

**STUDI KAPASITAS LENDUTAN,
DAKTALITAS, DAN KEKAKUAN PADA
BALOK BETON BERTULANG YANG
DIPERKUAT GFRP-S DENGAN
PERENDAMAN AIR LAUT SELAMA SATU
TAHUN**

Asri Mulya Setiawan¹, Erniati Bachtiar²
Universitas Fajar, Makassar^{1,2}

Email: klanmulyasetiawan@gmail.com¹

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas lendutan, daktalitas dan kekakuan dari struktur balok beton bertulang yang diperkuat GFRP dengan perendaman air laut selama 1 tahun. Metode pengujian yang digunakan yaitu metode pembebanan monotonik yang menggunakan dua tumpuan sederhana diatas benda uji dan ditekan pada kecepatan ramp actuator konstan sebesar 0,05 mm/dtk hingga balok beton mengalami kegagalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa BF₀ lebih daktail bila dibandingkan dengan BF₆ dan BF₁₂. Hal ini dapat dilihat besar lendutan yang ada, dimana BF₀ memiliki lendutan yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan balok lainnya. Pada benda uji BF₀ beban yang mampu ditahan lebih besar dibandingkan benda uji BN namun lendutan yang dihasilkan juga semakin besar.

Kata Kunci: Air Laut, Balok Beton, Daktail, Kekakuan, Lendutan, Perkuatan GFRP-S

**INDONESIAN
JOURNAL OF
FUNDAMENTAL
SCIENCES
(IJFS)**

E-ISSN: 2621-6728

P-ISSN: 2621-671X

Submitted: April, 24th, 2019

Accepted : June, 13th, 2019

Abstract. *This study aims to analyze the deflection capacity, ductility and stiffness of reinforced concrete beam structures reinforced by GFRP with sea water immersion for 1 year. The test method used is a monotonic loading method that uses two simple supports over the test object and is pressed at a constant ramp actuator speed of 0.05 mm / sec until the concrete beam fails. The test results show that BF₀ is more ductile compared to BF₆ and BF₁₂. This can be seen the existing deflection, where BF₀ has a deflection that tends to be larger than the other beams. In BF₀ specimens, the load that is able to hold is greater than BN specimens, but the resulting deflection is also greater*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi membawa pengaruh besar dalam dunia konstruksi, terutama dalam penelitian-penelitian tentang beton. Dalam dunia konstruksi beton memiliki peran yang sangat penting sebagai material utama yang banyak digunakan, hal ini tidak lepas dari kelebihan-kelebihan yang diberikan oleh beton itu sendiri, di antaranya tahan terhadap tekanan, kemudahan dalam pengerjaan, serta ekonomis dalam pembuatan dan perawatannya. Beton bertulang adalah struktur utama dalam dunia konstruksi. Beton bertulang terdiri dari campuran beton yang berfungsi untuk menahan gaya tekan yang diakibatkan oleh beban-beban yang diberikan dan baja tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya tarik yang terjadi.

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. Beton yang lemah terhadap tarik menjadi penyebab utama terjadinya retak pada struktur beton bertulang dalam kondisi beban kerja. Retak yang terjadi pada struktur beton bertulang tentu akan mempengaruhi perilaku struktur tersebut.

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. Dengan berbagai kemajuan ilmu pengetahuan teknik maka lahirlah *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) sebagai material solusi perkuatan dan perbaikan struktur yang telah banyak digunakan saat ini.

GFRP adalah bahan nonlogam sehingga tidak bersifat korosif yang selama ini digunakan untuk dua hal, yaitu untuk beton lama sebagai bahan perkuatan pada bagian konstruksi yang sudah mulai mengalami penurunan kinerja serta untuk beton baru dengan perkuatan proteksi dan reduksi penampang. GFRP ini telah digunakan secara meluas, tidak hanya terbatas pada konstruksi gedung namun juga dapat digunakan pada konstruksi lainnya. Konstruksi dalam bidang teknik sipil ada yang terekspos di darat seperti konstruksi gedung pada umumnya dan ada pula yang terekspos di lingkungan laut seperti konstruksi *jetty* pada dermaga dan konstruksi jembatan.

Pada umumnya, konstruksi yang terekspos di lingkungan laut akan mengalami penurunan kekuatan akibat adanya korosi yang terjadi pada tulangan. Oleh karena itu maka diperlukan penggunaan GFRP sebagai material perkuatan untuk diaplikasikan pada konstruksi tersebut karena selain berfungsi untuk meningkatkan kekuatan elemen struktur, GFRP ini juga memiliki ketahanan korosi yang baik sehingga sangat tepat untuk diaplikasikan pada elemen struktur yang terekspos lingkungan laut.

Lazimnya, GFRP diletakan pada bagian struktur yang mulai menunjukkan penurunan kinerjanya, yaitu dengan cara menempelkan ataupun melilitkan GFRP pada bagian yang lemah, sehingga GFRP tersebut mampu menyokong struktur untuk tetap bertahan pada posisi yang diharapkan. Penelitian ini membahas tentang kapasitas lendutan, daktilitas dan kekakuan dari struktur balok beton bertulang yang diperkuat GFRP dengan perendaman air laut selama 1 tahun.

TINJAUAN PUSTAKA

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). 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 (Bukorsyom, 2011).

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 (Umar, 2014).

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 (Kwandou, 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% (Setiawan, 2015). 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 (Sultan, 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% (Setiawan, 2018).

METODE PENELITIAN

A. Alat

1. Alat ukur regangan baja tulangan (Strain Gauge tipe FLA-2-11)
2. Alat ukur regangan GFRP (Strain Gauge tipe FLA-2-11)
3. Alat ukur regangan beton (Strain Gauge tipe PL-60-11)
4. Alat ukur lendutan (LVDT)
5. Alat uji pembebanan (Actuator, Load Cell, Data Logger, Phi Gauge)

B. Bahan

1. Semen potland komposit
2. Agregat halus dan kasar (pasir dan batu pecah) berasal dari Bili-bili
3. Kawat dan besi tulangan produksi PT. Barawaja
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. Air yang digunakan untuk campuran adalah air bersih.

C. Metode Pengujian



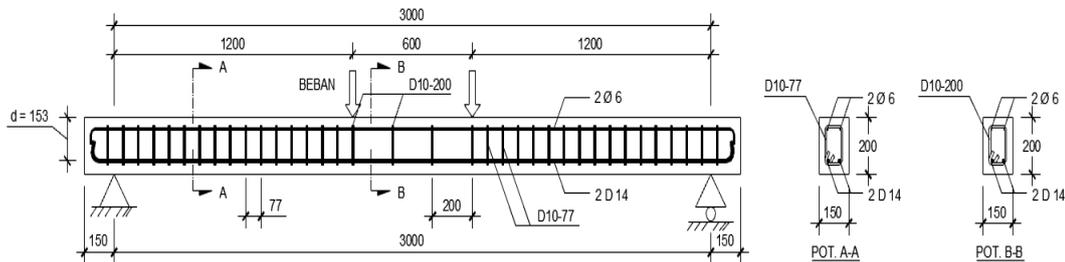
Gambar 1. Set Up Pengujian

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 retak yang terjadi akibat bertambahnya beban, keadaan plastis, terhadap perilaku keruntuhan yang terjadi, serta pertambahan lendutan akibat bertambahnya beban. Pembebanan dilakukan hingga daerah tekan pada balok hancur dan telah mencapai beban maksimum.

Pengujian lentur dilaksanakan pada saat sampel balok yang telah terpasang GFRP-S berumur 1, 3, 6, dan 12 bulan yang telah berinteraksi dengan lingkungan laut. Pada saat pengujian lentur diadakan pengukuran lendutan dengan memasang LVDT pada bagian bawah balok serta pemeriksaan pola retakan yang terjadi dengan

menggunakan phi gauge. Untuk regangan pada tulangan diagonal dan longitudinal juga pada permukaan beton, dipasang beberapa *strain gauge* pada posisi-posisi tertentu.

D. Desain Benda Uji



Gambar 2. Desain Benda Uji BN dan BF

Pengujian dilakukan dengan total 10 buah balok dengan dimensi 15 cm x 20 cm x 330 cm yang direndam air laut pada kolam simulasi selama 1 tahun dengan mutu beton $f'c$ 25 MPa. Perkuatan GFRP-S dilapisi pada daerah lentur balok beton dengan dimensi 15 cm x 280 cm. Adapun data yang diamati selama pengujian meliputi beban retak, beban plastis, dan beban ultimit, serta besaran lendutan. Untuk pemasangan GFRP-S 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. Proses pemasangan GFRP-S terdiri atas lima tahap yaitu tahap pertama adalah penghalusan permukaan beton. Tahap kedua adalah pemotongan GFRP-S sesuai dengan ukuran dimana dalam hal ini digunakan GFRP-S sepanjang 3 meter sebanyak 2 lapis. 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 GFRP-S pada benda uji menggunakan metode *wet-layup*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan beban dan lendutan ini diperoleh dari hasil pengujian menggunakan LVDT. Idelisasi hubungan dan lendutan yang dicari :

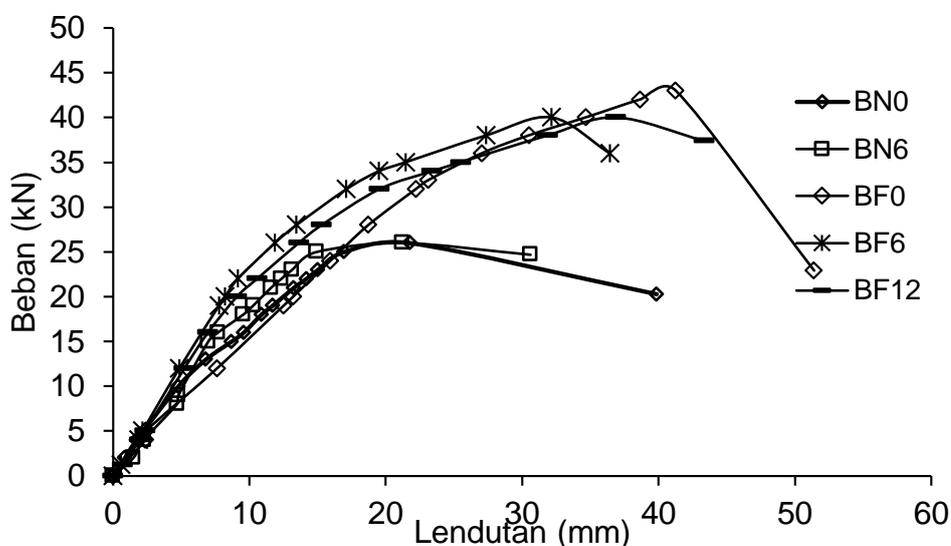
- Tahap pertama sebelum terjadi retak (*precracking*).
- Tahap kedua setelah terjadi retak (*post cracking*).
- Tahap ketiga, dimana tulangan tarik sudah leleh tetapi balok masih mampu menahan beban, atau dengan kata lain balok sudah mengalami keruntuhan (*post serviceability cracking*).

Untuk mengevaluasi beban ultimit benda uji maka dibuat kurva beban-lendutan yang datanya diambil pada saat pengujian.

Tabel 1. Hubungan beban lendutan pada semua benda uji

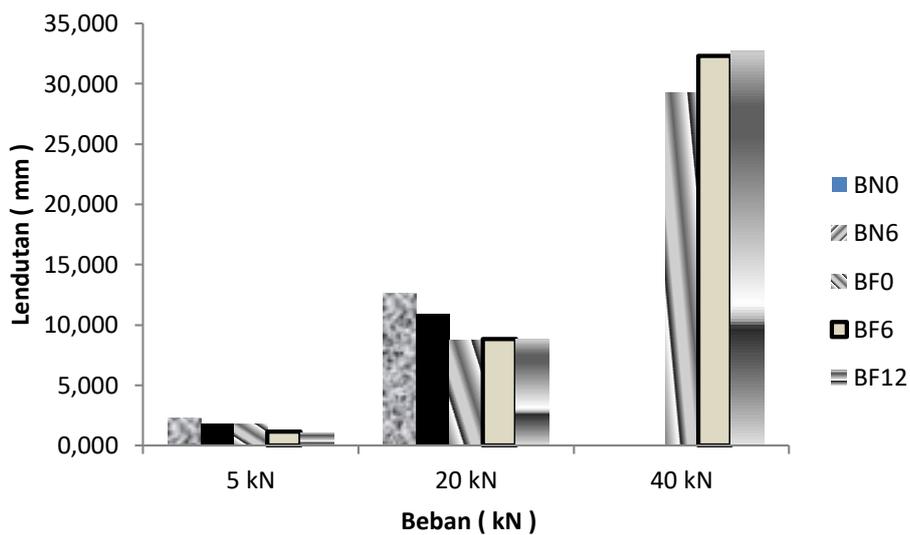
Balok uji	Hasil pengujian						$\Delta u/\Delta y$	P/ Δ
	P _{crack} (kN)	Lendutan (mm)	P _{leleh} (kN)	Lendutan (mm)	P _{ultimit} (kN)	Lendutan (mm)		
BN ₀₋₁	5,07	2,66	22,97	15,11	27,04	34,59		
BN ₀₋₂	5,07	2,66	22,83	15,87	26,44	43,25		
BN₀	5,07	2,66	22,90	15,49	26,74	38,92	2,513	0.687
BN₆	5,13	1,95	22,16	22,62	26,37	28,19	1,246	0.935
BF ₀₋₁	10,08	3,95	32,31	18,04	43,26	39,34		
BF ₀₋₂	8,08	3,44	31,24	18,79	42,33	37,24		
BF ₀₋₃	8,00	4,74	33,65	23,72	43,73	44,56		
BF₀	8,72	4,04	32,40	20,18	43,10	40,38	2,001	1.067
BF ₆₋₁	8,14	2,27	39,12	30,94	41,93	34,94		
BF ₆₋₂	10,15	2,76	36,45	23,85	40,92	34,39		
BF₆	9,15	2,52	37,79	27,39	41,42	34,66	1,265	1.195
BF ₁₂₋₁	11,28	2,08	26,17	14,75	40,26	39,76		
BF ₁₂₋₂	11,22	2,02	36,58	17,31	42,06	21,11		
BF₁₂	11,25	2,05	31,38	16,03	41,16	30,44	1,899	1.352

Tabel 1 memperlihatkan perbedaan kekuatan antara benda uji BF. Dimana benda uji BF₆ dan BF₁₂, dengan BF₀ tidak terlalu besar, namun sifat BF₀ lebih daktail bila dibandingkan dengan BF₆ dan BF₁₂. Hal ini dapat dilihat besar lendutan yang ada, dimana BF₀ memiliki lendutan yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan balok lainnya. Hubungan beban dan lendutan antara BN dengan BF, 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.

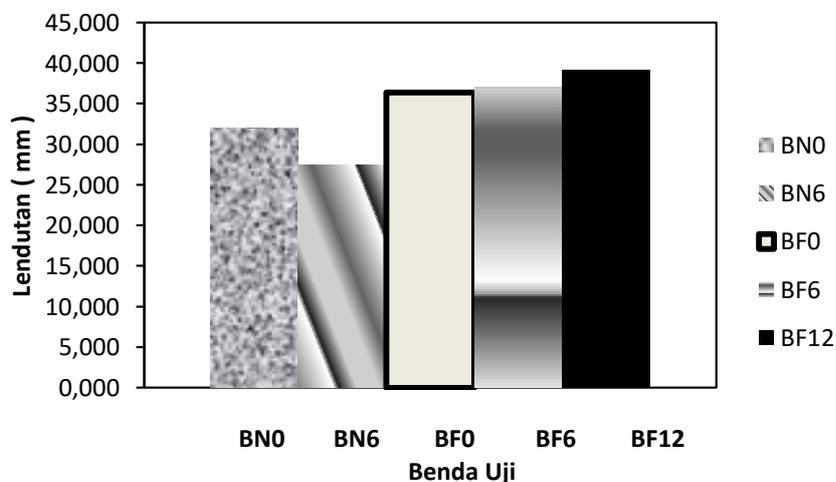


Gambar 3. Hubungan beban – lendutan seluruh benda uji

Grafik hubungan beban dan lendutan untuk seluruh sampel pada Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan lapisan GFRP-S mampu meningkatkan kapasitas beban ultimit benda uji. Pada benda uji BF₀, beban yang mampu ditahan lebih besar dibandingkan benda uji BN namun lendutan yang dihasilkan juga semakin besar. Untuk balok normal yang direndam selama 6 bulan (BN₆), beban dan lendutan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan balok normal yang tidak direndam. Sementara itu pada benda uji BF₆ dan BF₁₂ beban yang mampu ditahan lebih kecil dan lendutan yang dihasilkan juga lebih kecil dibandingkan benda uji BF₀. Gambar 4 menunjukkan benda uji pada beban yang sama, pada beban 20 kN terlihat bahwa lendutan pada benda uji BN cenderung lebih besar terhadap BF, pada beban 40 kN lendutan BF₁₂ cenderung lebih besar dari BF₆, dan BF₀.

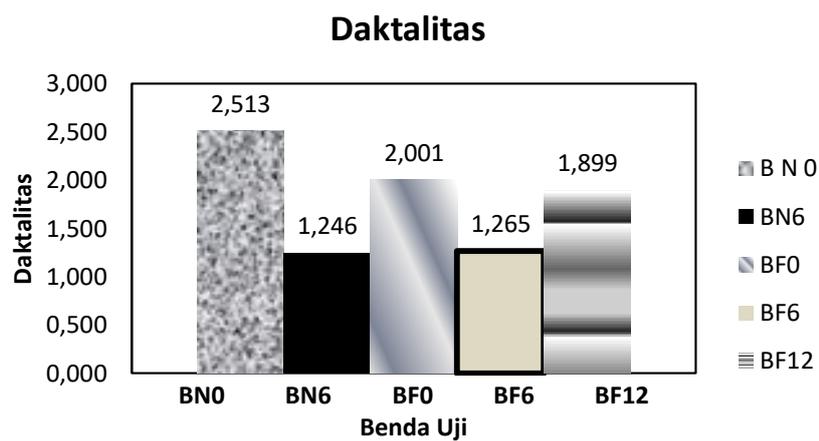


Gambar 4. Histogram lendutan terhadap variasi beban setiap umur pengaruh rendaman air laut



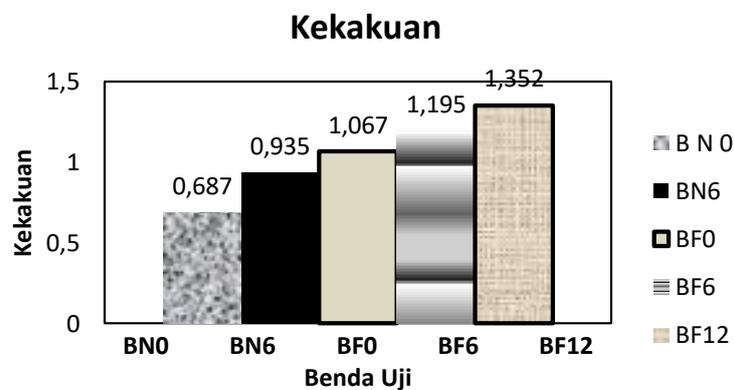
Gambar 5. Histogram lendutan maksimum

Gambar 5 menunjukkan histogram lendutan maksimum benda uji. Beban maksimum benda uji yang dipengaruhi rendaman air laut kecenderungan lendutan rata-rata semakin besar. Perbandingan antara beban maksimum dan lendutan yang dihasilkan benda uji yang diperkuat GFRP-S cenderung sama. Dari Gambar 4 dan Gambar 5 diperoleh bahwa lendutan yang dihasilkan balok yang direndam air laut lebih kecil dari lendutan balok yang tidak direndam. Hal ini menunjukkan bahwa sifat kekakuan dari balok yang tidak direndam lebih besar dibandingkan dengan balok yang direndam. Sesuai dengan teorinya bahwa semakin daktail beton maka semakin tidak kaku beton tersebut. Begitupula sebaliknya, semakin kaku beton maka semakin tidak daktail beton itu.



Gambar 6. Tingkat daktalitas seluruh benda uji

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa benda uji BFO lebih daktail dibandingkan benda uji BF6 dan BF12. Ini menunjukkan bahwa tingkat daktalitas benda uji yang direndam air laut lebih kecil jika dibandingkan dengan benda uji tanpa perendaman. Begitu pula dengan benda uji BNO memiliki nilai daktalitas yang lebih tinggi dibandingkan BN6.



Gambar 7. Tingkat kekakuan seluruh benda uji

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa BF₁₂ dan BF₆ lebih getas (kaku) dibandingkan BF₀. Begitupula dengan BN₆ yang memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan BN₀. 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.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari pengaruh air laut terhadap kapasitas beban balok beton dengan perkuatan GFRP-S yang direndam selama satu tahun dapat ditarik kesimpulan, bahwa:

1. BF₀ lebih daktail bila dibandingkan dengan BF₆ dan BF₁₂. Hal ini dapat dilihat besar lendutan yang ada, dimana BF₀ memiliki lendutan yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan balok lainnya. Hubungan beban dan lendutan antara BN dengan BF, 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.
2. Pada benda uji BF₀ beban yang mampu ditahan lebih besar dibandingkan benda uji BN namun lendutan yang dihasilkan juga semakin besar. Untuk balok normal yang direndam selama 6 bulan (BN₆), beban dan lendutan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan balok normal yang tidak direndam. Sementara itu pada benda uji BF₆ dan BF₁₂ beban yang mampu ditahan lebih kecil dan lendutan yang dihasilkan juga lebih kecil dibandingkan benda uji BF₀. Ini menunjukkan bahwa penambahan lapisan GFRP-S mampu meningkatkan kapasitas beban ultimit benda uji.
3. Lendutan yang dihasilkan balok yang direndam air laut lebih kecil dari lendutan balok yang tidak direndam. Hal ini menunjukkan bahwa sifat kekakuan dari balok yang tidak direndam lebih besar dibandingkan dengan balok yang direndam, Sesuai dengan teorinya bahwa semakin daktail beton maka semakin tidak kaku beton tersebut. Begitupula sebaliknya, semakin kaku beton maka semakin tidak daktail beton itu.
4. Benda uji BF₀ lebih daktail dibandingkan benda uji BF₆ dan BF₁₂. Ini menunjukkan bahwa tingkat daktalitas benda uji yang direndam air laut lebih kecil jika dibandingkan dengan benda uji tanpa perendaman. Begitu pula dengan benda uji BN₀ memiliki nilai daktalitas yang lebih tinggi dibandingkan BN₆.
5. BF₁₂ dan BF₆ lebih getas (kaku) dibandingkan BF₀. Begitupula dengan BN₆ yang memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan BN₀. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam Fikri. (2010). Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP-S). *Seminar dan Pameran HAKI 2010*: 1-12.
- 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.
- 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.
- Sultan M. A. (2015). Pengaruh Air Laut Terhadap Karakteristik Balok Beton Bertulang Diperkuat Dengan GFRP-S.
- 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*.