dari hasil penelitian:



Gambar 4. Grafik Hubungan P-Δ pada BK



Gambar 5. Grafik Hubungan P-Δ pada BC



Gambar 6. Grafik Hubungan P-Δ pada BG

Pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**, menunjukkan bahwa grafik BC1 dan BG3 tidak mempunyai kedekatan perbandingan beban dan lendutannya pada grafik yang lainnya. Oleh karena itu pada perhitungan daktilitas BC1 dan BG3 tidak dipergunakan. Hasil daktilitas pada masing-masing benda uji yaitu :

Tabel 1. Hasil Perhitungan Daktilitas pada

Ulangan	Perlakuan		
	BK	BC	BG
1	1.884	-	2.802
2	1.997	2.346	2.612
3	2.279	2.324	-

Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis menggunakan analisis varian satu arah (*One Way Anova*). Uji hipotesis dilakukan dengan perhitungan menggunakan rumus-rumus hipotesis *anova*.

Pada hipotesis ini Terdapat dua kemungkinan yang digunakan. Dimana H_0 yaitu hipotesis awal yang menyatakan bahwa CFRP dan GFRP tidak berpengaruh terhadap daktilitas balok balok beton bertulang. Sedangkan H_1 yaitu hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa CFRP dan GFRP

berpengaruh terhadap daktilitas balok beton bertulang.

Hasil yang didapat dari kedua metode perhitungan tersebut adalah H_1 , ini berarti bahwa CFRP dan GFRP berpengaruh terhadap daktilitas balok beton bertulang. Hal ini membuktikan bahwa hasil dari percobaan ini bisa digunakan dan dianalisis.

Balok 1, 2, dan 3 disebut balok kontrol, dimana balok ini debebani 100% sampai balok runtuh sehingga didapat P_{maks} yang dapat ditahan oleh balok tersebut. P_{maks} tersebut sebagai acuan atau kontrol untuk mengetahui peningkatan kekuatan dan daktilitas balok beton bertulang setelah diperkuat dengan bahan perkuatan CFRP dan GFRP.

Dari hasil penelitian didapatkan P_{maks} dari ketiga balok kontrol tersebut, dimana untuk P_{maks} BK 1 = 4914 kg, P_{maks} BK 2 = 5130 kg, dan P_{maks} BK 3 = 4698 kg. dari ketiga data beban maksimum yang didapatkan kemudian dirata-rata menjadi $P_{maks} = 4914$ kg.

Setelah didapatkan data P_{maks} dari balok kontrol, dilakukan pembebanan pada balok 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 yang dibebani beban 75% dari beban maksimum. Setelah dibebani dengan beban 75% maka balok diperkuat dengan bahan perkuatan CFRP pada balok 4, 5, dan 6 serta diperkuat dengan GFRP pada balok 7, 8, dan 9 yang dipasang bagian bawah balok dengan ukuran yang direncanakan. Sebelum

dilakukan proses pemasangan, pada masing-masing benda uji dibersihkan terlebih dahulu agar permukaan balok yang akan dipasang bersih dan tidak terdapat kotoran-kotoran atau debu yang nantinya dapat mengakibatkan kurang maksimalnya perekatan antar balok dan bahan perkuatan. Kedua bahan perkuatan ditempel dengan menggunakan bahan perekat yang sama yaitu *epoxy resin*. Jenis perekat ini khusus untuk jenis perkuatan CFRP dan GFRP. Diperlukan waktu selama 5-7 hari untuk proses pengeringan, tujuannya agar bahan perkuatan benar-benar melekat pada balok sehingga nantinya dapat memberikan kekuatan maksimal.

Balok yang telah diperkuat dengan CFRP dan GFRP diuji dengan dibebani beban 100% sampai balok tersebut runtuh. Dari data hasil pengujian yang dilakukan didapatkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok yang diperkuat dengan CFRP yaitu sebesar $P_{maks\ BC2} = 8154\text{ kg}$, dan $P_{maks\ BC3} = 8154\text{ kg}$, dari ketiga data tersebut dirata-ratakan menjadi $P_{maks\ BC} = 8154\text{ kg}$. Sedangkan balok yang diperkuat dengan GFRP didapatkan $P_{maks\ BG1} = 7074\text{ kg}$ dan $P_{maks\ BG2} = 7074\text{ kg}$. Kemudian dirata-rata menjadi $P_{maks\ BG} = 7074\text{ kg}$.

Daktilitas menyatakan suatu kemampuan dari struktur untuk mengalami lendutan yang besar tanpa mengalami penurunan kekuatan yang berarti. Dari hasil pengujian yang didapat berupa grafik perbandingan beban (P) dengan lendutan (Δ). Dapat dihitung berapa daktilitas dengan rumus lendutan leleh pertama (Δ_{leleh1}) dibagi dengan lendutan maksimum (Δ_{max}). Untuk lendutan leleh pertama didapatkan dari retak pertama balok saat dibebani atau dengan menarik garis lurus dari titik O, dimana lendutan leleh pertama berada pada zona 2 dari grafik hasil pengujian. Sedangkan untuk lendutan maksimum didapat dari beban maksimum yang terjadi dimana balok sudah runtuh.

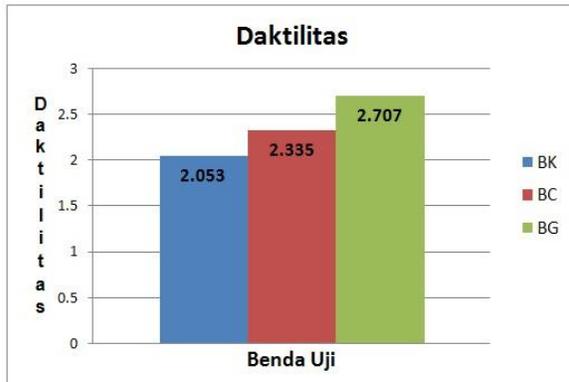
Seperti yang sudah dijelaskan diatas dalam proses pengujian, balok yang belum dipasang perkuatan yaitu pada balok 4,5,6,7,8, dan 9 dibebani terlebih dahulu dengan beban 75% setelah itu dilakukan pemasangan bahan perkuatan. Pada balok 4, 5, dan 6 dipasang perkuatan dibagian bawah balok dengan lebar lebih kecil dari CFRP yaitu 7.2 cm, disebut dengan BC. Sedangkan untuk balok 7, 8, dan 9 dipasang dengan bahan perkuatan GFRP dengan lebar 10 cm dibagian bawah balok, disebut dengan BG. Untuk hasil perhitungan daktilitas dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Perhitungan Daktilitas

Balok	Daktilitas	Rata-rata
BK1	1.884	2.053
BK2	1.997	
BK3	2.279	
BC1	-	2.335
BC2	2.346	
BC3	2.324	
BG1	2.802	2.707
BG2	2.612	
BG3	-	

Dari hasil perhitungan daktilitas pada tabel diatas, menunjukkan bahwa daktilitas pada balok tanpa perkuatan (BK) sebesar 2.053, untuk balok yang diperkuat dengan CFRP (BC) sebesar 2.335, dan daktilitas balok yang diperkuat dengan GFRP (BG) sebesar 2.707. Balok yang diperkuat dengan bahan perkuatan CFRP dan GFRP menunjukkan peningkatan daktilitas yang signifikan. Ini menunjukkan bahwa benda uji dalam hal ini balok, yang diperkuat dengan bahan perkuatan CFRP dan GFRP berpengaruh pada peningkatan daktilitas. Dan sesuai dengan uji analisis, dimana menunjukkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka penambahan bahan perkuatan CFRP dan GFRP berpengaruh terhadap daktilitas balok beton bertulang. Untuk balok yang diperkuat dengan CFRP memiliki daktilitas yang lebih

kecil daripada balok yang diperkuat dengan GFRP.



Gambar 6. Grafik Hasil Perhitungan Daktilitas

Dimana prosentase (%) kenaikan daktilitas pada balok yang diperkuat dengan CFRP dan GFRP yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Prosentase}(\%) \text{ BC} &= \frac{2.335 - 2.053}{2.053} \times 100\% \\ &= 13.736\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase}(\%) \text{ BG} &= \frac{2.707 - 2.053}{2.053} \times 100\% \\ &= 31.859\% \end{aligned}$$

Balok yang diperkuat dengan CFRP (BC) memiliki daktilitas sekitar 8/7 kali lebih besar daripada balok tanpa perkuatan (BK) yaitu dengan kenaikan daktilitas sebesar 13.736%, sedangkan balok yang diperkuat dengan GFRP memiliki daktilitas sekitar 4/3 kali lebih besar daripada balok tanpa perkuatan yaitu sebesar 31.859%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Balok yang diperkuat dengan CFRP memiliki daktilitas yang lebih besar daripada balok tanpa perkuatan. Balok yang diperkuat

dengan CFRP mengalami peningkatan daktilitas yang signifikan terhadap balok tanpa perkuatan. Dimana peningkatan daktilitasnya yaitu sekitar 8/7 kali lebih besar dari daktilitas balok tanpa perkuatan.

Untuk balok yang diperkuat dengan GFRP juga memiliki daktilitas yang lebih besar dibandingkan daktilitas balok tanpa perkuatan. Balok yang diperkuat dengan GFRP mengalami peningkatan yang signifikan terhadap balok tanpa perkuatan. Dimana prosentase peningkatan daktilitasnya yaitu sekitar 4/3 kali lebih besar dari daktilitas balok tanpa perkuatan.

Balok yang diperkuat dengan GFRP memiliki daktilitas yang lebih besar daripada daktilitas balok yang diperkuat dengan CFRP, GFRP memiliki perbandingan kenaikan daktilitas yang lebih besar sekitar 6/5 kali dari daktilitas balok yang diperkuat CFRP. Perbedaan ini disebabkan oleh GFRP memiliki karakteristik bahan yang lebih elastis dan memiliki *elongation* yang lebih besar.

5.2 Saran

Untuk penelitian yang serupa dengan penelitian penulis yaitu meneliti tentang bahan CFRP dan GFRP, sebaiknya melakukan analisis awal yang baik pada struktur yang akan diperkuat. Bila pada struktur yang sudah diperkuat, ternyata strukturnya terlebih dahulu hancur daripada perkuatannya maka bahan perkuatan belum bekerja efektif. Karena bahan CFRP dan GFRP akan bekerja sangat efektif jika struktur yang diperkuat masih dalam keadaan kaku atau belum hancur.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Endah Kanti Pangestuti. 2006. *Pengaruh Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Terhadap Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang*. Tesis. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Gideon Kusuma. 1993. *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.

- Giliam. 2013. Fiberglass. <http://en.wikipedia.org/wiki/Fiberglass> (diakses: 15 Oktober 2013)
- Ilham Muhammad. 2013. *Anova Satu Jalur (One Way Anova)*. <http://freelearningji.wordpress.com/2013/04/09/anova-satu-jalur-one-way-anova/> (diakses: 5 Januari 2014)
- Istimawan Dipohusodo. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Irawan Bagus Santoso. 2003. *Perbaikan Balok Beton Bertulang Menggunakan Plat Baja Tipis dengan Tebal Plat yang Bervariasi*. Tesis. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nawy, Edward G. 1995. *Reinforced A fundamental Approach*. Department of Civil and Environmental Engineering. Rutgers University. The State University of New Jersey. New Jersey.
- Park, R & Pauley. 1974. *Reinforced Concrete Structure*. Department of Civil. University of Canterbury. Christchurch. New Zealand.
- Siti Nurlina. 2008. *Teknologi Bahan*. Malang: UM Press.
- Yohannes Arief N Siregar. 2008. *Evaluasi Daktilitas pada Struktur dan Resuksi Tahan Gempa*. Tesis. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Indonesia. Jakarta