

Studi Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Serat Karbon dan Hybrid Serat Gelas dan Karbon

Study Of Comparative Flexible Strength of Reinforced Concrete Beam with Reinforcement of Carbon Fiber and Glass and Carbon Hybrid

Nur Ikhsani AY^{1,a)}

¹⁾Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang

Koresponden : ^{a)}aynurikhsani@poliupg.ac.id

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang paling umum digunakan pada pembangunan di masa sekarang ini. Selain karena memiliki banyak kelebihan, material penyusun beton pun sangat mudah didapatkan dan cukup mudah dalam proses pengerjaannya. Namun selain beberapa sifat beton yang menguntungkan dalam pengaplikasiannya beton juga memiliki kekurangan, kekurangan ini yang terus berusaha diminimalisir oleh para pengguna beton agar dalam penggunaannya pada konstruksi beton dapat bekerja dengan baik dan juga memiliki usia layan yang Panjang. Di pasaran sekarang ini telah beredar lapisan perkuatan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton, salah satunya yaitu *Fibre Reinforced Polymer* atau dikenal dengan FRP. Pada penelitian kali ini akan digunakan dua jenis FRP untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan beton, FRP yang digunakan yaitu *Carbon Fibre Reinforced Polymer* atau dikenal dengan CFRP dan (*Graphite Fibre Reinforced Polymer* atau GFRP). Benda uji balok beton bertulang yang akan dibuat akan terdiri dari dua variasi yaitu variasi 1 benda uji yang diperkuat dengan satu lapis CFRP secara keseluruhan pada bagian bawah penampang balok, dan variasi 2 yaitu lapisan hybrid GFRP dan CFRP. Hasil pengujian ini diperoleh bahwa penambahan lapisan dengan variasi 1 memberi efek lebih efektif terhadap peningkatan beban maksimum yang mampu dipikul oleh balok beton bertulang dibandingkan dengan variasi 2.

Kata Kunci: Balok beton bertulang, *Carbon Fibre Reinforced Polymer* (CFRP), *Graphite Fibre Reinforced Polymer* (GFRP).

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang banyak dan paling umum digunakan pada saat ini, selain karena proses pembuatan yang relatif mudah juga dikarenakan kekuatan beton yang sangat baik dalam menahan beban serta memiliki umur yang relatif panjang dengan perawatan yang tidak

sulit. Namun selain dari pada beberapa kelebihan beton yang membuat beton menjadi populer sebagaimana disebutkan di atas, beton juga memiliki kelemahan yaitu dalam hal sifat keruntuhan getas beton terhadap beban tarik fleksural, beban tarik aksial, dan terhadap beban tarik geser. Saat ini seiring dengan kemajuan zaman, dunia konstruksi juga terus berkembang salah satunya yaitu dengan mengembangkan

material yang dapat menutupi kelemahan-kelemahan beton tersebut, salah satunya yaitu dengan adanya material *Fibre Reinforced Polymer* (FRP).

FRP adalah bahan yang dapat digunakan sebagai perkuatan beton yang dapat digunakan untuk menggantikan material baja sebagai tulangan pada konstruksi beton bertulang ataupun dapat dijadikan sebagai bahan tambah perkuatan konstruksi beton. FRB adalah bahan yang ringan, anti magnetik, kuat serta tahan terhadap korosi. Di pasaran saat ini terdapat beberapa jenis FRP yaitu antara lain CFRP (*Carbon Fibre Reinforced Polymer*), AFRP (*Aramid Fibre Reinforced Polymer*), dan GFRP (*Graphite Fibre Reinforced Polymer*). Pada penelitian kali ini akan diteliti mengenai perbandingan penambahan kekuatan beton bertulang yang diperkuat dengan dua jenis FRP yaitu perkuatan dengan CFRP dan perkuatan dengan lapis hybrid GFRP dan CFRP, yang diberi judul “Studi Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Serat Karbon dan Hybrid Serat Gelas dan Karbon”.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lapisan serat karbon dan lapisan hybrid serat gelas dan karbon terhadap kekuatan beton bertulang serta mengetahui pengaruh lapisan serat karbon dan lapisan hybrid serat gelas dan karbon terhadap pola keretakan beton bertulang.

Batasan Masalah

Pada penelitian ini batasan masalah penelitian dibatasi sebagai berikut:

1. Benda uji beton bertulang yang dibuat yaitu dengan dimensi 2700mm x 150mm x 200mm.
2. Menggunakan kuat tekan beton rencana yaitu $f_c'25$ Mpa.
3. Tulangan yang digunakan merupakan jenis tulangan rangkap.
4. Balok beton bertulang yang akan diperkuat serat karbon dan gelas telah

dibebani hingga mencapai tulangan leleh.

5. Benda uji balok beton bertulang yang akan diuji terdiri dari balok beton bertulang normal, balok beton bertulang Variasi 1 yaitu dengan pemasangan lapisan CFRP dan balok beton bertulang Variasi 2 yaitu dengan lapisan GFRP + CFRP.

STUDI PUSTAKA

a) Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan salah satu jenis dari beton. Sebagaimana diketahui bahwasanya beton merupakan salah satu jenis bahan konstruksi yang mudah kita dapatkan dikarenakan material penyusunnya yang juga sangat umum diperoleh yaitu terdiri dari agregat halus berupa pasir, agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah serta bahan perekat yaitu semen dan air. Beton terdiri dari beberapa jenis yang salah satunya adalah beton bertulang, beton bertulang merupakan jenis beton yang menggunakan besi atau baja sebagai tulangan, tulangan ini sebagai pelengkap beton dalam mengurangi efek dari kelemahan beton yang lemah terhadap gaya tarik mengikat baja tulangan ini memiliki kemampuan yang baik dalam menahan gaya tarik tersebut.

Dalam membuat atau merancang beton bertulang digunakan acuan yaitu SNI 03-2847-2002, dimana dijelaskan bahwa untuk merencanakan elemen struktur beton bertulang terdapat dua metode yang dapat dipilih salah satunya, kedua metode tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Metode beban kerja.

Untuk metode ini direncanakan struktur beton bertulang kuat memikul beban-beban yang bekerja, dalam hal ini yaitu tegangan yang terjadi pada elemen beton bertulang tersebut lebih kecil atau sama dengan tegangan izin.

2. Metode kekuatan batas/ultimit.

Metode kekuatan batas/ultimit merencanakan bahwa elemen struktur beton bertulang harus kuat memikul beban terfaktor, dimana beban terfaktor merupakan kombinasi beban-beban yang bekerja. Untuk metode ini tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan batas/ultimit dari beton bertulang.

b) *Fibre Reinforced Polymer* (FRP)

Dewasa ini FRP bukan lagi hal yang asing di dunia konstruksi, material ini digunakan untuk melakukan penambahan kekuatan pada suatu konstruksi seperti beton. FRP merupakan gabungan dari polimer resin, fiber, dan filler. Material komposit ini memiliki banyak kelebihan yaitu antara lain ringan, mempunyai kekuatan yang tinggi, daya tahan yang tinggi, anti korosi, netral dari gaya magnet, memiliki kuat tarik yang besar, serta modulus elastisitas kecil dan hubungan tegangan-regangan yang elastis. Menurut Hartono dan Santosa (2003) keuntungan penggunaan FRP ialah antara lain:

1. Memiliki kuat tarik tinggi yaitu 7-10 kali lebih tinggi U39.
2. Ringan yaitu dengan density 1,4-2,4gr/cm⁴ atau 4-6 kali lebih ringan dibandingkan baja.
3. Pengaplikasiannya mudah dan cepat.
4. Pemasangannya sangat memungkinkan untuk tidak mengganggu lalu lintas.
5. Tidak membutuhkan area kerja yang luas.
6. Tidak perlu penggunaan join.
7. Tahan terhadap karat.

Akan tetapi selain dari beberapa kelebihan FRP yang telah dipaparkan di atas, FRP juga memiliki beberapa kekuarangan yaitu antara lain FRP kurang tahan terhadap suhu tinggi sebab dengan suhu 70°C maka bahan perekat epoxy resin yang digunakan akan berubah menjadi lunak mengakibatkan daya lekatnya menurun. Selain suhu dingin

FRP juga tidak tahan terhadap sinar ultra violet. Untuk mengatasi beberapa kelemahan dari penggunaan FRP tersebut maka dilakukan beberapa cara penanggulangan yang salah satunya ialah dengan melakukan pelapisan FRP dengan mortar.

Untuk jenis dari FRP sendiri terdiri dari tiga jenis yaitu CFRP (*Carbon Fibre Reinforced Polymer*), AFRP (*Aramid Fibre Reinforced Polymer*), dan GFRP (*Graphite Fibre Reinforced Polymer*), namun pada penelitian ini akan dikhususkan pembahasan pada penggunaan dua jenis saja yaitu CFRP (*Carbon Fibre Reinforced Polymer*) dan GFRP (*Graphite Fibre Reinforced Polymer*). Dihaapkan kedepannya dapat dilakukan penelitian dengan semua jenis FRP dan dengan berbagai kombinasi pemasangan.

METODE PENELITIAN

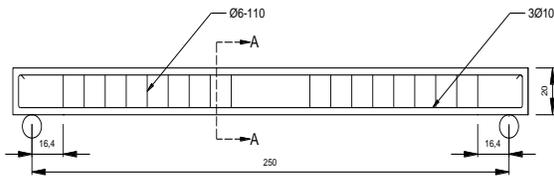
a) Jenis dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan uji eksperimental serta kajian pustaka mengenai kuat lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan lembaran serat karbon dan lembaran hybrid serat gelas dan karbon, dengan tahapan penelitian sebagai berikut:

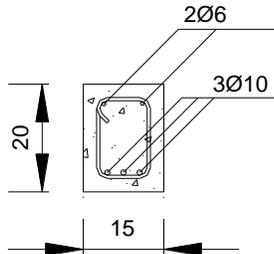
- a. Pengujian karakteristik agregat (agregat kasar dan agregat halus).
- b. Pengujian fisik material baja tulangan.
- c. Pembuatan mix design.
- d. Pembuatan benda uji beton bertulang.
- e. Pengujian fisik material beton normal.
- f. Pemasangan lapisan CFRP dan Hybrid GFRP CFRP.
- g. Pengujian lentur benda uji balok baton bertulang.

b) Desain Penelitian

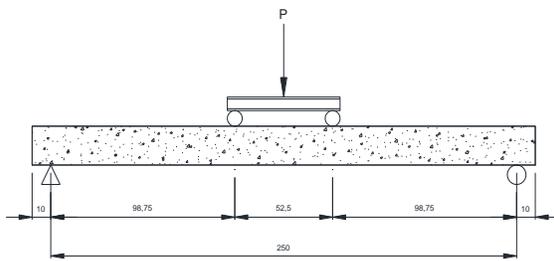
Benda uji balok beton bertulang dianalisa menggunakan *ultimate strength design* (kekuatan batas) dengan instrument pengujian balok beton standar dan desain sebagai berikut:



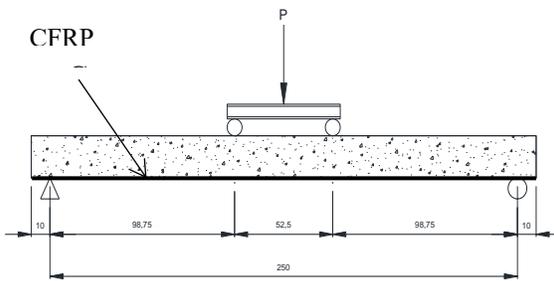
Gambar 1. Desain Penampang Balok



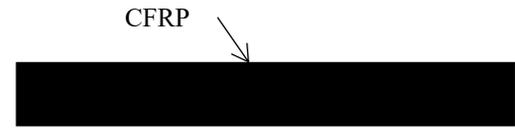
Gambar 2. Desain Tulangan Balok



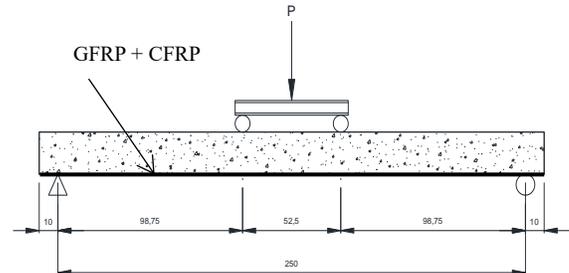
Gambar 3. Desain Pembebanan Balok



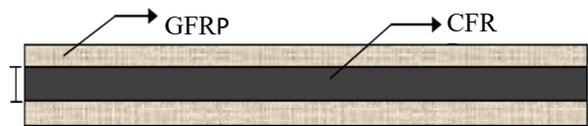
Gambar 4. Detail Pemasangan Lapisan CFRP pada Balok.



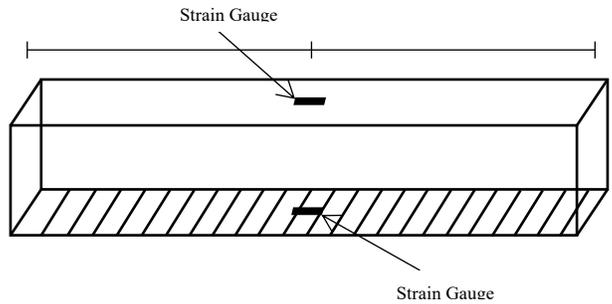
Gambar 5. Tampak Bawah Pemasangan Lapisan CFRP pada Balok



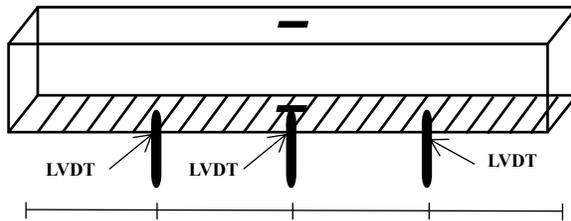
Gambar 6. Detail Pemasangan Lapisan GFRP + CFRP



Gambar 7. Tampak Bawah Pemasangan Lapisan GFRP + CFRP pada Balok.



Gambar 8. Detail Pemasangan Strain Gauge pada Balok.



Gambar 9. Detail Pemasangan LVDT pada Balok.

c) Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan peralatan penunjang sebagai antara lain berikut:

- *Universal testing Machine.*
- Mixer (mesin pencampur material) beton.
- *Statis Loading Frame.*
- Cetakan silinder dengan dimensi diameter 15cm dan tinggi 30cm.
- Cetakan balok dengan ukuran 2700mm x 150mm x 200mm.
- Satu set alat *slump test.*
- LVDT dengan kapasitas 50mm.
- *Strain Gauge.*

Sedangkan untuk bahan yang digunakan antara lain sebagai berikut:

- Semen PCC (*Portland Composite Cement*)
- Agregat halus berupa pasir dan agregat kasar berupa batu pecah yang berasal dari bendungan bili-bili.
- CFRP (*Carbon Fibre Reinforced Polymer*)
- GFRP (*Graphite Fibre Reinforced Polymer*).
- *Epoxy* dari *Tyfo Fyfe.*

ANALISIS PENELITIAN

a) Hasil Pemeriksaan Agregat

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus dan Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Sat	Hasil Pengujian	
			Pasir	Kerikil
1	Kadar lumpur	%	3.3	0.8
2	Modulus kehalusan	%	3.28	6.62
3	Berat jenis SSD	-	2	2.61
4	Berat volume lepas	Kg/ltr	1.58	1.856
5	Berat volume padat	Kg/ltr	1.71	1.886
6	Penyerapan air	%	1.42	1.3
7	Kadar organik	No	NO.1	

Berdasarkan hasil uji karakteristik agregat kasar dan agregat halus pada table di atas dapat diketahui bahwa agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan untuk campuran beton telah memenuhi standar.

b) Komposisi Hasil Mix Design.

Berdasarkan perhitungan mix design beton yang telah dilakukan diperoleh komposisi bahan campuran beton untuk 1m³ adalah sebagai berikut:

- Pasir : 573 kg
- Kerikil : 1008 kg
- Semen : 447 kg
- Air : 171 kg

c) Hasil Uji Kuat Tekan Beton.

Berdasarkan hasil ujia kuat tekan benda uji beton yang telah dibuat dan di uji di laboratorium diperoleh hasil uji kuat tekan beton sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Beton.

No.	Tanggal		Beban (P_{max}) (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
	Cor	Test			
1	11/06/2013	29/06/2013	440,00	24,91	
2		29/06/2013	460,00	26,04	25,38
3		29/06/2013	445,00	25,19	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

Dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh kuat tekan rata-rata benda uji pada usia 28 hari yaitu 25,38 MPa.

d) Hasil Uji Kuat Lentur Beton.

Hasil uji kuat lentur benda uji beton disajikan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Uji Kuat Lentur Benda Uji Beton.

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Beban (P) (kN)	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur (Mpa)
	Cor	Test				
1	11/06/2013	29/06/2013	28	10,50	3,68	
2			28	11,00	3,85	3,73
3			28	10,55	3,68	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

Dari tabel di atas diketahui kuat lentur rata-rata benda uji sebesar 3,73 MPa.

e) Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton.

Tabel 4. Hasil Uji Modulus Elastisitas Benda Uji

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	Δ Maks (mm)	Rata-rata (mm)
	Cor	Test					
1	11/06/2013	29/06/2013	28	22247,71		0,41	
2			28	22464,98	22356,34	0,39	0,40

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

f) Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tarik Baja Tulangan.

Benda Uji	Dia tul	Luas tul	Beban leleh	Beban maks.	Tegangan leleh	Tegangan maks
	<i>Mm</i>	<i>mm²</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>MPa</i>	<i>Mpa</i>
I	Ø 10	78,50	24,50	33,20	312,10	422,93
II	Ø 6	28,50	14,50	17,90	513,09	633,40

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

g) Beban Maksimum dan Besar Perkuatan Lentur Balok.

Benda uji balok beton bertulang diuji pada umur 28 hari dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

- Tahapan pengujian awal untuk benda uji balok beton bertulang normal untuk mengetahui beban ultimit.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kapasitas Beban Balok Beton Bertulang.

No.	Kode Benda Uji	P_{crack} (kN)	P_{ult} (kN)
1	BN	12.08	20.49

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

- Tahapan kedua yaitu melakukan pengujian lentur balok beton bertulang sampai retak dengan mengasumsikan 85% beban ultimit.
- Tahap berikutnya yaitu pengujian lentur pada balok beton bertulang yang diperkuat dengan lapisan CFRP (Variasi 1).

Tabel 7. Data Hasil Pembebanan Balok dengan Perkuatan CFRP

No	Kode Benda Uji	$P_{failure}$ (kN)
1	B1 – CFRP	19,99
2	B2 – CFRP	48,81

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

Berdasarkan tabel 7 di atas dapat diketahui bahwa beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok beton bertulang yang diperkuat dengan lapisan CFRP yaitu sebesar 19,99 kN dan 48,81 kN, dapat dilihat bahwa berdasarkan data yang ada terjadi perbedaan yang sangat signifikan antara kedua sampel benda uji balok tersebut, hal ini dikarenakan pada sampel B1-CFRP terjadi kegagalan penempelan CFRP sehingga CFRP tidak bekerja secara maksimal dalam memperkuat balok beton bertulang tersebut. Maka untuk balok beton bertulang variasi 1 diambil rata-rata 48,81 kN. Sedangkan untuk besar lendutan yang terjadi pada benda uji variasi 1 ini dapat dilihat pada tabel 8 berikut.

Tabel 8. Beban dan lendutan untuk Balok dengan Perkuatan CFRP

No.	Kode Benda Uji	P_{ult} (kN)	Lendutan (mm)
1	B1 - CFRP	19,99	31,7
2	B2 - CFRP	48,81	28,5

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

- Tahap berikutnya yaitu pengujian lentur pada balok beton bertulang yang diperkuat dengan lapisan GFRP + CFRP (Variasi 2).

Tabel 9. Data Hasil Pembebanan Balok dengan Perkuatan GFRP+CFRP

No.	Kode Benda Uji	$P_{failure}$ (kN)
1	B3 – GFRP+CFRP	45,65
2	B4 – GFRP+CFRP	46,8

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

Untuk pengujian benda uji balok beton bertulang variasi 2 diperoleh hasil beban maksimum yang dapat dipikul oleh masing-masing benda uji sebelum hancur yaitu sebesar 45,65 kN dan 46,80 kN, dari hasil tersebut diperoleh rata-rata sebesar 46,23 kN. Apabila dibandingkan dengan variasi 1 hasil ini berada sedikit di bawah perolehan beban maksimum variasi 1. Untuk besar lendutan yang terjadi dapat dilihat pada tabel 10 berikut.

Tabel 10. Beban dan lendutan untuk Balok dengan Perkuatan GFRP+CFRP

No.	Kode Benda Uji	P_{ult} (kN)	Lendutan (mm)
1	B3 – GFRP+CFRP	45,65	33,5
2	B2 – GFRP+CFRP	46,8	32,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Struktur & Bahan JTS FT-UH

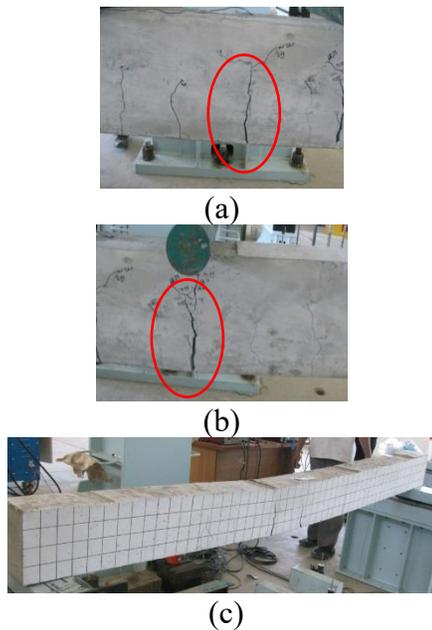
Berdasarkan data lendutan yang terlihat pada tabel 9 dan tabel 10 dapat dilihat bahwa untuk benda uji variasi 1 terjadi lendutan sebesar rata-rata 28,5 mm dan untuk variasi 2 terjadi lendutan sebesar rata-rata 32,75 mm.

h) Pengamatan Pola Retak Benda Uji Balok Beton Bertulang.

Pengamatan pola retak pada balok beton bertulang dilakukan setelah proses pembebanan dilakukan dan dibagi ke dalam tiga kelompok sebagai berikutL

- Pola retak benda uji balok beton bertulang normal.

Pola retak yang terjadi pada balok beton bertulang normal yaitu retak lentur (*flexural crack*) dan geser, hal ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 10 a,b,c. Pola Retak Benda Uji Balok Beton Bertulang Normal.

- Pola retak benda uji balok beton bertulang Variasi 1.

Untuk balok beton bertulang dengan lapis perkuatan CFRP atau Variasi 1 terjadi retak yang bergerak secara intensif dari bagian sisi Tarik menuju ke bagian sisi tekan balok dengan jenis retak yaitu retak lentur (*flexular crack*) dan geser. Gambar pola retak balok variasi 1 untuk benda uji 1 dan benda uji 2 ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12 berikut.



(a)



(b)

Gambar 11. Pola Retak Benda Uji Balok Beton Bertulang Variasi 1 B1 – CFRP



(a)



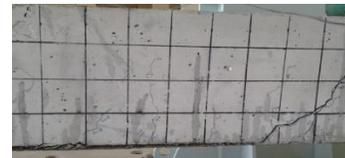
(b)

Gambar 12 a,b. Pola Retak Benda Uji Balok Beton Bertulang Variasi 1 B2 – CFRP.

- Pola retak benda uji balok beton bertulang Variasi 2.

Pola retak yang terjadi pada Variasi 2 atau balok beton bertulang dengan variasi perkuatan GFRP + CFRP tidak jauh berbeda dengan pola retak Variasi 1 yaitu dari bagian sisi Tarik menuju ke bagian sisi tekan balok dengan jenis retak yaitu retak lentur (*flexular crack*) dan geser.

Gambaran pola retak dari balok beton bertulang variasi 2 ini ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut.



Gambar 13. Pola Retak Benda Uji Balok Beton Bertulang Variasi 2 B3 – GFRP+CFRP



Gambar 14. Pola Retak Benda Uji Balok Beton Bertulang Variasi 2 B4 – GFRP+CFRP

KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian ini maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Lapisan CFRP atau Variasi 1 pada balok beton bertulang meningkatkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok beton sebesar 138,10 %.
2. Lapisan GFRP+CFRP atau variasi 2 pada balok beton bertulang meningkatkan beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok sebesar 125,62%.
3. Berdasarkan peningkatan beban maksimum yang dapat dipikul oleh dua variasi perkuatan balok beton bertulang di atas maka dapat disimpulkan bahwa perkuatan menggunakan CFRP secara keseluruhan lebih efektif dibandingkan lapisan hybrid GFRP + CFRP dikarenakan kenaikan yang dihasilkan oleh variasi 2 lebih kecil dibandingkan variasi 1.
4. Pola retak yang terjadi pada keseluruhan benda uji baik itu benda uji variasi 1 maupun benda uji variasi 2 adalah retak lentur dan geser.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI.Committee 440.2R-08, 2008.*Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. American Concrete Institute. U.S.A.
- Akkas, Abd Madjid dkk, 2008. *Struktur Beton Bertulang I*. Makassar: Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
- Bukorsyom, Febby, 2011. *Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Pasca Kerusakan Dengan Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polimer Sheet*, Tesis, Program Magister Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Duhri, Aswin Perdana, 2013.*Studi Pengaruh Sabuk Gfrp Diagonal Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang*. Skripsi, Program Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Nawi, Edward. G. *Beton Bertulang*. Bandung : Refika Aditama. 2010.