

PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KAPASITAS BEBAN PADA BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT GFRP-S DENGAN PERENDAMAN SELAMA SATU TAHUN

Asri Mulya Setiawan¹

Erniati Bachtiar²

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Fajar^{1,2}

E-mail: klanmulyasetiawan@gmail.com¹

Abstrak. Hasil pengujian pada benda uji tanpa perkuatan GFRP-S menunjukkan bahwa terjadi penurunan kapasitas beban terhadap benda uji BN₀ sebesar 1,383%. Penurunan kapasitas benda uji BN₆ ini setelah perendaman air laut selama 6 bulan. Sedangkan untuk benda uji dengan perkuatan GFRP-S menunjukkan penurunan beban maksimum pada benda uji BF₆ dan BF₁₂ terhadap benda uji BF₀. Persentase penurunan beban berturut-turut adalah 3,898% dan 4,285%. Penurunan kapasitas beban benda uji BF₁₂ ini setelah perendaman air laut selama 12 bulan. Ini disebabkan karena terjadinya penurunan kapasitas rekatan pada GFRP seiring dengan lama rendaman, sehingga mempercepat terjadinya debonding.

Kata Kunci: Kapasitas beban, perkuatan GFRP-S, penurunan beban, air laut, balok beton.

INDONESIAN JOURNAL OF FUNDAMENTAL SCIENCES (IJFS)

E-ISSN: 2621-6728

P-ISSN: 2621-671X

Submitted: June 11st, 2018

Accepted : August 20th, 2018

Abstract. The test results on specimens without GFRP-S reinforcement showed that there was a decrease in load capacity for BN₀ specimens of 1.383%. Decrease in BN₆ test material capacity after soaking sea water for 6 months. Whereas for specimens with reinforcement of GFRP-S shows a decrease in maximum load on BF₆ and BF₁₂ specimens against BF₀ test objects. The percentage of decrease in loads is 3.898% and 4.285%, respectively. Decreased load capacity of BF₁₂ specimens after 12 months of seawater immersion. This is due to a decrease in the capacity of the bond on the GFRP along with the soaking time, thus accelerating the occurrence of debonding.

PENDAHULUAN

Konstruksi beton bertulang merupakan jenis konstruksi yang cukup umum dijumpai penggunaannya saat ini. Hal ini disebabkan oleh kelebihan dari beton itu sendiri, antara lain kemudahan dalam pengerjaannya, kuat tekan yang tinggi serta memiliki nilai ekonomis dalam pembuatan dan perawatannya. Dalam pemenuhan kebutuhan pembangunan, teknologi beton telah banyak dikembangkan untuk menemukan sifat mekanis optimal dengan biaya yang relatif murah. Dalam praktek beton sering dikomposisikan dengan material baja tulangan sebagai upaya untuk meningkatkan kemampuan struktur beton dalam menahan tarik. 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 (Nawy, 2010).

Balok 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. Struktur beton sesuai dengan umur rencananya akan mengalami penurunan kekuatan bahkan mengalami kerusakan. Selain itu 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 *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) (Gangga *et al.*, 2007). *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) sebagai material solusi perkuatan dan perbaikan struktur yang telah banyak digunakan saat ini.

GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) merupakan material perkuatan dan perbaikan struktur yang terus mengalami perkembangan dan semakin banyak diteliti penggunaannya oleh sebagian kalangan. GFRP ini telah digunakan secara meluas, tidak hanya terbatas pada konstruksi gedung namun juga dapat digunakan pada jenis 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 (ACI. Committee 440.2R-08, 2008).

Pembangunan struktur beton yang berada di daerah lingkungan ekstrim seperti daerah pantai akan mengakibatkan penurunan kekuatan bahkan mengalami kerusakan apabila tidak diadakan perawatan dan perbaikan, ini diakibatkan adanya klorida yang terdapat pada air laut. Struktur beton yang umumnya berada di daerah

pantai sangat rawan mengalami kerusakan ataupun degradasi kekuatan karena adanya korosi yang terjadi pada tulangan. Dengan keunggulan yang dimiliki GFRP sebagai bahan non logam yang tahan korosi walaupun berada pada lingkungan laut dalam jangka panjang maka dalam penelitian ini digunakan GFRP sebagai perkuatan external dan proteksi dalam mengatasi terjadinya degradasi kekuatan struktur serta meningkatkan kekuatan struktur yang telah mengalami degradasi kekuatan karena korosi pada tulangan (Ong *et al.*, 2007).

Pada umumnya 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 mengenai kapasitas beban dari struktur beton yang diperkuat GFRP yang direndam dengan air laut dalam jangka panjang yaitu selama 1 tahun.

TINJAUAN PUSTAKA

Balok yang diperkuat dengan FRP akan meningkatkan kekakuan, batas leleh dan kekuatan batas pada balok beton yang tulangnya telah korosi. Ini menunjukkan bahwa penggunaan lembar FRP dapat memperkuat balok beton bertulang yang telah terkorosi dengan efisien sehingga mempertahankan durabilitas struktur dan perilaku balok (Saudki *et al.*, 2009).

Perkuatan lentur balok beton bertulang dengan GFRP terjadi peningkatan beban sampai dengan 75,13% (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 penambahan jumlah lapisan GFRP. Ketika baja tulangan meleleh dan beton mengalami penurunan kekuatan, gaya tarik yang terjadi akibat penambahan beban akan ditahan sepenuhnya oleh GFRP (Febby Bukorsyom, 2011).

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). Peningkatan rata-rata kuat lentur yang terjadi sebesar 84.21% untuk balok beton dengan perkuatan GFRP bila dibandingkan dengan tanpa adanya perkuatan GFRP untuk kondisi normal tanpa interaksi dengan lingkungan laut. Sementara pada kondisi balok beton yang berinteraksi dengan lingkungan laut juga mengalami peningkatan kuat lentur yang nilainya bervariasi seiring dengan peningkatan waktu interaksi terhadap lingkungan laut (Febryana Armitha, 2013).

Terjadi penurunan kapasitas momen pada balok GFRP-S yang direndam selama 1, 3 dan 6 bulan terhadap balok GFRP-S yang tidak direndam masing-masing sebesar 2.65%, 2.73%, dan 3.78%. Penurunan kapasitas momen ini disebabkan oleh melemahnya kapasitas rekatan GFRP-S yang dipengaruhi oleh rendaman air laut (Irma Umar, 2014). Kapasitas beban balok perendaman laut lebih kecil daripada balok perendaman kolam. Persentase selisih beban ultimit antara balok perendaman kolam dengan balok perendaman laut sebesar 8.48%, 12.47% dan 14.95% secara berurutan untuk lama perendaman 1 bulan, 3 bulan dan 6 bulan (Robby Setiadi 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% (Asri Mulya 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 (Mufti Amir Sultan, 2015).

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.

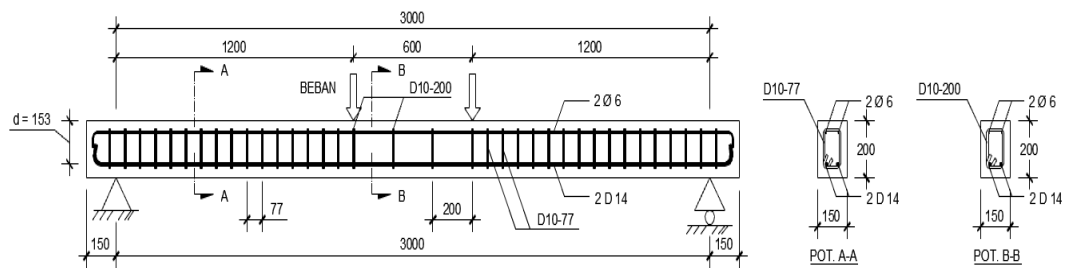
C. Metode Pengujian

Pengujian balok dilakukan dengan *two poin load* pada BN dan BF , digunakan pembebanan yang bersifat monotonik, dengan kecepatan ramp *actuator* konstan sebesar 0,05 mm/dtk sampai balok runtuh. Pengamatan terhadap balok uji terus dipantau secara visual, terutama terhadap perkembangan retak yang terjadi akibat bertambahnya beban, keadaan plastis, juga 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 GFRP-S berumur 1, 3, 6, dan 12 bulan yang telah berinteraksi dengan lingkungan laut. Pada saat pengujian lentur juga 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 tarik balok beton dengan dimensi 15 cm x 280 cm. Adapun data yang diamati selama pengujian meliputi beban retak, beban plastis, dan beban ultimit. 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

Pengujian balok beton bertulang ini adalah untuk mengetahui kemampuan balok dalam memikul beban. Tabel 1 dan 2 menunjukkan Hasil pengamatan pengujian kapasitas momen dan beban pada kondisi awal retak, leleh dan ultimit pada balok beton bertulang. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan analisa sesuai dengan teori dan rumus sedangkan tabel 2 menunjukkan hasil pengujian balok beton di laboratorium.

Tabel 1. Analisa Kapasitas Beban dan Momen Seluruh Benda Uji

Uraian	Analisa					
	P _{crack} (kN)	M _{crack} (kNm)	P _{leleh} (kN)	M _{leleh} (kNm)	P _{ultimit} (kN)	M _{ultimit} (kNm)
BN ₀₋₁	5,13	2,44	25,57	16,15	26,09	16,46
BN ₀₋₂	5,13	2,44	25,57	16,15	26,09	16,46
BN₀	5,13	2,44	25,57	16,15	26,09	16,46
BN₆	5,13	2,44	25,57	16,15	26,09	16,46
BF ₀₋₁	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF ₀₋₂	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF ₀₋₃	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF₀	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF ₆₋₁	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF ₆₋₂	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF₆	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF ₁₂₋₁	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF ₁₂₋₂	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37
BF₁₂	5,31	3,99	30,30	18,98	42,61	26,37

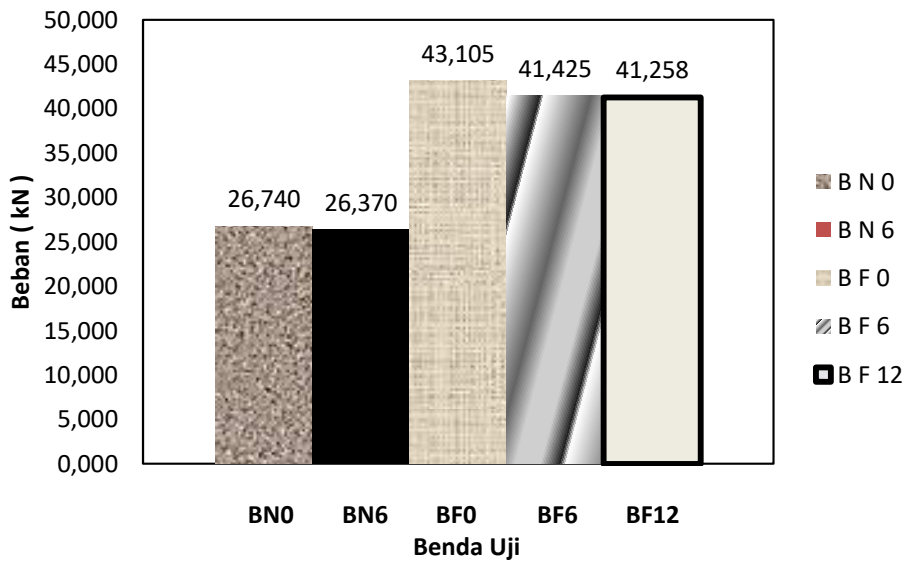
Tabel 2. Hasil Pengujian Kapasitas Beban dan Momen Seluruh Benda Uji

Uraian	Hasil pengujian					
	P _{crack} (kN)	M _{crack} (kNm)	P _{leleh} (kN)	M _{leleh} (kNm)	P _{ultimit} (kN)	M _{ultimit} (kNm)
BN ₀₋₁	5,07	3,85	22,97	14,58	27,04	17,02
BN ₀₋₂	5,07	3,85	22,83	14,50	26,44	16,66
BN₀	5,07	3,85	22,90	14,54	26,74	16,84
BN₆	4,61	3,57	22,16	16,62	26,37	16,62
BF ₀₋₁	10,08	6,85	32,31	20,19	43,26	26,76
BF ₀₋₂	8,08	5,65	31,24	19,55	42,33	26,20
BF ₀₋₃	8,00	5,60	33,65	20,99	43,73	27,04
BF₀	8,72	6,03	32,40	20,24	43,10	26,66
BF ₆₋₁	8,14	5,69	39,12	24,27	41,93	25,96
BF ₆₋₂	10,15	6,89	36,25	22,67	40,92	25,36
BF₆	9,15	6,29	37,69	23,47	41,42	25,66
BF ₁₂₋₁	11,28	7,57	26,17	16,50	40,26	24,96
BF ₁₂₋₂	11,22	7,53	36,58	22,75	42,06	26,04
BF₁₂	11,25	7,55	31,38	19,63	41,16	25,50

Tabel 3. Perbandingan Beban Maksimum Untuk Semua Variasi Benda Uji

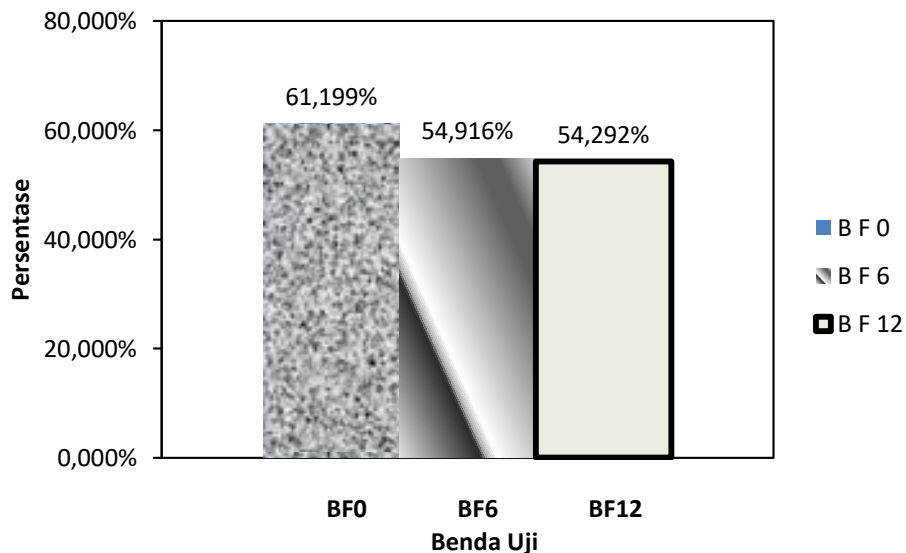
Jenis balok		Beban maksimum berdasarkan penelitian (kN)	Beban maksimum rata-rata (kN)	Besar kekuatan balok GFRP-S terhadap balok normal (%)	Penurunan kekuatan balok GFRP-S rendaman terhadap balok GFRP-S tanpa rendaman (%)
Balok Normal Tanpa Rendaman	BN 0-1	27.038	26.74		
	BN 0-2	26.437			
GFRP-S Tanpa Rendaman	BF 0-1	43.261	43.105	61.199%	
	BF 0-2	42.326			
	BF 0-3	43.728			
Balok Normal Rendaman 6 Bulan	BN -6	26.37	26.37	-1.383%	
GFRP-S Rendaman 6 Bulan	BF 6-1	40.924	41.425	54.916%	3.898%
	BF 6-2	41.925			

GFRP-S Rendaman 12 Bulan	BF 12-1	40.457	41.258	54.292%	4.285%
	BF 12-2	42.059			



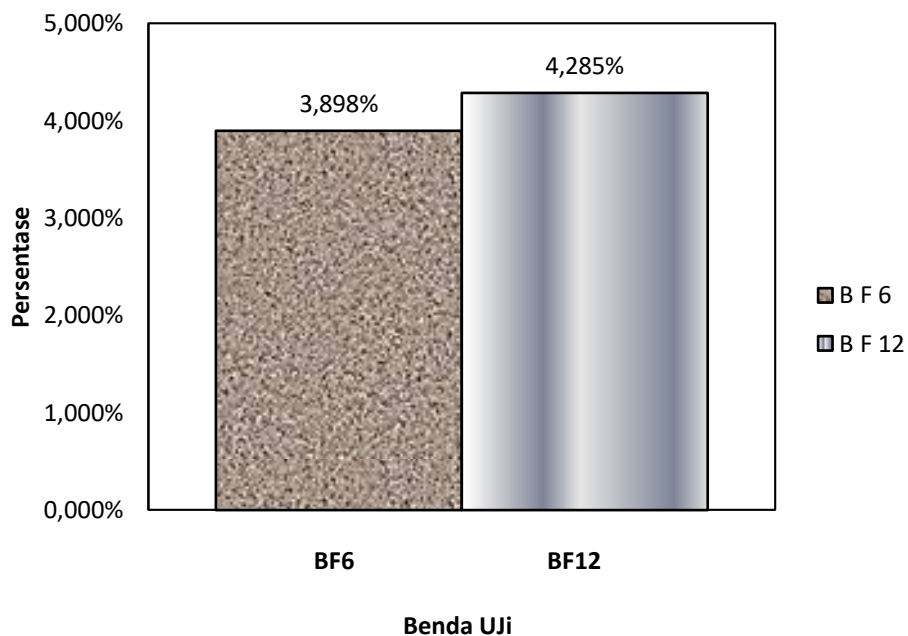
Gambar 3. Histogram Beban Maksimum

Pada gambar 3 menunjukkan beban maksimum rata-rata benda uji BN_0 sebesar 26,74 kN; benda uji BN_6 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 , BF_6 , dan BF_{12} masing-masing 43,105 kN, 41,425 kN dan 41,258 kN.



Gambar 4. Histogram Peningkatan Kapasitas Beban Balok GFRP-S Terhadap Balok Normal (BN_0)

Gambar 4 menunjukkan histogram peningkatan kapasitas beban balok GFRP-S terhadap balok normal (BN_0). Prosentase peningkatan kapasitas beban BF_0 , BF_6 , dan BF_{12} masing-masing sebesar 61.22%, 54.92% dan 54.29% terhadap BN_0 , di mana GFRP-S memiliki kemampuan untuk menahan beban lentur dan akan bekerja secara maksimal ketika balok normal memasuki masa kondisi plastis. Hal ini menunjukkan bahwa ketika terjadi peningkatan beban yang signifikan dan ketika tulangan balok meleleh, balok masih mampu menahan beban selama GFRP merekat pada beton. Peningkatan beban benda uji yang diperkuat GFRP-S terhadap benda uji tanpa perkuatan disebabkan karena adanya penambahan lapisan GFRP-S pada daerah tarik.



Gambar 5. Histogram Penurunan Beban Balok GFRP-S Yang Direndam Air Laut Terhadap Balok GFRP-S Tanpa Perendaman (BF_0)

Gambar 5 menunjukkan histogram 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%. Ini disebabkan terjadi penurunan kapasitas rekatan pada GFRP seiring dengan lama rendaman, sehingga mempercepat terjadinya *debonding*.

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. Beban maksimum rata-rata benda uji BN₀ (Balok normal tanpa perendaman) sebesar 26,74 kN; benda uji BN₆ (Balok normal dengan perendaman selama 6 bulan) sebesar 26,37 kN atau terjadi penurunan kapasitas beban terhadap benda uji BN₀ sebesar 1,383%. Penurunan kapasitas benda uji BN₆ ini setelah perendaman air laut selama 6 bulan. Beban maksimum rata-rata benda uji BF₀ (Balok GFRP tanpa perendaman), BF₆ (Balok GFRP dengan perendaman selama 6 bulan) dan BF₁₂ (Balok GFRP dengan perendaman selama 12 bulan) masing-masing 43,105 kN, 41,425 kN dan 41,258 kN.
2. Terjadi peningkatan kapasitas beban balok GFRP-S terhadap balok normal (BN₀). Prosentase peningkatan kapasitas beban BF₀, BF₆, dan BF₁₂ masing-masing sebesar 61.22%, 54.92% dan 54.29% terhadap BN₀.
3. Terjadi penurunan beban balok GFRP-S yang direndam air laut terhadap balok GFRP-S tanpa perendaman (BF₀). Penurunan beban maksimum pada benda uji BF₆ dan BF₁₂ terhadap benda uji BF₀. Persentase penurunan beban berturut-turut adalah 3,898% dan 4,285%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam Fikri. (2010). Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP-S). *Seminar dan Pameran HAKI 2010*: 1-12.
- Armitha F. L. (2013). Pengaruh Jangka Panjang Lingkungan Laut Tropis Terhadap Efektifitas GFRP Sheet Sebagai Bahan Penguat Elemen Lentur. *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Unhas*.
- 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.
- Saudki K. A. et al. (2009). FRP Repair of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams 5 (6). *Journal of Computer Science* 5 (6): 453-439
- 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*
- 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*