

JURNAL TUGAS AKHIR

PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK DENGAN PERKUATAN GFRP AKIBAT BEBAN FATIK



**WILLIAM
D 111 10 009**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2014**

PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK DENGAN PERKUATAN GFRP AKIBAT BEBAN FATIK

R. Djamaluddin¹, A.M. Akkas¹, William²

ABSTRAK: Perkuatan struktur dengan GFRP merupakan salah satu inovasi yang berkembang pada dunia konstruksi saat ini. Penggunaan material ini cukup luas terutama pada struktur yang telah mengalami penurunan kapasitas akibat umur, pengaruh lingkungan, ataupun pembebanan secara terus-menerus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku lentur balok dengan perkuatan GFRP akibat pengaruh rendaman air laut. Pengujian dilakukan dengan pembebanan fatik dimana benda uji dibebani secara terus-menerus hingga mengalami kegagalan. Benda uji berupa balok beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 20 cm x 330 cm sebanyak 4 buah. Masing-masing benda uji diberi perlakuan yang berbeda-beda, 1 balok tanpa perkuatan GFRP, 1 balok dengan perkuatan GFRP tanpa perendaman, 1 balok dengan perkuatan GFRP dengan waktu rendaman 1 bulan dan 1 balok dengan perkuatan GFRP dengan waktu rendaman 6 bulan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa persentase selisih momen kapasitas yang terjadi pada balok dengan rendaman 1 bulan dan 6 bulan sebesar 11.53%.

Kata kunci : Kapasitas Lentur, GFRP, Fatik

ABSTRACT: Strengthening of structures with GFRP is one innovation that developed in the construction of the world's. The use of this material is quite extensive, especially in structure which has decreased capacity due to age environmental influences, or by continuous loading. This research aims to analyze the behavior of flexure beams with GFRP reinforcement due to the influence of sea water immersion. Tests carried out with fatigue loading where the specimens were continuously until failure. Test specimens in the form of reinforced concrete beams with a size of 15 cm x 20 cm x 330 cm by 4 units. Each specimen was given a different treatment, 1 block without GFRP reinforcement, 1 beam with GFRP reinforcement without soaking, 1 beam with GFRP reinforcement with immersion time 1 month and 1 beam with GFRP reinforcement with immersion time 6 months. The test results showed that the percentage difference between the moment of capacity that occurs in the beam with the marinade 1 month and 6 months at 11:53%.

Keywords: Flexural capacity, GFRP, Fatigue

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini dunia konstruksi mengalami perkembangan yang cukup pesat. Salah satu inovasi yang berkembang adalah perkuatan struktur. Perkuatan struktur merupakan hal mendasar yang diperlukan bagi struktur yang mulai menunjukkan penurunan kapasitas ataupun mengalami kerusakan akibat umur, pengaruh lingkungan, perubahan pembebanan, kelemahan dalam perawatan, kejadian alam seperti gempa bumi dan berbagai pengaruh lainnya.

Glass Fiber Reinforced Polymer adalah salah satu material yang saat ini banyak diteliti sebagai solusi dari perkuatan dan

perbaikan struktur beton. Material ini tergolong relatif mahal namun memiliki beberapa kelebihan seperti ketahanan terhadap korosi, memiliki kuat tarik tinggi, elastis dan merupakan material yang sangat ringan.

Penggunaan material GFRP cukup luas, tidak hanya terbatas pada konstruksi gedung namun juga digunakan pada konstruksi lepas pantai yang terekspos oleh air laut seperti konstruksi dermaga dan jembatan. Pada umumnya struktur yang terekspos air laut akan mengalami penurunan kekuatan akibat korosi yang terjadi pada tulangan.

Secara garis besar masalah yang diteliti pada penelitian ini adalah bagaimana

1. Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, INDONESIA

2. Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar 9025, INDONESIA

efektifitas penggunaan GFRP sebagai material perkuatan struktur terutama pada balok yang direndam air laut dan menerima pembebanan berulang atau fatik.

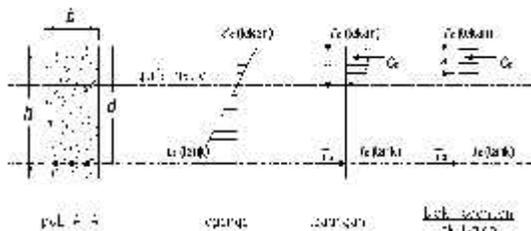
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang pengaruh rendaman air laut terhadap kapasitas lentur balok dengan perkuatan GFRP akibat beban fatik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Bertulang

Berdasarkan SNI-03-2847 pasal 3.13 (2002), beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

Pada suatu kondisi tertentu balok dapat menahan beban yang terjadi hingga regangan tekan lentur beton maksimum $(\epsilon_c)_{maks}$ mencapai 0.003 sedangkan tegangan tarik tulangan mencapai tegangan leleh f_y . Jika hal itu terjadi, maka nilai $f_s = f_y$ dan penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan (penampang bertulangan seimbang).



Gambar 2.1 Distribusi tegangan dan regangan pada balok tulangan tunggal

Pada gambar 2.1, C_c merupakan resultan gaya tekan dalam dan merupakan resultan gaya tekan pada daerah yang berada diatas garis netral. Sedangkan T_s adalah

merupakan resultan gaya tarik dalam dan merupakan seluruh gaya tarik yang direncanakan untuk daerah yang berada di bawah garis netral. Resultan gaya tekan dalam dan resultan gaya tarik dalam arah garis kerjanya sejajar, sama besar namun berlawanan arah dengan jarak z sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam, dimana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur. Nilai C_c dapat dihitung dengan menyederhanakan bentuk distribusi tegangan lentur menjadi tegangan ekuivalen. Blok tegangan ekuivalen ini mempunyai tinggi a dan tegangan tekan rata-rata sebesar $0.85 f'_c$. Pada keadaan seimbang, nilai $C_c = T_s$, sehingga luas tulangan longitudinal dapat ditentukan dengan persamaan

$$0.85.f'_c.a.b = A_s.f_y \dots\dots\dots (1)$$

$$A_s = \frac{0.85.f'_c.a.b}{f_y} \dots\dots\dots (2)$$

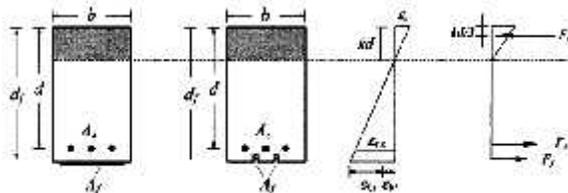
2.2. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah material komposit yang terdiri dari *fibre* (serat) *glass* yang disatukan zat matrik, seperti *epoxy* atau *polyester*. Matrik itu sendiri berfungsi sebagai media penyalur tegangan ke serat dan melindungi serat dari pengaruh lingkungan yang agresif (Feldman dan Hartono, 1995). Material ini memiliki banyak keuntungan antara lain tahan terhadap korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas, lebih ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk dibawa ke lokasi. Disamping itu material ini juga memiliki kelemahan yaitu tidak tahan terhadap api dan harganya yang relatif mahal.

Adapun karakteristik material GFRP dalam keadaan komposit dapat dilihat pada **tabel 2.1**.

Tabel 2.1. Karakteristik GFRP dalam keadaan komposit

PROPERTI LAPIS KOMPOSIT (GFRP+EPOXY)			
Properti	Metode ASTM	Nilai Test	Nilai Desain
Tegangan tarik ultimit dalam arah utama fiber (Psi)	D-3039	575 MPa	460 MPa
Regangan	D-3039	2,2 %	2,2 %
Modulus Tarik (Psi)	D-3039	26,1 GPa	20,9 GPa
Tegangan tarik ultimit 90 ⁰ dari arah utama fiber (Psi)	D-3039	25,8 MPa	20,7 MPa
Tebal lapisan	D-3039	1,3 mm	1,3 mm



Gambar 2.2 Distribusi tegangan regangan balok dengan perkuatan FRP

Kapasitas momen nominal perkuatan lentur dengan menggunakan FRP dapat dihitung dengan persamaan berikut. Untuk perkuatan lentur ACI committee 440 merekomendasikan nilai faktor reduksi untuk FRP (ω_f) sebesar 0,85

$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \omega_f A_f f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

2.3. Fatik

Fatik merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang ulang. Diketahui bahwa apabila pada suatu material dikenakan tegangan berulang, maka material tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik.

Mekanisme kerusakan fatik dibagi menjadi tiga tahap yaitu inisiasi atau pembentukan retak (*crack initiation*), pertumbuhan dan perambatan retak (*crack growth, crack propagation*) dan kerusakan fatik (*fatigue damage*). Proses kerusakan fatik dimulai dari pembebanan berulang pada material selama waktu tertentu sehingga terbentuk regangan plastis pada daerah konsentrasi tegangan. Regangan plastis ini akan memicu terbentuknya inisiasi retak. Tegangan tarik kemudian akan memicu inisiasi retak untuk tumbuh dan merambat sampai terjadinya kerusakan.

Untuk pengujian fatik ACI committee 440 merekomendasikan nilai tegangan beton dibawah beban layang harus dibatasi pada 45% f'_c dan untuk tegangan baja dibatasi pada 80% f_y seperti pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned} f_c &= 45\% f'_c \\ f_y &= 80\% f_y \end{aligned}$$

Tegangan baja dibawah beban layang dapat dihitung dengan persamaan:

$$f_{s,s} = \frac{[M_s + \epsilon_{bi} A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right)] (d - kd) E_s}{A_s E_s \left(d - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) + A_f E_f \left(d_f - \frac{kd}{3} \right) (d_f - kd)}$$

Dari persamaan di atas dapat dihitung regangan FRP dengan persamaan:

$$f_{f,s} = f_{s,s} \left(\frac{E_s}{E_f} \right) \frac{d_f - kd}{d - kd} - \epsilon_{bi} E_f$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah studi pengaruh rendaman air laut terhadap kapasitas lentur balok dengan perkuatan GFRP akibat beban fatik.

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan rancangan campuran beton normal dengan $f'c = 25$ MPa. Penelitian kali ini menggunakan 4 balok beton bertulang dengan dimensi 15 cm x 20 cm x 60 cm. Masing-masing benda uji diberi perlakuan yang berbeda-beda, 1 balok tanpa perkuatan GFRP, 1 balok dengan perkuatan GFRP tanpa perendaman, 1 balok dengan perkuatan GFRP dengan waktu rendaman 1 bulan dan 1 balok dengan perkuatan GFRP dengan waktu rendaman 6 bulan. Adapun variable benda uji dapat dilihat pada **tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Variabel benda uji

No	Kode benda uji	Jenis Pengujian	Lama perendaman	Jumlah
1	BFN	Fatik	0	1
2	BF 0	Fatik	0	1
3	BF 1	Fatik	1 bulan	1
4	BF 6	Fatik	6 bulan	1
Total =				4

Untuk pemasangan GFRP digunakan 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. Untuk proses pencampuran antara komponen A dan komponen B digunakan perbandingan 2:1.

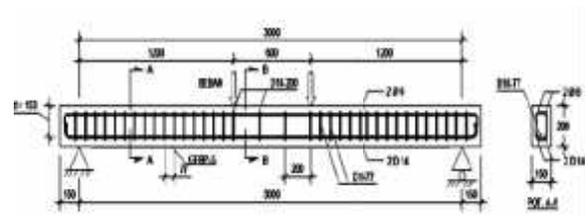
3.2. Pengujian Pembebanan Fatik

Pengujian ini dilakukan pada benda uji skala penuh (full scale) berukuran 150 mm x 200 mm x 3300 mm, dengan memberi pembebanan berulang pada balok beton

bertulang dengan frekuensi dan jumlah siklus tertentu. Pembebanan fatik pada pengujian ini mengacu pada ACI 440.2R-08 dimana tegangan tekan beton yang diisyaratkan yaitu sebesar 45% $f'c$. Adapun data-data yang dihasilkan pada pengujian ini yaitu data regangan dan lendutan untuk tiap siklus pembebanan melalui PC oleh rangkaian alat uji strain gauge.

3.3. Desain Benda Uji

Benda uji balok ukuran 150 mm x 200 mm x 3300 mm seperti pada gambar 3.1, dibuat sebanyak 4 buah dan dipasang electrical strain gauge pada baja, beton dan GFRP. Pada penelitian ini daerah tarik balok digunakan tulangan 2 ϕ 14 (tegangan leleh = 421.71 Mpa), sedangkan untuk tulangan geser digunakan tulangan ϕ 10-77 pada 1/3 bentang kiri dan 1/3 bentang kanan, dan bentang tengah ϕ 10-200 .kuat tekan rata-rata beton ($f'c$) = 25 MPa. Desain balok sebagai berikut :



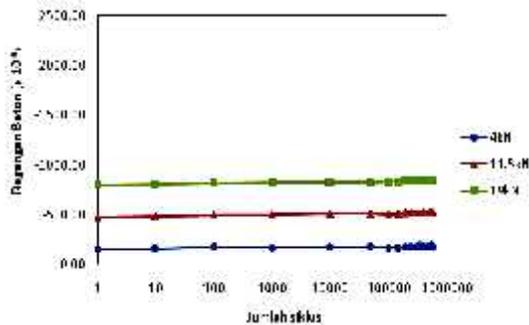
Gambar 3.1 Profil memanjang dan melintang benda uji

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Blok BFN

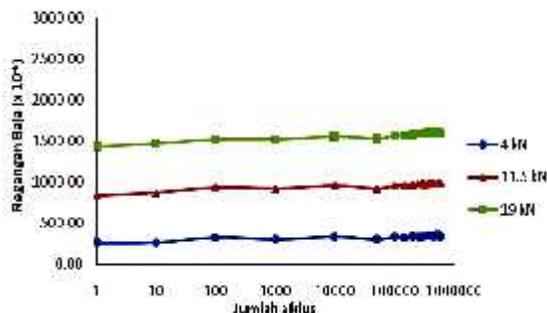
Balok BFN adalah balok normal tanpa perendaman yang berfungsi sebagai balok kontrol untuk balok lain karena memiliki karakteristik yang sama. Pengujian dilakukan dengan pembebanan berulang dengan beban maksimum 19 kN, beban minimum 4 kN dan frekuensi 1.5 Hz. Dari hasil pengujian balok BFN mengalami kegagalan pada siklus 600.000.

a. Hubungan Siklus Pembebanan Fatik Dengan Regangan Beton



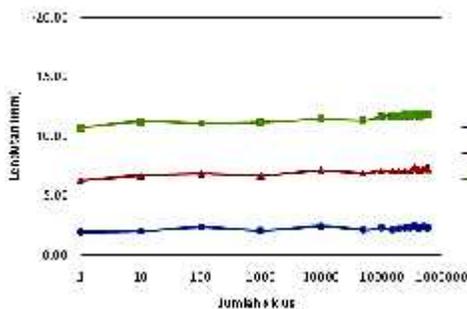
Gambar 4.1. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan beton

b. Hubungan Siklus Pembebanan Fatik Dengan Regangan Baja



Gambar 4.2. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan baja

c. Hubungan Siklus Pembebanan Fatik Dengan Regangan Lendutan



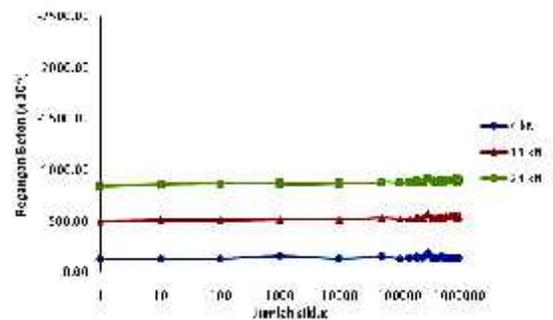
Gambar 4.3. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan lendutan

Dari ketiga gambar di atas dapat diketahui bahwa seiring dengan peningkatan jumlah siklus pembebanan maka regangan beton, regangan baja dan lendutan akan semakin besar meskipun beban yang diberikan tetap.

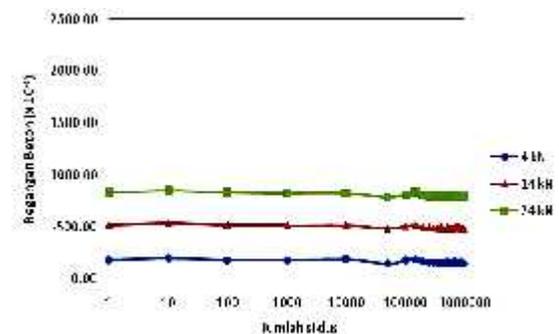
4.2. Pengujian Blok BF0, BF1, dan BF6

Balok BF0, BF1 dan BF6 adalah balok dengan perkuatan GFRP pada bagian bawah dengan waktu rendaman berturut-turut 0 bulan, 1 bulan dan 6 bulan. Pengujian dilakukan dengan pemberian beban berulang dengan beban maksimum 24 kN, beban minimum 4 kN dan frekuensi 1.5 Hz.

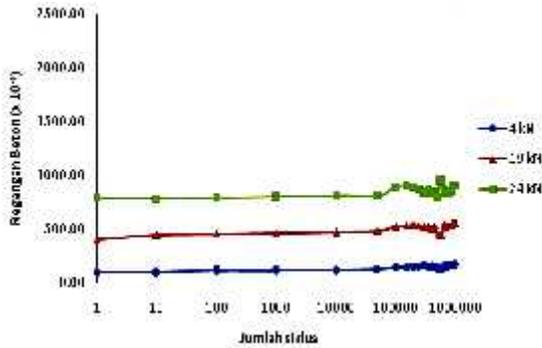
1. Hubungan Siklus Pembebanan Fatik Dengan Regangan Beton



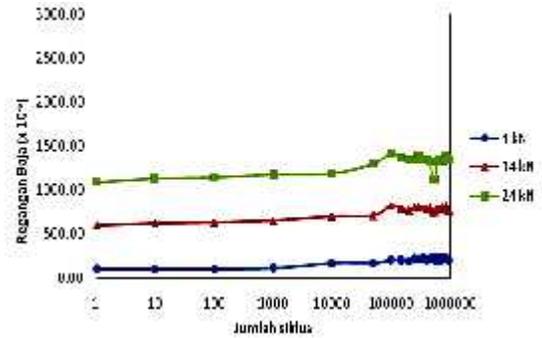
Gambar 4.4. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan beton balok rendaman 0 bulan



Gambar 4.5. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan beton balok rendaman 1 bulan

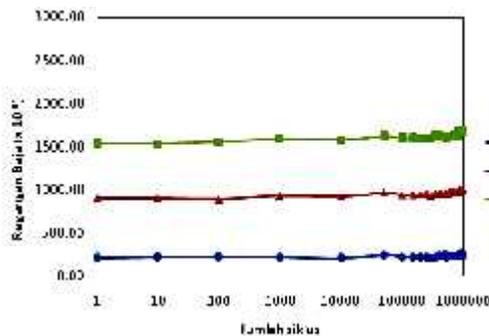


Gambar 4.6. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan beton balok rendaman 6 bulan



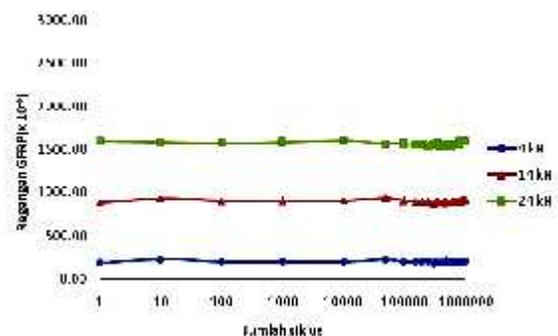
Gambar 4.9. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan baja balok rendaman 6 bulan

2. Hubungan Siklus Pembebanan Fatik Dengan Regangan Baja

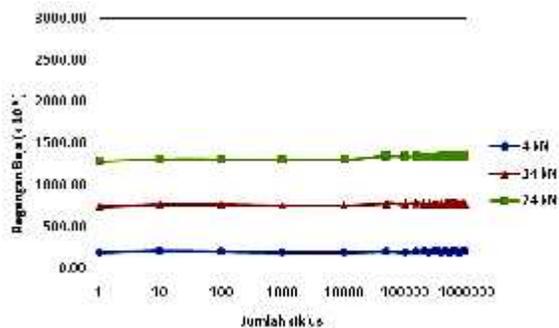


Gambar 4.7. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan baja balok rendaman 0 bulan

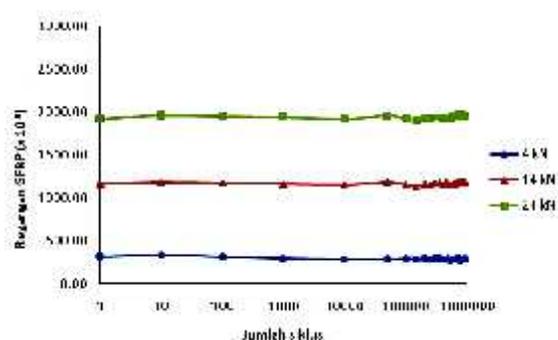
3. Hubungan Siklus Pembebanan Fatik Dengan Regangan GFRP



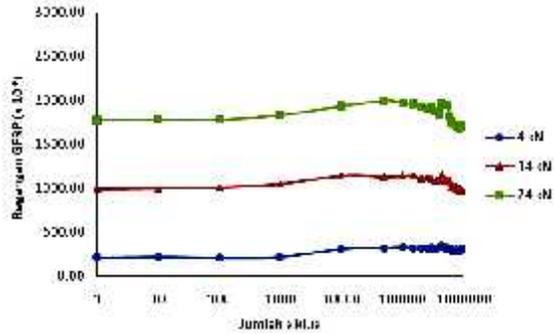
Gambar 4.10. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan GFRP balok rendaman 0 bulan



Gambar 4.8. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan baja balok rendaman 1 bulan

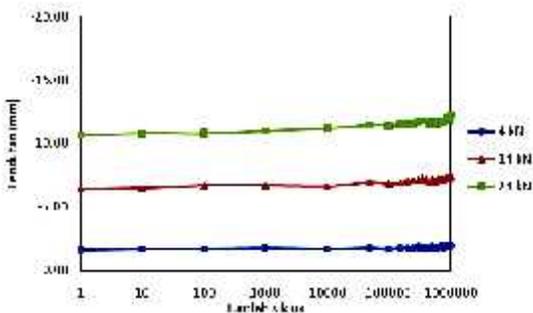


Gambar 4.11. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan GFRP balok rendaman 1 bulan

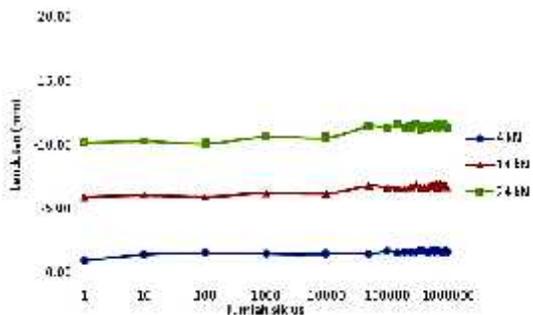


Gambar 4.12. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan regangan GFRP balok rendaman 6 bulan

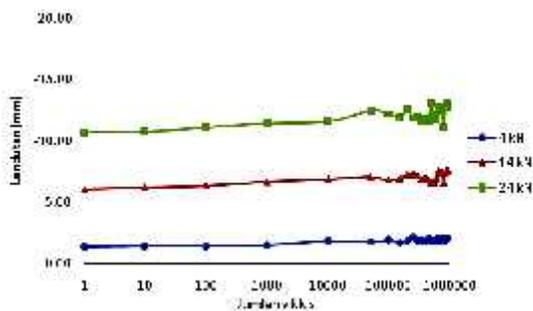
4. Hubungan Siklus Pembebanan Fatik Dengan Lentutan



Gambar 4.13. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan lentutan balok rendaman 0 bulan



Gambar 4.14. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan lentutan balok rendaman 1 bulan



Gambar 4.14. Hubungan siklus pembebanan fatik dengan lentutan balok rendaman 6 bulan

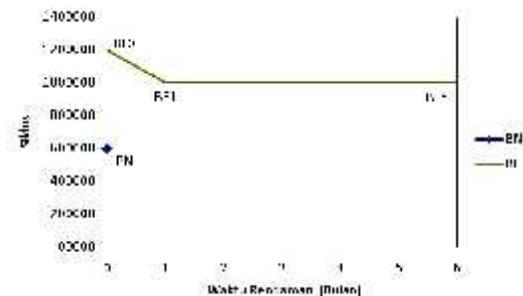
4.3. Kapasitas Lentur Balok

Tabel 4.1 menunjukkan data beban dan momen ultimit yang terjadi pada balok dengan pengujian statik dan fatik. Dari pengujian statik diketahui beban ultimit Pu untuk balok rendaman 1 bulan sebesar 45.02 kN dengan Mu sebesar 28.7952 kNm. Sedangkan untuk balok rendaman 6 bulan beban ultimit Pu sebesar 39.48 kN dengan Mu sebesar 25.4724 kNm. Pada balok rendaman 6 bulan terjadi penurunan kapasitas momen sebesar 3.3228 kNm atau 11.53% dari balok rendaman 1 bulan.

Tabel 4.1 Beban dan momen ultimit balok

NO	WAKTU RENDAMAN	BALOK	PENGULIAN STATIK		PENGULIAN FATIK		JUMLAH SIKLUS
			Pu (kN)	Mu (kNm)	Pu (kN)	Mu (kNm)	
1	0 BULAN	BFN	-	-	19	13.182	600.000
2	0 BULAN	BUC	-	-	24	16.182	1.200.000
3	1 BULAN	BF1	45.02	28.7952	24	16.182	1.000.000
4	6 BULAN	BF6	39.48	25.4724	24	16.182	1.000.000

Dari pengujian fatik diketahui beban maksimum untuk balok normal sebesar 19 kN dengan Mu sebesar 13.182 kNm. Balok normal (BFN) mengalami kegagalan pada siklus 600.000. Untuk balok rendaman 0 bulan, 1 bulan dan 6 bulan, beban maksimum sebesar 24 kN dengan Mu sebesar 16.182 kNm. Balok rendaman 0 bulan mengalami kegagalan pada siklus 1.200.000. Sedangkan untuk balok rendaman 1 bulan dan 6 bulan pembebanan dilakukan hingga siklus 1.000.000 kemudian diuji statik hingga hancur. Adapun pengaruh waktu rendaman terhadap siklus kegagalan dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Pengaruh waktu rendaman terhadap siklus kegagalan

Dari **gambar 4.15** diketahui bahwa semakin lama balok mengalami perendaman maka siklus kegagalannya akan semakin kecil. Hal ini menandakan bahwa durasi rendaman menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas balok dalam menerima pembebanan berulang dan menjadikan balok semakin lemah.

4.4. Pola Keretakan

Pengamatan pola retak dilakukan terhadap benda uji pada saat beban retak pertama sampai beban retak maksimum. Menurut Mccromac(2001),retak lentur adalah retak vertical yang memanjang dari sisi tarik dan mengarah keatas sampai daerah sumbu netral. Pola retak yang terjadi pada semua benda uji pada pengujian ini adalah retak lentur,hal ini dilihat dngan adanya retak-retak yang arah rambatannya vertical dari sisi tarik menuju ke garis netral balok seperti terlihat pada semua gambar pola retak.



Gambar 4.16. Pola retak

Dari gambar 4.16 diketahui bahwa seiring peningkatan jumlah siklus pembebanan maka terjadi perambatan retak dari daerah tarik balok menuju garis netral balok serta munculnya retakan-retakan baru.Pada sisi tarik balok terjadi retakan yang cukup besar yang merambat hingga sisi tekan.Hal ini diakibatkan oleh pembebanan berulang yang menyebabkan terjadinya pelebaran retak dari sisi tarik balok tersebut.Kegagalan balok ditandai dengan terjadinya debonding dan putusannya tulangan tarik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada benda uji balok beton bertulang dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemberian beban fatik pada balok beton bertulang menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas lentur,hal ini dapat dilihat dari meningkatnya nilai regangan beton,regangan baja,regangan GFRP dan lendutan seiring dengan penambahan jumlah siklus pembebanan.
2. Rendaman air laut menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas lentur balok,hal ini dapat dilihat dari menurunnya momen kapasitas yang terjadi pada balok dengan waktu rendaman yang lebih lama. Untuk balok dengan rendaman 1 bulan M_u sebesar 28.7952 kNm ,sedangkan balok dengan rendaman 6 bulan M_u sebesar 25.4724 kNm.Terjadi penurunan momen kapasitas sebesar 3.3228 kNm atau 11.53%. Perkuatan balok dengan GFRP menunjukkan peningkatan kapasitas balok,terbukti dengan kemampuan balok menerima pembebanan berulang hingga siklus yang lebih besar.Balok dengan perkuatan GFRP memiliki kemampuan menerima pembebanan fatik hingga siklus 1.200.0000,sedangkan balok tanpa perkuatan GFRP hanya dapat bertahan hingga siklus 600.000.

5.2.Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan frekuensi dan jumlah siklus yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan pada umumnya sehingga dapat dilakukan analisa pada

perencanaan struktur dengan kondisi pembebanan fatik.

2. Penelitian harusnya dilakukan dengan jumlah tim yang lebih banyak mengingat pelaksanaan pengujian fatik memerlukan tenaga dan waktu yang cukup besar.

Beton Bertulang, Skripsi, Program Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.

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
- Alami Fikri, 2010. *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Seminar dan Pameran HAKI, Jakarta
- Suardana,I Ketut dan Widiarsa,Ida B G,2008.*Perilaku Runtuh Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat Lapis Glass Fibre Rainforced Polymer*.Jurnal Ilmiah Teknik Sipil.
- Duhri, Aswin Perdana, 2013. *Studi Pengaruh Sabuk Gfrp Diagonal Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang*. Skripsi Strata satu Universitas Hasanuddin, Makassar.
- MR, Fatriady,2013.*Studi Pengaruh Beban Fatik Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Glass Fibre Rainforced Polymer Sheet*.Tesis, Program Magister Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Fabeno,Eko Dwinorman,2013.*Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Glass Fibre Rainforced Polymer (GFRP) Pasca Leleh*, Skripsi, Program Sarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Setiawan,Wawan,2013.*Pengaruh Beban Fatik Terhadap Kapasitas Balok*