

STUDI BEBAN FATIK TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG PERKUATAN GLASS FIBER REINFORCED POLYMER SHEET

Study of Fatigue Loading to Flexural Capacity of Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer Sheet

¹Fatriady MR

Email: fatriady@yahoo.com

¹Kopertis IX-Makassar-Indonesia

Abstract

The useful life of reinforced concrete structural elements could mean that the structural elements of reinforced concrete is not able to withstand the repeated load. In this regard, conducted research that aims to understand the behavior of reinforced concrete flexural loading fatigue and effects receives tired and reinforcements Sheet Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP-S). Methods to set boundaries or controls in the calculation of the capacity of the test beam and its impact on behavior and reinforcement in the beam test obtained in a number of references. This study makes a test beam with a full-scale model with a size of 300 x 500 x 6000 mm. Number of test blocks are provided each with 4 pieces of reinforced concrete. Tests conducted on the technique of static loading on 3 pieces of test beams A 1, B 1 and B 2 and the fatigue loading on the first specimens of B 2 with 1:25 Hz cycle frequency. The results showed that the effect of fatigue on concrete receiving sufficient load capacity and a big influence on the behavior of concrete. Concrete receiving static load is able to accept a maximum load of 470 kN while the concrete receiving the fatigue load is able to accept the fatigue load minimum 75 kN and 260 kN maximum endures to 1,300,000 cycles with a greater deflection behavior. Observations on the beam construction of static and fatigue loading test showed retrofitting of GFRP-S is able to increase the capacity of the test beam in the receiving load. Capacity test on the beam reinforcement GFRP has not mencapai ultimate theoretical capacity, so it needs further study regarding pengaruh cracking and melting before retrofitting GFRP rebars. Analysis of fatigue in structures is essential for the achievement of the design life of the structure and the salvation of mankind.

Keywords: concrete beam, static load, fatigue load, GFRP, deflection

PENDAHULUAN

Perkuatan pada konstruksi beton bertulang menjadi hal yang sangat penting, terlebih pada struktur yang telah mengalami penurunan kekuatan akibat umur, pengaruh lingkungan, perubahan fungsi struktur, desain awal yang kurang, kelemahan perawatan, ataupun kejadian-kejadian alam seperti gempa bumi. Saat ini, perhitungan respon suatu desain hanya didasarkan pada beban-beban dan gangguan-gangguan lingkungan yang spesifik. Asumsi-asumsi analisis dan tegangan-tegangan hitung yang diamati pada batas-batas yang diizinkan maka akan disimpulkan bahwa rancangan aman tanpa memandang berapa kali beban-beban tersebut diaplikasikan. Berdasarkan pengamatan ternyata

pembebanan berulang (*repeated loading*) akan memperlemah suatu struktur pada waktu tertentu (bulanan hingga tahunan) walaupun tegangan yang terjadi pada bagian tersebut lebih kecil dari batas tegangan yang diizinkan. Setiap siklus dari fluktuasi tegangan memperlemah objek tersebut hingga pada beberapa besaran (derajat) semakin lemah dan kemudian gagal. Fenomena ini dikenal sebagai fatik (*fatigue*).



Gambar 1. Peristiwa robohnya struktur jembatan sebelum usia rencana

Beban berulang biasanya terjadi pada jembatan jalan raya (*Highway bridge*), rel baja, struktur lepas pantai, dll. Beberapa jenis struktur ini mengalami jutaan (atau bahkan milyaran) siklus pembebanan selama masa gunanya. Korosi tulangan baja merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi dalam proses konstruksi saat ini. Dibutuhkan metode perkuatan struktur yang tahan lama untuk menggantikan konvensional baja. Glass Fiber Reinforced Polymer Sheet (GFRP-S) adalah material yang berkarakteristik memiliki kekuatan tarik tinggi, tahan korosi dan serangan kimia.

Telah dilakukan studi eksperimental pada perkuatan struktur beton bertulang menggunakan Fiber Reinforced Polymer oleh Shin et al. (2009), hasil penyelidikan menunjukkan lendutan dan tegangan pada balok lebih besar dengan penggunaan GFRP. Pada benda uji balok beton bertulang dengan perkuatan lentur GFRP-S oleh Alami (2010), Bukorsyom (2011) diperoleh tinjauan bahwa peningkatan kekuatan beban ultimate pada balok meningkat lebih 50% dengan perkuatan GFRP. Pada analisis regangan pada kurva tegangan regangan hasil perkuatan GFRP menunjukkan perbandingan nilai regangan yang cukup besar pada kemampuan tarik lapis GFRP melebihi 2 kali lipat kapasitas tarik tulangan pada beton bertulang dan sesuai dengan yang aplikasi GFRP menurut oleh Ballaguru dkk (2009). Perkuatan inilah yang dimaksudkan untuk diaplikasikan pada konstruksi beton yang menerima beban fatik. Kerangka pikir penelitian ini seperti pada Gambar di bawah.



Gambar 2. Kerangka pikir

Tabel 1. Karakteristik material GFRP (Fyfo.Co LLC)

SIFAT MATERIAL GFRP				
KEADAAN LEPAS		KEADAAN KOMPOSIT		
SIFAT MATERIAL	NILAI TEST	SIFAT MATERIAL	NILAI TEST	
			TEST	DESAIN
Tegangan Tarik	3.24 Gpa	Tegangan Ultimate dalam arah utama	575 Mpa	460 Mpa
Modulus Tarik	72.4 Gpa	Regangan	2.20%	2.20%
Regangan Maks	4.50%	Modulus Tarik	26.1 Gpa	20.9 Gpa
Kerapatan	2.55 g/cm3	Tegangan Tarik Ultimate 90° dari	25.8 Mpa	20.7 Mpa
Tebal Fiber	0.36 mm	Tebal Komposit	1.3 mm	3 Mm

Sumber: Fyfo.Co.LLC



Gambar 3. Jenis bahan perekat SEH-51

Material GFRP merupakan material perkuatan serat kaca dengan sejumlah jenis untuk aplikasi tertentu. Pada penelitian ini digunakan jenis *S atau R-Glass*, yang diproduksi untuk ekstra kekuatan tinggi dan modulus yang tinggi.

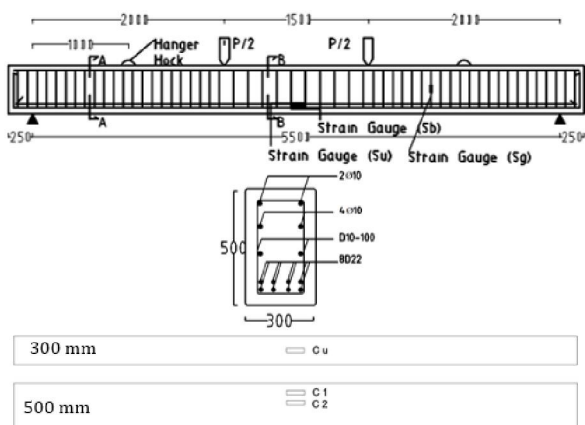
Beberapa faktor keunggulan/kelebihan penggunaan FRp (Hartono dan Sentosa 2003) antara lain:

- Kuat tarik sangat tinggi (+ 7 yd 10 kali lebih tinggi dari baja U39).
- Sangat ringan (density = 1,4 -2,4 gt/cm3,4 s/d 6 kali lebih ringan dari baja).
- Pelaksanaan pekerjaan sangat mudah dan cepat.
- Pada pekerjaan perbaikan/ perkuatan jembatan tidak memerlukan penutupan lalu-lintas.
- Tidak memerlukan area kerja yang luas.
- Tidak memerlukan sambungan joint walaupun bentang yang harus diperkuat cukup paqiane.

g. Tidak berkarat.

Karakter material GFRP dapat diamati pada Tabel 1 pada kondisi lepas dan komposit.

Fakta yang terjadi sekarang ini, sejumlah kerusakan pada konstruksi dunia mendahului usia rencana. Dalam penelitian ini, akan diteliti perilaku konstruksi beton dalam menerima beban fatik dan efek perkuatan balok uji dengan aplikasi GFRP-S, profil balok uji seperti terlihat pada gambar di bawah:



Gambar 4. Profil balok uji

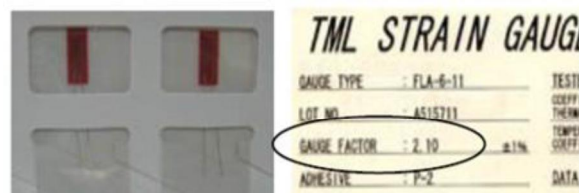
Suatu alat ukur regangan harus memiliki karakteristik dasar sebagai berikut: memiliki panjang dan lebar alat ukur yang tidak terlalu besar, memiliki sensitivitas atau nilai regangan terkecil yang dapat dibaca pada skala di mana sensitivitas dapat ditingkatkan dengan menerapkan faktor pembesaran, memiliki rentang pembacaan yang nilai terbesar dapat dibaca, memiliki akurasi hasil bacaan. Salah satu alat ukur regang yang memenuhi karakteristik dasar tersebut adalah strain gauge atau *Electrical Resistance Strain Gauges (ERSG)*.

ERSG merupakan salah satu sistem ukuran regangan yang memperlihatkan sifat-sifat alat ukur regangan yang optimum dan paling banyak/sering digunakan dalam pekerjaan analisis tegangan. ERSG juga banyak dimanfaatkan sebagai sensor pada sebagai transducer untuk pengukuran beban, torsi, tekanan dan percepatan. Prinsip kerja ERSG ditemukan oleh Lord Kelvin (1856), yaitu: *“perubahan tahanan pada suatu material (baja/copper) dapat terjadi akibat perubahan regangan pada material tersebut”*. Tiga dasar pengukuran regangan dengan ERSG antara

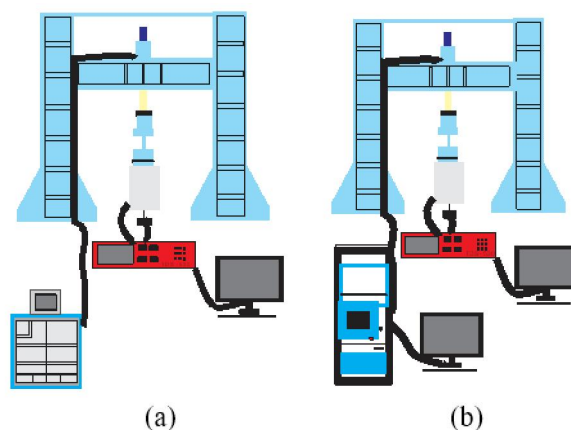
lain:

- Perubahan tahanan kawat sebagai fungsi perubahan regangan
- Material yang berbeda mempunyai sensitivitas perubahan tahanan yang berbeda

Jembatan wheatstone merupakan rangkaian yang dapat digunakan untuk mengukur perubahan tahanan yang terjadi secara akurat.



Gambar 5. Strain gauge dalam kemasan



Gambar 6. Skema Pengujian (a) Statik (b) Fatik

METODE PENELITIAN

Populasi dan sampel

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7 dan 28 hari yang mengacu pada SNI nomor 1974 (2011). Rumus kuat tekan diberikan oleh $\sigma = \frac{P}{A}$, dengan P = Beban maksimal, dan A = Luas permukaan beton silinder sebagai sampel uji karakteristik balok uji. Kuat lentur pada benda uji balok dimensi 100 mm x 100 mm x 400 mm.

Bahan dan peralatan yang digunakan pada pembuatan beton adalah semen OPC Tonasa Type 1, sumber material dari sungai Biring Ere – Pangkep Sulawesi Selatan, Strain Gauge dari Jepang, dan GFRP dari Fyfe Indonesia. Peralatan yang digunakan antara lain mesin penguji kapasitas 1500 kN, cetakan silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm,

computerized fatigue test machine = 1000 kN test system, statik loading frame with hydraulic jacks = 1500 kN hydraulic jack, dan data Logger.

Komposisi beton yang dibuat berupa balok skala penuh 300 x 500 x 6000 mm sebanyak 4 buah. Dari faktor air-semen 0,40 memberikan komposisi mix desain beton proporsi 200 liter air, 500 Kg semen, 630 Kg pasir, 453 Kg batu 1-2, dan 571 kg batu 2-3, retarder 1.75 liter.

Untuk mengukur regangan beton dipasang *strain gauge* pada sisi tekan terluar balok (C u), 10 cm ke bawah badan benda uji (C 1), dan 20 cm ke bawah benda uji (C 2). Sedangkan untuk mengukur regangan tarik maka dipasang *strain gauge* pada tulangan dan GFRP. Pengujian yang dilakukan memberikan data pembacaan yang komplit pada setiap unsur konstruksi beton bertulang balok uji. Rangkaian channel pembacaan yang terpasang pada balok uji disambungkan pada data logger mampu memberikan hasil data perilaku pengujian pada setiap tahap perilaku struktur menerima pembebanan.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin Makassar. Penelitian dilaksanakan selama 8 bulan.

Bahan dan Alat Penelitian

1. Hydraulic Power Supply HPT74W14-F-J01.
2. Computerized fatigue Test Machine = 1000 kN Test System.
3. Static Loading frame with Hydraulic Jacks = 1500 kN Hydraulic Jack.
4. Hydraulic Pump Unit, Flow Rate = 175 L/min (50 Hz), 37 kWx2(4 Pole).
5. Data Logger.
6. Strain Gauge.
7. GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer).
8. Bahan perekat produk Fyfe Co.

Metode penelitian

Pengujian perilaku pembebanan pada balok uji dilakukan dengan alat uji Statik Loading frame with Hydraulic Jacks = 1500 kN Hydraulic Jack, data logger, dan PC. Sementara pembebanan fatik dengan alat uji

Computerized Fatigue Test Machine = 1000 kN Test System, data logger, dan PC. Teknik pengujian dilakukan dengan diawali pada balok uji kontrol Balok B1. Selanjutnya pengujian dilakukan pada balok uji A1 dengan pembebanan statik, di mana hasil analisis kondisi tahapan regangan baja pada balok uji B 1 menjadi dasar penentuan kondisi perkuatan GFRP efektif secara analisis teori. Sementara pengujian fatik pada balok uji A 2 dilakukan dengan sistem pembebanan minimum 75 kN dan maksimum 260 kN dengan frekuensi siklus pembebanan 1.25 Hz dan lekatan GFRP secara full pada permukaan bawah balok uji.

Adapun jenis balok uji yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Balok uji statik kontrol.
Balok uji dengan simbol B 1 merupakan balok kontrol untuk mengetahui tahapan perilaku 4 balok uji yang memiliki karakteristik bahan yang sama. Dimaksudkan pembacaan perilaku balok ini akan menjadi dasar penentuan kondisi untuk perkuatan GFRP dan kemampuan ultimate balok uji sampai hancur.
- b. Balok uji statik perkuatan GFRP efektif.
Balok uji disimbolkan A 1 merupakan balok uji pertama yang divariasikan pada pembebanan statik dengan perkuatan GFRP efektif sesuai analisis perkuatan GFRP secara teori. Analisis perkuatan diperoleh luas lekatan GFRP adalah 1500 x 200 mm yang dilekatkan pada sisi tengah balok uji di permukaan tarik.
- c. Balok uji statik perkuatan GFRP full.
Balok uji bersimbolkan A 2 merupakan balok uji pada pembebanan statik sebagai variasi perkuatan dengan GFRP.
- d. Balok uji fatik perkuatan GFRP.

Balok uji disimbolkan B 2 pada gambar di bawah merupakan balok uji pada pembebanan fatik yang akan diperkuat dengan GFRP. Sesuai dengan variasi perkuatan pada pembebanan statik, dimaksudkan untuk memperoleh hasil pengaruh pembebanan fatik pada balok uji dengan perkuatan yang sama pada beban statik.



Gambar 7. Kegiatan Penelitian

Pembacaan beban, regangan, dan lendutan pada balok uji dilakukan pada PC yang dihubungkan dengan rangkaian data logger yang mengoperasikan pembacaan pada kabel data dan strain gauge yang terpasang sesuai gambar profil permukaan balok beton di atas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Karakteristik Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan umur rendamannya yang kemudian dapat dilihat perbandingan. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan beton pada pengujian sebesar 35.85 Mpa. Sementara pengujian kuat lentur diperoleh pada pengujian sampel balok ukuran 100 x 100 x 400 mm.



Gambar 8. Pengujian sampel beton

Uji Tarik Baja

Pengujian tarik baja tulangan dilakukan di laboratorium teknik mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Hasil pemeriksaan kuat tarik baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian baja tulangan

Diameter Sampel	Fy Mpa	fymax Mpa	Es	ES Mpa
Φ 10	385.40	500.35	0.00193	200000
D 22	453.80	540.80	0.00227	200000

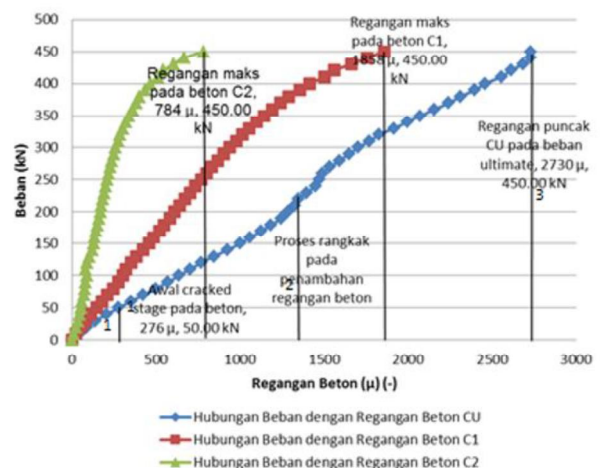


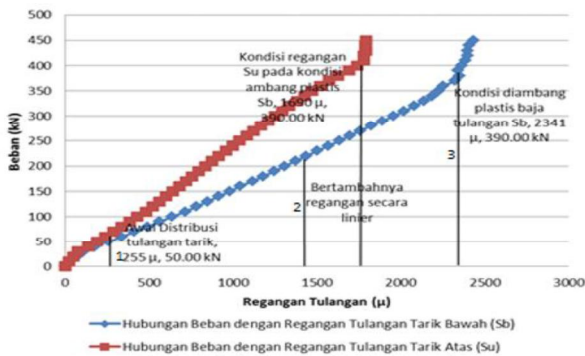
Gambar 9. Pengujian tarik baja

Uji Perilaku Pembebanan dan analisis

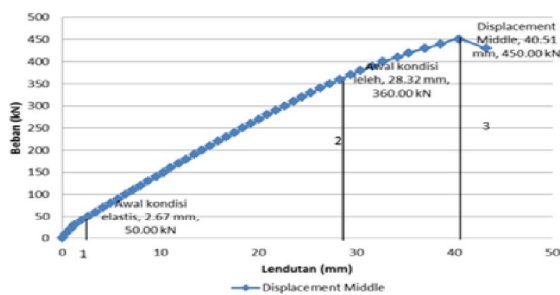
Penelitian dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian pada pembebanan statik terhadap pembebanan fatik melalui skema seperti pada gambar 6. Pengujian diawali pada balok uji B 1 dengan pembebanan statik yang dimaksudkan sebagai balok kontrol kapasitas balok uji. Pada pengujian ini diperoleh beban ultimate 450 kN. Selanjutnya, hasil analisis dan pengamatan grafik regangan yang terjadi dapat diperoleh sejumlah titik kejadian pada perilaku beton maupun baja dalam pengujian. Sehingga, kondisi leleh tulangan sebagai kejadian yang direncanakan untuk perkuatan GFRP dapat diperoleh pada pembebanan 415 kN pada serat tekan beton mulai mengalami retak horizontal atau terjadi *crushing concrete* dan regangan pada beton diperoleh masing-masing CU (-2730 μ), C1 (-1858) μ, dan C2 (-784 μ).

Hasil pembacaan pada pengujian ini selanjutnya menjadi dasar kekuatan balok uji pada pengujian selanjutnya dengan variasi perkuatan berupa luasan GFRP dan pembebanan yang berbeda yaitu statik dan fatik.





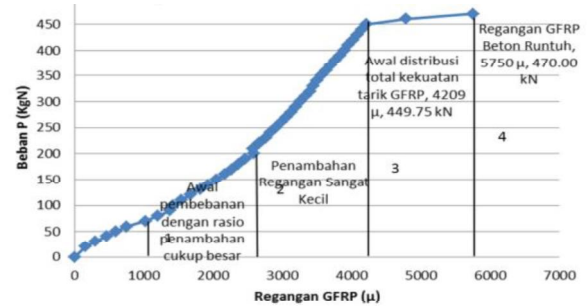
Gambar 10. Grafik hubungan Pembebanan dengan regangan beton dan regangan baja Balok B1



Gambar 11. Grafik hubungan antara beban (P) – lendutan (δ) balok uji

Pada beban 50.00 kN (garis vertikal 1) terjadi pertambahan lendutan yang sangat kecil, artinya beban-lendutan pada balok menunjukkan kekakuan yang besar. Selanjutnya, bertambahnya beban diikuti penambahan lendutan pada balok yang bertumpuh pada elastisitas baja. Setelah itu, penambahan lendutan semakin besar sampai dengan balok runtuh hingga mencapai lendutan sebesar 40,51 mm. Sampai pada beban ultimate sebesar 450.00 kN merupakan beban puncak kapasitas balok uji menerima beban sampai hancur. Hasil pengujian ini selanjutnya menjadi dasar penentuan kondisi balok uji untuk pemasangan GFRP pada kondisi baja tulangan di ambang putus. Pada pembebanan 415 kN dan secara visual telah diperoleh retakan awal pada permukaan dilakukan perkuatan dengan GFRP yang dilekatkan dengan luasan efektif dan pada akhirnya diperoleh hasil pembacaan beban ultimate 470 kN dan kondisi lapis GFRP masih utuh tanpa kerusakan. Pada pengujian ini, diketahui diagram garis permukaan beton, dan dapat dibandingkan pengaruh kapasitas lapis GFRP yang dilekatkan pada permukaan benda uji. Pengaruh perkuatan GFRP terlihat berperan langsung sebagai baja tulangan pada

struktur balok uji yang sebelumnya pada kondisi leleh dan menjelang plastis. Namun, terlihat penurunan kapasitas lentur yang menunjukkan terjadinya penurunan durability pada struktur perkuatan GFRP.



Gambar 12. Grafik hubungan Pembebanan dengan regangan lapisan GFRP

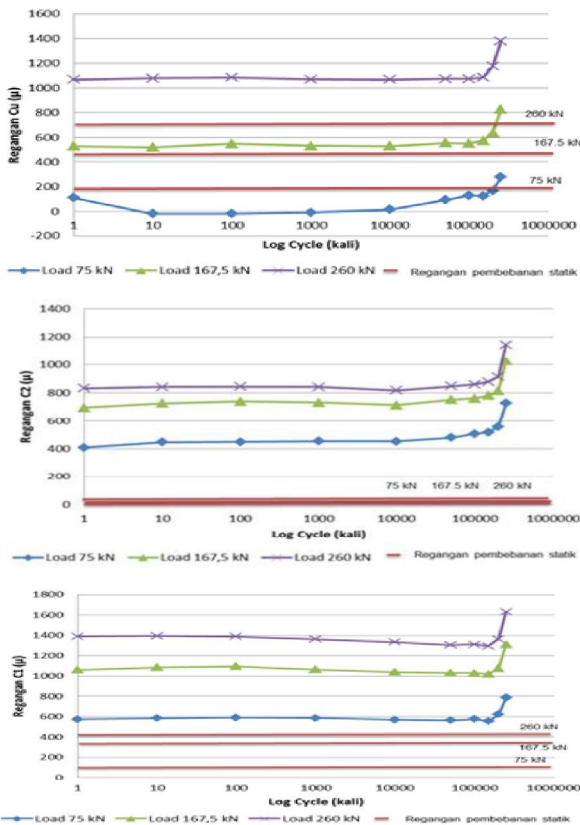
Balok uji B 2 menerima pembebanan fatik dengan frekuensi 1.25 Hz dengan beban yang goyahkan secara vertikal minimum 75 kN dan maksimum 260 kN. Hasil pengujian beban fatik diperoleh titik leleh pada kondisi pembacaan retak horizontal pada sisi tekan balok uji pada siklus 1.000.000 kali.



Gambar 13. Grafik hubungan log cycle dengan regangan pada permukaan beton balok normal

Perkuatan GFRP dengan luas lekatan full dilakukan dan diperoleh kapasitas pada siklus tambahan sampai pada siklus 300.000 kali dengan kondisi lapis GFRP terbelah secara memanjang dan putus pada titik lentur maksimum. Pembacaan pada tahapan perilaku beton berupa regangan dan lendutan, sementara baja tulangan berupa regangan dan elastisitas dalam menerima beban.

Hubungan antara beban dengan regangan pada beton masing-masing pada permukaan atas C u, 10 cm ke bawah C 1, dan 20 cm ke bawah C 2. Pada baja, hubungan antara beban dengan regangan baja tulangan dalam beton masing-masing tulangan tarik bawah Sb, tulangan tarik atas Su, dan tulangan geser Sg. Pada balok uji pembebanan fatik pembebanan 75 kN regangan beton Cu sebesar -279.227 μ, C 1 sebesar -787.44 μ, dan C 2 sebesar -728.502 μ. Pada pembebanan 167.5 kN regangan beton Cu sebesar -828.02 μ, C 1 sebesar -1311.11 μ, dan C 2 sebesar -1027.05 μ. Pada pembebanan 260 kN diperoleh pembacaan regangan beton Cu sebesar -1380.68 μ, C 1 sebesar -1631.88 μ, dan C 2 sebesar -1144.93 μ. Sementara pada pembebanan statik regangan beton Cu -1481.16 μ C 1 -785.51 μ Dan C 2 -181.64 mm.

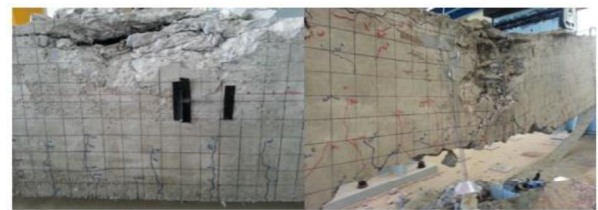


Gambar 14. Grafik hubungan log cycle dengan regangan pada permukaan beton GFRP

Hasil pengujian pembebanan ultimate statik pada balok uji diperoleh pembacaan regangan Sb 2267.92 μ dan Sg 502.83 μ. Balok uji pembebanan fatik hasil pembacaan regangan Su 75 kN sebesar 232.08 μ, pembebanan 167.5 kN sebesar 616.981 μ, dan pembebanan 260 kN sebesar 983.962 μ. Sementara regangan Sb 75 kN sebesar 574.528 μ, pembebanan 167.5 kN sebesar 1148.11 μ, dan pembebanan 260 kN sebesar 1660.38 μ. Sementara hasil analisis pembacaan lendutan tanpa perkuatan dan pada balok uji dengan perkuatan diperbandingkan pada tabel 2 di bawah.

Tabel 3. Hasil perbandingan nilai lendutan pada jenis pembebanan penelitian

No	Nilai an (kN)	Nilai Lendutan tanpa perkuatan		Nilai Lendutan dengan GFRP	
		Pembebanan Statik (mm)	Pembebanan Fatik (mm)	Pembebanan Statik (mm)	Pembebanan Fatik (mm)
1	75	4.50	21.69	4.34	16.77
2	167.5	11.00	32.10	10.50	28.38
3	260	19.20	40.61	18.04	36.83



Gambar 15. Dokumentasi perbandingan kerusakan pada benda uji perkuatan GFRP pembebanan statik dan fatik.

Hasil pengujian ini menuntut dalam pendesainan struktur sangat diperlukan analisis pendesainan dalam perilaku pembebanan fatik yang kerap menjadi kelemahan struktur di Indonesia sehingga sering diperoleh keruntuhan struktur lebih awal sebelum usia pelayanan rencananya.

PENUTUP

Kesimpulan

Beban fatik menyebabkan lelah pada struktur beton bertulang dan diperoleh keruntuhan dengan beban berulang di bawah beban ultimit dengan frekuensi 1,25 Hz. Lendutan pada balok beton bertulang dengan beban fatik lebih besar dibandingkan pembebanan statis karena perilaku lelah balok beton bertulang. Perkuatan menggunakan GFRP pada balok beton bertulang yang telah mengalami lelah

diperoleh lendutan lebih kecil dibandingkan balok bertulang biasa pada pembebanan statis maupun fatik. Dibandingkan dengan beban ultimit teoritis, beban hasil pengujian masih lebih rendah. Kondisi balok beton bertulang dengan tulangan leleh dan terjadi retak sebelum perkuatan, berpengaruh pada hasil pembebanan yang lebih rendah dibandingkan teoritis. Sehingga diperlukan study lanjutan mengenai kondisi ini. Rekatan GFRP dengan permukaan beton bertulang menjadi faktor penentu beban ultimit balok. Terputusnya rekatan menyebabkan terjadinya kehilangan kapasitas balok beton bertulang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng dan Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktunya dalam berdiskusi dan menemukan sejumlah arah pemecahan masalah dalam penelitian dan ucapan terima kasih dan cinta buat istri dan anakku atas dukungan dan kesabaran sampai selesainya penelitian ini.

REFERENSI

- ACI. Committee 318, (2008). *Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI-08) and Commentary*, American Concrete Institute. U.S.A.
- ACI. Committee 440.2R-08, (2008). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. American Concrete Institute. U.S.A.
- Alami, Fikri, (2010). *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP-S)*. Seminar dan Pameran HAKI.
- Ballaguru, Perumalsamy, Nanni Antonio, and Diancaspro James, (2009). *FRP composite for Reinforced and Prestressed Concrete Structures*. Taylor and Fran is Group, LLC. U.S.A.
- Bukorsyom, Febby, (2011). *The Study of Reinforced Concrete Beams Strengthening Post-Flexural Damage by Means of Fiber Reinforced Polymer Sheet*. Tesis tidak diterbitkan.
- Makassar. Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin.
- Christiawan, Ignatius, (2008), *Perkuatan (Strengthening) Struktur Beton dengan Fiber Reinforced Polymer (FRP)* (Online), Jurusan Teknik Sipil UNDIP, Semarang
- Kaur, Gurbir, S P Singh, S K Kaushik, (2012). *Flexural Fatigue Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Containing Blends od Limestone Powder and Silica Fume*. ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 6.
- Magga, Ramang, (2011), *Penggunaan Strain Gage (Load Cell) untuk Analisa Tegangan pada Pembebanan Statik Batang Aluminium*. Jurnal Mekanikal, Vol. 2 No. 1.
- Nanni, Antonio, and Diancaspro James, (2009). *FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures*. Taylor and Francis Group. LLC. U.S.A.
- Philippidis. (2002). *Complex stress state effect on fatigue life of GRP laminates.: part I, experimental*. Internasional jurnal of fatigue, Vol. 24 Issue 8 Page 812-813.
- Sanapang, Sumajouw. M.D.J, Pandaleke. R. (2013). *Analisa lendutan pada struktur beton bertulang terhadap waktu (Time-Dependent)* (Online), Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No. 3
- S, Arivalagan, (2012). *Engineering Performance of Concrete Beams Reinforced with GFRP Bars and Stainless Steel*. Global Jurnal of Reinforces in Engineering (E), Volume XII, Issue 1, Version 1.
- S P Singh, Sanjay Goel, Roshan Lal, S K Kaushik. (2004). *Prediction of Mean and Fatigue Lives of Steel Fibrous Concrete Using S-N Relationships*, (Online), Vol. 5, No. 3-4.
- Soehardjono, Agoes MD, (2009). *Prediksi Masa Guna Elemen Struktur Beton Akibat Pembebanan Berulang*, (Online). Dinamika TEKNIK SIPIL, Volume 9, Nomor 1.
- Standar Nasional Indonesia Nomor 1974. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.
- Standar Nasional Indonesia. (2007). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Surabaya: ITS Press.