

Perilaku Lentur Balok Beton pada Kombinasi Daerah Geser dan Tarik yang Menggunakan Material FRP sebagai Perkuatan Eksternal di Lingkungan Ekstrim

Asri Mulya Setiawan¹, Andi Muhammad Nur Padli²,
Muhammad Yusuf Ali³, Erniati Bachtiar⁴, Violana
Tandioga⁵, Clara Nita Fitriany⁶

Departemen Teknik Sipil, Universitas Fajar^{1,2,3,4,5}
Email: klanmulyasetiawan@gmail.com¹

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuat lentur balok beton yang diperkuat dengan FRP pada daerah tarik dan geser dengan jangka waktu perendaman selama 6 bulan dan menganalisis pola retak balok beton akibat beban maksimum. Metode pengujian yang digunakan yaitu metode pembebanan monotonik yang menggunakan dua tumpuan sederhana diatas benda uji dan ditekan hingga balok beton mengalami keruntuhan. Pengujian dilakukan dengan total 24 buah balok beton dengan dimensi 10 cm x 12 cm x 60 cm yang direndam dengan air pada kolam simulasi selama 6 bulan. Perkuatan FRP dilapisi pada sepanjang daerah tarik dan geser balok beton dengan dimensi 35 cm x 60 cm. Adapun data yang diamati selama pengujian meliputi pola retak dan beban ultimit hingga balok beton hancur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perkuatan CFRP pada kombinasi daerah tarik dan geser mampu meningkatkan kuat lentur balok beton sebesar 55,2% pada umur perendaman 28 hari dan 63,4% pada umur perendaman 180 hari (6 bulan) terhadap balok beton normal, sedangkan perkuatan GFRP pada kombinasi daerah tarik dan geser mampu meningkatkan kuat lentur balok beton sebesar 70,25% pada umur perendaman 28 hari dan 76,03% pada umur perendaman 180 hari (6 bulan) terhadap balok beton normal. Serta pola retak yang terjadi adalah retak lentur dan model keruntuhan yang terjadi pada balok beton yang diperkuat FRP adalah kegagalan lekatan.

Kata Kunci : balok beton, FRP, kuat lentur, pola retak

INDONESIAN JOURNAL OF FUNDAMENTAL SCIENCES

E-ISSN: 2621-6728

P-ISSN: 2621-671X

Submitted: August, 14th 2020

Accepted: October, 2nd 2020



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

PENDAHULUAN

Indikator perkembangan suatu negara salah satunya dapat terlihat dari tingkat pembangunan infrastrukturnya. Dalam pemenuhan kebutuhan pembangunan, teknologi beton telah banyak dikembangkan untuk menemukan sifat mekanis optimal dengan biaya yang relatif murah. Konstruksi dari beton banyak memiliki keuntungan selain bahannya sangat mudah diperoleh, juga harganya relatif lebih murah, mempunyai kekuatan tekan lebih tinggi, mudah dalam pengangkutan dan pembentukannya, serta mudah dalam perawatannya.

Sesuai dengan umur rencananya, struktur beton akan mengalami penurunan kekuatan bahkan mengalami kerusakan. Pengaruh lingkungan, perubahan fungsi struktur atau perubahan beban pelaksanaan yang tidak sesuai dengan rencana desain awal juga mengakibatkan kerusakan struktur. Permasalahan-permasalahan struktur tersebut menyebabkan konstruksi yang telah berdiri (*existing*) biasanya perlu dibongkar ataupun direkonstruksi ulang sebagai dampak pencegahan terhadap kemungkinan runtuhnya konstruksi yang mungkin menimbulkan korban jiwa. Jika hal itu terjadi, ada dua hal yang dapat dilakukan, yaitu membongkar struktur lama atau struktur yang telah rusak tersebut lalu mengganti dengan struktur baru, atau memberikan perkuatan pada struktur tersebut dengan teknologi yang telah berkembang pada bidang konstruksi contohnya *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). Fiber Reinforced Polymer (FRP) sebagai material solusi perkuatan dan perbaikan struktur yang telah banyak digunakan saat ini.

FRP adalah material perkuatan dan perbaikan struktur yang sudah banyak digunakan, tidak hanya digunakan pada konstruksi gedung, namun dapat digunakan pada jenis konstruksi lainnya. Keunggulan yang dimiliki FRP yaitu terbuat dari bahan non logam yang tidak bersifat korosif yang bisa digunakan pada beton lama sebagai bahan perkuatan yang telah mengalami penurunan kinerja beton dan beton baru sebagai perkuatan proteksi dan reduksi penampang. Pada umumnya FRP di pasang pada bagian struktur dengan cara melapisi GFRP pada bagian yang terjadi pelemahan supaya FRP tersebut mampu menahan tumpuan struktur agar tetap bertahan pada posisi yang diharapkan.

FRP memiliki bermacam-macam jenis diantaranya GFRP (Glass), CFRP (Carbon), dan AFRP (Aramid). Namun dalam penelitian ini digunakan jenis GFRP dan CFRP sebagai perkuatan eksternal pada balok beton. Balok beton merupakan elemen struktur yang bekerja untuk menahan lentur dan deformasi. Distribusi tegangan akibat beban lentur akan menyebabkan serat bagian atas balok tertekan dan serat bagian bawah balok tertarik. Kuat lentur suatu struktur sangat penting, karena mempengaruhi kekuatan dan estetika suatu struktur. Kuat lentur suatu struktur akan bertambah jika struktur tersebut mengalami perkuatan atau perbaikan. Degradasi kekuatan struktur tersebut dapat dikarenakan mutu beton tidak sesuai dari perencanaan, adanya penambahan beban yang ditahan struktur, kebakaran, gempa bumi, perubahan fungsi bangunan dan usia struktur bangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuat lentur balok beton yang diperkuat dengan FRP pada daerah tarik dan geser dengan jangka waktu perendaman selama 6 bulan dan menganalisis pola retak balok beton akibat beban maksimum.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengaruh tebal CFRP pada masing-masing arah serat terhadap kuat tekan beton normal berturut-turut adalah 2,57%, 3,71%, 6,86%, 13,14%, 20,48%, 26,76%, dan masing-masing untuk benda uji V2, V3, V5, H2, H3, dan H5. Sedangkan persentase peningkatan kuat tekan beton fully jacketing CFRP arah serat vertikal adalah 21,52% dan fully jacketing CFRP arah serat horizontal sebesar 41,43% (Karmila Achmad, 2017). Penggunaan GFRP pada balok beton bertulang meningkatkan kapasitas beban bila dibandingkan dengan balok beton bertulang tanpa perkuatan GFRP. Peningkatan kapasitas bervariasi seiring dengan penambahan jumlah lapisan GFRP (Fikri Alam, 2010). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan ultimate rata-rata balok terhadap uji lentur menunjukkan terjadinya peningkatan kekuatan balok SFC sebesar 12,6% terhadap balok normal, adapun SFC CFRP meningkat sebesar 57,4% terhadap balok normal dan 39,74% terhadap balok SFC (Waode Amalah, 2015).

Penambahan pelat CFRP secara eksternal pada balok dapat menghambat munculnya first crack, dimana beban saat retak awal meningkat sebesar 50%. Sedangkan penambahan pelat CFRP secara eksternal pada balok dapat meningkatkan beban ultimit kuat lentur sebesar 49 %, dan dapat meningkatkan kekakuan sebesar 68%, akan tetapi daktilitas turun sebesar 73% dan lendutannya turun 77,6 % (Agung Budiwirawan, 2010).

Peningkatan kekuatan kapasitas momen ultimit balok dengan perkuatan GFRP terhadap balok normal antara lain adalah 1 lapis penuh (balok A1-GF) sebesar 59%, 1 lapis penuh + 2 lapis pada 1/3 bentang tengah (balok A2-GF) sebesar 80%, 3 lapis penuh (balok B1-GF) sebesar 112%, 3 lapis penuh + 2 lapis pada 1/3 bentang tengah (balok B2-GF) sebesar 155%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas beban seiring pertambahan jumlah lapisan GFRP. Ketika baja tulangan meleleh dan beton mengalami penurunan kekuatan, gaya tarik yang terjadi akibat pertambahan beban akan ditahan sepenuhnya oleh GFRP (Febby Bukorsyom, 2011).

Kapasitas rekatan GFRP-S balok perendaman laut juga lebih kecil bila dibandingkan dengan balok perendaman kolam. Persentase selisih kapasitas rekatan antara balok perendaman kolam dengan balok perendaman laut sebesar 8.10%, 14.34% dan 15.38% secara berurutan untuk lama perendaman 1 bulan, 3 bulan dan 6 bulan. Simulasi pemodelan dapat digunakan sebagai media perendaman air laut untuk mensimulasikan kondisi perendaman di laut sebenarnya dengan menggunakan suatu nilai faktor koreksi FK (Robby Setiadi Kwandou, 2014).

Keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapis CFRP adalah keruntuhan lentur, tetapi pada balok dengan perkuatan 2 lapis CFRP terjadi rusak/retak geser pada saat terjadi beban maksimum/ultimit (Mulyadi, 2018). CFRP lebih baik dalam menambah kekuatan lentur balok daripada GFRP. Pertambahan besar beban yang bisa ditahan balok BC dari balok kontrol lebih besar dari pertambahan beban BG dari balok control (Ireneus Petrico, 2014). Terjadi peningkatan kapasitas beban pada benda uji balok beton bertulang dengan perkuatan GFRP-S yang direndam dengan air laut selama 12 bulan (BF_{12}) terhadap benda uji balok beton bertulang tanpa perkuatan GFRP-S (BN_0) yaitu sebesar 54,292% (Asri Mulya Setiawan, 2015).

Beban maksimum rata-rata benda uji BN_0 (Balok normal tanpa perendaman) sebesar 26,74 kN; benda uji BN_6 (Balok normal dengan perendaman selama 6 bulan) sebesar 26,37 kN

atau terjadi penurunan kapasitas beban terhadap benda uji BN_0 sebesar 1,383%. Penurunan kapasitas benda uji BN_6 ini setelah perendaman air laut selama 6 bulan. Beban maksimum rata-rata benda uji BF_0 (Balok GFRP tanpa perendaman), BF_6 (Balok GFRP dengan perendaman selama 6 bulan) dan BF_{12} (Balok GFRP dengan perendaman selama 12 bulan) masing-masing 43,105 kN, 41,425 kN dan 41,258 kN. Serta terjadi penurunan beban balok GFRP-S yang direndam air laut terhadap balok GFRP-S tanpa perendaman (BF_0). Penurunan beban maksimum pada benda uji BF_6 dan BF_{12} terhadap benda uji BF_0 . Persentase penurunan beban berturut-turut adalah 3,898% dan 4,285% (Asri Mulya setiawan, 2018).

Lendutan yang dihasilkan balok yang direndam air laut lebih kecil dari lendutan balok yang tidak direndam. BF_{12} dan BF_6 lebih getas (kaku) dibandingkan BF_0 . Begitupula dengan BN_6 yang memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan BN_0 . Hal ini menunjukkan bahwa sifat kekakuan balok yang direndam lebih besar jika dibandingkan balok tanpa perendaman. Selain itu menunjukkan bahwa penambahan lapisan GFRP-S mampu meningkatkan kapasitas benda uji BF. Namun sifat dari balok akan semakin getas, sehingga keruntuhan balok akan terjadi secara tiba-tiba tanpa peringatan (Asri Mulya setiawan, 2019).

Terjadi penurunan kapasitas lentur pada benda uji rendaman 1 bulan (BF_1), 3 bulan (BF_3), 6 bulan (BF_6) dan 12 bulan (BF_{12}) terhadap benda uji tanpa perendaman (BF_0) yaitu sebesar 2,74%; 2,81%; 3,90% dan 4,29%. Penurunan kapasitas lentur ini disebabkan oleh melemahnya kapasitas rekatan GFRP-S yang dipengaruhi oleh rendaman air laut (Mufti Amir Sultan, 2015). Lokasi penempatan balok beton dengan perkuatan GFRP-S pada lingkungan yang ekstrim seperti lingkungan laut turut mempengaruhi nilai kapasitas beban yang dihasilkan. Penambahan GFRP-S dapat meningkatkan kapasitas dari struktur yang terpengaruh lingkungan laut (Tjiudiningrat, 2012).

Lendutan yang terjadi pada balok GFRP-S yang direndam lebih kecil jika dibandingkan dengan lendutan balok GFRP-S yang tidak direndam. Penggunaan GFRP-S sangat baik diterapkan untuk meningkatkan kinerja suatu struktur, khususnya struktur yang terpengaruh lingkungan ekstrim seperti air laut. Dengan adanya penambahan GFRP-S, dapat melindungi struktur dari kerusakan akibat pengaruh air laut dan mengurangi degradasi kekuatan selama kurun waktu tertentu (Irma Umar, 2014).

METODE PENELITIAN

A. Alat

1. Timbangan kapasitas 50 kg
2. Satu set saringan
3. Oven
4. Amesin abrasi Los Angeles
5. Alat uji kuat lentur (Tokyo Testing machine)
6. Cetakan benda uji
7. Ember
8. Mesin molen

B. Bahan

1. Semen potland komposit
2. Agregat halus dan kasar (pasir dan batu pecah) berasal dari Bili-bili

3. Serat carbon CFRP tipe Tyfo SEH-51A produksi Fyfe.Co.LLC.
4. Serat gelas GFRP-S tipe Tyfo SEH-51A produksi Fyfe.Co.LLC.
5. Bahan perekat tipe Tyfo S Epoxy produksi Fyfe.Co.LLC.
6. Multipleks
7. Air yang digunakan untuk campuran adalah air bersih.

C. Metode Pengujian



Gambar 1. Set Up Pengujian

Pengujian balok dilakukan dengan *two poin load* pada BN (balok normal) dan BF (balok GFRP), digunakan pembebanan yang bersifat monotonik, dengan kecepatan ramp *actuator* konstan sebesar 0,05 mm/dtk sampai balok runtuh. Pengamatan terhadap balok uji dipantau secara visual, terutama terhadap perkembangan pola retak, keadaan plastis balok akibat bertambahnya beban dan terhadap perilaku keruntuhan yang terjadi. Pembebanan dilakukan hingga daerah tekan pada balok hancur dan telah mencapai beban maksimum. Pengujian lentur dilaksanakan pada saat sampel balok yang telah terpasang FRP berumur 6 bulan.

D. Benda Uji

Pengujian dilakukan dengan total 24 buah balok dengan dimensi 10 cm x 12 cm x 60 cm yang direndam air pada kolam simulasi selama 6 bulan dengan mutu beton $f'c$ 25 MPa. Perkuatan FRP pada beton dengan cara dilapisi pada daerah tarik dan geser balok beton dengan dimensi 35 cm x 60 cm. Adapun data yang diamati selama pengujian yaitu beban ultimit dan pola retakan. Pemasangan FRP dengan menggunakan metode *Wet Lay-up*. Bahan perekat yang digunakan dalam penelitian ini juga merupakan produk dari Fyfe Co dengan nama Tyfo S komponen A dan komponen B. Proses pemasangan FRP terdiri atas lima tahap yaitu tahap pertama adalah penghalusan permukaan beton. Tahap kedua adalah pemotongan FRP sesuai dengan ukuran. Tahap ketiga adalah pencampuran *epoxy* yang dalam hal ini digunakan Tyfo S komponen A dan komponen B. Tahap keempat adalah pencampuran *epoxy* dan GFRP-S. Tahap kelima adalah penempelan FRP pada benda uji menggunakan metode *wet-layup*.

Tabel 1. Variabel benda uji Silinder Beton (10 cm x 20 cm) (Kontrol Mutu)

No	Lama Perendaman Air Tawar (Hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1.	28	SN ₂₈	3
Jumlah			3

Tabel 2. Variabel benda uji Balok Normal dan Balok CFRP

No	Lama Perendaman Air Tawar (Hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1.	28	BN ₂₈	5
2.	28	BC ₂₈	3
3.	180	BN ₁₈₀	2
4.	180	BC ₁₈₀	2
Jumlah			12

Tabel 3. Variabel benda uji Balok Normal dan Balok GFRP

No	Lama Perendaman Air Tawar (Hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1.	28	BN ₂₈	5
2.	28	BG ₂₈	3
3.	180	BN ₁₈₀	2
4.	180	BG ₁₈₀	2
Jumlah			12

HASIL DAN PEMBAHASAN**Kuat Tekan**

Tabel 4. Variabel benda uji Balok Normal dan Balok GFRP

Beton Normal Mutu 25 Mpa							
No.	Umur	Berat	Slump	Luas	Beban	f'c = P/A	Kuat Tekan
	Hari	(Kg)	(cm)	(A)	(P)	(Mpa)	Rata-Rata
				(mm²)	(N)		(Mpa)
1.	28	3,65	10	7850	245000	31,21	28,23
2.		3,47	10		230000	29,29	
3.		3,56	10		190000	24,20	

Hasil uji kuat tekan beton normal pada tabel IV.5, memperlihatkan bahwa beton memenuhi nilai kuat tekan yang disyaratkan yaitu 25 MPa. Dimana pada umur perendaman 28 hari beton normal memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 28,23 Mpa.

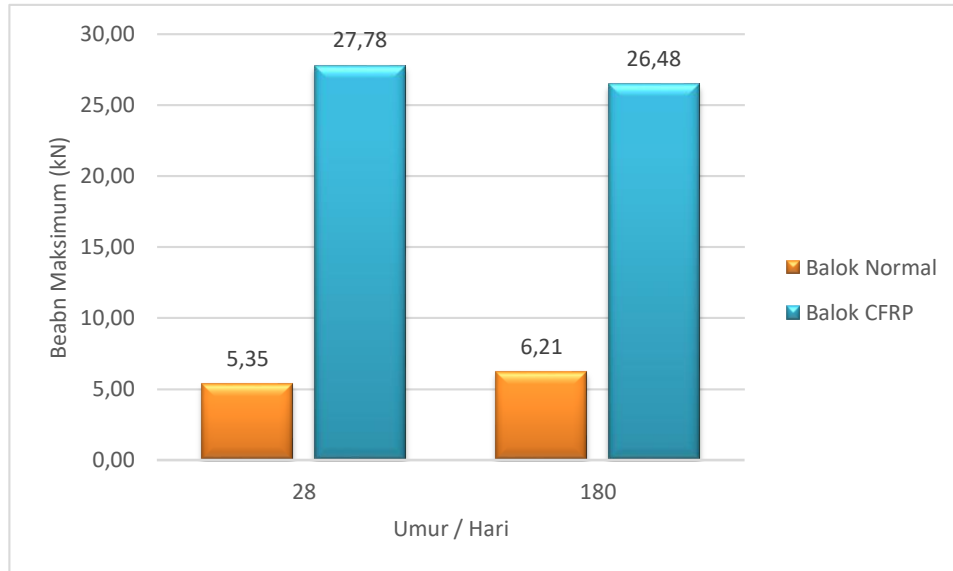
Kuat Lentur

Tabel 5. Variabel benda uji Balok Normal dan Balok CFRP

No	Umur	Jenis Balok			
		Balok	Balok	Balok	Balok CFRP
	(Hari)	Normal	Normal	CFRP	(R)
		(Pmax)	(R)	(Pmax)	
1	28	12 kN	5 Mpa	21.16 kN	8.81 Mpa
2		7,08 kN	2.95 Mpa	23.9 kN	9.95 Mpa
3		12,48 kN	5.2 Mpa	24.92 kN	10.38 Mpa
4		15.3 kN	6.38 Mpa		
5		17.4 kN	7.25 Mpa		
Rata-Rata		12.85 kN	5.36 Mpa	23.32 kN	9.71 Mpa
% Peningkatan Kuat lentur balok CFRP terhadap balok normal				55.2 %	
1	180	13.14 kN	5.48 Mpa	21.02 kN	8.76 Mpa
2		16.68 kN	6.95 Mpa	26.06 kN	10.86 Mpa
Rata-Rata		14.91 kN	6.22 Mpa	23.54 kN	9.81 Mpa
% Peningkatan Kuat lentur balok CFRP terhadap balok normal				63.4 %	

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa material CFRP yang dilekatkan pada daerah lentur dan geser dapat meningkatkan kekuatan lentur balok beton sebesar 55,2% terhadap kuat lentur balok normal pada umur beton 28 hari, sedangkan pada umur beton 180 hari (6

bulan) kuat lentur balok beton yang dilapisi dengan material CFRP dapat meningkatkan kekuatan lentur sebesar 63,4% terhadap balok normal.



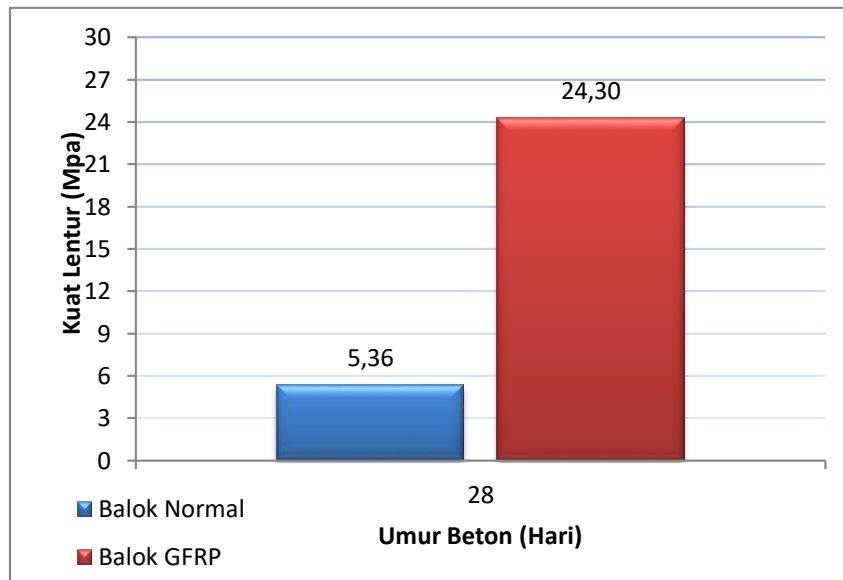
Gambar 2. Perbandingan kuat lentur beton normal dan beton cfrp

Tabel 6. Variabel benda uji Balok Normal dan Balok GFRP

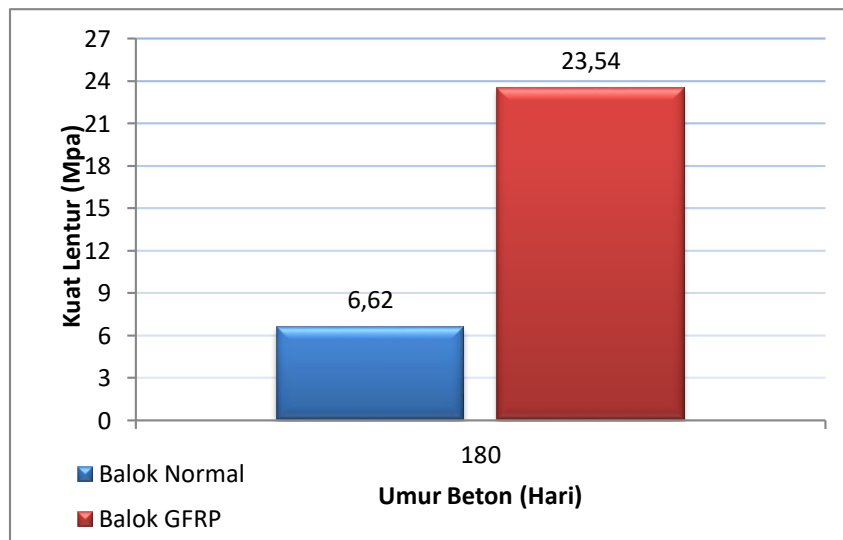
No	Umur (Hari)	Jenis Balok			
		Balok Normal (Pmax)	Balok Normal (R)	Balok GFRP (Pmax)	Balok GFRP (R)
1	28	12 kN	5 Mpa	16.44 kN	6.85 MPa
2		11,88 kN	4.95 Mpa	16.56 kN	6.9 MPa
3		7,74 kN	3.23 Mpa	21.96 kN	9.15 MPa
4		15.3 kN	6.38 Mpa		
5		17.4 kN	7.25 Mpa		
Rata-Rata		12.86 kN	5.36 Mpa	18.32 kN	7.63 MPa
% Peningkatan Kuat lentur balok GFRP terhadap balok normal			70.25 %		
1	180	14.82 kN	6.18 Mpa	16.14 kN	6.73 MPa
2		16.98 kN	7.08 Mpa	25.68 kN	10.7 MPa
Rata-Rata		15.9 kN	6.63 Mpa	20.91 kN	8.72 MPa
% Peningkatan Kuat lentur balok GFRP terhadap balok normal			76.03 %		

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa material GFRP yang dilekatkan pada daerah lentur dan geser dapat meningkatkan kekuatan lentur balok beton sebesar 70,25% terhadap kuat lentur balok normal pada umur beton 28 hari, sedangkan pada umur beton 180 hari (6

bulan) kuat lentur balok beton yang dilapisi dengan material GFRP dapat meningkatkan kekuatan lentur sebesar 76,03% terhadap balok normal.



Gambar 3. Diagram kuat lentur balok normal dan balok GFRP umur 1 bulan



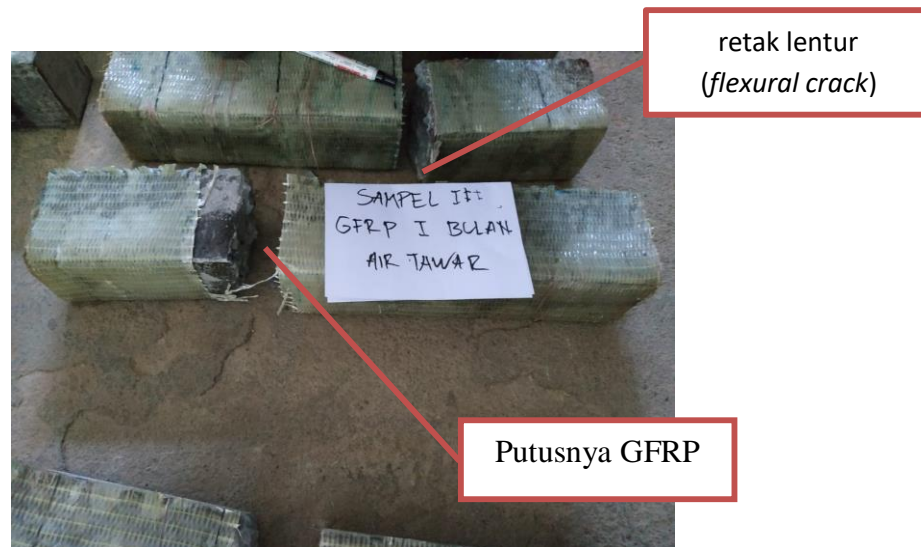
Gambar 4. Diagram kuat lentur balok normal dan balok GFRP umur 6 bulan

Pola Retak Balok FRP

Jenis keretakan yang terjadi pada pengujian balok FRP umur 28 hari dan 180 hari (6 bulan) yaitu retak lentur (*flexural crack*) di $1/3$ bentang tengah, dimana momen lentur lebih

besar dan gaya geser kecil. Arah retak yang terjadi hampir tegak lurus dengan sumbu balok. Pada balok yang diberikan penambahan perkuatan berupa FRP, panjang retak yang terjadi lebih lambat dari pada panjang retak balok tanpa perkuatan. Dan lebar retakan pada balok dengan perkuatan lebih kecil dari pada lebar retak balok tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan dengan adanya penambahan lapis perkuatan mampu menahan terjadinya retak pada balok.

Sedangkan model keruntuhan pada balok beton yang diperkuat dengan lapisan FRP pada kombinasi daerah lentur dan geser adalah putusnya FRP, ini menunjukkan bahwa lem epoxy melekat dengan baik sehingga kegagalan lekatan (*debonding failure*) tidak terjadi.



Gambar 5. Pola Retak dan Model Keruntuhan Balok FRP

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari pengaruh FRP terhadap kuat lentur balok beton yang direndam selama 6 bulan dapat ditarik kesimpulan, bahwa :

1. Persentase peningkatan kuat lentur balok beton yang menggunakan perkuatan CFRP pada kombinasi daerah tarik dan geser mampu meningkatkan kuat lentur balok beton sebesar 55,2% pada umur perendaman 28 hari dan 63,4% pada umur perendaman 180 hari (6 bulan).
2. Persentase peningkatan kuat lentur balok beton yang menggunakan perkuatan GFRP pada kombinasi daerah tarik dan geser mampu meningkatkan kuat lentur balok beton sebesar 70,25% pada umur perendaman 28 hari dan 76,03% pada umur perendaman 180 hari (6 bulan)
3. Pola retak pada balok beton dengan perkuatan FRP seluruhnya mengalami retak lentur di $1/3$ bentang tengah, dimana momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Sedangkan model keruntuhan pada balok beton yang diperkuat dengan lapisan FRP pada kombinasi daerah tarik dan geser adalah putusnya FRP, ini menunjukkan bahwa lem epoxy melekat dengan baik sehingga kegagalan lekatan (*debonding failure*) tidak terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad K. (2017). Pengaruh Arah Serat Fiber Reinforced Polymer Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Material Lokal Pasir Samboja di Wilayah Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Terpadu*, Vol. 5 No.1 April 2017.
- Alam Fikri. (2010). Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP-S). *Seminar dan Pameran HAKI 2010*: 1-12.
- Amalah Waode, (2015). Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Yang Menggunakan Styrofoam. *Tesis, Program Magister Universitas Hasanuddin, Makassar*
- Budiwirawan A. (2010). Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate Sebagai Bahan Komposit Eksternal Pada Struktur Balok Beton Bertulang.
- Bukorsyom Febby. (2011). Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Pasca Kerusakan Dengan Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polimer Sheet, *Tesis, Program Magister Universitas Hasanuddin, Makassar*
- Kwandou R. S. (2014). Simulasi Laboratorium Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Kapasitas Rekatan GFRP-S Pada Balok Beton Bertulang.
- Mulyadi. (2018). Pengaruh Penggunaan Carbon Fiber Sheet Terhadap Kekakuan Pada Balok Beton Bertulang. *Genta Mulia*, Vol. IX No. 1 Januari 2018..
- Petrico I. (2014). Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP.
- Setiawan A. M. (2015). Pengaruh Air Laut Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP-S Yang Direndam Selama Satu Tahun. *Tesis, Program Magister Universitas Hasanuddin, Makassar*.
- Setiawan A. M. (2018). Pengaruh Air Laut Terhadap Kapasitas Beban Pada Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat Gfrp-S Dengan Perendaman Selama Satu Tahun. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, Volume 4 No.2, Desember 2018:136-146.
- Setiawan A. M. (2018). Studi Kapasitas Lendutan, Daktalitas, dan Kekuatan Pada Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat GFRP-S Dengan Perendaman Air Laut Selama Satu Tahun. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, Volume 5 No.2, Oktober 2019:112-121.
- Sultan M. A. (2015). Pengaruh Air Laut Terhadap Karakteristik Balok Beton Bertulang Diperkuat Dengan GFRP-S.
- Tjiudiningrat N. T.(2012).Studi Pengaruh Air Laut Terhadap Efektifitas Gfrp Sheet Sebagai Bahan Penguat Elemen Lentur, *Skripsi, Program Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar*.
- Umar Irma, (2014). Studi Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Kapasitas Balok Lentur Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat GFRP-S. *Tesis, Program Magister Universitas Hasanuddin, Makassar*