

DELAMINASI LEMBAR GFRP PADA BALOK BETON BERTULANG

Oleh

Hijriah ¹, Herman Parung ², Rudy Djamaruddin ³ dan Rita Irmawaty ⁴

Email: hijriah_civil@ymail.com

¹ Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin

^{2, 3, 4} Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jalan Poros Malino Km. 6, Gowa, Sulawesi Selatan

ABSTRAK

Balok sebagai salah satu komponen struktur yang sering menggunakan beton bertulang sebagai material penyusunnya, terkadang dalam membuat desainnya masih sering kali terjadi kesalahan, sehingga hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada balok. Kerusakan yang terjadi pada beton bertulang biasanya ditandai dengan munculnya retakan, apabila tidak segera diatasi maka dapat berlanjut pada keruntuhan struktur. Belakangan ini telah ditemukan teknologi Fiber Reinforced Polymer (FRP) yang dapat digunakan sebagai alternatif perbaikan dan perkuatan struktur. Namun demikian salah satu mode kegagalan pada beton bertulang dengan perkuatan FRP yaitu delaminasi.

Delaminasi pada area lekatan FRP dapat menyebabkan penurunan kapasitas komponen yang signifikan yang menyebabkan kegagalan dini dari balok beton bertulang. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peningkatan kapasitas pada balok yang diperkuat GFRP dan menganalisis perilaku delaminasi pada balok GFRP. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Hasanuddin. Benda uji terdiri dari 12 buah balok bertulang dengan dimensi 15 cm x 20 cm x 330 cm yang telah diperkuat dengan GFRP pada daerah lentur. Data yang diamati adalah beban maksimum, lendutan dan mode keruntuhan balok.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok dengan perkuatan GFRP mampu meningkatkan kapasitas lentur dari balok sebesar 4.14 % terhadap balok normal. Mode keruntuhan yang terjadi pada benda uji disebabkan karena kegagalan lekatan antara beton dengan GFRP (delaminasi). Benda uji menunjukkan perilaku yang sama saat delaminasi mulai terjadi yaitu hubungan beban regangan antara baja dan FRP sudah tidak beriringan dan ditandai dengan terdengarnya bunyi kecil, bunyi sedang, bunyi besar yang menandakan bahwa GFRP mulai terlepas dari permukaan beton.

Kata kunci: Delaminasi, Glass Fiber Reinforced Polymer.

I. PENDAHULUAN

Kerusakan yang terjadi pada beton bertulang biasanya ditandai dengan munculnya retakan, apabila tidak segera diatasi maka dapat berlanjut pada keruntuhan struktur. Permasalahan struktur tersebut menyebabkan konstruksi yang telah berdiri biasanya langsung dibongkar tanpa mempertimbangkan adanya kemungkinan perbaikan atau perkuatan. Padahal pada tingkat kerusakan tertentu, suatu elemen struktur beton bertulang dapat diperkuat atau diperbaiki.

Perbaikan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar

mampu menahan beban sesuai dengan beban rencana. Umumnya, struktur perlu diperkuat apabila terjadi perubahan fungsi bangunan sehingga perlu tambahan faktor keamanan atau pada saat perencanaan, elemen-elemen strukturnya dirancang sesuai tata cara yang lama dimana aturan beban nominalnya lebih rendah dari yang ditetapkan oleh tata cara saat ini.

Belakangan ini telah ditemukan teknologi Fiber Reinforced Polymer (FRP) yang dapat digunakan sebagai alternatif perbaikan dan perkuatan struktur. Walaupun cukup mahal namun material ini merupakan material yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas,

lebih ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk dibawa ke lokasi.

Sistem perkuatan FRP pada balok dilakukan dengan cara ditempel pada permukaan balok dengan menggunakan perekat epoxy. Namun demikian salah satu mode kegagalan pada beton bertulang dengan perkuatan FRP yaitu kegagalan lekatannya lembar FRP yang menyebabkan terlepasnya ikatan antara FRP dengan beton (delaminasi).

Delaminasi pada area lekatannya FRP dapat menyebabkan penurunan kapasitas komponen yang signifikan yang menyebabkan kegagalan dini dari balok beton bertulang yang diperkuat dengan lapisan FRP. Berdasarkan uraian latar belakang diatas dan setelah dilakukan penulisan pustaka, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana karakteristik perilaku delaminasi lembaran GFRP pada balok beton bertulang dan bagaimana kapasitas rekatannya lembaran GFRP pada balok beton bertulang.

Oleh karena itu, penulis memandang perlu melakukan penelitian mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi delaminasi lembaran GFRP pada balok beton bertulang dan meningkatkan pengetahuan mengenai pengaruh delaminasi terhadap kapasitas balok beton bertulang yang dilapisi GFRP.

II. METODOLOGI

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 20 cm x 330 cm. Pengecoran benda uji menggunakan *ready mix* dengan kuat tekan f'_c sebesar 25 Mpa. Benda uji terdiri dari balok normal sebanyak 3 buah dan balok variasi I sebanyak 3 buah. Balok normal digunakan sebagai balok kontrol dengan simbol BN1, BN2 dan BN2. Sedangkan balok variasi I merupakan balok yang diperkuat GFRP pada bagian lenturnya sepanjang bentang yang disimbolkan dengan BGA1, BGA2 dan BGA3.

GFRP yang digunakan pada penelitian ini merupakan produk dari Fyfe Company, yaitu Tyfo® The Fiberwrap Composite System SEH-51A dengan karakteristik bahan yang dapat dilihat pada tabel 1.

Pengujian benda uji dilakukan dengan pembebanan yang bersifat statik dengan kecepatan ramp actuator konstan sebesar 0,1

mm/s sampai balok runtuh seperti yang terlihat pada gambar 1. Data yang diamati adalah mode kegagalan balok GFRP, beban maksimum, kapasitas lentur balok, regangan dan lendutan. Pada saat pengujian juga diadakan pengukuran lendutan dengan memasang LVDT pada bagian bawah benda uji, pengukuran beban dapat dilihat pada *Load Cell* serta pengukuran regangan baja, beton dan GFRP dengan menggunakan *strain gauge*. Instrument tersebut kemudian dihubungkan dengan *data logger* untuk merekam data ke dalam komputer. Adapun posisi *strain gauge* baja, *strain gauge* beton dan *strain gauge* GFRP pada benda uji dapat dilihat pada gambar 2, 3 dan 4.

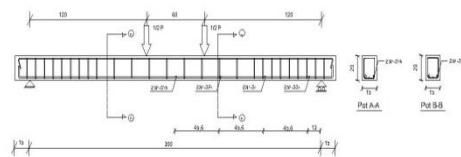
Tabel 1. Karakteristik Bahan GFRP

Properti Material GFRP	Keadaan Komposit	Keadaan Lepas
Tegangan tarik	575 Mpa	3240 Mpa
Modulus tarik	26.1 Gpa	72.4 Gpa
Tebal lapisan	1.3 mm	0.36 mm

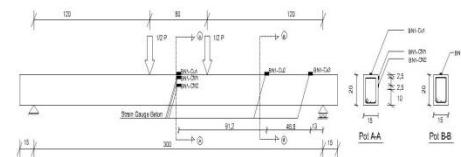
Sumber : Fyfo.Co LLC



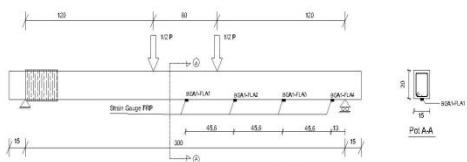
Gambar 1. Set Up Benda Uji



Gambar 2. Posisi Strain Gauge Baja pada Benda Uji



Gambar 3. Posisi Strain Gauge Beton pada Benda Uji



Gambar 4. Posisi *Strain Gauge* GFRP pada Benda Uji

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kapasitas Beban Maksimum

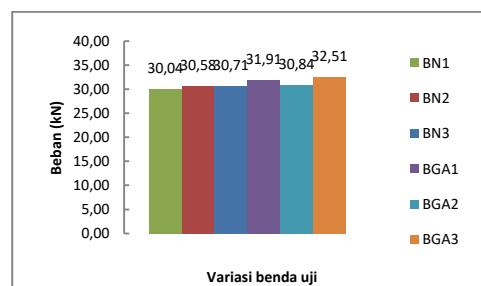
Pengujian benda uji dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap setiap kenaikan beban 1 kN hingga mencapai pembebanan maksimum dimana ditunjukkan dengan hancurnya balok pada beton normal dan terlepasnya ikatan GFRP dari beton pada balok variasi I. Penambahan GFRP pada balok beton bertulang menghasilkan nilai kapasitas beban yang berbeda. Adapun perbandingan beban maksimum untuk seluruh benda uji dapat dilihat pada tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa beban maksimum pada balok normal adalah sebesar 30.04 kN, 30.57 kN dan 30.70 kN sedangkan pada balok BGA1, BGA2 dan BGA3 berturut-turut sebesar 31.91 kN, 30.84 kN dan 32.51 kN.

Dari gambar 5 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan satu lapis GFRP di sepanjang bentang balok pada bagian lentur dapat meningkatkan kemampuan kapasitas balok dalam menahan beban ultimit. Dimana nilai beban maksimum rata-rata dari balok normal sebesar 30.44 kN dan beban maksimum rata-rata balok variasi sebesar 31.75 kN. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas beban ultimit pada balok variasi I terhadap balok normal yaitu sebesar 4.31 %.

Peningkatan beban balok yang diperkuat GFRP terhadap balok tanpa perkuatan (balok normal) disebabkan karena adanya penambahan lapisan GFRP pada balok, dimana GFRP memiliki kemampuan untuk menahan beban lentur dan akan bekerja secara maksimal ketika balok 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 masih merekat pada beton.

Tabel 2. Beban Ultimit

Kode Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Beban Maksimum Rata-Rata (kN)	Persentasi Kenaikan (%)
BN1	30.04		
Balok Normal	BN2	30.57	30.44
	BN3	30.70	-
Balok Variasi I	BGA 1	31.91	
	BGA 2	30.84	31.75
	BGA 3	32.51	4.31%

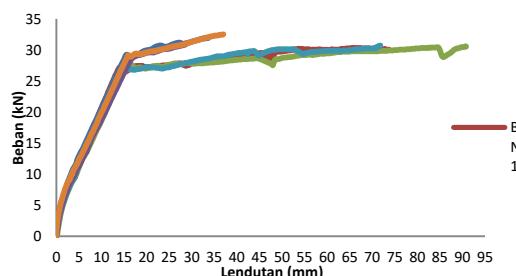


Gambar 5. Histogram Beban Maksimum

B. Hubungan Beban dan Lendutan

Beban Maksimum dan Lendutan Balok

Kode Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Lendutan Tengah Bentang (mm)
BN1	30.04	73.74
BN2	30.57	90.80
BN3	30.70	71.83
BGA 1	31.91	33.69
BGA 2	30.84	28.62
BGA 3	32.51	37.03



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan pada Tengah Bentang Balok

Untuk mengetahui besarnya nilai lendutan (defleksi) yang terjadi pada benda uji, dilakukan pengukuran defleksi dengan menggunakan LVDT yang dihubungkan ke komputer. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa lendutan maksimum pada

masing-masing balok uji yaitu, balok BN1 menghasilkan lendutan sebesar 73.74 mm dengan beban maksimum sebesar 30.04 kN, balok BN2 menghasilkan lendutan sebesar 90.80 mm dengan beban maksimum sebesar 30.57 kN, balok BN3 menghasilkan lendutan sebesar 71.83 mm dengan beban maksimum sebesar 30.70 kN, balok BGA1 menghasilkan lendutan sebesar 33.69 mm dengan beban maksimum sebesar 31.91 kN, balok BGA2 menghasilkan lendutan sebesar 28.62 mm dengan beban maksimum sebesar 30.84 kN dan balok BGA3 menghasilkan lendutan sebesar 37.03 mm dengan beban maksimum sebesar 32.51 kN. Besar lendutan dan beban maksimum dapat dilihat pada tabel 3.

Gambar 6 memperlihatkan perbedaan kekuatan antara benda uji Balok GFRP (BGA1, BGA2 dan BGA3) terhadap balok normal (BN1, BN2 dan BN3). Namun sifat balok normal lebih daktail dibandingkan dengan balok GFRP. Hal ini dapat dilihat dari besar lendutan yang ada, dimana balok normal memiliki lendutan yang cenderung lebih besar dibandingkan balok GFRP.

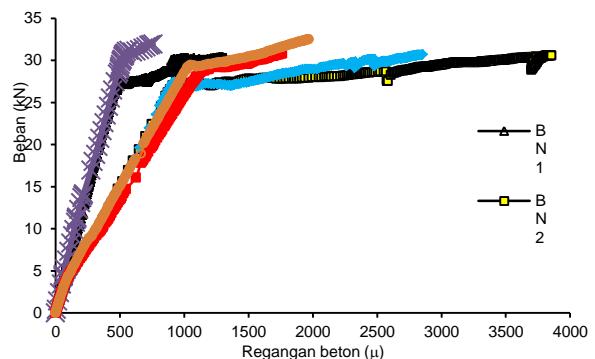
a. Hubungan Beban dan Regangan

Regangan beton yang dimaksud merupakan regangan tekan beton hasil pembacaan strain gauge yang terdapat pada tengah bentang. Sementara regangan GFRP yang diperoleh merupakan regangan tarik yang diperoleh dari pembacaan strain gauge, juga pada tengah bentang balok.

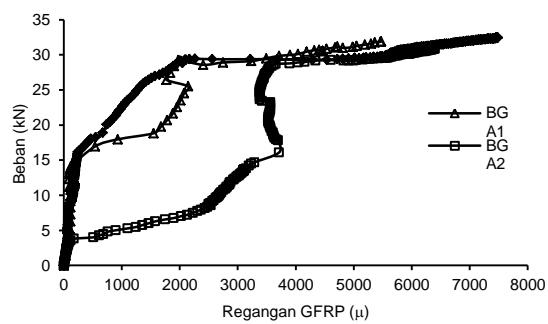
Gambar 7 menunjukkan hubungan beban dan regangan beton. Terlihat secara jelas peningkatan nilai beban diikuti dengan peningkatan nilai regangan, baik untuk regangan beton maupun regangan GFRP. Nilai regangan tekan beton untuk kondisi beban ultimit pada BN1, BN2 dan BN3 berturut-turut sebesar sekitar 901.09, 3856.34 dan 2852.58, sedangkan untuk balok BGA1, BGA2 dan BGA3 sebesar 758.06, 1760.56 dan 1969.95.

Pada gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara beban dan regangan GFRP. Dari grafik terlihat bahwa balok BGA1, BGA2 dan BGA3 menghasilkan regangan rata-rata GFRP pada saat benda uji hancur masing-masing adalah sebesar 5471.7μ , 6397.17μ dan 7454.72μ . Hal ini menunjukkan bahwa balok hancur sebelum GFRP mencapai regangan putus sebesar 20000μ . Sehingga

dapat disimpulkan bahwa mode kegagalan yang terjadi pada semua balok yang diperkuat dengan GFRP adalah *debonding failure* dan delaminasi.

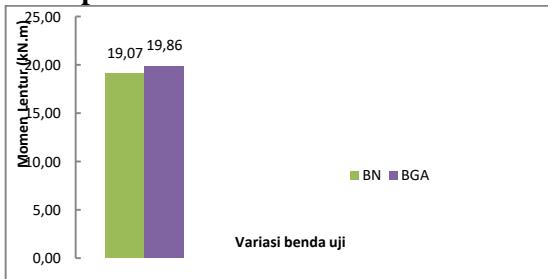


Gambar 7. Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton



Gambar 8. Grafik Hubungan Beban dan Regangan GFRP

b. Kapasitas Lentur



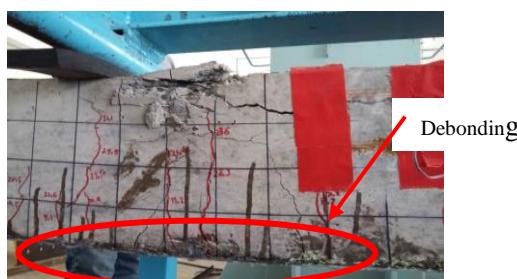
Gambar 9. Histogram Kapasitas Lentur Benda Uji

Dari gambar 9 terlihat perbedaan yang jelas antara balok normal dengan balok GFRP, dimana terjadi peningkatan rata-rata kekuatan lentur sekitar 4.14%, ini memperlihatkan bahwa GFRP dapat meningkatkan kapasitas lentur pada balok kontrol.

c. Mode dan Mekanisme Keruntuhan Balok GFRP

Pada gambar 10 dan 11 terlihat BGA1 dan BGA2, mengalami mode kegagalan *debonding failure*. Lepasnya GFRP diawali pada tengah bentang balok akibat retakan yang kemudian merambat hingga keujung lekatan. Sedangkan pada gambar 12, benda uji BGA3 mengalami mode kegagalan yang disebut delaminasi. Delaminasi adalah lepasnya ikatan laminasi GFRP dari permukaan balok. Lepasnya GFRP ini ditandai dengan bunyi krek pada tengah bentang benda uji hingga terlihat laminasi GFRP terlepas dan mengalami patah serat.

Kegagalan tersebut dapat terjadi karena GFRP memiliki mutu yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton dan baja tulangan sehingga pada saat beban yang diterima melampaui kapasitas material tersebut, maka baja tulangan dan beton akan meleleh terlebih dahulu. Karena beton dan baja tulangan telah meleleh terlebih dahulu, maka reaksi komposit antara permukaan beton dengan GFRP berkurang sehingga GFRP terlepas dari beton.



Gambar 10. Model Kegagalan BGA1



Gambar 11. Model Kegagalan BGA2



Gambar 12. Model Kegagalan BGA3

C. KESIMPULAN

1. Terjadi peningkatan kapasitas beban ultimit pada balok GFRP (BGA1, BGA2 dan BGA3) terhadap balok normal yaitu sebesar 4.31%.
2. Balok dengan perkuatan GFRP mampu meningkatkan meningkatkan kapasitas lentur dari balok sebesar 4.14 %.
3. Mode kegagalan yang terjadi pada semua benda uji adalah kegagalan lekatan antara beton dengan GFRP (*debonding failure* dan delaminasi).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengelola Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar dan PT. Fyfe Fibrwerp Indonesia atas bantuan dan kerjasamanya dalam menyediakan material GFRP dan CFRP.

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.
- Astika, M. 2012. *Analisa Delaminasi Pada Glass Fiber Reinforced Polymer Komposit Laminat Dengan Pembebanan Fatigue*. Dinamika Teknik Mesin, Volume 2 No.1, Januari 2012. Universitas Udayana, Jimbaran, Bali.
- Djamaluddin, R., Akkas, A.M, Irmawaty, R, 2013, *Debonding Behavior Of GFRP Sheet Reinforced Concrete*, Singapore.
- Djamaluddin, R. and Sultan, M. A, 2014, *Bond Characteristics of GFRP Sheet on Strengthened Concrete Beams due to Flexural Loading*, Jeju Island, Korea, IACSIT, The 4th International Conference on Civil Engineering and Materials (ICCEM 2014).
- Pratama, M. Y, 2014, *Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP Dan GFRP*, Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang.

- Sultan, M. A., Djamaruddin, R., Parung, H., Tjaronge, M. W. 2014. *Pengaruh Lingkungan Laut Terhadap Efektifitas GFRP Sheet Sebagai Bahan Perkuatan Elemen Lentur*. Seminar Nasional X-2014 Teknik Sipil ITS, Surabaya.
- Teng, J.G, Chen, J.F. 2007. *Debonding Failures of RC Beams Strengthened with Externally Bonded FRP Reinforcement: Behaviour and Modelling*. Asia Pacific Conference on FRP in Structures. Hongkong: Department of Engineering.
- Travesa, A.T. 2007. *Simulation Of Delamination In Composites Under Quasi-Static And Fatigue Loading Using Cohesive Zone Models*. Universitat de Girona. Spain.