

Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Kapasitas Rekatan *GFRP-Sheet* pada Balok Beton Bertulang

Mufti Amir Sultan

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun Ternate, Jl. Raya Pertamina Kampus II Gambesi Ternate
E-mail: muftiamirsultan.unkhair@gmail.com

Rudy Djamaluddin

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Makassar, Jl. Perintis Kemerdekaan KM 10 Makassar
E-mail: rudy0011@hotmail.com

Abstrak

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. Salah satu cara perbaikan struktur yang populer sekarang ini adalah dengan menggunakan material Glass Fiber Reinforced Polymer yang mempunyai salah satu kelebihan yaitu tahan korosi. Pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimental untuk menyelidiki perilaku lentur balok beton bertulang dengan perkuatan GFRP-Sheet yang direndam di air laut dengan lama perendaman 1, 3, 6 dan 12 bulan. Benda uji terdiri dari 11 buah balok bertulang dengan dimensi (15x20x330) cm yang telah diperkuat dengan GFRP-Sheet pada daerah lentur. Benda uji dilakukan pengujian dengan memberi beban statik sampai mencapai kekuatan batas, untuk merekam data-data pada saat pengujian dipasang strain gauge pada permukaan benda uji dan GFRP-Sheet untuk membaca regangan. Hasil analisis menunjukkan terjadi penurunan kapasitas rekatan sekitar 11,04% setelah perendaman 12 bulan.

Kata-kata Kunci: Kapasitas rekatan, air laut, GFRP-Sheet.

Abstract

Construction of concrete structures that located in extreme environments are such as coastal areas will result in decreased strength or even the damage of the structures. As well know, chloride contained in sea water is responsible for strength reduction or structure failed were hence maintenance and repairs on concrete structure urgently needed. One popular method of structural improvements which under investigation is to use the material Glass Fiber Reinforced Polymer which has one of the advantages such as corrosion resistance. This research will be conducted experimental studies to investigate the flexural behavior of reinforced concrete beams with reinforcement GFRP-Sheet immersed in sea water using immersion time of 1, 3, 6 and 12 months. Test specimen consists of 11 pieces of reinforced beams with dimensions (15x20x330) cm that had been reinforced with GFRP-Sheet in the area of bending. The test specimen tested by providing a static load until it reaches the power limit, to record data during the test strain gauge mounted on the surface of the specimen and the GFRP-Sheet to collect the strain value. The result of analysis indicates the bonding capacity of GFRP-Sheet decreases about 11.04% after immersed for 12 months in sea water.

Keywords: Bonding capacity, sea water, GFRP-Sheet.

1. Pendahuluan

Saat sekarang pembangunan struktur beton di daerah pantai bahkan di dalam air laut pun bukan hal yang mustahil untuk dilaksanakan. Struktur yang berada di daerah pantai yang dalam proses pembuatannya kontak dengan air laut terkadang tidak dapat dihindarkan. Struktur beton yang umumnya berada di daerah pantai sangat rawan mengalami kerusakan ataupun degradasi kekuatan akibat adanya korosi yang terjadi pada tulangan. Saat ini berkembang teknologi perkuatan dengan menggunakan material berbasah dasar fiber seperti *Aramid Fiber*, *Glass Fiber* dan *Carbon Fiber*. Salah satu sifat dari material fiber adalah yang tahan terhadap korosi, sehingga memungkinkan digunakan pada daerah pantai.

Pembangunan struktur beton kearah tersebut sudah banyak dilakukan sebagai contoh pembangunan dermaga, struktur pemecah gelombang (*break water*), tiang pancang jembatan, fondasi gedung pinggir pantai dan bangunan maritim dari segala jenis. Semua pelaksanaan itu pengerjaannya menggunakan material beton sebagai sebagai struktur dasarnya. Dalam perkembangannya struktur beton juga dihadapkan pada masalah-masalah kegagalan struktur yang diakibatkan oleh faktor intern seperti karbonasi pada beton, maupun faktor eksteren seperti gempa bumi. Struktur yang dibangun pada lingkungan agresif, seperti di laut atau di lingkungan laut perlu diperhatikan lebih baik. Di lingkungan tersebut kekuatan struktur beton akan menurun di samping oleh beban struktur tersebut adalah dengan adanya beban lingkungan yang

diakibatkan oleh penetrasi ion klorida yang dikandung oleh air laut yang masuk ke dalam beton.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan penggunaan *GFRP* pada balok antara lain : Khaled Sudki, *et al.* (2009) menunjukkan bahwa balok yang diperkuat dengan FRP akan meningkatkan kekakuan, batas leleh dan kekuatan batas pada penelitian perbaikan tulangan yang telah korosi pada balok *GFRP* digunakan sebagai perkuatan lentur pada balok beton bertulang dapat meningkatkan beban sampai 75,15% dan peningkatan lendutan maksimum. Alami, Fikri (2010) melakukan penelitian dengan penggunaan FRP pada bagian lentur, menyimpulkan bahwa penggunaan FRP pada beton bertulang dapat meningkatkan kapaistas beban. Banthia (2009), melaporkan hasil penelitian dengan menggunakan material komposit *GFRP* pada balok dibagian tertarik dan pada pelat, dapat meningkatkan kapasitas momen.

Perkuatan dengan menggunakan lembaran *GFRP* pada balok beton bertulang yang telah terbebani hingga leleh tulangan memiliki kapasitas lentur yang lebih tinggi dari balok aslinya (Djamaluddin dan Hino, 2011). Balok yang diperkuat dengan FRP akan meningkatkan kekakuan, batas leleh dan kekuatan batas pada penelitian perbaikan tulangan yang telah korosi pada balok (Rose dkk, 2009). Menurut Sultan dkk (2015) Lingkungan laut memberikan efek terhadap penurunan kekuatan balok dengan perkuatan *GFRP-Sheet*. Djamaluddin, Irmawatai dan Kwandouw (2015) melakukan penelitian pada balok beton dengan perendaman pada kolam yang berisi air laut dan perendaman di laut, diperoleh kesimpulan bahwa hubungan kapasitas beban dengan waktu perendaman menunjukkan hubungan eksponensial yang cenderung menurun terhadap waktu. Kapasitas lentur balok beton bertulang yang telah diperkuat *GFRP-Sheet* pada sisi tarik balok mengalami penurunan kapasitas setelah direndam dalam air laut selama 6 bulan (Sultan dkk, 2015).

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. Pada saat beban ditingkatkan, balok tersebut menahan regangan dan defleksi tambahan yang menyebabkan retak-retak lentur sepanjang serat tarik dari balok tersebut.

Beberapa mode kegagalan yang sering terjadi pada balok yang diperkuat dengan *FRP* yaitu :

1. Rusaknya *FRP* setelah tulangan tarik meleleh.
2. Hancurnya beton sekunder setelah tulangan tarik meleleh.
3. Inti beton rusak karena tekanan sebelum tulangan tarik meleleh.
4. Lepasnya ikatan antara *FRP* dan beton (*debonding*)

Beberapa penelitian yang membahas kegagalan pada balok berkuatan FRP antara lain : Guo, *et al.* (2005) menyatakan bahwa kegagalan *debonding* sering dijumpai pada balok berkuatan *FRP*. Menurut Lu, *et*

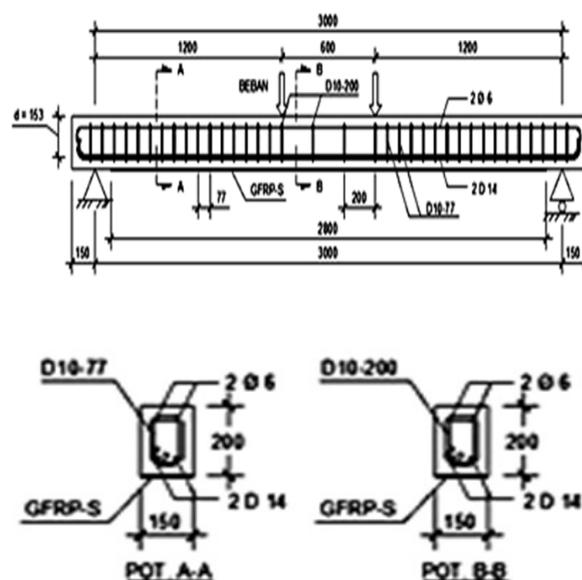
al. (2007) Kegagalan *debonding* dipengaruhi oleh rambatan retak lentur yang hanya diperkuat pada sisi tarik balok. Kegagalan *debonding* dimulai dari lokasi retak lentur yang kemudian merambat ke ujung perkuatan FRP (Teng dan Chen, 2007).

Namun perlu penelitian lebih lanjut untuk mengklarifikasi perilaku balok beton bertulang dengan perkuatan *GFRP* apabila dipengaruhi oleh rendaman laut, dinamakan penelitian ini memberikan informasi terhadap perilaku kapasitas rekatan yang terjadi *GFRP* akibat pengaruh lingkungan laut selama 1 bulan, 3 bulan, 6 bulan dan 12 bulan.

2. Metode Penelitian

2.1 Benda uji

Penelitian ini menggunakan 11 buah benda uji balok beton bertulang dengan dimensi 15 cm x 20 cm x 330 cm, pada daerah tekan dipasang tulangan 2 ϕ 6 dan 2D14 pada daerah tarik. Tulangan sengkang digunakan ϕ 10-7.7. Mutu beton $f'c$ sebesar 25 Mpa. Detail benda uji seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Detail benda uji

Tabel 1. Variasi benda uji

No	Kode Benda Uji	Lama perendaman
1.	BF ₀₋₁	
2.	BF ₀₋₂	0 bulan
3.	BF ₀₋₃	
4.	BF ₁₋₁	1 bulan
5.	BF ₁₋₂	
6.	BF ₃₋₁	3 bulan
7.	BF ₃₋₂	
8.	BF ₆₋₁	6 bulan
9.	BF ₆₋₂	
10.	BF ₁₂₋₁	12 bulan
11.	BF ₁₂₋₂	

Variasi dan jumlah benda uji dapat dilihat pada **Tabel 1**. Total benda uji yang digunakan 11 buah dengan rincian sebagai berikut :

Pada perendaman 0 bulan atau tanpa perendaman sebanyak 3 buah (BF₀₋₁, BF₀₋₂ dan BF₀₋₃), perendaman 1 bulan sebanyak 2 buah (BF₁₋₁ dan BF₁₋₂), perendaman 3 bulan sebanyak 2 buah (BF₃₋₁ dan BF₃₋₂), perendaman 6 bulan sebanyak 2 buah (BF₆₋₁ dan BF₆₋₂) dan perendaman 12 bulan sebanyak 2 buah (BF₁₂₋₁ dan BF₁₂₋₂). Pengkodean benda uji BF_{x-n}, x dimana menyatakan waktu perendaman dan n menyatakan jumlah benda uji.

Tabel 2. Spesifikasi GFRP-Sheet tipe SEH51

Properti	Nilai Test
Tegangan tarik ultimit dalam arah utama fiber (Psi)	575 MPa
Regangan	2,2 %
Modulus Tarik (Psi)	26,1 GPa
Tegangan tarik ultimit 90 ⁰ dari arah utama fiber	25,8 MPa
Tebal lapisan	1,3 mm

Pemasangan *GFRP-Sheet* dilakukan setelah perawatan benda uji selama 28 hari. Untuk pemasangan *GFRP-Sheet* pada balok beton menggunakan metode *wet lay-up*. Metode ini merupakan metode pemasangan FRP, dimana FRP yang akan dipasang perlu dibasahi terlebih dahulu dengan epoxy untuk selanjutnya dilapisi pada balok yang akan diperkuat. *GFRP-Sheet* dipasang pada sisi tarik balok. Setelah *GFRP-Sheet* diletakkan pada permukaan balok, bahan perekat kembali diberikan di atas lapisan *GFRP-Sheet* karena dalam penelitian ini digunakan dua lapisan *GFRP-Sheet*. Spesifikasi *GFRP-Sheet* dan bahan perekat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 3. Sifat material epoxy

Sifat Material	Nilai Test
Kekuatan Tarik	72.4 Mpa
Modulus Tarik	3.18 Gpa
Persen Regangan	5%
Kekuatan Lentur	123.4 Mpa
Modulus Lentur	3.12 Gpa

Setelah pemasangan *GFRP-Sheet* selesai, maka benda uji didiamkan selama tiga hari. Setelah itu benda uji siap dibawa ke kolam perendaman. Ketika dimulai perendaman maka saat itu merupakan awal penentuan waktu untuk pengamatan.

2.2 Kolam perendaman

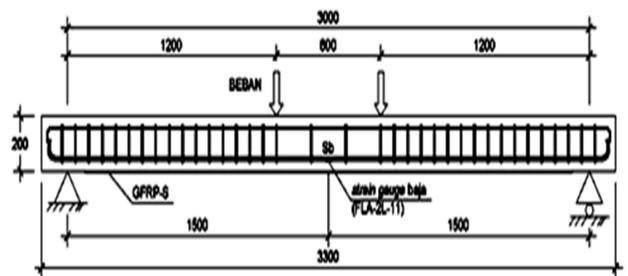
Benda uji ditempatkan dalam kolam yang telah diisi dengan air laut, ukuran kolam 8 m x 4 m dengan

kedalaman 1 m. Kolam perendaman dapat dilihat dalam **Gambar 2**. Tinggi air dalam kolam perendaman 80 cm dengan tingkat pH 7,95 dan kadar garam 17,11 mg/mL.



Gambar 2. Kolam perendaman

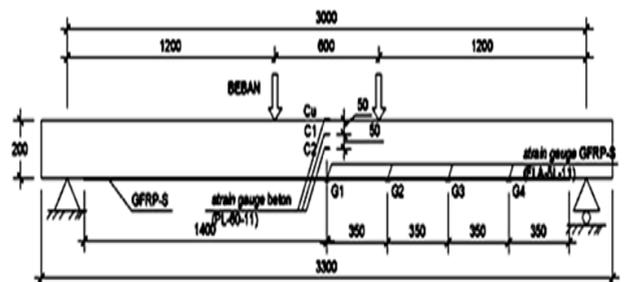
2.3 Set up pengujian



Gambar 3. Posisi strain gauge pada baja tulangan

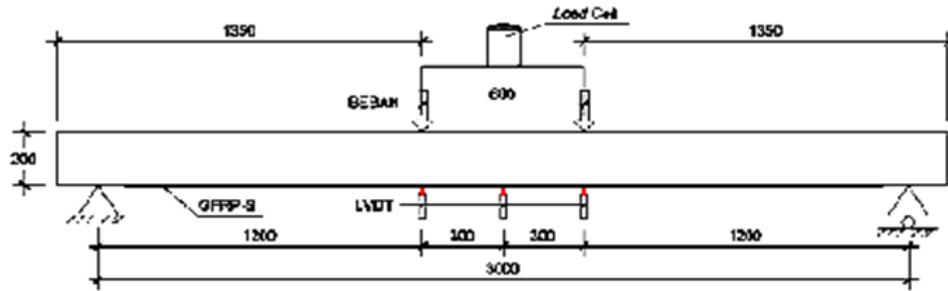
Tulangan pada daerah tarik digunakan 2D14, tulangan tekan 2φ6 dengan mutu baja 400 MPa dan tulangan sengkang φ10 dengan mutu baja 210 MPa. Mutu beton yang digunakan pada penelitian ini sebesar 25 MPa.

Pemasangan strain gauge pada baja tulangan di daerah tarik sebanyak 2 buah, pada beton dipasang strain gauge sebanyak 3 buah yaitu pada daerah tekan benda uji, daerah ½ tinggi benda uji dan pada daerah ¼ tinggi benda uji ditengah bentang, pada *GFRP-Sheet* dipasang strain gauge sebanyak 4 buah yang pemasangannya dari posisi tengah benda uji dan menyebar pada masing-masing jarak 35 cm hingga ujung benda uji ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 4. Posisi strain gauge pada beton dan GFRP-Sheet

Setup pengujian diilustrasikan pada **Gambar 5**, sebelum pengujian dipasang LVDT sebanyak 3 buah untuk merekam lendutan vertikal pada tengah bentang dan pada titik dibawah *point load*.



Gambar 5. Set up benda uji

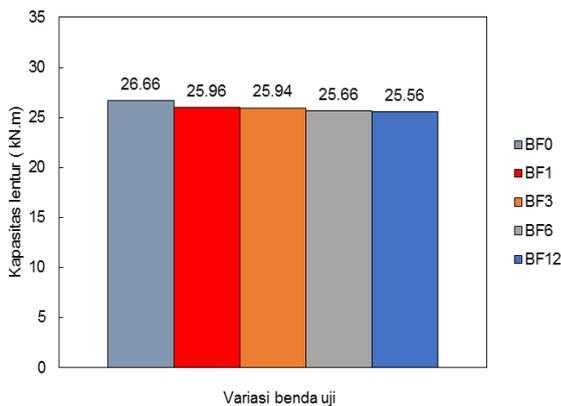
3. Hasil Pengujian dan Pembahasan

3.1 Kapasitas lentur

Tabel 4. Beban dan kapasitas lentur maksimum benda uji

Kode Benda Uji	P_u (kN)	M_u (kN.m)	M_u rata-rata (kN.m)
BF ₀₋₁	43,26	26,76	
BF ₀₋₂	42,33	26,20	26,66
BF ₀₋₃	43,73	27,04	
BF ₁₋₁	42,93	25,56	25,96
BF ₁₋₂	40,92	25,36	
BF ₃₋₁	40,46	25,08	25,94
BF ₃₋₂	43,33	26,80	
BF ₆₋₁	41,93	25,96	25,66
BF ₆₋₂	40,92	26,36	
BF ₁₂₋₁	40,46	25,08	25,56
BF ₁₂₋₂	42,06	26,04	

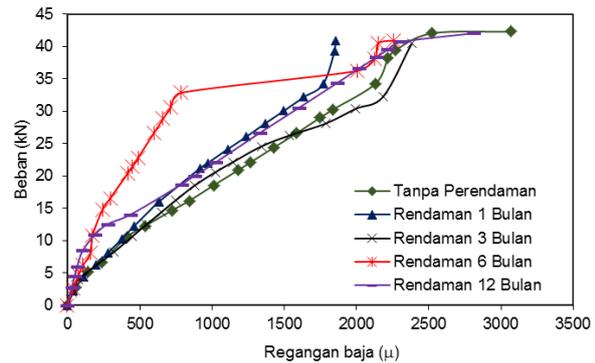
Kapasitas beban maksimum benda uji cenderung menurun seiring dengan lama perendaman dalam kolam. Dari beban maksimum yang diperoleh pada saat pengujian maka momen lentur benda uji sebelum dan sesudah di rendam dalam kolam dengan menggunakan persamaan $M_u = 0,8019 + 0,6.P_u$, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 6. Kapasitas lentur maksimum berdasarkan lama perendaman

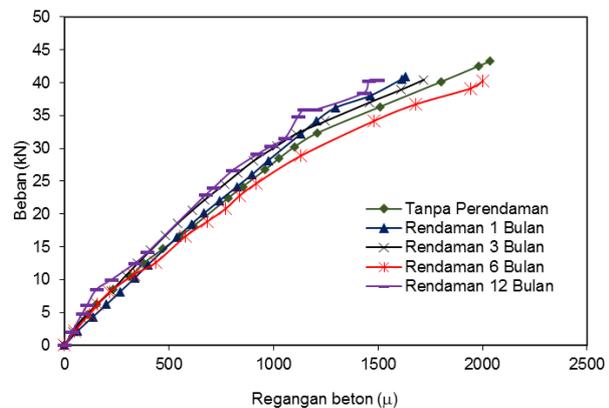
Gambar 6 memperlihatkan kapasitas lentur benda uji akan semakin menurun seiring dengan waktu rendaman. Besar kapasitas lentur benda uji BF₀, BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ masing-masing adalah 26.66 kNm, 25.96 kNm, 25.94 kNm, 25.66 kNm dan 25.56 kNm.

3.2 Hubungan beban dan regangan



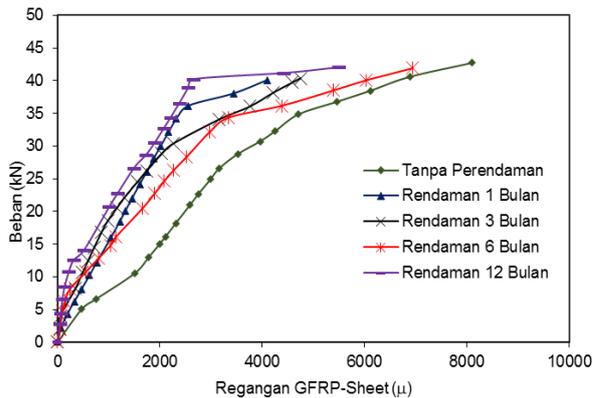
Gambar 7. Hubungan beban dan regangan baja masing-masing benda uji

Gambar 7 menunjukkan hubungan beban dan regangan baja masing-masing benda uji. Regangan baja cenderung sama pada saat mencapai titik leleh, perbedaan regangan pada saat benda uji mencapai ultimit cenderung sama, diakibatkan karena pengaruh perendaman dengan air laut dengan waktu sampai satu tahun belum mempengaruhi tulangan yang berada dalam balok beton.



Gambar 8. Hubungan beban dan regangan beton masing-masing benda uji

Gambar 8 menunjukkan hubungan beban dan regangan beton masing-masing benda uji. Regangan maksimum dari benda uji pada saat mencapai beban ultimit cenderung turun.



Gambar 9. Hubungan beban dan regangan GFRP-Sheet masing-masing benda uji

Gambar 9 menunjukkan bahwa regangan maksimum *GFRP-Sheet* mengalami penurunan seiring dengan lama waktu rendaman air laut, ini menunjukkan bahwa pengaruh rendaman air laut akan mengurangi kapasitas rekatan pada *GFRP-Sheet* yang menyebabkan proses *debonding* cepat terjadi. Nilai regangan *GFRP-Sheet* pada benda uji BF₀, BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ menghasilkan regangan rata-rata *GFRP-S* pada saat benda uji hancur masing-masing adalah sebesar 7128 μ, 5536 μ, 5524 μ, 5470 μ dan 5442 μ. Hal ini menunjukkan bahwa benda uji hancur sebelum *GFRP-Sheet* mencapai regangan putus sebesar 20000 μ. Sehingga berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa tipe keruntuhan pada semua benda uji adalah *debonding* yaitu terlepasnya rekatan antara *GFRP-Sheet* dengan permukaan balok.

Kegagalan *debonding* dimana terlihat lepasnya ikatan antara *GFRP-Sheet* dan balok. Lepasnya *GFRP-Sheet* ini ditandai dengan bunyi krek pada benda uji hingga terlihat *GFRP-Sheet* lepas dari benda uji, dimulai dari posisi ujung hingga ke tengah benda uji. Model kegagalan semua benda uji seperti pada **Gambar 10**.

3.3 Kapasitas rekatan *GFRP-Sheet*

Kapasitas rekatan *GFRP-Sheet* dipengaruhi oleh tiga hal yaitu gaya tekan pada beton serta gaya tarik pada baja dan *GFRP-Sheet*. **Gambar 11** menunjukkan



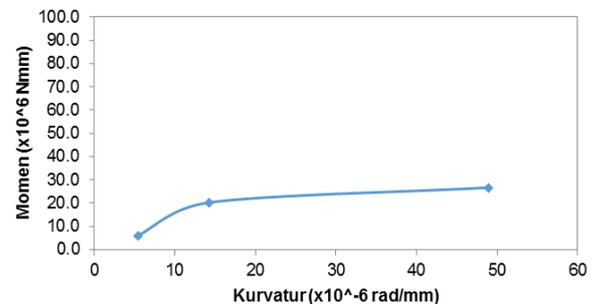
Gambar 10. Model kegagalan pada benda uji

model analisis regangan FRP yang digunakan. Model analisis ini dapat dilihat sebagai referensi dalam desain balok dengan perkuatan FRP. Untuk menghitung kapasitas rekatan *GFRP-Sheet* maka perlu dihitung terlebih dahulu nilai lengan momen *z*. Nilai lengan momen ini dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (1)**. Tinggi blok tegangan beton *c* dapat diketahui dengan menggunakan **Persamaan (2)**.

$$z = \left(h - \frac{1}{2} c \right) \quad (1)$$

$$c = \frac{\epsilon_c h}{\left(\epsilon_f + \epsilon_c \right)} \quad (2)$$

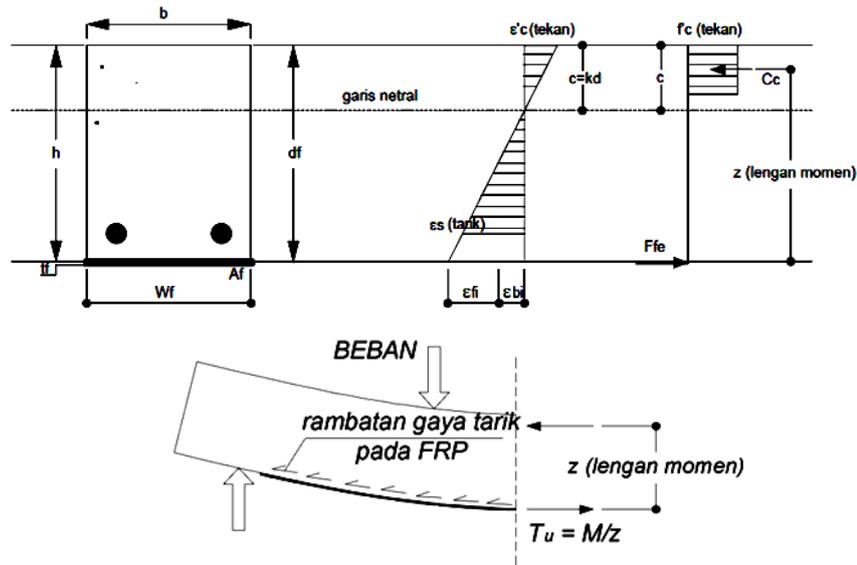
Di mana dalam persamaan ini digunakan nilai regangan hasil eksperimen. Adapun nilai regangan yang digunakan merupakan hasil eksperimen yang diperoleh yaitu berupa kondisi regangan beton ultimit, regangan baja ultimit dan regangan *GFRP-Sheet* ultimit untuk menghitung kapasitas rekatan ultimit yang terjadi. Nilai regangan baja, regangan beton dan regangan *GFRP-Sheet* ditampilkan pada gambar hubungan beban dan regangan (**Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9**).



Gambar 11. Hubungan momen kurvatur balok perkuatan *GFRP-Sheet*

Kapasitas rekatan ultimit *T_u* dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (3)**. Nilai kapasitas rekatan ultimit *T_u* sendiri diperoleh dengan cara membagi nilai momen ultimit *M_u* dengan lengan momen *z* sesuai dengan prinsip kesetimbangan gaya. Dengan demikian maka dapat diperoleh nilai kapasitas rekatan ultimit *GFRP-Sheet* dengan menggunakan data hasil eksperimen yang telah dilakukan.

$$T_u = \frac{M_u}{\left(h - \frac{1}{2} c \right)} \quad (3)$$



Gambar 12. Model analisa balok GFRP-Sheet

Tabel 5. Kapasitas rekatan GFRP-Sheet pada semua benda uji

Benda Uji	Mu [kN.mm]	Tf [kN]
BF ₀	26664,72	80,56
BF ₁	25957,08	75.84
BF ₃	25937,04	74.99
BF ₆	25656,66	74.62
BF ₁₂	25556,52	74.40

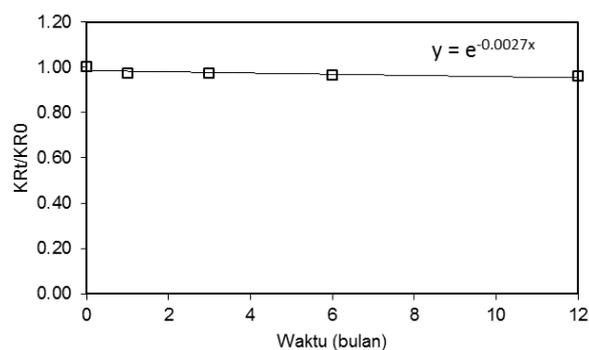
balok, ini dapat dilihat dari grafik hubungan beban dan lendutan seperti pada Gambar 13. Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa semakin lama balok direndam dalam kolam air laut maka kemampuan balok dalam menerima beban semakin menurun atau balok lebih cepat mencapai kegagalan.

3.4 Pengaruh waktu terhadap kapasitas rekatan GFRP-Sheet

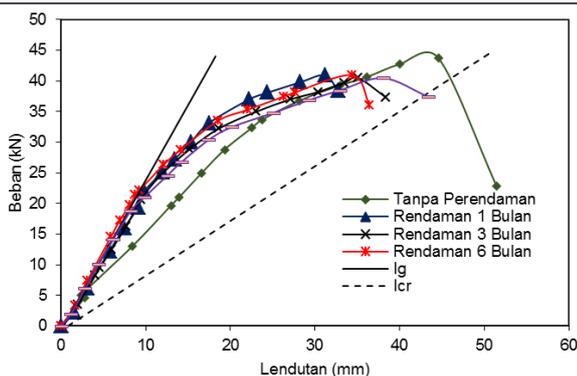
Hubungan antara penurunan kapasitas rekatan dengan waktu rendaman air laut dapat dilihat pada Gambar 14. Rasio perbandingan antara kapasitas rekatan BF_i terhadap BF₀ sebesar 1,000; 0,941; 0,931; 0,926 dan 0,924 secara berurutan untuk tanpa perendaman dan lama perendaman 1 bulan, 3 bulan, 6 bulan dan 12 bulan.

Rasio kapasitas rekatan (y) terhadap waktu perendaman yang dinyatakan dalam bulan (x) menunjukkan pola kecenderungan garis eksponensial. Persamaan garis eksponensial ini merupakan persamaan korelasi yang menunjukkan hubungan antara kapasitas rekatan terhadap waktu rendaman. Persamaan korelasi ini dapat dilihat dalam Persamaan (4).

$$y = e^{-0.0045x} \quad (4)$$



Gambar 14. Pengaruh waktu terhadap rasio kapasitas rekatan GFRP-Sheet



Gambar 13. Hubungan beban dan lendutan pada tengah bentang

Dari Tabel 5 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kapasitas rekatan dari benda uji BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ terhadap BF₀. Adapun nilai kapasitas rekatan yang dihasilkan dari BF₀, BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ adalah 80,56 kN, 75,84 kN, 74,99 kN, 74,62 kN dan 74,40 kN. Dari data kapasitas rekatan, dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan kapasitas rekatan dari benda uji BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ terhadap BF₀. Persentase penurunan kapasitas rekatan dari benda uji BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ terhadap BF₀, masing-masing adalah 7,85%; 8,89%; 9,33% dan 11,04%, penurunan kapasitas rekatan ini disebabkan menurunnya daya rekat GFRP-Sheet setelah dipengaruhi rendaman air laut. Penurunan kapasitas rekatan menyebabkan penurunan kekakuan

Dari hasil penelitian Robby, dkk. (2015) dan Gambar 14 diperoleh persamaan hubungan antara waktu perendaman air laut dengan kapasitas rekatan yaitu Persamaan (5).

$$KR_t = KR_0 \cdot e^{-0,0045t} \quad (5)$$

dimana KR_t = Kapasitas rekatan setelah perendaman t tahun, KR_0 = Kapasitas rekatan sebelum perendaman dan t adalah lama perendaman dalam tahun.

Dari Persamaan 5 dapat diketahui kapasitas rekatan *GFRP-Sheet*, yaitu kemampuan serat *GFRP-Sheet* dalam menerima beban sebelum terlepas dari permukaan beton. Semakin lama direndam dalam air laut maka daya rekat atau kapasitas rekatan *GFRP-Sheet* semakin menurun sehingga kemampuan balok dalam menahan momen akibat lentur akan semakin menurun.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kapasitas lentur benda uji akan semakin menurun seiring dengan waktu rendaman. Besar kapasitas lentur benda uji BF₀, BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ masing-masing adalah 26.66 kNm, 25.96 kNm, 25.94 kNm dan 25.66 kNm
2. Kegagalan yang terjadi pada semua benda uji adalah kegagalan rekatan atau *debonding failure* dimana terlihat lepasnya ikatan antara *GFRP-S* dan balok
3. Terjadi penurunan kapasitas rekatan dari benda uji BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ terhadap BF₀. Persentase penurunan kapasitas rekatan dari benda uji BF₁, BF₃, BF₆ dan BF₁₂ terhadap BF₀, masing-masing adalah 7,85%; 8,89%; 9,33% dan 11,04%.
4. Akibat perendaman air laut memberikan dampak terhadap penurunan kapasitas rekatan *GFRP-Sheet* pada balok yang selanjutnya menurunkan kapasitas lentur balok beton bertulang.
5. Hubungan kapasitas rekatan *GFRP-Sheet* dengan waktu rendaman menunjukkan hubungan pola eksponensial yang cenderung semakin menurun terhadap waktu

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada Kementerian Riset dan Teknologi melalui program Hibah Penelitian Disertasi Doktor atas pembiayaan penelitian ini, kepada PT. Graha Citra Anugerah Lestari yang telah memberikan sumbangan *GFRP type SEH51*, mahasiswa yang telah membantu serta staf Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Daftar Pustaka

- Alami, Fikri., 2010. *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Jurnal Seminar dan Pameran Haki.
- Banthia, N., et al., 2009, *Field Assessment Of FRP Sheets-Concrete Bond Durability*, SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria)
- Djamaluddin, R., and Hino, S., 2011, Kapasitas Lentur Perkuatan Balok Beton Bertulang yang Telah Meleleh Menggunakan Lembaran *GFRP*, *Media Teknik Sipil* 11 (3) : 293 - 300.
- Djamaluddin, R., Irmawati, R., K dan Kwandouw, R., 2015, Kapasitas Rekatan *GFRP-S* pada Balok Beton Akibat Perendaman Air Laut., *Jurnal Teknik Sipil*, Vol 22 No. 1: 23-30.
- Guo, Z.G., Cao, S.Y., Sun, W.M., and Lin, X.Y., 2005, *Experimental Study on Bond Stress-Slip Behaviour Between FRP Sheet and Concrete*, Proceedings of the International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures (BBFS 2005) : 77-84.
- Khaled Sudki., et al., 2009, *FRP Repair of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams* 5 (6) : 453-439.
- Lu, X.Z., Teng, J.G., Ye, L.O., and Jiang, J.J., 2007, Intermediate Crack Debonding in FRP-Strengthened RC Beams. *ASCE* 2007 : 161-174
- Robby, S.K., Djmaluddin, R., dan Irmawati, R., 2015, Pemodelan Laboratorium Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Kapasitas Rekatan *GFRP-S* pada Balok Beton Bertulang, *Jurnal Tugas Akhir Program Magister Teknik Sipil UNHAS*.
- Rose, A. Leema. et al., 2009, Strengthening of Corrosion-Damaged Reinforced Concrete Beams with Glass Fiber Reinforced Polymer and Laminates, *Journal of Computer Science* 5 (6) : 453-439
- Sultan, M.A., Parung, H., Tjaronge, W., dan Djmaluddin, R. 2015, Effect of Marine Environment to the Concrete Beams Strengthened Using *GFRP Sheet*, *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 7, No. 1 : 21- 24.
- Sultan, M.A., Djmaluddin, R., Tjaronge, W. dan Parung, H. 2015, Flexural capacity of concrete beams strengthened using *GFRP sheet* after seawater immersion Effect of Marine Environment to the Concrete Beams Strengthened Using *GFRP Sheet*, *Procedia Engineering* (125): 644- 649.
- Teng, J.G., and Chen, J.F., 2007, *Debonding Failure of RC Beam Strengthened with Externally Bonded RC Members*. *APFIS* 2007 : 33-42

