

PERKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN GLASS FIBER REINFORCED POLYMER

Gian Ningsih Luastika¹ Andry Alim Lingga² Yoke Lestyowati²

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura, Pontianak

ABSTRAK

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) merupakan suatu metode perbaikan dan perkuatan struktur. Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh perkuatan GFRP dengan variasi pola pemasangan dan jumlah lapisan, terhadap kuat lentur balok. Benda uji berupa 12 balok beton bertulang dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm. Tulangan tarik 2Ø8, dan 1 balok beton tanpa tulangan dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm. Benda uji tanpa perkuatan GFRP terdiri dari, 1 buah balok beton tanpa tulangan (BP) dan 3 buah balok beton bertulang (BN). Perkuatan GFRP direncanakan tiga macam variasi. Variasi I, 3 buah balok beton bertulang dengan GFRP 1 lapisan bagian bawah (BG1), Variasi II, 3 buah balok beton bertulang dengan GFRP 2 lapisan bagian bawah (BG2) dan Variasi III, 3 balok beton bertulang GFRP dengan 1 lapisan U-wrap (BU1). Balok dibebani terus-menerus, hingga runtuh dengan pengujian kuat lentur dua titik pembebanan. Persentase peningkatan perkuatan lentur balok BG1 sebesar 153%, balok BG2 sebesar 117% dan balok BU1 sebesar 211% terhadap balok normal. Perbandingan ketiga variasi, balok BU1 lebih optimal menahan lentur, karena pada balok BG2 merubah keruntuhan dari keruntuhan lentur menjadi keruntuhan geser-lentur. Hasil penelitian, penggunaan GFRP sebagai metode perkuatan struktur menunjukkan peningkatan kuat lentur balok yang signifikan.

Kata kunci : balok beton bertulang, GFRP, perkuatan lentur.

ABSTRACT

[Title : Flexural Reinforcement of Reinforced Concrete Beams with Glass Fiber Reinforced Polymer] Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) is a method of repairing and strengthening structures. The study aims to determine the effect of GFRP reinforcement with variations in the installation pattern and the number of layers, to the flexural strength of the beam. Test object in the form of 12 reinforced concrete blocks dimensions of 15 cm x 15 cm x 60 cm. Reinforcement bars 2Ø8, and 1 concrete beam without reinforcement dimensions 15 cm x 15 cm x 60 cm. The test object without GFRP reinforcement consists of, 1 concrete beam without reinforcement (BP) and 3 reinforced concrete blocks (BN). GFRP strengthening is planned for three variations. Variation I, 3 reinforced concrete blocks with GFRP 1 lower layer (BG1), Variation II, 3 reinforced concrete blocks with GFRP 2 lower layers (BG2) and Variation III, 3 GFRP reinforced concrete blocks with 1 U-wrap layer (BU1). The beam is burdened continuously, until it collapses with flexural strength testing of two loading points. The percentage increase of BG1 beam bending strength was 153%, BG2 beam was 117% and BU1 beam was 211% against normal beam. Comparison of the three variations, the BU1 beam is more optimal in resisting bending, because in the BG2 beam it changes collapse from bending failure to shear failure. The results of the study, the use of GFRP as a structural strengthening method showed a significant increase in beam flexural strength.

Keywords: flexural reinforcement, GFRP, reinforced concrete beam.

I. PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan jenis bahan penyusun struktur yang paling banyak digunakan. Dari komponen struktur tersebut, balok beton bertulang merupakan salah satu komponen yang paling sering mengalami kerusakan atau penurunan kemampuan layan selama pembebanan terjadi. Penurunan kekuatan tersebut disebabkan oleh umur, pengaruh lingkungan, perubahan fungsi struktur, desain awal yang kurang sesuai, kelemahan perawatan ataupun kejadian-kejadian alam seperti gempa bumi. Untuk itu perlu dilakukan perkuatan terhadap komponen bangunan yang masih memenuhi syarat layan dan batas umur rencana masih jauh.

Salah satu metodenya adalah menggunakan lembaran GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*). Material ini merupakan pilihan yang sangat baik untuk digunakan sebagai perkuatan eksternal karena merupakan bahan yang ringan, tahan terhadap korosi, memiliki kekuatan yang tinggi dan dapat dibentuk sesuai dengan bentuk permukaan yang akan dipasang lembaran GFRP.

Hasil penelitian Putu Deskarta (2009) terhadap Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), menunjukkan bahwa penambahan lapis GFRP pada balok mampu meningkatkan beban

saat tulangan leleh jika dibandingkan tanpa lapis GFRP rata-rata sebesar 12,48%.

Penelitian Fadel Muhammad Patra (2017) terhadap Analisis dan Eksperimen Penggunaan Glass Fiber Reinforced Polymer pada Perkuatan Lentur Balok Beton menyimpulkan bahwa perkuatan balok dengan GFRP mampu menghambat retakan awal juga menahan kekuatan tarik dan lentur lebih besar daripada balok yang tidak diberi perkuatan. Hasil pengujian diperoleh kekuatan balok GFRP adalah 1,333 kali kekuatan awalnya.

Kesimpulan di atas, menunjukkan adanya peningkatan kapasitas geser dan kemampuan lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan GFRP. Hal serupa diharapkan terjadi pada peningkatan lentur balok beton bertulang yang diberi perkuatan lembaran GFRP dengan dicoba variasi pola pemasangan dan variasi jumlah lapisan.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka permasalahan yang dirumuskan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perkuatan GFRP terhadap kuat lentur balok beton bertulang?
2. Berapa persentase kenaikan kuat lentur balok beton bertulang dengan perkuatan GFRP?
3. Bagaimana perbandingan kuat lentur balok beton dengan variasi pola pemasangan GFRP?
4. Bagaimana perbandingan kuat lentur balok beton dengan variasi jumlah lapisan pada pemasangan GFRP?

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui presentase pengaruh perkuatan GFRP dengan variasi pola pemasangan dan jumlah lapisan terhadap kuat lentur balok.

II. METODOLOGI DAN PUSTAKA

Studi penelitian ini adalah studi pustaka dan studi eksperimen tentang pengaruh perkuatan lentur balok beton bertulang dengan GFRP. Lokasi penelitian di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan April sampai dengan Mei 2019. Objek penelitian adalah silinder beton, balok beton, balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang dengan perkuatan GFRP.

Tahapan dalam pengerjaan penelitian ini secara umum antara lain :

1. Pemeriksaan material
2. Rencana komposisi campuran beton (*mix design*)
3. Persiapan pembuatan benda uji
4. Pengecoran benda uji

5. Perawatan benda uji
6. Pemasangan perkuatan GFRP
7. Pengujian benda uji
8. Pengolahan data dan analisa pembahasan
9. Penarikan kesimpulan dan saran

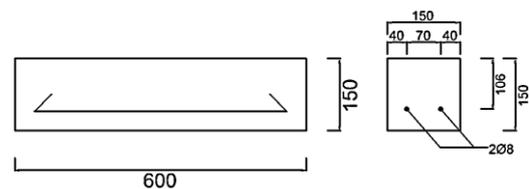
Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material agregat kasar dan agregat halus yang dilakukan :

1. Kadar organik dalam agregat halus
2. Kadar lumpur agregat kasar dan halus
3. Analisa gradasi agregat kasar dan halus
4. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus
5. Berat volume agregat kasar dan halus
6. Keausan agregat kasar

Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 6 sampel, balok beton bertulang tunggal dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm dengan tulangan polos BJTP24 2Ø8 sebanyak 12 sampel dan balok beton tanpa tulangan dimensi 15 cm x 15 cm x 60 cm sebanyak 1 sampel. Benda uji menggunakan beton normal dengan mutu beton rencana $f'_c = 25$ MPa berdasarkan SNI 7656:2012. Nilai *slump* rencana 75 – 100 mm.



Gambar 1. Dimensi benda uji balok beton bertulang dan detail pemasangan tulangan

Material agregat kasar ukuran maksimum 20 mm yang digunakan direncanakan dengan gradasi ideal dipisahkan sesuai nilai ukuran saringan 2,36 ; 4,75 ; 9,5 dan 19 mm dan dikondisikan dalam keadaan jenuh kering permukaan SSD.

Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji silinder diletakkan di dalam bak perendaman sampai satu hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan faktor umur 7 dan 28 hari. Sedangkan pada benda uji balok di *curing* dengan cara menutupi permukaan balok beton dengan karung goni basah dikontrol selama 7 hari.

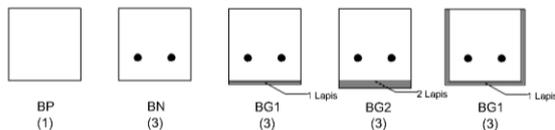
Pemasangan GFRP pada Balok

Pemasangan perkuatan GFRP pada balok dilakukan dengan metode *hand lay-up*. Matrik yang digunakan adalah *Matt Chopped Strand* dan *Matt Roving Glass Fiber E-Glass Type* dengan bahan perekat menggunakan *epoxy resin Yucalac unsaturated polyester resin type 2668* dan Katalis

MEPOXE (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*). Penggunaan satu lapis *Matt Chopped Strand* dan dilanjutkan dengan satu lapis *Matt Roving Glass Fiber E-Glass Type* didefinisikan sebagai satu lapisan pada penelitian ini.

Pemasangan perkuatan GFRP dengan variasi :

- Balok polos tanpa tulangan dan perkuatan GFRP (BP) = 1 buah
- Balok normal tanpa perkuatan GFRP (BN) = 3 buah
- Balok dengan GFRP 1 lapisan bagian bawah (BG1) = 3 buah
- Balok dengan GFRP 2 lapisan bagian bawah (BG2) = 3 buah
- Balok dengan GFRP 1 lapisan *U-wrap* (BU1) = 3 buah



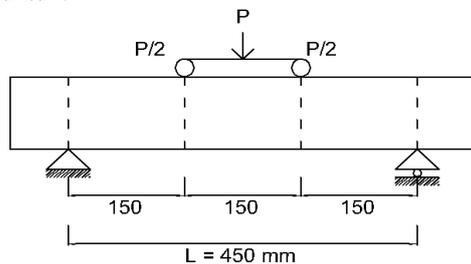
Gambar 2. Variasi Pola Pemasangan Perkuatan GFRP

Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan silinder beton berdasarkan SNI 03-1974-2011 pada penelitian ini menggunakan *compressive testing machine* merk MBT dengan kapasitas 2000 kN dan ketelitian 5 kN pada umur beton 7 dan 28 hari.

Uji Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur balok beton pada umur 28 hari mengacu kepada SNI 4431-2011 menggunakan mesin uji kuat lentur dua titik pembebanan dengan panjang antar tumpuan 45 cm dan manometer merk MBT kapasitas 500 kN dengan ketelitian 1 kN. Pengukuran lendutan menggunakan alat *dial gauge* merk Krisbow kapasitas 50 mm dengan ketelitian 0,01 mm. Pembebanan dilakukan secara menerus hingga runtuh.



Gambar 3. Pengujian lentur dengan dua titik pembebanan



Gambar 4. Rangkaian alat uji kuat lentur (*Static Loading Frame, Hydraulic Manual Pump dan Dial Gauge*)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Agregat

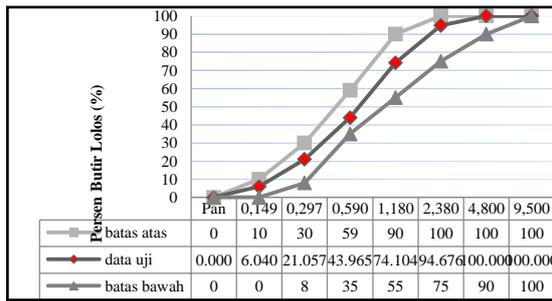
Metode pengujian agregat mengacu kepada SNI.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

No	Jenis Uji	Hasil Pengujian		Standar Pengujian	
		Agregat Halus	Agregat Kasar	Agregat Halus	Agregat Kasar
1	Kadar organik (No)	3	-	Maks 3	-
2	Modulus Kehalusan	2,602	2,600	1,5 - 3,8	*(SNI 7656-2012)
3	Berat Volume (kg/liter)	1,448	1,558	1,1 - 1,7	1,1 - 1,7
4	Apperent specific gravity	2,581	2,710	2,4 - 2,9	2,4 - 2,9
5	Bulk specific gravity kondisi kering	2,523	2,639	2,4 - 2,9	2,4 - 2,9
No	Jenis Uji	Hasil Pengujian		Standar Pengujian	
		Agregat Halus	Agregat Kasar	Agregat Halus	Agregat Kasar
6	Bulk specific gravity kondisi SSD	2,546	2,665	2,4 - 2,9	2,4 - 2,9
7	Absorbsi (%)	0,888	0,992	Maks 2%	Maks 4%
8	Kadar lumpur Keausan	1,020	0,910	Maks 5%	Maks 1%
9	Agregat (%)	-	18,422	-	Maks 40-50%

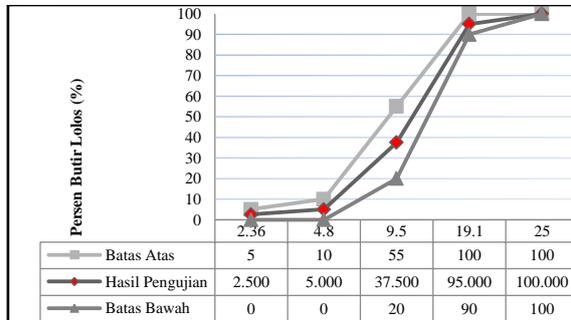
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Bahan dan Konstruksi FT-UNTAN 2019. (*) Mengacu kepada

Tabel A.3 Batas-batas tertentu gradasi agregat kasar SNI 7656-2012



Gambar 5. Grafik hasil analisa saringan agregat halus pada zona 2

Berdasarkan gambar 5 grafik hasil analisa saringan agregat halus, batas gradasi pasir yang terdapat pada zona 2 tergolong dalam pasir agak kasar.



Gambar 6. Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Zona 20 mm

Dari hasil pemeriksaan karakteristik agregat, agregat kasar dan agregat halus yang digunakan semua memenuhi persyaratan SNI sehingga dapat disimpulkan agregat yang telah dilakukan pengujian telah memenuhi spesifikasi untuk digunakan.

Hasil Komposisi Mix Design

Perhitungan komposisi *mix design* dihitung dengan menggunakan SNI 7656:2012, berikut perhitungan *mix design* :

Tabel 2. Komposisi Unsur Campuran Beton

No.	Unsur Beton	Berat / m ³ Beton (kg)
1	Semen	367,35
2	Air	203,00
3	Agregat kasar	1009,78
4	Agregat halus	770,70
Jumlah		2350,83

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Bahan dan Konstruksi FT-UNTAN 2019

Hasil Pengujian Slump

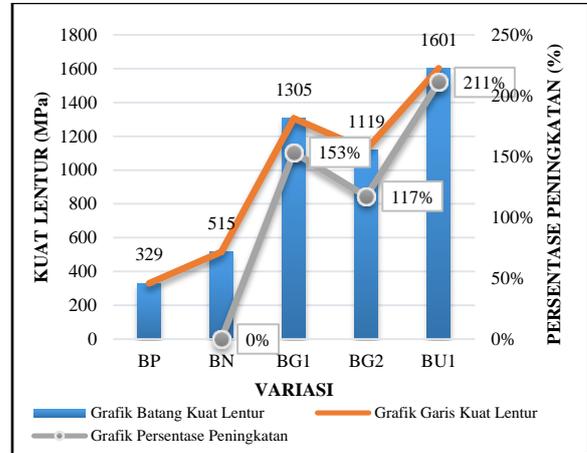
Pada penelitian ini dengan rancangan beton normal tanpa tambahan bahan adiktif didapat hasil slump 9,2 dan 9,75 cm memenuhi rencana slump awal yaitu 7,5-10 cm.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan benda uji pada penelitian ini adalah 37,093 MPa memenuhi kuat tekan rencana yaitu 25 MPa.

Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Hasil pengujian kuat lentur balok beton pada umur 28 hari mengacu kepada SNI 4431-2011 dapat dilihat pada gambar 7.

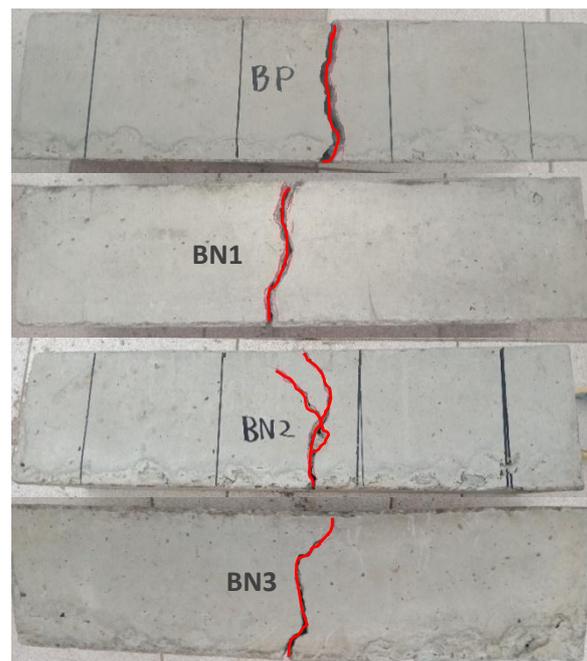


Gambar 7. Grafik persentase kenaikan perkuatan lentur maksimum

Dari hasil pengujian kuat lentur dengan berbagai variasi dapat disimpulkan bahwa beton dengan perkuatan *U-wrap* GFRP 1 lapisan memiliki kuat lentur yang lebih tinggi di bandingkan perkuatan GFRP bagian bawah balok saja dengan persentase kenaikan 211% terhadap balok normal.

Pola Retak dan Model Keruntuhan

Pengamatan pola retak dan model kegagalan FRP pada balok dapat dilihat pada gambar 8, 9, 10 dan 11.



*Garis merah menunjukkan pola retak

Gambar 8. Pola retak benda uji balok polos (BP) dan normal (BN)

Pola retak pada gambar 8 terlihat adanya retakan yang terjadi pada tengah bentang yang mempunyai harga momen lentur maksimum dan tidak ada pengaruh gaya geser (lentur murni). Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok. Hal ini menunjukkan bahwa balok mengalami kegagalan lentur (*flexural crack*).



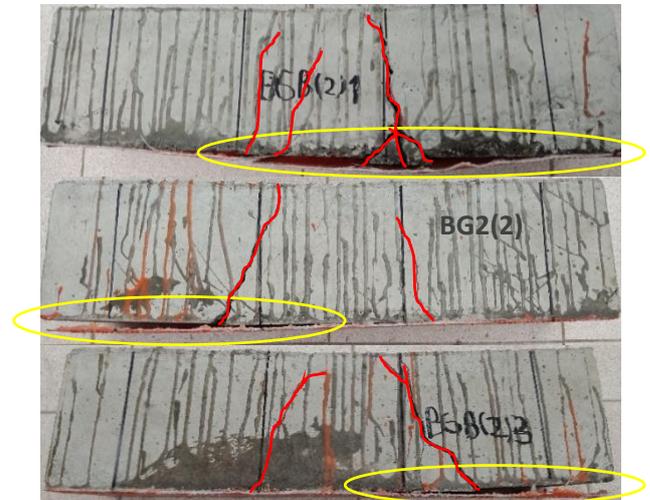
*Garis merah menunjukkan pola retak dan garis kuning menunjukkan kegagalan FRP

Gambar 9 Pola retak dan model kegagalan FRP benda uji balok dengan GFRP 1 lapisan bagian bawah BG(1)

Pada gambar 9 pengamatan perambatan retak menunjukkan bahwa balok mengalami kegagalan lentur (*flexural crack*) dan model kegagalan FRP balok BG(1) yaitu *FRP debonding from flexural crack*. Kegagalan ini dimulai saat retak lentur terjadi pada beton, dimana terjadi konsentrasi tegangan pada daerah retakan. Tegangan tarik yang terjadi pada daerah beton yang telah retak kemudian di transfer atau dipindahkan ke lapisan FRP sehingga tegangan lokal permukaan antara lapisan FRP dengan beton akan semakin meningkat dan berpusat pada daerah retakan dan sekitarnya. Pelepasan lapisan FRP ini kemudian mulai merambat dari tengah ke ujung lapisan FRP hingga akhirnya menyebabkan terlepasnya sebagian lapisan FRP pada setengah bentang balok.

Pada pengamatan pola retak balok BG(2) terjadi perambatan retak miring bergerak pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur dari sisi tarik menuju ke sisi tekan balok. Daerah retak terjadi pada luar pusat bentang dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan. Daerah retak tersebut mempunyai pengaruh gaya geser maksimum dan harga momen lentur besar. Perambatan retak miring tersebut disebabkan oleh konsentrasi tegangan yang besar hasil kombinasi

tegangan lentur dan geser pada daerah tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa balok mengalami kegagalan geser-lentur.



*Garis merah menunjukkan pola retak dan garis kuning menunjukkan kegagalan FRP

Gambar 10. Pola retak dan model kegagalan FRP benda uji balok dengan GFRP 2 lapisan bagian bawah BG(2)

Gambar 10 menunjukkan model kegagalan FRP balok BG(2) yaitu lepasnya FRP akibat retak geser-lentur (*FRP debonding from flexure-shear crack*). Hal ini ditunjukkan dengan retakan diagonal membentuk sudut mendekati 45° . Seiring dengan peningkatan lebar retak yang terjadi maka tegangan permukaan yang tinggi akan terjadi antara beton dengan lapisan FRP dan merambat ke ujung lapisan FRP yang didahului dengan terjadinya rambatan retak geser-lentur yang cukup besar dan hampir mencapai permukaan balok.



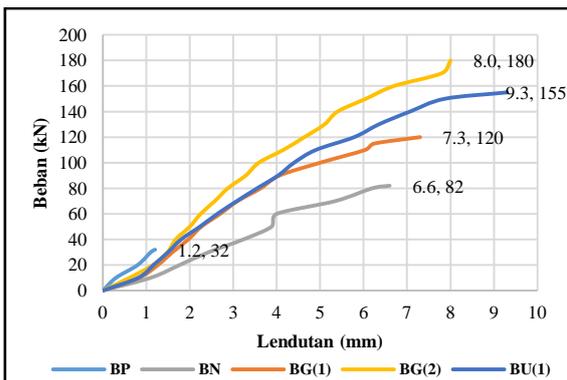


*Garis merah menunjukkan pola retak dan garis kuning menunjukkan kegagalan FRP

Gambar 11. Pola retak dan model kegagalan FRP benda uji balok dengan GFRP 1 lapisan *U-wrap* BU(1)

Pada pengamatan pola retak balok BU(1) perambatan retak bergerak secara intensif dari sisi tarik menuju ke sisi tekan balok pada tengah bentang menunjukkan bahwa balok mengalami kegagalan lentur (*flexural crack*). Gambar 11 menunjukkan model kegagalan FRP balok BU(1) yaitu putusnya FRP setelah tulangan tarik leleh (*FRP rupture*).

Hubungan Beban dan Lendutan (P- δ)

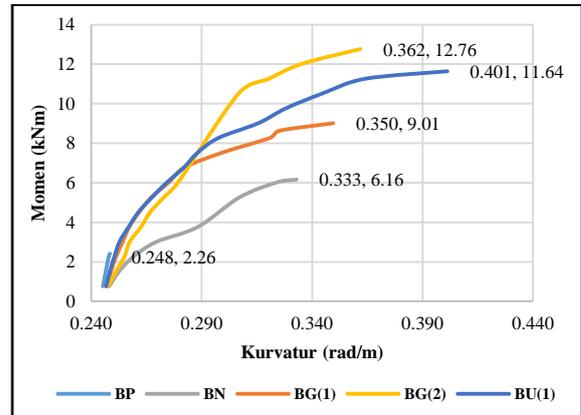


Gambar 12. Hubungan beban-lendutan berbagai variasi benda uji balok

Dari gambar 12 dapat dilihat bahwa balok dengan perkuatan GFRP 2 lapisan bagian bawah BG(2) mampu menahan beban paling besar sebesar 180 kN. Sedangkan dilihat dari sisi lendutannya, balok dengan perkuatan GFRP 1 lapisan *U-wrap* BU(1) mampu menahan lendutan paling besar yaitu 9,3 mm.

Hal ini disebabkan adanya peningkatan ketebalan pada daerah perkuatan sehingga meningkatkan kekakuan balok. Perbedaan kekakuan ditunjukkan oleh kemiringan kurva pada grafik. Semakin landai kurva, maka balok beton tersebut semakin berkurang kekakuan/ketegaran lenturnya (EI balok). Sebagai perbandingan, dapat dilihat dari nilai lendutan yang diperoleh pada level beban yang sama. Nilai lendutan yang semakin kecil pada tingkat beban yang sama menunjukkan kekakuan balok yang semakin besar.

Hubungan Momen dan Kurvatur (M- ϕ) Laboratorium



Gambar 13 Hubungan momen-kurvatur berbagai variasi benda uji balok

Dalam penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa perilaku balok adalah duktail. Hal ini terlihat dari gambar 13 grafik hubungan momen-kurvatur yang terjadi, yaitu balok mengalami deformasi yang besar sebelum runtuh. Grafik hubungan momen-kurvatur juga menunjukkan peningkatan kekakuan dan kemampuan balok berdeformasi (duktilitas). Peningkatan kekakuan ditunjukkan oleh peningkatan momen maksimum pada balok dengan perkuatan GFRP pada kelengkungan yang sama terhadap balok normal. Hal ini disebabkan adanya peningkatan ketebalan pada daerah perkuatan sehingga meningkatkan kekakuan balok. Perbedaan kekakuan ditunjukkan oleh kemiringan kurva pada grafik. Semakin landai kurva, maka balok beton tersebut semakin berkurang kekakuan/ketegaran lenturnya (EI balok).

IV. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian karakteristik agregat terhadap agregat kasar maksimum 20 mm dan agregat halus zona 2 pada penelitian ini telah memenuhi standar spesifikasi persyaratan yang digunakan.
2. Hasil pengujian kuat tekan benda uji yaitu 37,093 MPa telah memenuhi kuat tekan rencana $f_c' = 25$ MPa.
3. Penambahan perkuatan GFRP dengan variasi pola pemasangan dan jumlah lapisan berakibat pada peningkatan kuat lentur balok. Variasi I balok dengan GFRP 1 lapisan bagian bawah (BG1) diperoleh kuat lentur rata-rata 1304,99 MPa dengan persentase perkuatan lentur sebesar 153%. Variasi II balok dengan GFRP 2 lapisan bagian bawah (BG2) diperoleh kuat lentur rata-rata 1119,05 MPa dengan persentase perkuatan lentur sebesar 117%. Variasi III balok dengan GFRP 1 lapisan *U-wrap*

- (BU1) diperoleh kuat lentur rata-rata 1601,46 MPa dengan persentase perkuatan lentur sebesar 211%.
4. Hasil pengujian kuat lentur dengan berbagai variasi pola pemasangan dapat disimpulkan bahwa beton dengan pola pemasangan perkuatan *U-wrap* GFRP memiliki kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan perkuatan GFRP bagian bawah balok saja.
 5. Hasil pengujian kuat lentur dengan berbagai variasi jumlah lapisan dapat disimpulkan bahwa beton dengan GFRP 1 lapisan lebih optimal karena pada GFRP 2 lapisan merubah model keruntuhan dari keruntuhan lentur menjadi keruntuhan geser-lentur. Perubahan model keruntuhan tersebut terjadi akibat konsentrasi tegangan utama besar pada daerah luar pusat bentang mendekati daerah tumpuan yang memiliki pengaruh gaya geser maksimum dan harga momen lentur besar.
 6. Berdasarkan hubungan momen-kurvatur dan hubungan beban-lendutan, pengaruh perkuatan GFRP menunjukkan peningkatan kekakuan dan kemampuan balok berdeformasi (daktilitas).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1982, *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia PUBI 1982*, Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman.
- Anonim, 1989, *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam SK SNI S – 04 – 1989 - F*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 1990, *Pengujian slump beton segar (ASTM C143) SNI 1972 – 1990*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2011, *Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan SNI 4431 :2011*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2011, *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder SNI 1974 – 2011*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2012, *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa 7656:2012*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2013, *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung SNI 2847 : 2013*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Deskarta, Putu. 2009. *Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan GFRP*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. 13,(2), 199-208.
- Gilbert, R.I., dan Mickleborough, N.C. 1990. *Design of Prestressed Concrete*. London : Unwin Hyman
- Laporan Praktikum Teknologi dan Bahan, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 2016
- Muhammad Patra, Fadel. 2017. *Analisis Dan Eksperimen Penggunaan Glass Fiber Reinforced Polymer Pada Perkuatan Lentur Balok Beton*. Universitas Sumatera Utara.
- Mulyono, Ir. Tri. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andy
- Nawy, G. Edward, dkk. 2010. *Beton Bertulang*. Surabaya : ITS Press
- Tjokrodinuljo, K.. 1996. *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.