

Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan GFRP Setelah Direndam Dalam Air Laut

Analysis of the Flexural Capacity of Reinforced Concrete Beams with GFRP Reinforcement after being immersed in Sea Water

Erwin Syaiful Wagola *¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iqra Buru

*Email korespondensi: syaifulpasca14@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the flexural strength of concrete blocks with GFRP strengthening after 2 years of immersion in sea water. The dimensions of the blocks are 3.30 m long, 15 cm wide and 20 cm high. The beam is given GFRP reinforcement in the flexural area. The concrete beam iron system analyzed used plain iron staple reinforcement ϕ 6 and stirrup reinforcement made from D10 threaded iron. The test method used in testing the test object is the monotonic loading method which uses a two point load system at a constant ramp actuator speed of 0.05 mm / s. Two blocks of GFRP-S were strengthened, which were immersed in a simulated pool that was filled with sea water, with a soaking life of 2 years. The test results show that the ultimate load that can be received by the beam with the strengthening of the GFRP-S sheet after 2 years of sea water immersion is 43.11 kN and 44.65 kN for the BF24-1 and BF24-2 specimens, respectively. amounted to 39.91 mm and 38.26 mm with the width of the cracks that occurred at the ultimate load for each specimen of 0.38 mm and 0.72 mm.

Keywords: Flexural Strength, Reinforced Concrete, Sea Water, GFRP-S

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuat lentur balok beton dengan perkuatan GFRP setelah direndam dalam air laut selama 2 tahun. Dimensi balok memiliki panjang 3.30 m, lebar 15 cm dan tinggi 20 cm. Balok diberi perkuatan GFRP pada daerah lentur. Sistem pembesian balok beton yang dianalisis menggunakan tulangan pokok besi polos ϕ 6 dan tulangan sengkang dari besi ulir D10. Metode pengujian yang digunakan dalam pengujian benda uji ialah metode pembebanan monotonik yang menggunakan sistem *two point load* pada kecepatan ramp actuator konstan sebesar 0.05 mm/dt. Balok yang diperkuat dengan GFRP-S sebanyak dua buah, yang direndam pada kolam simulasi yang sudah berisi air laut, dengan umur rendaman selama 2 tahun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beban ultimit yang dapat diterima oleh balok dengan perkuatan lembar GFRP-S pasca rendaman air laut selama 2 tahun ialah masing-masing sebesar 43.11 kN dan 44.65 kN untuk benda uji BF24-1 dan BF24-2, dengan lendutan masing – masing sebesar 39.91 mm dan 38.26 mm dengan lebar retakan yang terjadi pada saat beban ultimit untuk setiap benda uji sebesar 0.38 mm dan 0.72 mm.

Kata kunci: Kuat Lentur, Beton Bertulang, Air Laut, GFRP-S

I. Pendahuluan

Setiap struktur beton bertulang memiliki umur rencana dan akan mengalami penurunan kekuatan bahkan mengalami kerusakan. Selain itu pengaruh lingkungan,

perubahan fungsi struktur yang tidak sesuai rencana mengakibatkan kerusakan struktur yang lebih cepat [1]. Jika hal itu terjadi, ada dua hal yang dapat dilakukan, yaitu membongkar struktur lama yang telah rusak lalu mengganti dengan struktur baru, atau memberikan perkuatan pada struktur tersebut dengan teknologi yang telah berkembang pada bidang konstruksi salah satu diantaranya *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) [4].

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) merupakan material bahan konstruksi yang terus dikembangkan dan digunakan sebagai material perkuatan dan perbaikan struktur [5] [6][7]. Walaupun material ini cukup mahal namun banyak keuntungan yang dapat diberikan yang merupakan material tahan korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktalitas, lebih ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk dibawa ke lokasi, selain itu dalam pelaksanaan tidak mengganggu aktifitas yang ada pada daerah perbaikan struktur [7].

Namun, kelebihan ini baru dapat bermanfaat bila perilaku komposit antara lapis GFRP dengan media struktur dapat berkombinasi dengan baik [8]. Struktur beton yang pada umumnya berada di lingkungan laut sangat rawan mengalami kerusakan ataupun degradasi kekuatan akibat adanya korosi yang terjadi pada tulangan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan laut. [9] [10].

Sehubungan dengan hal tersebut di atas dan keunggulan yang dimiliki GFRP sebagai bahan non logam yang tahan korosi maka dalam penelitian ini digunakan GFRP sebagai penguat eksternal dan proteksi dalam mengatasi terjadinya degradasi kekuatan struktur serta meningkatkan kekuatan struktur yang telah mengalami degradasi kekuatan akibat korosi pada tulangan.

Rudi Jamaluddin, dan Mufti Amir, melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Kapasitas Rekatan GFRP-Sheet pada Balok Beton Bertulang, hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kapasitas rekatan sekitar 11,04% setelah perendaman selama 12 bulan [2]. Hal ini menunjukkan bahwa balok beton yang dipasang GFRP dan direndam dalam air laut semakin lama akan menurunkan kapasitas rekatan GFRP dengan Beton. Ini menjadi rujukan pada penelitian ini untuk berinovasi dengan memasangkan GFRP pada balok beton pasca direndam di air laut, hal ini untuk mencegah rendahnya rekatan antara GFRP dengan permukaan beton khususnya pada daerah tarik. Adapun durasi rendaman untuk beton yang dipasang lembar GFRP pasca rendam yaitu 2 tahun.

Berdasarkan uraian di atas maka, yang menjadi masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kemampuan lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan lembar GFRP setelah direndam air laut selama 2 tahun. Dan tujuan dari penelitian ini ialah untuk menganalisis kekuatan lentur balok yang diperkuat dengan GFRP setelah direndam air laut selama 2 tahun.

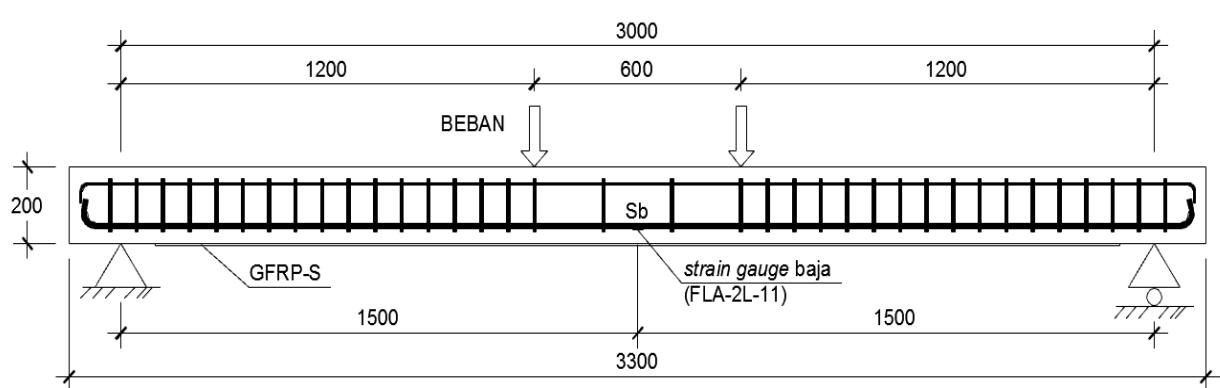
II. Metode Penelitian

2.1. Pengaturan Pengujian Benda Uji

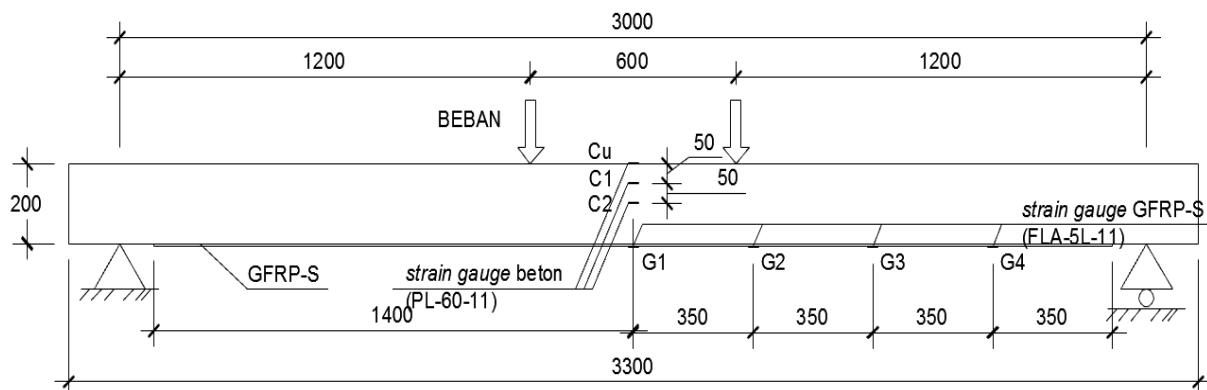
Pengujian balok dilakukan dengan metode *two point load*, dengan pembebanan yang bersifat monotonik. Kecepatan pembebanan pada *ramp actuator konstan* di mesin uji static sebesar 0,05 mm/dt, hingga balok mencapai beban puncak. Pembacaan data pada data logger diambil pada setiap kenaikan beban 1 kN pada kondisi normal, sedangkan untuk kondisi-kondisi tertentu, seperti pada saat retak awal, leleh dan beban puncak data diambil lebih rapat. Sementara itu pengamatan terhadap benda uji terus dipantau secara visual, terutama terhadap perkembangan retak yang terjadi akibat bertambahnya beban, juga terhadap perilaku keruntuhan yang terjadi. Pembebanan dilakukan hingga daerah tekan pada balok hancur dan telah mencapai beban ultimate.

Regangan yang terjadi pada tulangan diukur dengan menggunakan strain gauge tipe FLK-1-11 yang ditempatkan pada tulangan longitudinal pada tengah bentang sebanyak 2 buah **Gambar 1**. Untuk mengukur regangan beton digunakan strain gauge tipe PL-60-11 yang dilekatkan pada permukaan atas balok atau daerah tekan balok, daerah $\frac{1}{2}$ tinggi balok, serta pada daerah $\frac{1}{4}$ tinggi balok masing-masing sebanyak satu buah. Sementara itu untuk mengukur regangan GFRP-S digunakan strain gauge tipe FLA-2-11 yang ditempatkan pada GFRP-S posisi tengah bentang balok **Gambar 2**.

Dipilihnya strain gauge tipe FLK-1-11 untuk tulangan baja dikarenakan strain gauge tipe ini diproduksi khusus untuk mengukur regangan pada tulangan baja, kemudian pemilihan strain gauge tipe PL-60-11 yang dilekatkan pada permukaan beton dikarenakan strain gauge tipe ini diproduksi khusus untuk mengukur regangan pada beton, dan digunakan strain gauge tipe FLA-2-11 yang dipasang pada permukaan GFRP dikarenakan strain gauge tipe ini diproduksi khusus untuk mengukur regangan pada GFRP.



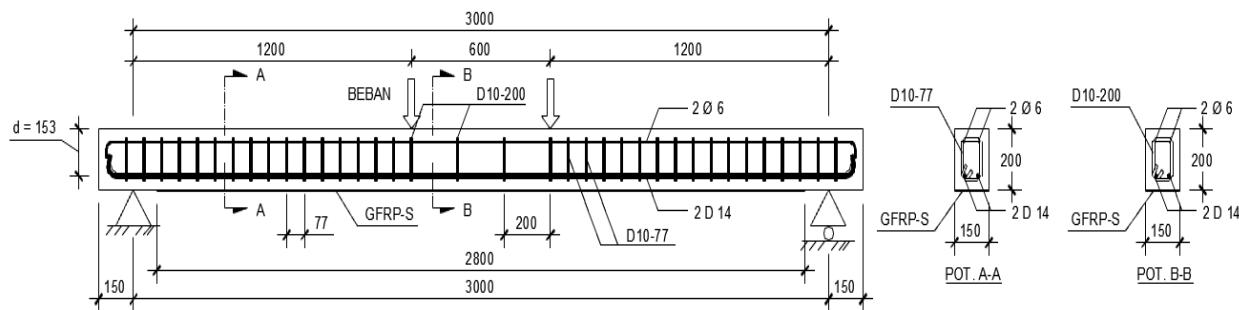
Gambar 1. Pengaturan strain gauge tipe FLK-1-11



Gambar 2. Pengaturan strain gauge tipe FLA-2-11.

2.2. Sistem Penulangan Benda Uji

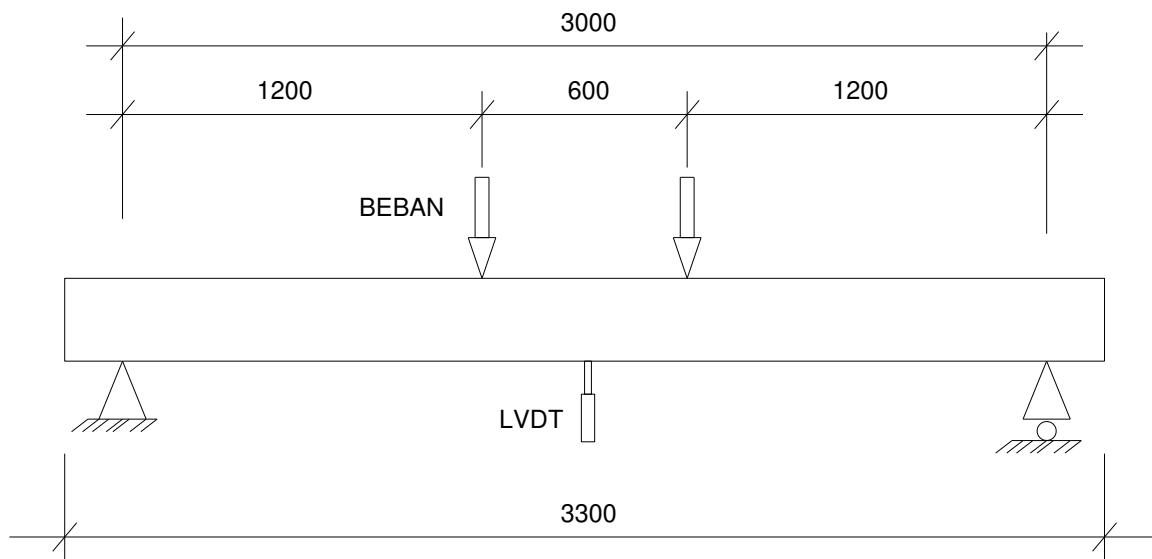
Adapun sistem penulangan pada benda uji balok dengan perkuatan GFRP-S dengan dimensi balok 15 cm x 20 cm x 300 cm pada penelitian ini diperlihatkan oleh **Gambar 3**.



Gambar 3. Sistem Penulangan Balok dengan Perkuatan GFRP-S

2.3. Metode Pengujian Benda Uji

Tipe Pembebanan benda uji balok beton bertulang dengan perkuatan GFRP-S, menggunakan model atau type pembebanan yang mengacu pada *American Concrete Institute* dan literatur-literatur yang berkaitan, dimana pembebanan bersifat monotonik dengan sistem pembebanan *tow points load*. Adapun metode pengujian benda uji pada penelitian ini diperlihatkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Pengaturan pengujian benda uji Balok Beton Dengan Perkuatan GFRP-S.

2.4. Alat uji penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, alat ukur regangan baja berupa strain gauge tipe FLK 1-11-5L (gauge factor $2,12 \pm 1\%$), yang ditempatkan pada tengah bentang, Alat ukur regangan GFRP berupa strain gauge tipe FLA-2-11 (gauge factor $2,10 \pm 1\%$), yang dilekatkan pada permukaan GFRP di tengah bentang. Alat ukur regangan beton berupa strain gauge tipe PL-60-11 (gauge factor $2,07 \pm 1\%$), yang dilekatkan pada permukaan atas balok, daerah $\frac{1}{2}$ tinggi balok, serta pada daerah $\frac{1}{4}$ tinggi balok. Alat ukur lendutan berupa LVDT (*Linier Variable Displacement Tranducer*) dengan kapasitas 50 mm, dengan ketelitian 0,01mm. Serta satu set alat uji pembebanan balok beton yang dipasangkan pada loading frame yang terdiri dari Actuator, untuk memberi beban dengan kapasitas 1500 kN, *Load cell* kapasitas 200 kN untuk mengetahui besar beban yang diberikan Actuator, Phi Gauge kapasitas 3 mm berfungsi untuk mengukur lebar retakan, Data logger, untuk

merekam secara otomatis data yang diukur oleh strain gauge, LVDT, dan load cell. **Gambar 5** memperlihatkan peralatan yang digunakan pada penelitian ini.

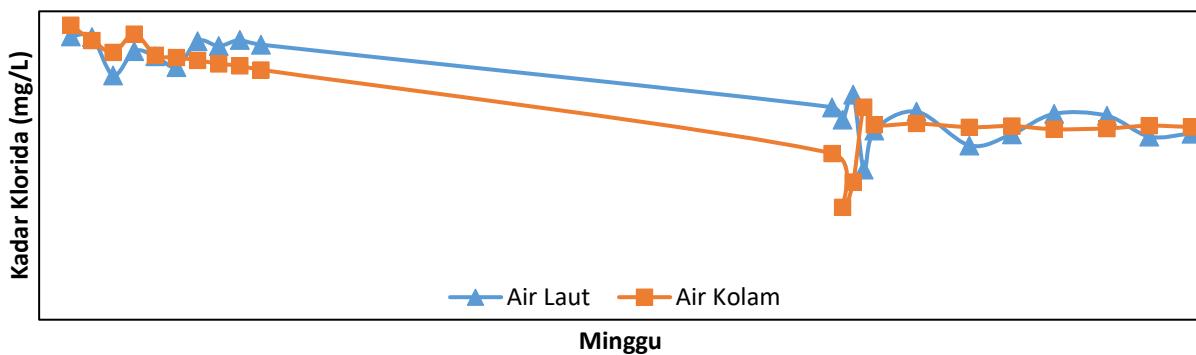


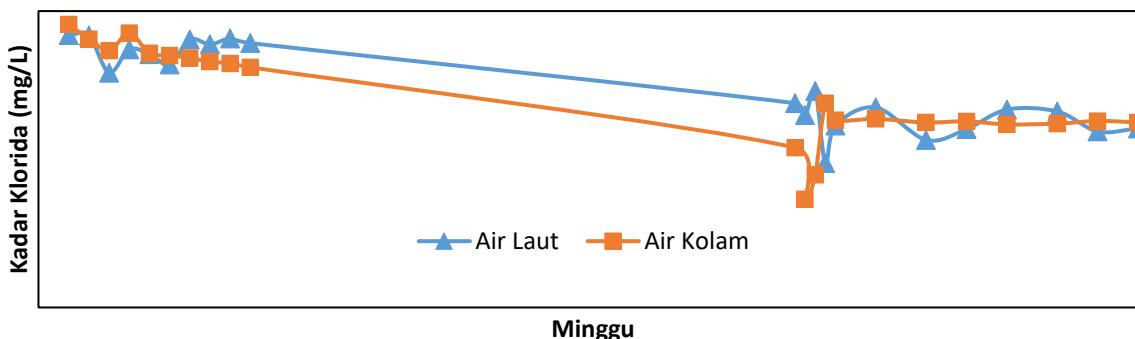
Gambar 5. Alat yang digunakan pada pengujian

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kadar klorida kolam perendaman

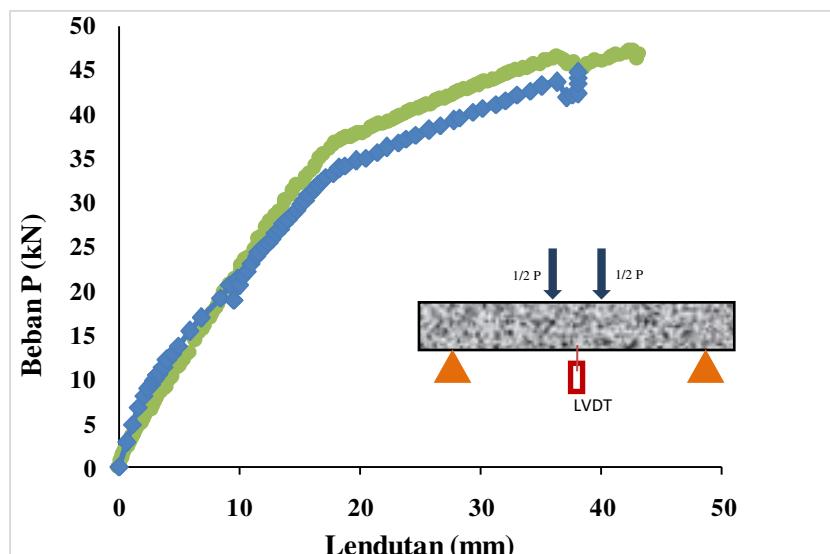
Benda uji balok yang akan diuji pada penelitian ini merupakan benda uji yang direndam di dalam kolam simulasi yang berisi air laut dengan durasi perendaman selama 2 tahun. Dimana perbandingan nilai kadar klorida dan pH air laut pada kolam perendaman dengan air laut pada kondisi sebenarnya diperlihatkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.





Tabel 1. Kapasitas beban dan momen berdasarkan hasil analisa secara teoritis dan hasil pengujian benda uji di laboratorium pasca direndam air laut selama 2 tahun

Uraian	Satuan	Tipe		Rata -rata
		BF24-1	BF24-2	
Analisa	P_{crack}	kN	5.31	5.31
	M_{crack}	kNm	3.99	3.99
	P_{yield}	kN	30.3	30.3
	M_{yield}	kNm	18.98	18.98
	$P_{ultimate}$	kN	42.61	42.61
	$M_{ultimate}$	kNm	26.37	26.37
Hasil Pengujian	P_{crack}	kN	21.32	21.19
	M_{crack}	kNm	13.6	13.52
	P_{yield}	kN	42.58	43.58
	M_{yield}	kNm	26.35	26.65
	$P_{ultimate}$	kN	43.11	44.65
	$M_{ultimate}$	kNm	25.95	27.59
Rasio	M_{eksp} / M_{anls}	%	0.98	1.05
				1.02



Gambar 9. Grafik hubungan beban dan lendutan benda uji umur perendaman 24 bulan

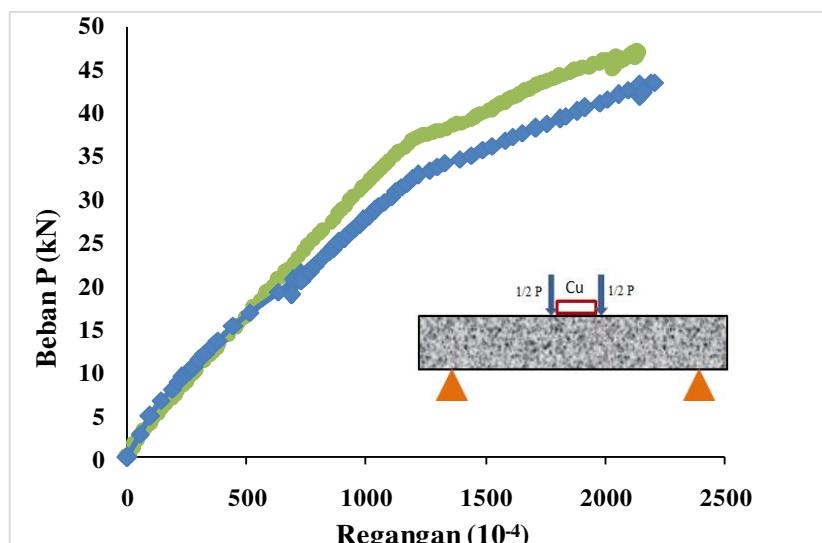
3.4. Hubungan Beban dan Lendutan

Gambar 9 menunjukkan grafik hubungan beban dan lendutan yang terjadi pada benda uji balok beton BF24-1 dan balok beton BF24-2. Dimana pada saat pembebanan berlangsung perilaku hubungan beban dan lendutan cenderung linier hingga terjadi retak awal ini dikarenakan sifat beton yang cenderung elastis, dimana beban lentur yang terjadi pada saat retak awal untuk tiap benda uji masing-masing sebesar 15.59 kN dan 15.33 kN dengan lendutan yang terjadi masing-masing sebesar 6.94 mm dan 5.58 mm. kemudian beban terus naik dan bertambah hingga tulangan mengalami leleh pada beban lentur

sebesar 27.26 kN dan 32.85 kN untuk masing-masing benda uji, dengan lendutan yang terjadi pada tiap-tiap balok sebesar 15.41 mm dan 17.33 mm, selanjutnya beban masih terus naik hingga mencapai beban puncak sebesar 43.11 kN untuk benda uji BF24-1 dan 44.65 kN untuk benda uji BF24-2, dengan lendutan yang terjadi masing-masing sebesar 39.91 mm dan 38.26 mm. dari perilaku beban yang diterima oleh balok terlihat bahwa kemampuan balok yang diberi perkuatan GFRP-S cukup kaku saat menerima beban.

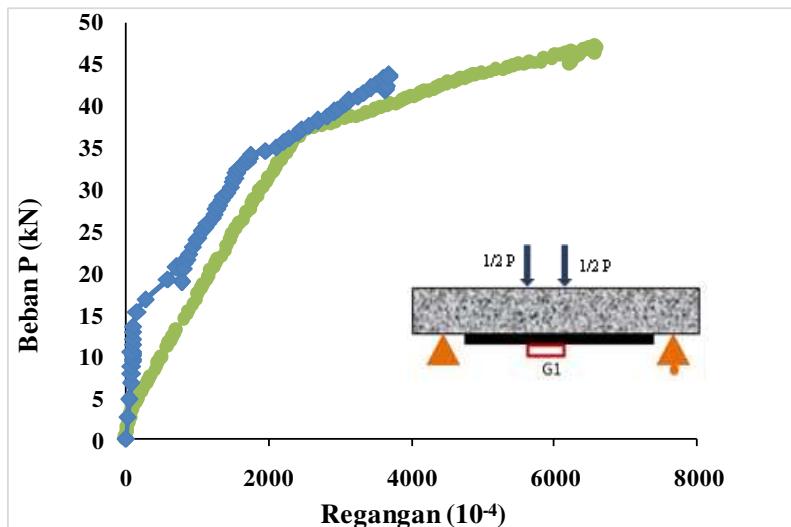
3.5. Hubungan Beban dan regangan

Gambar 10 memperlihatkan hubungan antara beban dan regangan beton yang terjadi pada saat pembebahan berlangsung, dimana pada gambar terlihat bahwa perilaku balok saat dibebani cenderung linier. Hal ini disebabkan beton saat dibebani cenderung bersifat elastis hingga mengalami penurunan pada saat beton mulai retak, dan selanjutnya beton terus berdeformasi menerima beban hingga runtuh dan dalam kondisi ini balok beton cenderung bersifat plastis sebelum pada akhirnya runtuh saat beban ultimit tercapai [2].



Gambar 10. Grafik hubungan beban dan regangan beton

Hubungan antara beban dan regangan GFRP-S dimana saat pembebahan berlangsung perilaku regangan GFRP-S pada balok beton cenderung linier, namun pada saat pembebahan mencapai beban 15 kN untuk balok BF24-1 dan 35 kN untuk balok BF24-1 perilaku regangan GFRP-S cenderung melengkung (**Gambar 11**). Hal ini dikarenakan GFRP-S mulai mengalami leleh namun kemudian naik lagi dan bersifat plastis hingga mencapai beban ultimit [2]. Pada saat beban puncak mencapai nilai 43.11 kN untuk balok uji BF24-1 dan 43.58 kN untuk balok uji BF24-2, besar regangan beton yang dapat dicapai oleh GFRP-S untuk masing-masing balok uji yaitu 6301.10μ untuk balok uji BF24-1 dan 6589.68μ untuk balok uji BF24-2. Kegagalan rekatkan antara GFRP-S dengan permukaan beton saat mengalami keruntuhan dikenal dengan istilah *Debonding* hal ini seperti yang diperlihatkan oleh **Gambar 12**.



Gambar 11. Grafik hubungan beban – regangan GFRP-S

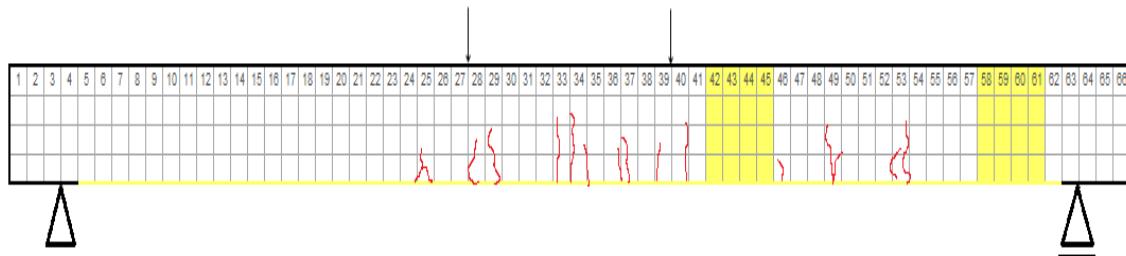


Gambar 12. *Debonding* GFRP-S

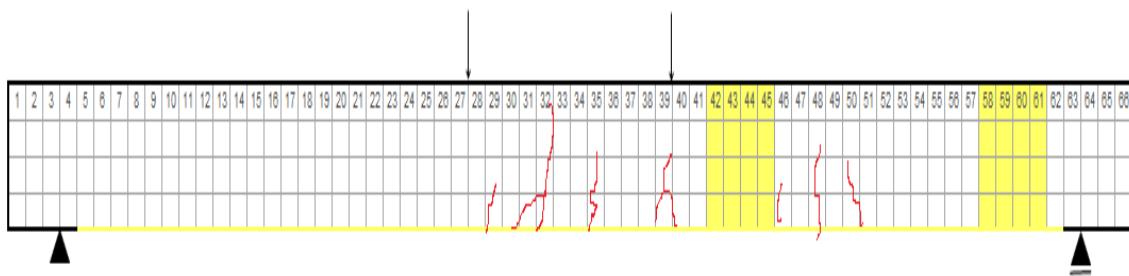
3.6. Pola Keretakan

Dari hasil pengujian semua balok terjadi kegagalan lentur, kegagalan ini berawal dari ketidakmampuan balok menerima beban yang melampaui kekuatannya. Berawal dari retak pada 1/4 bentang tengah balok yang terus mengalami perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik menuju ke sisi tekan benda uji dan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexural crack*). Proses ini berlanjut sampai tercapainya beban puncak, dimana beban tidak lagi bertambah tetapi lendutan terus bertambah terutama pada bagian retak yang cukup lebar dan selanjutnya secara tiba-tiba menurun drastis dan hal ini juga terjadi pada pengujian balok beton terdahulu dengan umur perendaman 1 tahun, dimana perilaku retakan beton yang terjadi cenderung diakibatkan oleh beban lentur yang bekerja atau membebani balok uji.

Berdasarkan pengamatan pola retak pada **Gambar 13** memperlihatkan bahwa perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik menuju ke sisi tekan balok dan tipe retak yang terjadi adalah jenis retak lentur (*flexular crack*). Benda uji BF24-1 mengalami retak pertama pada saat beban sebesar 21.32 kN dengan lebar retak 0.007 mm dengan keadaan pemilihan retak secara acak untuk pengukuran. Setelah itu benda uji dalam kondisi leleh pada beban sebesar 42.58 kN dengan lebar retak 0.362 mm hingga gagal pada beban maksimum rata-rata sebesar 43.11 kN dengan lebar retak maksimum 0.381 mm pada daerah tarik dan panjang retakan yang merambat hingga bagian 3/4 bentang balok.



Gambar 13. Pola Retak BF24-1



Gambar 14. Pola Retak BF24-2

Gambar 14 menunjukkan benda uji BF24-2 mengalami retak pertama pada saat beban sebesar 21.19 kN dengan lebar retak 0.267 mm dengan keadaan pemilihan retak secara acak untuk pengukuran. Setelah itu benda uji dalam kondisi leleh pada beban sebesar 43.58 kN dengan lebar retak 0.678 mm hingga gagal pada beban maksimum rata-rata sebesar 44.65 kN dengan lebar retak maksimum 0.716 mm pada daerah tarik dan panjang retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok.

IV.Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kapasitas lentur dari balok uji BF24-1 dan BF24-2 dapat memberikan informasi kepada kita bahwa balok yang diperkuat dengan lembar GFRP dapat memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap kekakuan balok dalam memikul beban lentur yang bekerja pada balok tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan capaian kapasitas lentur untuk tiap benda uji yang diperkuat dengan lembar GFRP sebesar 43.11 kN untuk balok uji BF24-1 dan 43.58 kN untuk balok uji BF24-2 dengan lendutan masing-masing sebesar 39.91 mm dan 38.26 mm.
2. Selain berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas lentur dari balok uji setelah direndam dalam air laut selama 2 tahun, GFRP juga memberikan kontribusi besar terhadap kemampuan balok memikul regangan beton yang terjadi akibat pembebahan dimana nilai regangan beton yang dicapai saat kondisi beban ultimit dari setiap balok uji yaitu masing – masing sebesar 6589.68 μ dan 3804.10 μ .

4.2. Saran/Rekomendasi

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan maka beberapa saran yang dapat kami berikan ialah:

1. Perlu dipertimbangkan untuk melakukan penelitian dengan jumlah benda uji yang lebih banyak.

2. Perlu dilakukan penelitian dengan membandingkan beton dengan perkuatan terhadap beton tanpa perkuatan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengambil variasi waktu rendaman yang lebih lama lagi.
4. Perlu dipertimbangkan untuk melakukan penelitian dengan variasi jenis FRP.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami haturkan kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu, serta terlibat dalam penulisan dan penyelesaian artikel ini, semoga kedepannya kita bisa berkolaborasi dalam suatu riset yang dapat memajukan kualitas pendidikan di kawasan timur Indonesia terkhususnya di provinsi Maluku dalam kosentrasi Bidang Teknik Sipil.

Daftar Pustaka

- 1 Alami, F. 2010. Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer*. Seminar dan Pameran HAKI 2010:1-12.
- 2 Djamaluddin, R., Mufti Amir. 2017. Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Kapasitas Rekatan GFRP-Sheet pada Balok Beton Bertulang. Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, Vol. 24 No. 1.
- 3 Djamaluddin, R., Akkas, M. and Hasanuddin, H. A. 2011. *Debonding Behavior of GFRP Sheet Reinforced Concrete*. EACEF 2013: SC-136. VOL.11 No.3, pp.293-300.
- 4 Djamaluddin, R., dkk. 2011. Kapasitas Lentur Perkuatan Balok Beton Bertulang yang Telah Meleleh Dengan Menggunakan Lembaran GFRP. Dinamika Teknik Sipil, Vol. 11 No.3, pp. 293-300.
- 5 Kwandou, Robby S. 2014. Simulasi Laboratorium Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Kapasitas Rekatan GFRP-S pada Balok Beton Bertulang
- 6 Nawy, Edward G., Tavio, dan Kusuma, Benny. Beton Bertulang Jilid I. Surabaya: ITSPress. 2010.
- 7 Rangan, Ivan. 2015. Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Kapasitas Lentur Balok yang Diperkuat dengan GFRP.
- 8 Setiawan, Asri M. 2015. Pengaruh Air Laut Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan GFRP-S yang Direndam Selama SatuTahun.
- 9 Standard Nasional Indonesia (SNI). 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. SNI-03-2847-2002.
- 10 Sultan, Mufti A., dkk. 2014. Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Karakteristik Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Lembaran GFRP.