

## PERKUATAN CFRP-S PADA STRUKTUR YANG TELAH RUSAK SETELAH MENGALAMI KEGAGALAN AKIBAT BEBAN BERLEBIH

Arbain Tata<sup>1</sup>, Kusnadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil FT Unkhair

\*[arbain.tata@unkhair.ac.id](mailto:arbain.tata@unkhair.ac.id)

**Abstrak:** Pada penelitian ini dilakukan perkuatan pada balok beton bertulang yang telah mengalami kegagalan struktur dengan menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga buah variasi sampel yakni, balok tanpa perkuatan CFRP (BN), Balok Perkuatan CFRP (BF), dan Balok Perkuatan CFRP Pasca Ultimit (BNF) dengan tujuan untuk mendapatkan perbandingan diantara ketiga benda uji sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh CFRP pada perkuatan balok beton bertulang. Sampel BNF merupakan sampel BN yang telah dibebani beban *two point load* hingga mengalami retak kemudian diperkuat dengan CFRP. Pada penelitian ini sampel yang digunakan berdimensi 10 x 15 x 60 cm dengan jumlah dua endu uji tiap variasi. Keenam balok ini dibebani sampai retak sehingga diketahui beban maksimal yang dapat ditahan oleh balok. Perkuatan menggunakan CFRP sangat efektif karena material ini mempunyai kuat tarik yang sangat besar. Profil material ini sangat tipis dan ringan sehingga sangat baik untuk struktur dan tidak menambah beban yang signifikan pada struktur. Hasil penelitian dan analisis menunjukkan bahwa balok dengan perkuatan CFRP dapat menahan beban hingga 28,25% dari balok tanpa perkuatan CFRP, sedangkan balok perkuatan CFRP *Pasca Ultimate* dapat menahan beban hingga 16,03% dari balok tanpa perkuatan CFRP. Dari hasil fenomena ini menunjukkan bahwa balok yang telah mengalami kerusakan pun masih dapat diperbaiki dengan perkuatan CFRP dan mampu melampaui kekuatan balok sebelumnya (Balok Normal).

**Kata kunci:** CFRP, Perkuatan, Kuat Lentur

**Abstract:** In this study, reinforcement was carried out on reinforced concrete beams that had experienced using structural failure Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). This study was conducted using three sample variations, namely, beams without CFRP reinforcement (BN), CFRP Reinforced Beam (BF), and Post-Ultimate CFRP Reinforced Beam (BNF) with the aim of obtaining a comparison between the three test objects so that it can be known how much influence CFRP has on the reinforcement of reinforced concrete beams. The BNF sample is a BN sample that has been loaded with a two-point load until it cracks and is then reinforced with CFRP. In this study, the samples used were 10 x 15 x 60 cm in size with two test specimens for each variation. These six beams were loaded until they cracked so that the maximum load that could be supported by the beam was known. Reinforcement using CFRP is very effective because this material has a very high tensile strength. The profile of this material is very thin and light so it is very good for structures and does not add significant load to the structure. The results of the study and analysis show that beams with CFRP reinforcement can withstand loads up to 28.25% of beams without CFRP reinforcement, while beams with Post-Ultimate CFRP reinforcement can withstand loads up to 16.03% of beams without CFRP reinforcement. The results of this phenomenon indicate that beams that have been damaged can still be repaired with CFRP reinforcement and are able to exceed the strength of the previous beam (Normal Beam).

**Key Word:** CFRP, Reinforcement, Flexural Strength

### I. PENDAHULUAN

Kerusakan pada struktur beton sering terjadi diakibatkan oleh umur struktur, perubahan pembebanan ataupun bencana alam seperti gempa bumi. 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 dikembangkan Fiber Reinforced Polymer (FRP) sebagai material solusi perkuatan dan perbaikan struktur yang telah banyak digunakan saat ini.

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai rencana. Perkuatan struktur dapat dilakukan dalam beberapa metode. Metode perkuatan struktur bisa dilakukan dengan cara penyelubungan dengan beton atau Concrete Jacketing, penyelubungan dengan baja atau Steel Jacketing dan penyelubungan dengan material ringan komposit yaitu Fiber Reinforced Polymer (FRP) [1],[2],[3] dan [4].

FRP adalah jenis material yang ringan, mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi (7-10 kali lebih tinggi dari baja), dan mudah dalam pelaksanaannya di lapangan. FRP dapat terbuat dari 3(tiga) bahan komposit, yaitu Carbon, Glass, dan Aramid. Perkuatan struktur gedung ini direncanakan menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). CFRP lebih mudah dilakukan dalam pelaksanaannya di lapangan karena tidak perlu membongkar elemen struktur eksisting sehingga dapat mempercepat pengerjaan konstruksinya [5] dan[6].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku beton bertulang yang telah mengalami kegagalan struktur kemudian diperkuat dengan CFRP agar di peroleh suatu informasi mengenai seberapa besar pengaruh perkuatan CFRP pada beton yang telah mengalami kegagalan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) adalah jenis material perkuatan struktur yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas, bobotnya ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk membawanya ke lokasi [7]. serat karbon yang didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon seperti pada gambar 1. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan system CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas. Cara pemasangan CFRP adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat epoxy resin. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional [8].

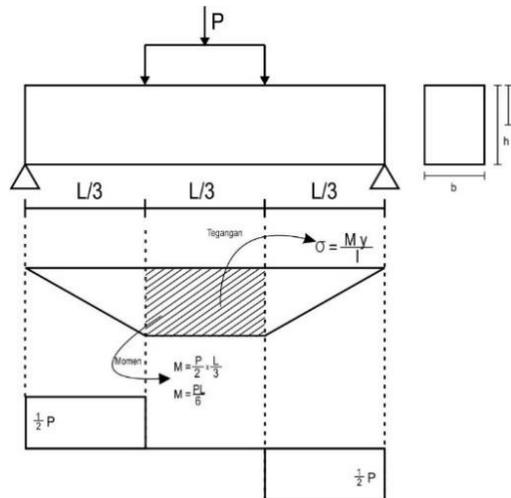


Gambar 1. Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)

Untuk merekatkan antara CFRP sheet dengan balok digunakan epoxy resin, proses perekatannya berjalan selama 5 – 7 hari agar perekatannya bekerja sempurna sehingga dapat memberikan kekuatan maksimal [9].

Perekat yang dipakai adalah jenis epoxy adhesives yang terdiri dari dua komponen, yaitu komponen A yang berwarna putih dan komponen B yang berwarna abu-abu tua. Perbandingan antara campuran komponen A : komponen B adalah 3 : 1 dan warna setelah tercampur adalah hitam, Konsumsi perekat (bahan A + bahan B) sebesar + 0,34 kg/m yang dioleskan pada permukaan beton dan permukaan CFRP secara merata.

Kuat lentur adalah kemampuan benda uji untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah. Pengujian ini berpatokan pada standar SNI 03-4431-2011 yaitu cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan, dan standar SNI 03-2493-1991 yaitu pembuatan dan perawatan benda uji beton di Laboratorium. Skema pembebanan kuat lentur panel dapat digambarkan menggunakan gambar 2.



Gambar 2. Sketsa Pembebanan Kuat Lentur

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat lentur beton adalah:

$$\sigma = \frac{M y}{I} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{\frac{PL}{6} \cdot \frac{1}{2} h}{\frac{1}{12} b h^3}$$

$$\sigma = \frac{PL}{b h^2} \quad (2)$$

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan Lentur (N/mm<sup>2</sup>)

P = Beban pada waktu lentur (N)

L = Jarak antar perletakan (mm)

b = Lebar penampang balok (mm)

h = tinggi penampang balok (mm)

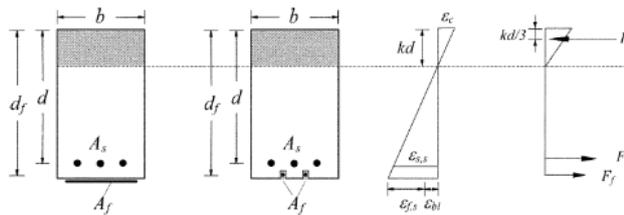
y = Jarak dari sumbu netral (mm)

M = Momen yang bekerja pada penampang (Nmm)

I = Momen inersia penampang (mm<sup>4</sup>)

Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) yang dipasang secara eksternal pada balok beton sebagai external confinement, diprediksi akan meningkatkan sifat mekanik beton, meningkatkan daktilitas dan kapasitas beton, perkuatan lentur [9]. Kapasitas lentur balok didasarkan pada kekuatan batas ultimit, yang ditentukan oleh batasan kuat tekan beton dan tegangan leleh baja tulangan serta tegangan efektif Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP).

Dalam analisis penampang sebagai dasar perhitungan untuk mendapatkan  $M_n$  pada kondisi lentur murni dapat diturunkan dari persamaan kesetimbangan gaya-gaya dalam sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram regangan – tegangan balok dengan perkuatan CFRP

$$\Sigma H = 0$$

$$T_s + T_{fe} = C_c \tag{3}$$

Dimana:

$T_s$  = gaya tarik baja tulangan

$T_{fe}$  = gaya tarik sumbangan Fiber Reinforced Polymer

$C_c$  = gaya tekan beton

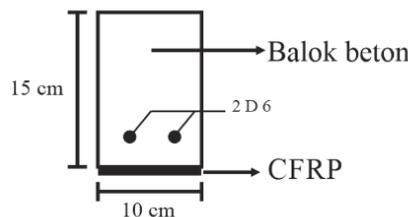
Kekuatan lentur nominal penampang dengan FRP penguatan eksternal dapat dihitung dari Persamaan (2.8). Pada faktor reduksi tambahan untuk FRP,  $\psi_f$  diterapkan pada kontribusi kekuatan lentur tulangan FRP. Nilai yang disarankan  $\psi_f$  adalah 0,85. Faktor reduksi ini untuk kontribusi kekuatan penguatan FRP yang didasarkan pada statistik yang dikalibrasi secara eksperimental sifat-sifat kekuatan lentur (ACI 440.2R-08).

$$M_n = A_s f_s \left( d - \frac{\beta_1 C}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left( h - \frac{\beta_1 C}{2} \right) \tag{4}$$

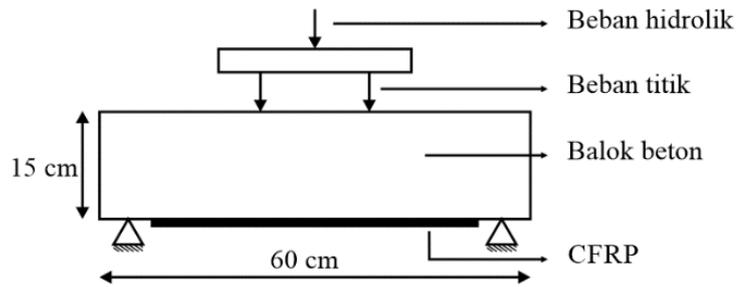
Karena pertimbangan kompatibilitas regangan CFRP sebaiknya hanya digunakan untuk menahan gaya tarik. Selain itu disarankan bahwa kuat lentur nominal balok setelah diperkuat  $M_n$  tidak boleh melebihi dua kali kuat lentur sebelum diperkuat  $M_{no}$  atau  $\eta B = \frac{M_n}{M_{no}} \leq 2$

### III. Metodologi

Uji eksperimental dilakukan di laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Fakultas Teknik Universitas Khairun, yaitu pengujian terhadap dua balok beton normal, dua balok beton yang diperkuat dengan Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) dan dua balok beton retak yang diperkuat dengan CFRP, dengan cara menggunakan epoxy resin sebagai perekat antara balok dengan lapis lembar CFRP yang berfungsi sebagai perkuatan lentur balok. Sebelum melakukan uji kuat lentur terhadap balok maka dilakukan uji bahan terlebih dahulu agar material yang digunakan sesuai dengan standar. Uji yang dilakukan mengacu pada Standar Beton Bertulang Untuk Struktur SNI-2847-2013 dan Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa SNI – 7656 - 2012. Uji bahan yang dilakukan meliputi uji berat jenis agregat halus, uji gradasi agregat halus, uji berat jenis agregat kasar, uji gradasi agregat kasar, uji kuat tekan, dan uji kuat lentur. Set up uji kuat lentur balok ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Tujuh sampel balok dibuat dimana dua balok beton bertulang, dua balok beton bertulang diperkuat CRFP, dua balok beton bertulang retak diperkuat CFRP dan satu balok beton lainnya diuji tanpa perkuatan. Masing-masing balok mempunyai dimensi 15 x 15 x 60 cm.



Gambar 3. Penampang Balok Yang diperkuat CFRP



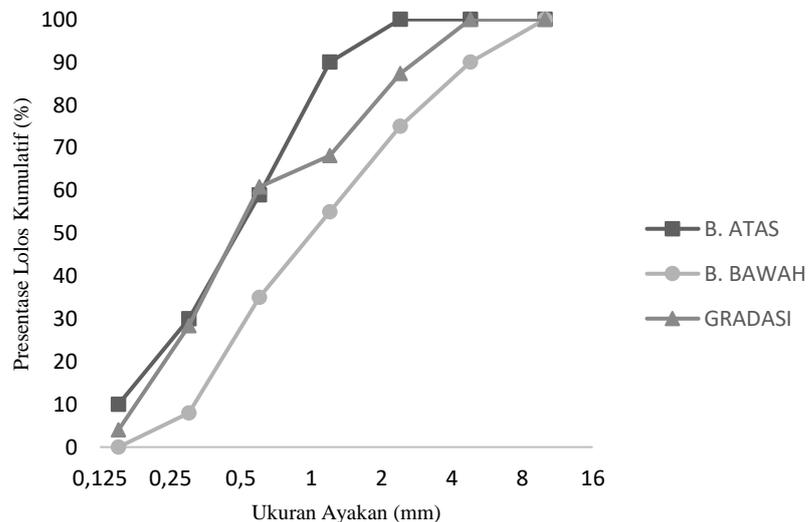
Gambar 4. Set-up pengujian kuat lentur pada balok CFRP

#### IV. Hasil dan Pembahasan

Agregat halus yang digunakan dalam pengujian ini berupa pasir pantai yang berasal dari kelurahan Togafo, Kota ternate. Adapun hasil rekapitulasi pengujian agregat halus seperti pada Tabel. I

Tabel I. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Ket
Kadar Lumpur	1,03 %	0,2 – 5,0 %	Memenuhi
Kadar Air	3,15 %	3,0 – 5,0 %	Memenuhi
Penyerapan Air	1,53 %	0,2 – 2,0 %	Memenuhi
Berat Jenis Kering Oven	2,54	1,6 – 3,2	Memenuhi
Berat Kering Permukaan Jenuh	2,58	1,6 – 3,2	Memenuhi
Berat Jenis Semu	2,64	1,6 – 3,2	Memenuhi
Modulus kehalusan	2,51 %	1,5 – 3,8 %	Memenuhi

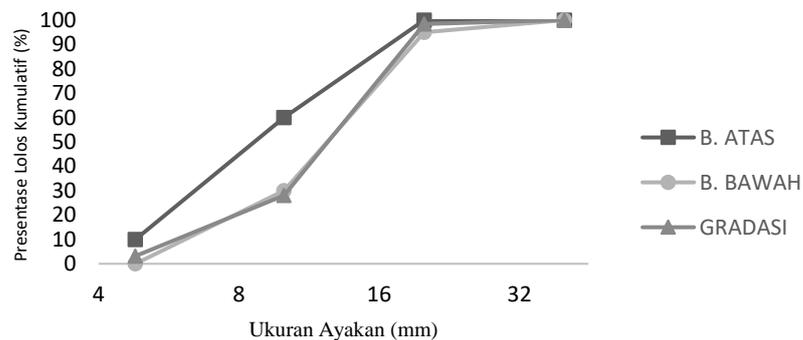


Gambar 5. Grafik Agregat Halus Pasir Normal Togafo

Agregat kasar yang digunakan pada pengujian ini berasal dari Kali Oba Sofifi, Kota Tidore. Pengujian karakteristik agregat kasar, yang meliputi pengujian kadar lumpur, kadar air, penyerapan air agregat, berat jenis kering oven, berat jenis kering permukaan jenuh air, berat jenis semu, modulus kehalusan agregat, dan keausan atau abrasi. Adapun hasil pengujian karakteristik agregat kasar kalumata dapat dilihat pada Tabel II.

Tabel II. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi SNI	Ket
Kadar Lumpur	0,67 %	0,2 – 1,0 %	Memenuhi
Kadar Air Agregat	1,00 %	0,5 – 2,0 %	Memenuhi
Penyerapan Air Agregat	1,35 %	0,2 – 4,0 %	Memenuhi
Berat jenis Kering Oven	2,56	1,6 – 3,2	Memenuhi
Berat Jenis Kering permukaan Jenuh Air	2,60	1,6 – 3,2	Memenuhi
Berat Jenis Semu	2,65	1,6 – 3,2	Memenuhi
Modulus Kehalusan	6,71 %	5,0 – 8,0 %	Memenuhi
Keausan / Abrasi	25,10 %	< 40 %	Memenuhi



Gambar 6. Grafik Agregat Kasar Kali Oba

Hasil pengujian agregat yang dilakukan di laboratorium untuk menentukan rencana komposisi bahan penyusun beton untuk kebutuhan semen, agregat kasar, agregat halus dan air dalam rencana adukan beton untuk mutu beton f'c 25 Mpa. Dalam penelitian ini rencana campuran berdasarkan pada SNI 03-2834-2000. Hasil perhitungan komposisi bahan penyusun beton dengan adukan 1m<sup>3</sup> pada mutu beton 25 Mpa dapat dilihat pada Tabel III.

Tabel III. Komposisi Campuran Mutu f'c 25 Mpa

Kebutuhan Bahan	Berat (Kg/m <sup>3</sup> )	Rasio Terhadap Semen
Semen	512,50	1,00
Pasir	563,14	1,10
Batu Pecah	1044,36	2,04
Air	205,00	0,04
Jumlah $\Sigma$	2325,00	

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan masa perawatannya 28 hari, untuk dilakukan uji kuat tekan silinder. Uji kuat tekan silinder dilakukan dengan 3 benda uji silinder dengan menggunakan Compression Strength Test. Dari hasil pengujian kuat tekan rata-rata yang didapat pada beton sebesar 20,19 MPa. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada tabel IV.

Tabel IV. Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan

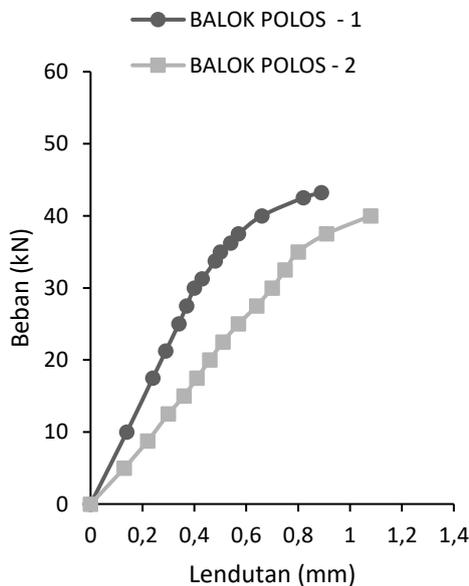
Sampel	Umur (hari)	Berat Beton (Kg)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
BN 1	28	12,280	20,95	20,19
BN 2		12,660	18,12	
BN 3		12,380	21,51	

Hasil uji kuat lentur balok beton tamapa tulangan dapa dilihat pada tabel V.

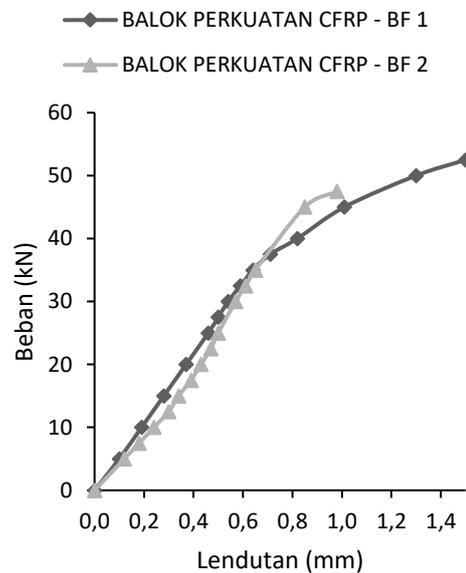
Tabel V. Hasil Perhitungan Modulus of Rupture

Lebar (b) (mm)	Tinggi (h) (mm)	Panjang (L) (mm)	Beban (P) (N)	Berat (N)	Modulus Of Rupture (MPa)
100	150	450	15000	239.316	3

Data hasil pengujian analisi balok dan kekakuan dapat dilihat pada tabel 4.11. sedangkan grafik hubungan beban-lendutan dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.6. nilai kekakuan diperoleh dari perbandingan nilai beban P (kN) dan nilai Lendutan  $\delta$  (mm). berdasarkan tabel 4.11 nilai beban maksimum untuk sampel BN 1 adalah 43,25kN dengan lendutan 0,89mm dan untuk sampel BN 2 nilai beban maksimumnya adalah 40kN dan lendutan 1,08mm.

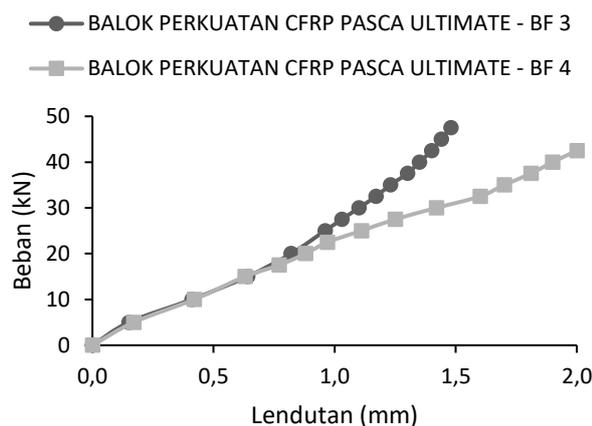


Gambar 7. Grafik Hubungan Beban Lendutan BL1 dan BL 2



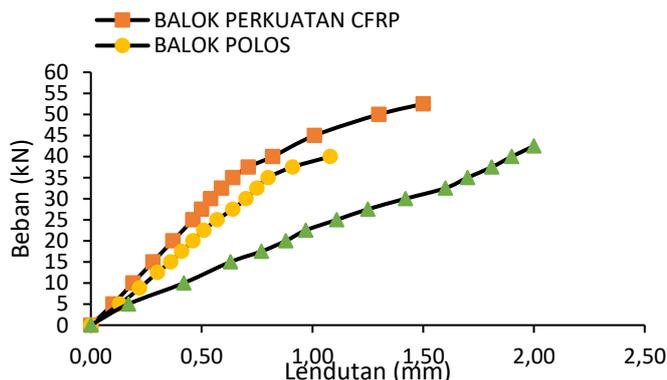
Gambar 8. Grafik Hubungan Beban Lendutan BF1 dan BF2

First crack pada sampel balok BF 1 terlihat pada beban 52,5kN dan pada sampel BF 2 pada beban 45kN yang menandakan beton sudah melewati batas regangan tariknya (cracked stage), sehingga peran tulangan dan CFRP mulai berarti dalam memikul gaya tarik yang bekerja. Pada balok BF 1 balok melendut hingga 1.98 mm, ini dikarenakan CFRP pada balok mengalami debonding atau terlepasnya ikatan beton dengan CFRP.



Gambar 9. Grafik Hubungan Beban Lendutan BF3 dan BF4

Pada pengujian Balok BF 3 terjadi peningkatan beban yang dapat dipikul oleh balok BN1 yang awalnya balok BN1 mampu menahan beban 40kN setelah diperkuat dengan CFRP balok BN 1 dapat Menahan Beban hingga 4,75 ton. ini menandakan bahwa balok yang sudah retak masih dapat diperkuat.



Gambar 10. Grafik hubungan beban lendutan BN-BF-BNF

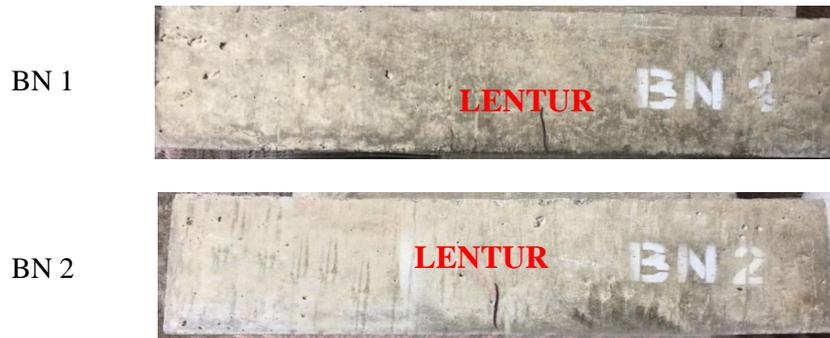
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa perbedaan kekuatan balok dalam menahan beban. Balok perkuatan CFRP dan Balok tanpa perkuatan CFRP memiliki perbedaan signifikan dimana Balok perkuatan CFRP 31,25% lebih kuat dari balok tanpa perkuatan CFRP sedangkan Balok yang telah retak kemudian diperkuat dengan CFRP meningkat 6,25% dari balok tanpa perkuatan CFRP. Dalam pengujian ini membuktikan bahwa balok yang telah retak masih dapat diperkuat dengan CFRP. Untuk mendapatkan nilai beban maksimum dan momen nominal pada balok dapat dicari dengan menggunakan perhitungan analisis. Rekapitulasi perhitungan beban maksimum dan momen nominal untuk penampang perkuatan CFRP dan penampang tanpa perkuatan CFRP dapat dilihat pada table 10.

Tabel IX. Rekapitan Analisa Momen Nominal

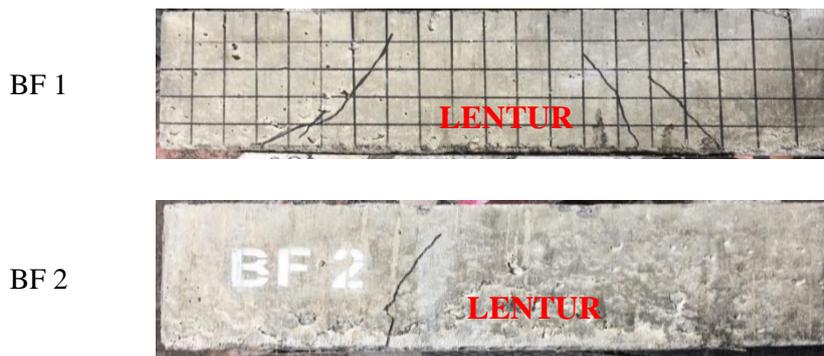
Benda Uji	P maks (kN)	Momen Nominal Balok (Mn)	
		N.mm	kN.m
BN	40,46	3.540.452,03	3,54
BF	55,02	4.814.279,3	4,81

Berdasar hasil pengamatan balok tanpa perkuatan CFRP retak awal terjadi pada beban 40 kN sedangkan pada balok perkuatan CFRP retak awal terjadi pada beban 45 kN. Retak awal ini ditandai dengan retak rambut sebagai identifikasi telah terlampaui regangan tarik beton.

Namun beton memiliki batas regangan yakni 0.003 mm dimana dengan nilai regangan sekecil itu tidak dapat diamati secara langsung maka dari itu untuk mengetahui retak awal yang terjadi dapat diperoleh melalui perhitungan Analisa retak awal beton dan berdasarkan Analisa perhitungan untuk balok tanpa perkuatan CFRP retak awal terjadi pada beban 39,1 kN. Pola retak yang teramati selama pengujian balok mengidentifikasi pola retak lentur. Pola retak lentur terjadi yaitu retak dimulai pada bagian bawah penampang balok, ditengah bentang balok yang kemudian menjalar keatas sejalan dengan penambahan beban atau peningkatan tegangan lentur akibat momen. Pola retak yang terjadi pada balok dapa di lihat pada gambar



Gambar 11. Pola Retak Balok BN



Gambar 12. Pola Retak Balok BF



Gambar 13. Pola Retak Balok BNF

## V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil Penelitian dan Analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bawah:Perkuatan balok secara langsung dengan CFRP dapat meningkatkan kuat lentur hingga 28,25% sedangkankan perkuatan CFRP pada balok yang telah mengalami retak meningkat 16,03%. Untuk kasus ini menandakan bahwan balok yang telah mengalami kerusakan retak masih dapat diperkuat namun perkuatan secara langsung lebih efektif. Hubungan beban-lendutan untuk balok dengan perkuatan CFRP didapatkan, bahwa perkuatan CFRP secara

langsung dapat meningkatkan beban sebesar 18,7%-21,4% dan lendutan bertambah sebesar 33,3%-51%. Sedangkan untuk perkuatan CFRP Pasca beban ultimit beban meningkat sebesar 0,62%-0,98% dan lendutan bertambah hingga 66,2%-85,1%. Dalam kasus ini balok yang telah mengalami kerusakan atau retak akibat beban ultimit masih dapat diperkuat dengan CFRP namun deformasi yang terjadi akan semakin besar dikarenakan beton telah melampaui batas regangannya..

### Referensi

- [1] Soenaryo, Taufik, Siswanto. “Perbaikan Kolom Beton Bertulang dengan Menggunakan Concrete Jacketing”. *Rekayasa Sipil*. Volume-3, No.2. ISSN 1978-5658.
- [2] A. Tata, H. Parung, W. Tjaronge, and R. Djamaluddin, “Ultimate Experiment of Ruptured Concrete Beams Strengthened Using GFRP-Sheet after Fatigue Loads,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 45–49, 2015, doi: 10.7763/ijet.2015.v7.764.
- [3] A. Tata, A. F. Raffel, M. Ihsan, and R. Djamaluddin, “Fatigue Flexural Behavior Rc Beams Strengthened Using Gfrp-Sheet After Seawater Immersion,” vol. 1, no. Icst, pp. 349–355, 2018, doi: 10.2991/icst-18.2018.74.
- [4] A. Tata, A. Frederik Raffel, M. Ihsan, and R. Djamaluddin, “GFRP-sheet strengthened RC beams after seawater immersion under monotonic and fatigue loads,” *MATEC Web Conf.*, vol. 276, p. 01029, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201927601029.
- [5] America Concrete Institute. 2008. “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”. (ACI 440.2R-08).
- [6] Pangestu, Nuroji, Antonius. “Pengaruh Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer terhadap Perilaku Lentur Struktur Beton Bertulang”. *PILAR*, Volume-15, No.2, September 2006.
- [7] Karmila, Agoes, Tavio. “Metode Eksperimental Struktur Kolom Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan CFRP sebagai Eksternal Confinement”. *Jurnal Teknologi Terpadu*, ISSN: 2338-6649, Volume-1, No.1, April 2013.
- [8] Nurlina, S., Suseno, H., Hidayat, M. T., & Pratama, I. M. Y. (2016). “Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP Dan GFRP”. *Rekayasa Sipil*, 10(1), 62-69.
- [9] Darma, Eko, and Sri Nuryati. "Carbon Fiber Reinforced Polymer Sebagai Perkuatan Lentur pada Balok Beton." *BENTANG: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 8.1 (2020): 20-28.
- [10] Sumargo, S., & Ruslan, U. (2014, November). Kapasitas Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (Cfrp) Berlapis Banyak Terhadap Perkuatan Lentur Struktur Balok Beton Bertulang. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 5, pp. 126-133).