

PERBANDINGAN KEKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN PERKUATAN *CFRP* DAN *GFRP*

Ireneus Petrico G

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145

Email: petricoky@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu material perkuatan yang mulai marak digunakan adalah *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Kedua material tersebut diuji kekuatannya saat dipasangkan pada balok beton bertulang, sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap kuat lentur balok. Selain itu, bisa juga diketahui bahan mana yang lebih kuat, *CFRP* ataukah *GFRP*. Balok yang digunakan pada penelitian ini adalah balok dengan ukuran 10x15x120 cm³. Balok yang digunakan berjumlah 9 dan dibagi menjadi 3 kelompok. Kesembilan balok ini dibebani sampai runtuh sehingga diketahui beban maksimal yang dapat ditahan oleh balok. Perbaikan menggunakan *CFRP* dan *GFRP* sangat efektif, karena kedua material ini mempunyai mutu yang besar. Selain itu, profil kedua material ini sangat tipis dan ringan, sehingga tidak akan memperburuk tampilan struktur dan tidak menambah beban struktur. Hasil penelitian dan analisis menggunakan *CFRP* dan *GFRP* menunjukkan peningkatan kekuatan lentur balok yang signifikan. *CFRP* dapat menambah kekuatan lentur balok sampai 65,934%, sedangkan *GFRP* hanya sebesar 43,956%. Sedangkan untuk perbandingan kedua material ini, *CFRP* lebih unggul daripada *GFRP* dalam hal menambah kekuatan lentur.

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

PENDAHULUAN

Kuat lentur suatu struktur sangat penting, karena mempengaruhi kekuatan dan estetika suatu struktur. Kuat lentur suatu struktur akan bertambah jika struktur tersebut mengalami perkuatan atau perbaikan. Hal ini dikarenakan adanya penambahan kekuatan (biasanya kekuatan tarik) pada struktur tersebut, sehingga beban yang dipikul struktur tersebut lebih besar dan lendutannya semakin kecil.

Pada zaman yang modern ini, perbaikan struktur bangunan mulai banyak dilakukan. Hal ini disebabkan kondisi struktur bangunan tidak kuat menahan beban yang ditahan struktur tersebut. Ketidakkuatan struktur bangunan tersebut dapat dikarenakan mutu beton tidak sesuai dari perencanaan, adanya penambahan beban yang ditahan struktur, kebakaran, gempa

bumi, perubahan fungsi bangunan, dan usia struktur bangunan.

Perkuatan atau *retrofit* dapat dilakukan dengan cara penambahan tulangan dengan *jacketing*, penambahan pelat baja, penambahan rangka batang, dan dengan penambahan *FRP (Fiber Reinforcement Polymer)*. *FRP* sendiri mempunyai banyak jenis, antara lain adalah *CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)* dan *GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)*.

Penggunaan *CFRP* dan *GFRP* mempunyai fungsi yang hampir sama dengan penggunaan plat baja tipis sebagai perkuatan balok beton bertulang, yaitu memperkuat bagian tarik dari balok beton bertulang.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *CFRP* terhadap perilaku lentur balok beton bertulang, mengetahui pengaruh *GFRP* terhadap perilaku lentur balok beton bertulang, dan

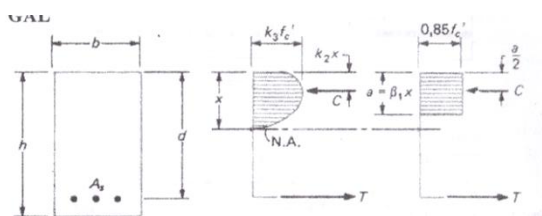
juga mengetahui perbandingan kekuatan balok dengan menggunakan *CFRP* dan *GFRP*.

Balok Terlentur

Beban – beban yang bekerja pada suatu struktur menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur tersebut. Beban – beban yang dimaksud bisa berupa beban grafitasi, beban kerja, beban susut, beban karena perubahan suhu, dll. Balok sebagai sistem dari sebuah struktur yang menahan lentur harus terjamin stabilitasnya, agar tegangan tarik dan tekan dapat ditahan oleh balok tersebut. Pada suatu gelagar bisa terjadi momen lentur positif dan momen lentur negatif. Saat suatu gelagar yang terkena beban menimbulkan momen positif, maka regangan tekan akan terjadi di bagian atas penampang, sedangkan regangan tarik akan terjadi di bagian bawah penampang.

Tegangan – tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini akan mempengaruhi dimensi penampang balok. Proses desain yang mencakup penentuan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan persyaratan terhadap lentur. Setelah itu faktor – faktor lain seperti geser, defleksi, retak, dan panjang penyaluran tulangan sampai memenuhi syarat. (Nawy, 1990)

Balok mempunyai kuat lentur, hal ini dikarenakan berlangsungnya mekanisme tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu diwakili oleh gaya – gaya dalam.



Gambar 1. Distribusi tegangan pada balok (Sumber: Siti Nurlina, 2008)

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa C adalah resultan gaya tekan dalam, T

merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah diatas garis netral. Sedangkan T adalah resultan gaya tarik dalam, yaitu jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini mempunyai arah garis kerja sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak z , sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam dimana nilai maksimalnya disebut kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur tersebut. Kopel tegangan antara C dan T juga bisa disebut dengan keseimbangan gaya. Teori kekuatan batas (*ultimate*) memberikan syarat yaitu baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ($f_s = f_y$) dan beton tekan mencapai kondisi regangan maksimum sebesar $\epsilon'c = 0,003$.

Momen tahanan dalam tersebut akan menahan momen lentur rencana aktual yang disebabkan oleh beban luar. Oleh karena itu, dalam merencanakan dimensi suatu balok, jumlah serta luas baja tulangan harus sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan momen tahanan yang paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang dihasilkan oleh beban luar.

Balok beton bertulang yang diperkuat oleh suatu perkuatan, dalam penelitian ini adalah *CFRP* atau *GFRP*, akan berbeda dalam proses menganalisisnya. Pada umumnya, *CFRP* dan *GFRP* diletakan di bagian tarik balok bertulang tersebut, yaitu dibagian bawah balok beton bertulang. Perbedaan penambahan *CFRP* dan *GFRP* di bawah balok terdapat pada resultan gaya tarik balok (T). Penambahan *CFRP* dan *GFRP* akan menyebabkan bertambahnya gaya tarik pada balok tersebut, karena ada penambahan gaya tarik pada balok.

Rumus yang digunakan sedikit berbeda dengan balok beton bertulang biasa. Rumus – rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$T_s = A_s \cdot f_{ys}$$

$$T_c = A_f \cdot f_{yf}$$

$$C = T$$

$$C = T_s + T_f$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_{ys} + A_c \cdot f_{yf}$$

dengan T_s adalah resultan gaya tarik dari baja dan T_f adalah resultan gaya tarik dari *CFRP* atau *GFRP*. Bertambahnya resultan gaya tarik pasti berpengaruh terhadap kekuatan lentur dari beton bertulang tersebut.

CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

CFRP adalah aplikasi lanjutan atau perkembangan dari *FRP*. *Carbon Fiber Reinforced Polymer* digunakan pada konstruksi struktur bangunan yang harus diperbaiki. Teknik perkuatan seperti ini dapat dibuat efisien, tidak menyebabkan karat seperti plat baja eksternal. Fungsi perkuatan dengan sistem komposit *CFRP* adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, aksial dan daktilitas, atau berbagai kombinasi diantaranya. Daya tahan *CFRP* yang tinggi lebih ekonomis digunakan pada lingkungan korosif dimana baja akan mudah berkarat. Penggunaan *CFRP* lebih populer mengingat banyaknya keuntungan yang dapat diperoleh seperti bobot unit yang kecil, mudah diaplikasikan dan ditangani, biaya instalasi dan pemeliharaan yang rendah. Kerugian yang paling prinsip penggunaan *CFRP* sebagai sistem perkuatan adalah harga material yang relatif lebih mahal. (Meier, 1997).

CFRP dalam bentuk lembaran, plat atau batangan dapat dipasang pada permukaan balok atau plat yang mengalami peregang sebagai perkuatan lentur. Sebagai perkuatan geser balok, lembaran *CFRP* dapat direkatkan pada sisi balok. Penggunaan pada kolom, lembaran *CFRP* atau pelapisan dapat ditempatkan pada bagian luar kolom untuk meningkatkan daktilitas dan kekuatan. (Maiman, 2013)



Gambar 2. *CFRP*

(Sumber: www.fyfeco.com, Maret 2014)

GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat halus dari kaca. *GFRP* merupakan jenis perkuatan yang memiliki kekuatan yang sangat besar, dan bahan yang ringan. Meskipun sifat kekuatan yang agak lebih rendah dari serat karbon dan kurang kaku, bahan yang biasanya jauh lebih sedikit rapuh, dan bahan baku jauh lebih murah. Kekuatan massal dan sifat berat badan juga sangat menguntungkan bila dibandingkan dengan logam, dan dapat dengan mudah dibentuk dengan menggunakan proses pencetakan.



Gambar 3. *GFRP*

(Sumber: www.fyfeco.com, Maret 2014)

Penggunaan *GFRP* biasanya digunakan untuk perkuatan balok, kolom, dan struktur bangunan lainnya. Selain untuk perkuatan *GFRP*, juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan, karena *GFRP* merupakan bahan yang tahan akan segala jenis cuaca, tahan dengan air yang mengandung garam seperti air laut, dan lainnya. (Jenova, 2013)

METODE PENELITIAN

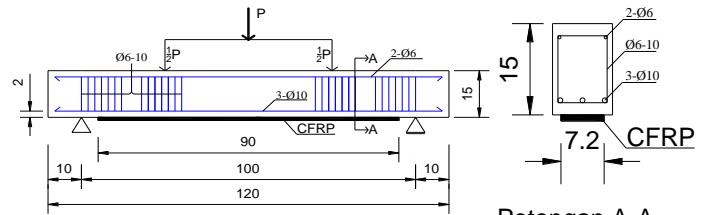
Bahan

- **Beton Bertulang**
Analisis bahan – bahan untuk beton bertulang diuji dengan pengujian laboratorium dengan rencana kuat tekan beton 20 Mpa.
- **Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)**
CFRP yang dipakai merupakan produk dari Fyfe Company, yaitu Tyfo[®] The Fibrwrap Composite System SCH-41 yang mempunyai tebal 1 mm dan kuat tarik 834 MPa.
- **Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)**
GFRP yang dipakai merupakan produk dari Fyfe Company, yaitu Tyfo[®] The Fibrwrap Composite System SEH-51A yang mempunyai tebal 1,3 mm dan kuat tarik 460 MPa.

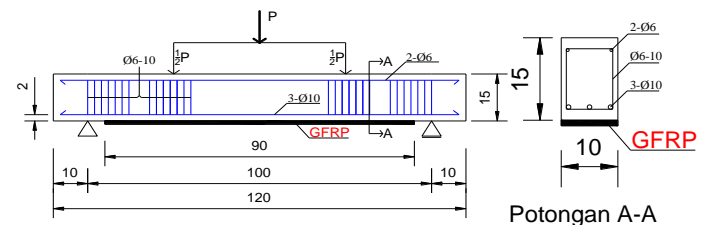
Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan ukuran 10x15x120 cm³. Benda uji dibuat sebanyak 9 buah. Kesembilan benda uji dibagi menjadi 3 kelompok. Kelompok pertama diberi nama BK, yaitu balok kontrol. Kelompok kedua diberi nama BC, yaitu balok yang diberi perkuatan CFRP. Kelompok ketiga diberi nama BG, yaitu balok yang diberi perkuatan GFRP. benda uji BK diberikan beban sampai benda uji runtuh. Setelah didapatkan beban maksimal, enam benda uji lainnya diberikan 75% beban runtuh yang didapat dari pengujian BK. Setelah diberikan 75% beban runtuh, tiga benda uji BC diberi perkuatan CFRP dan tiga benda uji BG diberi perkuatan GFRP. Setelah itu, balok diberi beban sampai runtuh.

Berikut ini adalah gambar dari balok yang diperkuat CFRP dan GFRP:



Gambar 4. Balok dengan perkuatan menggunakan CFRP



Gambar 5. Balok dengan perkuatan menggunakan GFRP

Variabel Penelitian

- **Variabel bebas**
Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah beban dan penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP).
- **Variabel terikat**
Dalam penelitian ini yang termasuk variabel terikat adalah perbandingan kuat lentur balok bertulang dengan menggunakan perkuatan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) dan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP).

Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara melihat dan mencatat hasil dari Pmax dan lendutan benda uji yang dibebani sampai runtuh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan adalah diameter 6 dan 10. Diameter tulangan dicari dengan menggunakan rumus

$d = 12,74 \cdot \sqrt{w}$. Dari pengujian dan perhitungan didapatkan mutu baja sebesar:

Ø 6 : 191,135 MPa

Ø 10 : 285,886 MPa

Campuran Beton

Pada pengujian ini direncanakan mutu beton sebesar 20 Mpa. Saat perhitungan mix desain didapat perbandingan campuran penyusun beton sebagai berikut,

Semen : Pasir : Kerikil = 1 : 1,730 : 3,303

Sedangkan untuk pengujian beton segar menggunakan uji *slump* dengan alat kecut abrams. Hasil uji *slump* didapat nilai *slump* sebesar 105 – 120 mm.

Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton genap berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Dari pengujian dan perhitungan didapat mutu beton sebesar 20,37 MPa. Kuat tekan beton rata – rata yang didapat dari pengujian lebih besar dari kuat beton rencana.

Kuat Lentur Balok

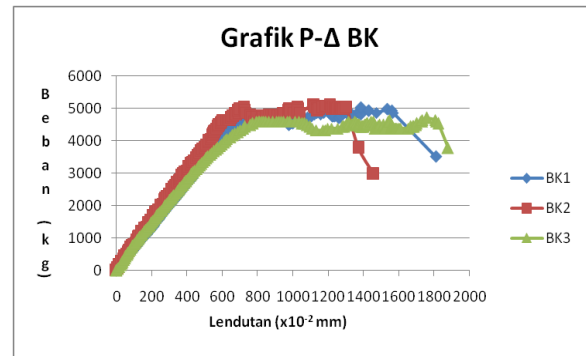
Parameter dalam pengujian kuat lentur balok adalah beban maksimal yang bisa ditahan balok. Di bawah ini disajikan data beban maksimal yang bisa ditahan balok:

Tabel 1. Beban Maksimal yang Ditahan Balok

Ulangan	Perlakuan (kg)		
	BK	BC	BG
1	4914	5454	7074
2	5130	8154	7074
3	4698	8154	5076

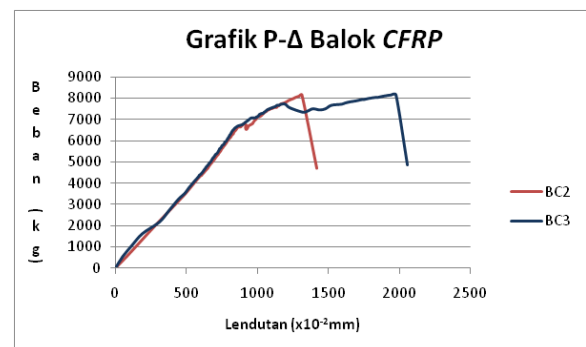
Pada tabel diatas, BC1 dan BG3 sengaja diberi warna merah. Hal ini dikarenakan kedua balok tersebut mengalami runtuh geser sebelum keruntuhan lentur terjadi. Sehingga kedua data dari balok tersebut tidak digunakan dalam analisis.

Data yang diambil dari penelitian ini adalah beban dan lendutan. Data tersebut kemudian disajikan dalam grafik – grafik berikut ini:



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban – Lendutan BK

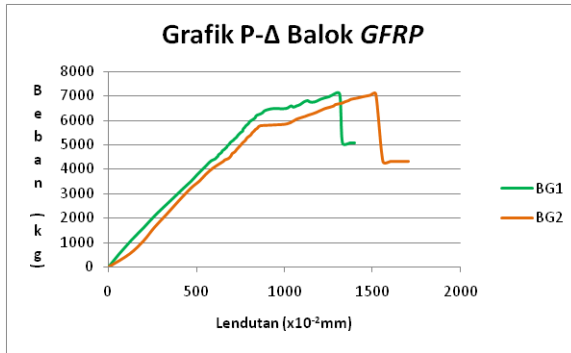
Grafik balok kontrol menunjukkan ketiga balok mempunyai pola keruntuhan yang sama, tetapi beban maksimal dan lendutannya berbeda. Jika dari ketiga beban maksimal yang mampu ditahan beton ini dirata – rata, maka beban maksimal yang bisa ditahan balok kontrol sebesar 4914 kg. Beban ini kemudian digunakan acuan untuk pembebanan awal balok yang diberi perkuatan *CFRP* maupun *GFRP*.



Gambar 7. Grafik Hubungan Beban – Lendutan BC

Grafik di atas hanya mempunyai 2 garis saja. Hal ini dikarenakan salah satu balok yang diperkuat *CFRP* mengalami keruntuhan, sehingga tidak dianalisis.

Pada grafik dapat dilihat bahwa terdapat persamaan pada beban yang bisa ditahan dan terlihat jelas bahwa ada perbedaan pada lendutan yang bisa ditahan oleh kedua balok ini. Dari kedua balok yang diperkuat *CFRP* ini, dapat dilihat bahwa BC3 yang lebih baik.



Gambar 8. Grafik Hubungan Beban – Lendutan BG

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pola kedua grafik mempunyai kesamaan, tetapi terdapat perbedaan pada beban yang bisa ditahan balok. Untuk P_{maks} , kedua balok punya kekuatan yang sama dalam menahan beban, tetapi tidak mempunyai kesamaan dalam menahan lendutan. Jika BG1 dan BG2 dibandingkan, maka hasil yang lebih baik adalah BG2.

Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis menggunakan analisis varian satu arah (*One Way Anova*). Uji hipotesis dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual dan menggunakan Microsoft Excel 2007.

Terdapat dua kemungkinan yang digunakan. H_0 yaitu hipotesis awal yang menyatakan bahwa *CFRP* dan *GFRP* tidak berpengaruh pada kuat lentur balok. Dan juga H_1 yaitu hipotesis alternatif yang menyatakan bahwa *CFRP* dan *GFRP* berpengaruh pada kuat lentur balok.

Hasil yang didapat dari kedua metode perhitungan tersebut adalah “*CFRP* dan *GFRP* berpengaruh pada kuat lentur balok”. Hal ini membuktikan bahwa hasil dari percobaan ini bisa digunakan dan dianalisis.

Pembahasan

Percobaan pertama yang dilakukan adalah pengujian mutu beton dan pengujian mutu dari baja tulangan. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui beban maksimal dari kesembilan balok dengan rumus kekuatan batas. Dari perhitungan

menggunakan rumus kekuatan batas, ditemukan kemampuan balok menahan beban. Balok kontrol dapat menahan beban sampai 4477,903 kg, Balok yang diperkuat menggunakan *CFRP* dapat menahan beban sampai 7961,797 kg, sedangkan balok yang diperkuat menggunakan *GFRP* dapat menahan beban sampai 7974,947 kg. Perhitungan analisis ini digunakan agar pembebanan tidak terlalu melebihi kemampuan balok, sehingga bisa didapat grafik yang bagus dan balok tidak langsung putus.

Pengujian pertama untuk balok beton bertulang adalah pembebanan 100% balok kontrol, atau dengan kata lain ketiga balok kontrol, yaitu BK1, BK2, dan BK3, dibebani sampai runtuh. Dari pengujian ini didapat beban maksimal (P_{maks}) yang dapat ditahan balok kontrol. Ketiga beban maksimal ini selanjutnya akan dirata – rata dan kemudian digunakan sebagai kontrol untuk mengetahui peningkatan kekuatan lentur balok yang diperkuat dengan *CFRP* dan *GFRP*. Selain itu, 75% dari beban maksimal tersebut akan digunakan sebagai pembebanan awal balok yang diperkuat menggunakan *CFRP* dan *GFRP*. Dari hasil pengujian didapatkan beban maksimal sebesar, BK1 = 4914 kg, BK2 = 5130 kg, dan BK3 = 4698 kg. Hasil rata – rata ketiga beban maksimal tersebut adalah sebesar 4194 kg.

Seperti yang telah disebutkan di atas, pembebanan awal untuk balok yang diperkuat *CFRP* dan *GFRP* bergantung pada rata – rata beban maksimal yang bisa ditahan balok kontrol. Pembebanan awal untuk balok yang diperkuat *CFRP* dan *GFRP* adalah 75% dari 4194 kg, yaitu sebesar 3685,5 kg. Untuk medapat nilai 3685,5 kg pada *proving ring* tidaklah mudah, hal ini dikarenakan pembacaan setiap kenaikan satu setrip pada *proving ring* sama dengan 54 kg. Oleh karena itu, pembebanan awal untuk balok yang diperkuat *CFRP* dan *GFRP* dilakukan sampai beban 3726 kg.

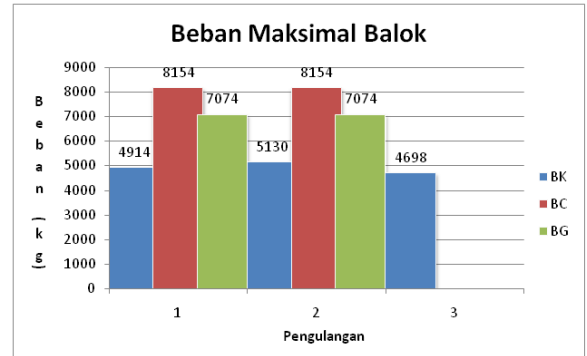
Setelah mendapat nilai pembebanan awal, keenam balok selain balok kontrol diberi beban sebesar 3726 kg. Kemudian keenam balok tersebut diberi perkuatan dengan menggunakan *CFRP* dan *GFRP* di bagian bawah balok. Tiga balok diberi perkuatan *CFRP* yang selanjutnya dinamakan BC1, BC2, dan BC3. Sedangkan tiga balok lainnya diberi perkuatan *GFRP*, yang selanjutnya diberi nama BG1, BG2, dan BG3.

Pada saat pengujian, BC1 dan BG3 mengalami keruntuhan geser, hal ini dikarenakan kesalahan perencanaan pada awal penelitian. Hasil yang didapat pada BC1 dan BG3 tidak sesuai tujuan dari penelitian, sehingga hasil dari kedua balok ini tidak digunakan. Sedangkan untuk balok lainnya, yaitu BC2, BC3, BG1, dan BG2, diberi perkuatan geser menggunakan *GFRP* agar balok bisa mencapai maksimal untuk keruntuhan lentur. Perkuatan ini diletakkan di dekat tumpuan dengan lebar 25 cm. Profil dari *GFRP* yang digunakan sama dengan *GFRP* yang digunakan untuk perkuatan lentur.

Hasil semua balok dari pengujian kuat lentur bisa dilihat pada tabel dan grafik berikut ini:

Tabel 2. Hasil Beban dan Lentutan Balok

Balok	P maks (kg)	Lentutan (mm)
BK1	4914	12,73
BK2	5130	12,07
BK3	4698	17,585
BC1	5454	7,145
BC2	8154	13,15
BC3	8154	19,74
BG1	7074	13,115
BG2	7074	15,165
BG3	5076	9,47



Gambar 9. Diagram Beban Maksimal Balok

Pada gambar dan diagram dapat dilihat perbedaan kekuatan balok untuk menahan beban yang diberikan. Balok yang diperkuat dengan *CFRP* dan *GFRP* terbukti bisa menahan beban lebih besar daripada balok kontrol. Balok kontrol bisa menahan beban dengan rata – rata 4914 kg, sedangkan balok yang diperkuat dengan *CFRP* bisa menahan beban sampai 8154 kg, sedangkan balok yang diperkuat dengan *GFRP* bisa menahan beban sampai 7074 kg

Dari data di atas dapat diketahui prosentase kenaikan kekuatan lentur dari *CFRP* dan *GFRP*. Prosentase pertambahan kekuatan balok dengan perkuatan *CFRP* sebesar 65,934% dari balok kontrol. Sedangkan prosentase pertambahan kekuatan balok dengan perkuatan *GFRP* sebesar 43,956% dari balok kontrol.

Selain membandingkan kekuatan lentur dengan melihat beban maksimal yang bisa ditahan balok, perbandingan kekuatan balok bisa dilihat dengan melihat beban yang bisa ditahan pada lentutan tertentu. Lentutan yang dipakai sebagai kontrol adalah saat balok melendut sebesar 7,5 mm. Angka ini didapat saat balok kontrol sudah melewati fase elastis dan mulai memasuki fase elastoplastis. Hal ini dikarenakan jika dipakai lentutan ijin atau lentutan saat fase elastis, *CFRP* dan *GFRP* belum bekerja terhadap balok, sehingga beban yang bisa ditahan balok kontrol, balok yang diperkuat *CFRP*, dan balok yang diperkuat *GFRP* mempunyai nilai yang sangat dekat.

Berikut ini adalah beban yang bisa ditahan ketujuh balok saat balok melendut 7,5 mm:

Tabel 3. Hasil Beban saat Balok Melendut 7,5 mm

Balok	P maks (kg)	Rata – rata (kg)
BK1	4536	4608,387
BK2	4816,8	
BK3	4472,36	
BC2	5622,75	5695,465
BC3	5768,18	
BG1	5501,25	5241,375
BG2	4981,5	

Dari tabel 3 dapat diketahui prosentase kenaikan kekuatan lentur dari *CFRP* dan *GFRP* saat balok melendut 7,5 mm. Prosentase pertambahan kekuatan balok dengan perkuatan *CFRP* sebesar 23,589% dari balok kontrol. Sedangkan prosentase pertambahan kekuatan balok dengan perkuatan *GFRP* sebesar 13,736% dari balok kontrol.

Dari kedua perhitungan prosentase saat beban maksimal dan saat balok melendut 7,5 mm, dapat diketahui bahwa perkuatan *CFRP* dan *GFRP* berpengaruh pada balok. Hal ini dikarenakan kedua perkuatan ini mempunyai fungsi seperti baja tulangan pada balok, yaitu mempunyai kemampuan untuk menahan gaya tarik yang diakibatkan beban yang bekerja pada balok. Sehingga, beban yang bisa ditahan balok menjadi lebih besar.

Pada pengujian ini, lebar *CFRP* dibuat lebih kecil, agar kekuatan tariknya hampir sama dengan *GFRP*. Lebar *CFRP* yang digunakan sebesar 72 mm, sedangkan lebar *GFRP* adalah selebar balok. Tetapi dengan lebar yang lebih kecil daripada lebar balok, *CFRP* masih bisa bekerja maksimal. Hal ini terlihat pada daerah di bawah balok yang tidak terlapsi *CFRP* tidak menunjukkan adanya retak yang besar, tidak sebesar retak pada saat pengujian balok kontrol

CFRP terbukti lebih baik dalam hal menambah kekuatan lentur pada balok. Perbedaan beban yang bisa ditahan balok yang diperkuat *CFRP* dan *GFRP* adalah 1107 kg dengan balok yang diperkuat *CFRP* bisa menahan beban lebih besar. *CFRP* memang mempunyai karakteristik untuk menambah kekuatan lentur dari balok, sedangkan *GFRP* mempunyai karakteristik untuk mengurangi kelenturan balok. Selain dari karakteristik, bahan dasar dari kedua material ini sudah membuktikan bahwa karbon lebih kuat daripada *glass*.

Selain itu, inersia penampang juga berpengaruh terhadap lentur balok. Semakin kecil inersia suatu balok, tegangan lentur balok semakin besar, sehingga beban yang bisa ditahan juga semakin besar. Inersia balok dengan perkuatan *CFRP* selebar 72 mm lebih kecil jika dibandingkan dengan *GFRP* dengan lebar 100 mm. Sehingga beban yang bisa ditahan balok dengan perkuatan *CFRP* lebih besar daripada balok yang diperkuat menggunakan *GFRP*.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa *CFRP* dan *GFRP* berpengaruh terhadap kuat lentur balok. Beban maksimal yang bisa ditahan balok dengan perkuatan *CFRP* maupun *GFRP* lebih besar daripada beban maksimal yang dapat ditahan balok kontrol.

CFRP lebih baik dalam menambah kekuatan lentur balok daripada *GFRP*. Pertambahan besar beban yang bisa ditahan balok BC dari balok kontrol lebih besar dari pertambahan beban BG dari balok kontrol. Hal ini dikarenakan mutu dan bahan dasar *CFRP* yang lebih baik dalam menahan beban daripada mutu dan bahan dasar *GFRP*. Selain itu, inersia penampang balok yang diperkuat *CFRP* lebih kecil daripada inersia dari balok yang diperkuat *GFRP*.

SARAN

Untuk penelitian yang lebih baik, peneliti harus benar – benar merencanakan besar kuat lentur dan kuat geser, meskipun yang dianalisis hanya kuat lentur. Jika balok hanya didesain menahan beban dari lentur saja, maka akan terjadi keruntuhan geser terlebih dahulu dan mengakibatkan tujuan penelitian tidak tercapai. Penelitian sebaiknya dilakukan dengan menggunakan lebih banyak sampel, agar hasil lebih variatif dan lebih bagus. Selain itu, sebaiknya peneliti membuat sampel cadangan, sehingga jika ada sampel yang rusak bisa langsung digantikan dengan sampel cadangan. Untuk pengembangan lebih lanjut, sebaiknya material perkuatan yang digunakan sebaiknya lebih banyak, sehingga bisa diketahui kelebihan dan kekurangan tiap – tiap material perkuatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 2007. SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Surabaya: ITS Press.
- Endah Kanti Pangestuti. 2009. Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate sebagai Bahan Komposit Eksternal pada Struktur Balok Bertulang. *Jurnal Dinamika TEKNIK SIPIL*. IX (2): 180 – 188.
- Fyfe Co. *Tyfo SCH-41 Composite*. California: Fyfe Co.
- Fyfe Co. *Tyfo SEH-51A Composite*. California: Fyfe Co.
- Fyfe Co. 2013. *Tyfo[®] Fibrwrap[®] Composite Systems*.
<http://www.fyfeco.com/Products/Composite-Systems.aspx>.
(diakses 3 Maret 2014).
- Gideon Kusuma. 1993. *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- I Made Suardana Kader. 2012. Kinerja Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Lentur Lembar *CFRP* yang Divariasi Menurut Mutu Beton dan Jumlah Lapis Lembar *CFRP*. *Jurnal Matrix*. II (1):24 – 32.
- Ilham Muhammad. 2013. *Anova Satu Jalur (One Way Anova)*.
<http://freelearningji.wordpress.com/2013/04/09/anova-satu-jalur-one-way-anova/>.
(diakses 12 Januari 2014).
- Istimawan Dipohusodo. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Jenova. 2013. *Fiberglass*.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Fiberglass>.
(diakses 15 Oktober 2013).
- Maiman, A. 2013. *Carbon fiber reinforced polymer*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-fiber-reinforced_polymer.
(diakses 7 Oktober 2013).
- Mohan, V. 2013. *Fibre-reinforced plastic*.
http://en.wikipedia.org/wiki/Fibre-reinforced_plastic.
(diakses 15 Oktober 2013).
- Nawi, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Erlangga.
- Park, R & Pauley, T. 1975. *Reinforced Concrete Structure*. A Willey Interscience Publication.
- Siti Nurlina. 2008. *Struktur Beton*. Malang: UM Press.