

Studi Eksperimental Perkuatan Balok Beton Bertulang dengan *Wiremesh* dan GFRP

Dedi Vernanda¹⁾

Mohd Isneini²⁾

Fikri Alami³⁾

Abstract

Reinforced concrete beams are structural elements that can experience damage and failure due to bending moments. The damage on this element can be repaired through reinforcement, one of which is using Fiber Reinforced Polymer (FRP).

This study discusses the reinforcement of beam elements using hybrid reinforcement, which is a combination of FRP and wire mesh which are bonded by using epoxy resin glue. The beam has a span between two simple support of 1.5 m width and 15 cm height. The Beams are tested with two point loads gradually, started from zero to collapse. There were 6 pieces of beams tested, 2 beams without reinforcement, 4 beams with reinforcement of 2 layers of GFRP and 2 layers of wiremesh.

The experimental results show that reinforced beams can increase load capacity up to 200% compared to unreinforced beams. The initial first load (P_{cr}) with reinforced beams also increases 100% compared to unreinforced beams. However, beams without reinforcement are more ductile than reinforced beams.

Keywords: Beams, Concrete, GFRP, Strengthening, Wiremesh

Abstrak

Balok beton bertulang adalah elemen struktur yang dapat mengalami kerusakan dan kegagalan akibat momen lentur. Kerusakan pada elemen ini dapat diperbaiki dengan perkuatan yang salah satunya adalah menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP).

Penelitian ini membahas perkuatan elemen balok dengan menggunakan perkuatan hybrid yaitu gabungan antara FRP dan *wiremesh* yang diikat dengan lem epoxy resin. Balok mempunyai bentang diantara dua tumpuan sederhana 1,5 m, lebar dan tinggi 15 cm. Balok diuji dengan dua beban titik secara bertahap dari nol sampai dengan runtuh. Balok yang diuji ada 6 buah, 2 buah balok tanpa perkuatan, 4 buah balok dengan perkuatan 2 lapis GFRP dan 2 lapis *wiremesh*.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa balok dengan perkuatan mampu meningkatkan kapasitas beban sampai dengan 200% dibandingkan balok tanpa perkuatan. Beban retak awal (P_{cr}) balok dengan perkuatan juga meningkat 100% dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan. Namun, balok tanpa perkuatan lebih daktail dibandingkan dengan balok dengan perkuatan.

Kata kunci: Balok, Beton, GFRP, Perkuatan, *Wiremesh*

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan elemen struktur bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan hingga saat ini. Salah satunya penggunaan beton bertulang, beton bertulang banyak diterapkan pada bangunan. Seiring berjalannya waktu, beton mengalami penurunan kekuatan bahkan beton bisa mengalami kerusakan-kerusakan atau kegagalan struktur, hal ini tidak terlepas dari fungsi balok yaitu menahan gaya momen yang mengakibatkan lentur dan geser yang bisa ditimbulkan dari pembebanan yang berlebih atau akibat bencana alam.

Untuk menghindari kegagalan struktur tersebut maka dapat dilakukan dengan cara perkuatan struktur. Salah satu metode perkuatan struktur dengan GFRP (*Glass Fiber Reinforcement Polymer*). Metode perkuatan dengan GFRP ini diaplikasikan bersama dengan epoxy. Epoxy adalah perekat yang berfungsi merekatkan GFRP dengan bahan lain seperti beton, baja, pipa.

Pada penelitian terdahulu, Sudarsana dan Widiarsa (2008) balok yang diperkuat dengan GFRP dapat meningkatkan kuat lentur balok, dimana pada penambahan 1 lapis GFRP terjadi peningkatan sebesar 10,8 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan putusnya GFRP. Sedangkan pada penambahan 2 lapis GFRP terjadi peningkatan kuat lentur sebesar 13,4 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan pelepasan lekatan antara GFRP dengan beton (debonding). Hal ini menunjukkan penggunaan GFRP untuk perkuatan balok sangat berpengaruh besar terhadap kapasitas menahan beban pada balok. Namun hal ini menunjukkan GFRP belum bekerja maksimum, mengingat terjadi keruntuhan yang berbeda pada kedua model tersebut. Karena hal itu, penulis akan melakukan penelitian mengenai perkuatan balok beton bertulang dengan mengkombinasikan wiremesh dan GFRP. Penulis akan menggunakan perkuatan dengan kombinasi GWWG (GFRP wiremesh wiremesh GFRP) dan GGWW (GFRP GFRP wiremesh wiremesh) kombinasi antara GFRP dan wiremesh ini diharapkan dapat lebih memaksimalkan penggunaan GFRP dan juga lebih meningkatkan nilai daktilitas pada balok

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberi sumbangsih terhadap pengetahuan khususnya dalam ilmu pengetahuan alam terkait perkuatan menggunakan GFRP dan *wiremesh*. Memberi masukan bagi peneliti berikutnya untuk mengembangkan bentuk-bentuk pengaplikasian perkuatan khususnya berkaitan dengan perkuatan struktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Semakin berkembangnya teknologi bahan pada saat saat ini, berdampak kepada konstruksi beton semakin banyak dipilih sebagai bahan konstruksi. Pemilihan konstruksi dari beton banyak memiliki keuntungan seperti harga yang relatif lebih murah, mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, serta mudah dalam hal perawatannya, sehingga banyak bangunan-bangunan yang didirikan memilih konstruksi yang terbuat dari beton sebagai bahan utamanya.

Penggunaan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) untuk perbaikan dan perkuatan beton merupakan salah satu alternatif yang bisa digunakan. Dengan cara perbaikan yang lebih mudah dari segi pelaksanaan dan dapat diaplikasikan oleh setiap pelaksana (kontraktor). Metode penguatan dengan serat polimer membutuhkan perencanaan yang tepat, baik dari segi desain (analisis perilaku struktur beton), kondisi lapangan (pengaruh lingkungan)

dan pemeliharaan jenis tipe serat (*fiber*). Hal ini untuk menghindari tidak terjadinya kegagalan pada saat penguatan. Penggunaan serat polimer pada kondisi lingkungan yang ekstrim, akan memerlukan suatu sistem perlindungan terhadap permukaan serat dari pengaruh suhu, zat kimia maupun radiasi sinar matahari (Basuki, 2005).

2.2. FRP dan Aplikasi Pada Perkuatan Struktur

Salah satu material perkuatan struktur yang sekarang ini banyak digunakan adalah FRP. FRP adalah perkuatan yang memiliki kemampuan menahan Tarik yang besar. FRP juga memiliki kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Proses pemasangannya pun sangatlah mudah dilakukan. Material ini bisa diperoleh dalam bentuk lembaran yang dalam penggunaannya digabungkan dengan *epoxy*. Metode tradisional dengan menggunakan material pelat baja yang diikat dengan *epoxy* pada struktur kolom beton bertulang. Namun lambat laun teknik atau metode ini mulai tergeser dengan hadirnya material baru yang disebut dengan FRP. Dengan material ini perkuatan struktur dapat menghasilkan peningkatan kekuatan yang cukup tinggi (US Army, 2002).

FRP dapat dibuat dari material yang berbeda seperti kaca, karbon, aramid, boron, dan produk lainnya. FRP kuat terhadap tarik dan memiliki kekuatan paling tinggi sepanjang arah longitudinal. Keuntungan penggunaan pada material kaca yaitu harga murah, kekuatan tarik tinggi, reaksi terhadap kimia tinggi, berat jenis relative tinggi, sensitif terhadap abrasi. Keuntungan penggunaan pada material karbon yaitu perbandingan kekuatan tarik terhadap berat yang tinggi (Gangarao dkk, 2006).

2.3. Wiremesh

Wiremesh adalah jaring kawat baja las yang berkualitas tinggi, setiap detil *wiremesh* dibuat dengan pengawasan yang sangat teliti. Dimana mulai dari pemilihan material atau bahan yaitu besi melalui kontrol yang ketat kemudian di las dengan mesin las otomatis yang berteknologi tinggi, sehingga menghasilkan *wiremesh* berkualitas tinggi. Pada penelitian ini *wiremesh* yang digunakan tipe kawat jala las segi empat diameter 0.53 mm dengan lebar bukaan 6 mm x 6 mm.

2.4. Aplikasi Wiremesh

Salah satu aplikasi penggunaan *wiremesh* yaitu untuk penambahan kapasitas lentur pada perkuatan balok beton bertulang dengan metode retrofit yang menggunakan material *wiremesh* dan *self compacting concrete* (SCC) (Amirudin, 2014).

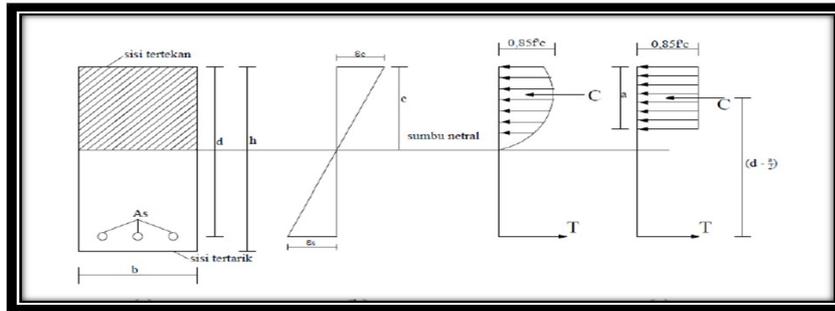
Selain untuk penambahan kapasitas lentur, aplikasi lain dari *wiremesh* yaitu pada penggunaannya terhadap *ferroement*. *Ferroement* adalah konstruksi beton tipis yang dibentuk dengan pasir, semen, air dan *wiremesh* sebagai pengganti tulangan, penggunaan *ferroement* biasanya digunakan pada konstruksi yang memerlukan bentuk lengkung atau parabol serta beban yang ringan, seperti pada kubah masjid, pembangunan saluran air, serta pembuatan simbol daerah.

2.5. Perkuatan GFRP pada Konstruksi Beton

Penggunaan GFRP pada beton dengan cara dibalut (*wrapping*). Perbaikan ini dibagi menjadi tiga yaitu perbaikan ringan, perbaikan sedang dan perbaikan berat. Cat dasar atau mengoleskan (*priming*) permukaan beton dengan tyfo SW-1 Epoxy. Penjenuhan (*saturation*) Tyfo SEH 51-A dengan Tyfo SW-1 epoxy menggunakan kuas. Membungkus (*wrapping*) permukaan beton dengan Tyfo seh-51 A setelah permukaan dioleskan epoxy.

2.6. Analisis Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Tunggal

Beton mempunyai kekuatan tarik yang sangat kecil, untuk menambah kemampuan dan kapasitas dukung struktur balok beton diperlukan batang tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja. Sistem tulangan tunggal hampir tidak pernah dimanfaatkan untuk balok, karena pemasangan tulangan tambahan di daerah tekan. Perencanaan penulangan lentur didasarkan pada asumsi bahwa tulangan baja telah mencapai regangan leleh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.



Gambar 1. Distribusi tegangan regangan pada penampang balok: (a) penampang melintang; (b) regangan; (c) blok regangan ekuivalen yang diasumsikan.

Berdasarkan bentuk empat persegi panjang pada balok beton, intensitas tegangan beton rata-rata ditentukan sebesar $0,85 f'_c$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus (SNI 2847:2013) : Persamaan keseimbangan gaya horizontal gaya internal:

$$C = T \quad (1)$$

Daerah tekan beton:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad (2)$$

Daerah tarik baja tulangan:

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3)$$

Rasio penulangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho_b = \frac{(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1)}{(f_y)} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \quad (4)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (5)$$

$$\rho_{max} = \frac{(0,003 + (\frac{f_y}{E_s}))}{(0,003 + \epsilon_t)} \cdot \rho_b \quad (6)$$

Syarat faktor β_1 :

Untuk $f'_c \leq 28$ Mpa

$$\beta_1 = 0,85 \quad (7)$$

Untuk $f'_c > 28$ Mpa

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{(7 \cdot (f'_c - 28))} \quad (8)$$

Syarat rasio tulangan yang dipakai:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\text{maks}}$$

Syarat tebal selimut beton yang digunakan:

$$P \geq 20 \quad (9)$$

Tinggi efektif balok beton:

$$d = h - P - \phi_{\text{sengkang}} - 1/2 \phi_{\text{tul}} \quad (10)$$

luas tulangan yang diperlukan:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (11)$$

Syarat luas tulangan yang dipasang :

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu} \quad (12)$$

Persamaan momen nominal:

$$M_n = T(d - a/2) \text{ atau } C(d - a/2) \quad (13)$$

2.7. State of Art Perkuatan Lentur dengan GFRP

Balok yang diperkuat dengan GFRP dapat meningkatkan kuat lentur balok, dimana pada penambahan 1 lapis GFRP terjadi peningkatan sebesar 10,8 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan putusya GFRP. Sedangkan pada penambahan 2 lapis GFRP terjadi peningkatan kuat lentur sebesar 13,4 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan pelepasan lekatan (*debonding*) antara GFRP dengan beton (Sudarsana dan Widiarsa, 2008).

Alami (2010) meneliti balok beton bertulang yang diperkuat dengan GFRP. Balok beton bertulang berukuran 20 cm x 30 cm x 300 cm sebanyak 4 buah dengan variasi jumlah layer yaitu tanpa GFRP, dengan GFRP 1 layer, 2 layers dan 3 layers. Pengujian lentur dilakukan pada 4 balok beton bertulang. Peningkatan kekuatan berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium ditunjukkan dengan meningkatnya nilai beban yang mampu ditahan oleh balok dari (BL) 4,198 ton, (BL-1) 6,804 ton (meningkat 62,08 %), (BL-2) 7,078 ton (meningkat 68,60 %), dan (BL-3) 7,352 ton (meningkat 75,13 %). Mode

kegagalan pada balok beton (BL) pada penelitian ini ialah keruntuhan lentur, keruntuhan GFRP yang terjadi ialah *pillling off* atau pelat GFRP mengelupas (Alami, 2010).

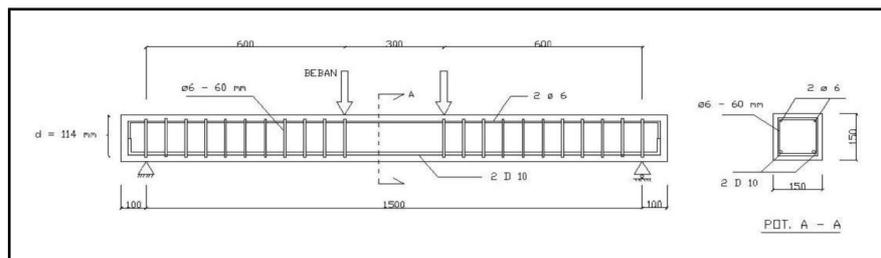
3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode Eksperimental

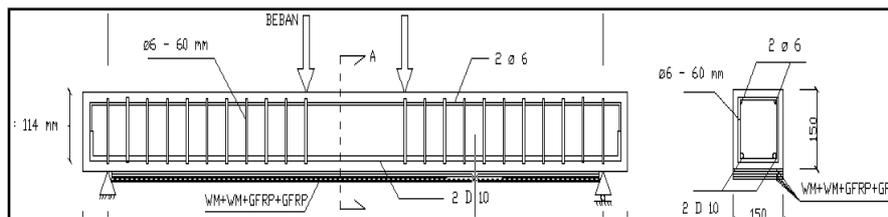
3.1.1. Benda Uji

Penelitian ini menggunakan 30 buah benda uji silinder dengan dimensi diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm, dan 3 buah benda uji balok beton bertulang dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 170 cm. Ketiga benda uji mempunyai variasi yang berbeda-beda. Balok pertama (BN) merupakan balok beton bertulang tanpa perkuatan atau disebut balok normal, balok kedua merupakan balok yang diperkuat dengan kombinasi GWWG, dan balok yang ketiga merupakan balok yang diperkuat dengan kombinasi GGWW. Balok normal, kombinasi GWWG dan kombinasi GGWW bisa dilihat pada gambar berikut:

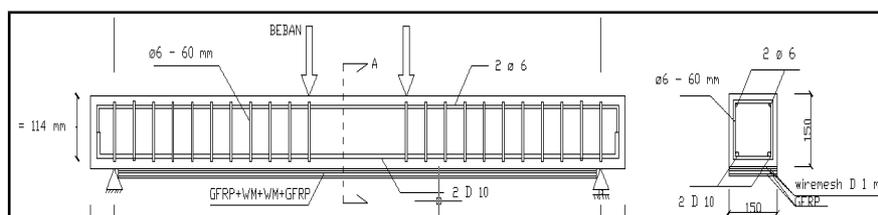
Untuk daerah tekan, tulangan yang digunakan adalah 2 ϕ 6 dan pada daerah tarik digunakan tulangan 2 D 9. Sementara untuk tulangan sengkang digunakan ϕ 6 – 60 mm. Detail benda uji dapat dilihat seperti pada Gambar 3.4, 3.5, dan 3.6 . Benda uji akan dicor menggunakan *ready mix* dengan kuat tekan $f'c = 26,43$ Mpa.



Gambar 2. balok beton tanpa perkuatan.



Gambar 3. balok beton dengan perkuatan GGWW.

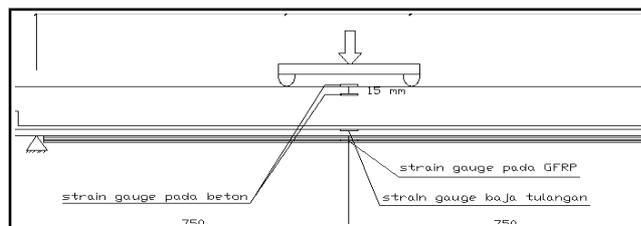


Gambar 4. balok beton dengan perkuatan GGWW

GFRP dan *wiremesh* akan dipasang setelah benda uji dicuring selama 28 hari. GFRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah GFRP tipe SEH51 dengan *Ultimate Tensile Strength* dalam arah serat utama sebesar 460 MPa, dan *Tensile Modulus* sebesar 20900 MPa. Ketebalan 1 lapis GFRP yang digunakan yaitu 1,33 mm. Sedangkan *wiremesh* yang digunakan tipe kawat jala las segi empat diameter 0,55 mm dengan lebar bukaan 6 mm x 6 mm.

3.1.2. Persiapan Pengujian

Untuk mengukur lendutan pada balok setelah dilakukan pembebanan maka dipasang *strain gauge*. Pemasangan *strain gauge* pada baja tulangan di daerah tarik sebanyak 1 buah. Pada beton dipasang *strain gauge* sebanyak 2 buah yaitu pada daerah tekan benda uji dan daerah 15 mm tinggi dari atas benda uji. Pada GFRP dipasang *strain gauge* sebanyak 1 buah yang posisi pemasangannya berada di tengah benda uji seperti ditunjukkan pada gambar berikut. Posisi penempelan GFRP dan *wiremesh* berada pada daerah sisi tarik benda uji balok. Hal ini dikarenakan penelitian ini berfokus pada perilaku balok akibat gaya lentur dengan kombinasi perkuatan yang berbeda atau tanpa adanya perkuatan sama sekali.



Gambar 5. Posisi *Strain gauge* pada balok.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Metode Teoritis

Metode teoritis digunakan untuk menganalisis kemampuan balok menahan beban yang tujuannya adalah sebagai pembanding dari hasil yang diperoleh di metode eksperimental. Data material yang digunakan dalam perhitungan metode teoritis telah disesuaikan dengan material-material penyusun balok pada metode eksperimental. Pada metode ini penulis menggunakan kuat tekan beton sebesar 26,43 MPa, hasil ini merujuk pada *trial* yang sebelumnya telah dilakukan.

Dari perhitungan teoritis diperoleh momen nominal balok dengan penambahan perkuatan dua lapis *wiremesh* dan dua lapis *GFRP* sebesar 1,97 tm, sedangkan untuk beban yang mampu ditahan oleh balok dengan penambahan perkuatan dua lapis *wiremesh* dan dua lapis *GFRP* adalah sebesar 6,58 ton, hasil ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan perkuatan pada balok, mampu meningkatkan kemampuan balok menahan beban yang awalnya sebesar 1,92 ton menjadi 6,58 ton. Angka menunjukkan bahwa ada peningkatan sebesar 200% dari kemampuan awal balok. Sedangkan untuk perhitungan beban retak pertama dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Beban retak awal pada perhitungan teoritis.

No	Balok Uji	P_{cr} (Ton)
1	Balok Normal	0.59764
2	Balok GWWG	0.60661
3	Balok GGWW	0.60525

4.2. Metode Eksperimental

Metode eksperimental adalah metode penelitian yang dilakukan di laboratorium dengan cara pengujian sampel uji untuk mendapatkan data penelitian. Pengujian dilakukan di laboratorium struktur dan bahan universitas lampung dari bulan maret hingga bulan oktober. Hasil yang diperoleh dari metode eksperimental adalah data regangan balok, data defleksi balok, dan beban yang mampu ditahan oleh balok.

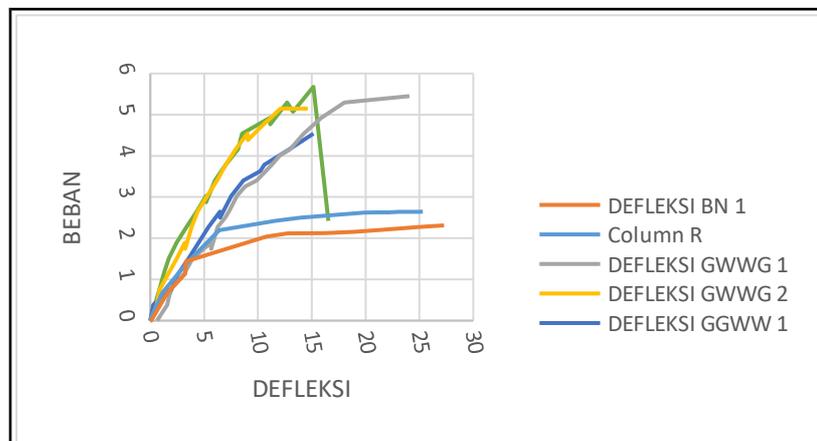
4.2.1. Hasil Pengujian

dari hasil pengujian diperoleh kemampuan balok menahan beban dan beban saat awal balok mengalami retak. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. beban yang mampu ditahan balok.

No	Tipe balok	Beban maksimum (ton)	Beban retak awal (ton)
1	BN 1	2,307	1,135
2	BN 2	2,650	1,440
3	Balok GWWG 1	5,448	1,589
4	Balok GWWG 2	5,145	1,891
5	Balok GGWW 1	4,540	0,757
6	Balok GGWW 2	5,675	1,513

Pada penelitian ini juga mencatat defleksi yang terjadi pada balok, defleksi yang dicatat adalah defleksi yang terjadi pada tengah tengah bentang balok , pencatatan defleksi setiap peningkatan beban 378 kg sampai balok benar-benar mengalami keruntuhan. Pencatatan defleksi menggunakan 2 buah *dial gauge* dengan kemampuan baca 3 cm dan 5 cm. hubungan antara beban dengan defleksi yang terjadi selama pengujian balok dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 6. Grafik hubungan beban dan defleksi.

Dari grafik gabungan antara balok yang diperkuat dengan balok tanpa perkuatan dapat dilihat bahwa untuk balok tanpa perkuatan (BN 1 dan BN 2) menunjukkan defleksi yang besar dibandingkan dengan ke empat balok yang diberikan perkuatan, selain itu balok yang diperkuat dengan *wiremesh* dan *GFRP* menunjukkan kekakuan balok meningkat hal ini ditunjukkan dengan bertambahnya beban yang mampu ditahan balok lebih besar dan meningkat jika dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan.

4.2.2. Model Retakan pada Balok

Pola retak yang terjadi pada semua pengujian balok uji dalam penelitian ini adalah pola retak lentur, hal ini ditunjukkan dari adanya retakan-retakan yang arah rambatannya tegak lurus terhadap sumbu memanjang balok. Retak-retak awal yang terjadi pada balok ini semuanya terjadi pada daerah yang memiliki nilai momen maksimum, yaitu pada jarak diantara pembebanan. Apabila beban yang diberikan terhadap balok terus ditambah, retak-retak yang timbul ditengah bentang akan terus bertambah dan retak-retak awal yang telah terjadi akan semakin melebar dan semakin panjang menuju sumbu netral. Balok mengalami keruntuhan pada beban maksimum yang ditandai dengan semakin melebarnya retakan dan lelehnya baja dengan semakin besarnya lendutan yang terjadi. Pada balok yang diberikan penambahan perkuatan berupa *GFRP* dan *wiremesh*, panjang retak yang terjadi lebih lambat dari pada panjang retak balok tanpa perkuatan. Dan lebar retakan pada balok dengan perkuatan lebih kecil dari pada lebar retak balok tanpa perkuatan. Hal ini menunjukkan dengan adanya penambahan lapis perkuatan mampu menahan terjadinya retak pada balok.

5. KESIMPULAN

Perhitungan secara teoritis untuk balok normal tanpa perkuatan mampu menahan beban sebesar 1923 kg, dan untuk perhitungan secara teoritis balok dengan perkuatan *GFRP* dan *wiremesh* mampu menahan beban sebesar 6587 kg, sedangkan untuk hasil metode eksperimental balok normal mampu menahan beban sebesar 2310 dan 2650 kg, sedangkan untuk balok perkuatan dengan sampel pengujian Balok GWWG 1 mampu menahan beban sebesar 5448 kg, untuk balok uji dengan sampel GWWG 2 mampu menahan beban sebesar 5145 kg, balok dengan sampel GGWW 1 mampu menahan beban sebesar 4540 kg, dan untuk balok dengan sampel GGWW 2 mampu menahan beban sebesar 5675 kg. Model keruntuhan yang terjadi pada balok normal adalah keruntuhan lentur, Untuk balok dengan adanya penambahan perkuatan *GFRP* dan *wiremesh* adalah keruntuhan lentur bersama lepasnya (*debonding*) perkuatan pada ujung balok.

DAFTAR PUSTAKA

- Alami, Fikri, 2010, *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforce Polymer (GFRP)*, Seminar dan Pameran HAKI, Jakarta.
- Amiruddin, A. A., 2014, *Metode Retrofit dengan Wiremesh dan Scc Untuk Peningkatan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang 1*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Basuki, Ariyadi, 2005, *Sistem Penguatan Struktur Beton Menggunakan Serat Polimer (Fiber Reinforced Polimer)*, Berita Teknologi Bahan dan Barang Teknik, No. 19, Bandung.

Gangarao, Hota, V. S., Narendra, T. P. V., Vijay, 2006, *Reinforced Concrete Design With FRP Composites*, CRC Press, London.

SNI 2847, 2013, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Standar Nasional Indonesia, Bandung.

US Army, 2002, *Composite Materials Handbook Volume 3, Polymer Matrix Composites Materials Usage, Design, And Analysis*, Research Laboratory, Department of Defense Handbook MIL-HDBK-17-3F, USA.