

PERBAIKAN KEKUATAN DAN DAKTILITAS BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP) STRIPS

Parmo
Taufikurrahman

Abstract: *Wheres Indonesia is a highly active tectonic zone that is prone to earthquakes. Important issue following the earthquake was retrofit structures to improvement strength and ductility structure. With the advancement of technology today has developed new innovations such as the use of material GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) for external confinement structure. From the results obtained by the experimental of load capacity increased by 20% for C-2 (retrofit beam with GFRP strengthened 1 layer) compared B-1 (original beam). Retrofit beam with GFRP is added ductility as shown by the increase in displacement ductility 4% each for B-1 and B-2.*

Keywords: *Strength, Ductility, Beam, GFRP*

Indonesia menjadi wilayah yang sering terjadi gempa bumi, hal ini disebabkan karena Indonesia berada pada zona tektonik yang sangat aktif. Tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu diwilayah Indonesia yang menyebabkan interaksi antar lempeng-lempeng tersebut sehingga menyebabkan terjadinya gempa bumi. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia dan di dunia telah menyebabkan jutaan korban jiwa, keruntuhan dan kerusakan ribuan infrastruktur dan bangunan, serta dana trilyunan rupiah untuk rehabilitasi dan rekonstruksi.

Persoalan setelah/*pasca* terjadinya gempa yang tidak kalah pentingnya adalah perbaikan struktur. Perbaikan (*retrofit*) pasca gempa perlu dilakukan terhadap bangunan-bangunan yang mengalami kerusakan ringan berupa retak-retak struktur yang masih dengan pengertian besi baja tulangan masih belum mengalami leleh. Perbaikan terhadap struktur tersebut dimaksudkan untuk mengembalikan kekuatan dan daktillitas struktur bangunan-bangunan tersebut pada kondisi awal saat direncanakan atau bisa jadi lebih diperkuat. Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur bangunan untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali dan siklik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur bangunan gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi plastik.

Teknik perbaikan (*retrofit*) struktur bangunan dengan cara *Fiber Reinforced Polymer (FRP) Jacketing* dapat digunakan sebagai alternatif solusi yang lebih baik untuk mengembalikan kekuatan dan daktilitas struktur akibat kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa. Hal ini dikarenakan teknik perbaikan dengan cara konvensional semisal metode *concrete jacketing* mempunyai kelemahan antara lain: membutuhkan bekesting yang cukup besar, membutuhkan waktu yang lama, memerlukan tenaga pelaksana yang intensif, memerlukan alat-alat bantu seperti penyangga sementara (*scaffolding*) dengan ruang kerja yang cukup luas mengganggu

Parmo adalah Dosen Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Wisnuwardhana Malang
email: parmo_99@yahoo.com

Taufikurrahman adalah Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wisnuwardhana Malang
email: taufikurrahmanupik@yahoo.com

aktifitas disekitar struktur yang diretrofit, bersifat destruktif, menimbulkan persoalan ikatan beton lama dengan beton baru, perbedaan tingkat penyusutan beton lama dengan beton baru, penambahan beban mati pada struktur, dan menimbulkan persoalan keselarasan desain akibat penambahan/penebalan beton. Sedangkan metode *steel plate bonding* memiliki kelemahan antara lain: memerlukan waktu dan tenaga pelaksana yang intensif, pelat baja harus didesain khusus, kesulitan saat pengangkatan dan pemasangan, pengeboran dan pembautan pada beton menimbulkan penambahan tegangan, ketahanan terhadap korosi yang kurang sehingga diperlukan lapisan pelindung tambahan dan kualitas hasil pekerjaan yang sulit dikontrol.

Dengan kemajuan teknologi, inovasi baru berupa penggunaan material *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) untuk *retrofit* struktur dapat digunakan sebagai solusi untuk menyelesaikan permasalahan struktur seperti yang diuraikan diatas. Keunggulan dari perkuatan FRP ini yaitu bahan lebih ringan, kekuatan tarik tinggi, tidak terjadi korosi sehingga memiliki durabilitas (keawetan) yang tinggi, mudah dalam pemasangannya sehingga menghemat waktu serta bahannya mudah untuk dibentuk (fleksibel). Pada penelitian ini digunakan GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) untuk perbaikan (*retrofit*) kekuatan dan daktilitas struktur karena harga yang relatif lebih murah dibandingkan CFRP maupun AFRP namun tetap memiliki *tensile strength* yang cukup baik.

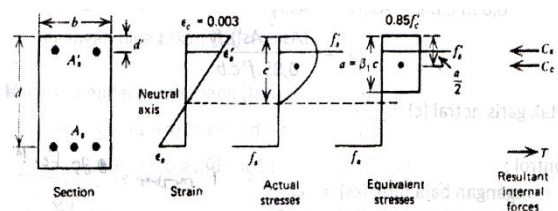
Elemen struktur yang penting untuk memikul beban pada suatu konstruksi bangunan salah satunya adalah balok. Struktur balok menyangga beban diatasnya baik berupa pelat lantai ataupun beban-beban lainnya yang berada diatasnya. Struktur balok beton bertulang terdiri dari gabungan antara beton dan baja tulangan. Kegagalan fungsi komponen balok beton bertulang, dimana struktur tersebut tidak mampu lagi menahan beban yang bekerja disebabkan karena kejadian alam, misalnya gempa bumi. Dampak dari kejadian alam tersebut bervariasi dari kategori rusak ringan, sedang, berat dan runtuh. Dengan kerusakan tersebut maka perlu upaya perbaikan struktur beton bertulang tersebut dengan metode perbaikan yang baik dan mudah dikerjakan dilapangan.

KAJIAN LITERATUR

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air yang membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan.

Beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja, dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Tulangan baja juga dapat menahan gaya tekan sehingga digunakan pada kolom dan pada berbagai kondisi lainnya (McCormac, 2003).

Analisis penampang persegi balok beton bertulang rangkap menurut Park & Pauly (1975) diberikan sesuai gambar 1. Dimana keseimbangan gaya adalah Gaya tarik (*tension/T*) = Gaya tekan (*compression/C*), dimana gaya tarik diberikan oleh baja tulangan tarik, sedangkan gaya tekan diberikan oleh beton di daerah tekan (*compression concrete = Cc*) dan baja tulangan tekan (*compression steel = Cs*). Teori kekuatan batas (*ultimate*) memberikan syarat, yaitu baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ($f_s = f_y$) dan beton pada kondisi mencapai regangan sebesar $\epsilon'_c = 0,003$. Sedangkan baja tulangan tekan boleh sudah leleh ataupun belum leleh.



Gambar 1. Penampang beton bertulang rangkap

Dengan asumsi awal bahwa baja tarik sudah leleh ($f_s = f_y$) dan baja tekan sudah leleh ($f'_s = f_y$), maka diperoleh persamaan:

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y \quad (1)$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2)$$

$$\text{letak garis netral (c)} = \frac{a}{\beta_1} \quad (3)$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung momen nominal penampang. Namun, apabila tulangan tarik sudah leleh dan tulangan tekan belum leleh maka perlu dihitung kembali keseimbangan gaya tarik = gaya tekan dengan tulangan tekan pada kondisi belum leleh. Dengan asumsi baja tarik sudah leleh ($f_s = f_y$) dan baja tekan belum leleh ($f'_s = \epsilon_s' \cdot E_s$), dimana $\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot \frac{c-d}{c}$, maka diperoleh persamaan:

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a + A_s' \cdot f'_s = A_s \cdot f_y \quad (4)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (5)$$

$$\text{letak garis netral (c)} = \frac{a}{\beta_1}$$

Selanjutnya Momen nominal penampang (M_n) dirumuskan:

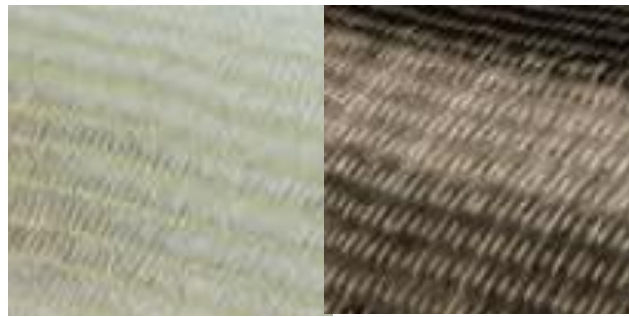
$$M_n = C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d')$$

$$= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot f'_s \cdot (d - d') \quad (6)$$

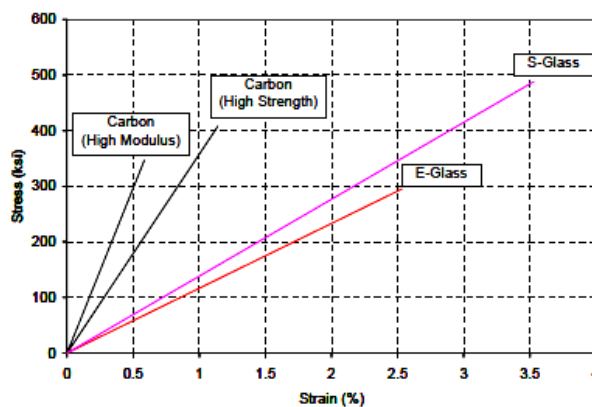
Fiber Reinforced Polymer (FRP) adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang *ductile*. FRP adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang *ductile*.

Komposit FRP dapat menjadi alternatif yang murah untuk memulihkan atau meningkatkan kinerja yang ada pada kolom beton (Riad, 2008). Dua jenis serat yang umum digunakan untuk perkuatan struktur adalah: *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* dan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Gambar 2a dan gambar 2b menunjukkan bentuk Uni-directional Glass & Carbon Composite.

Komposit serat kaca adalah jenis serat yang relatif lebih murah dibanding serat karbon dan serat aramid. Kolom perkuatan GFRP memiliki perilaku *ductile* meskipun serat yang digunakan adalah *brittle* (Nguyen, 2010). Serat kaca memiliki regangan yang lebih besar dibandingkan serat karbon. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2a. Tyfo[®] SEH System Uni-directional glass composite
 2b. Tyfo[®] SCH System Uni-directional carbon composite



Gambar 3. Sifat mekanis serat kaca dan serat karbon

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai dengan rencana. Umumnya struktur perlu perkuatan bilamana terjadi perubahan fungsi bangunan atau elemen-elemen strukturnya dirancang sesuai tata cara yang lama dimana beban gempa nominalnya lebih rendah dari yang ditetapkan oleh tata cara saat ini. Kemungkinan lain adalah karena struktur tersebut sebelumnya hanya didesain terhadap beban gravitasi saja tanpa memperhatikan beban gempa yang mungkin terjadi. Hal ini akan mengakibatkan kerusakan bahkan kegagalan struktur (Tavio, 2009).

Alasan lainnya perkuatan pada struktur adalah adanya retak mikro pada beton. Retak ini akan mengakibatkan tulangan baja mengalami korosi karena pengaruh lingkungan seperti garam, bahan kimia dan kelembaban. Sehingga struktur mengalami penurunan kekuatan, kekakuan, service life serta kegagalan beton yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kegagalan struktural (Gangarao dkk, 2007).

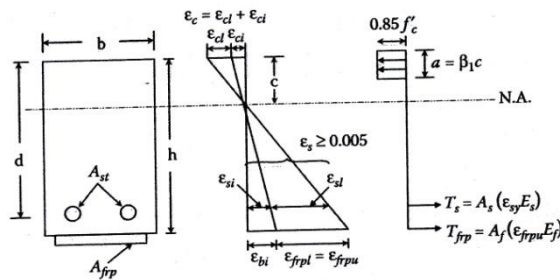
Saat ini inovasi baru perkuatan struktur adalah dengan perkuatan eksternal FRP, baik dengan serat kaca maupun serat karbon (Gangarao, 2007). Pedoman untuk perkuatan struktur dengan material FRP telah dikembangkan oleh Komite ACI 440 (ACI 440.2R-02). Pedoman ini dibuat berdasarkan pada hasil penelitian, analisis dan data dari berbagai bidang aplikasi.

Pengekangan lateral yang cukup dibutuhkan untuk memastikan kapasitas daktilitas dan mencegah kegagalan *brittle* struktur (Sheikh, 2011). Oleh para peneliti sendiri *confinement* didefinisikan sebagai pembatasan pelebaran lateral beton. Pengekangan diyakini mampu meningkatkan kekuatan tekan dan regangan aksial ultimit. Hal ini

dapat dilakukan dengan menggunakan tulangan transversal berbentuk spiral, *circular hoops* dan *rectangular ties* atau pengekangan oleh baja jacketing (De Lorenzis, 2001). Konsep pengekangan sendiri adalah untuk menahan beton dan menunda kegagalan (Leung).

Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tavio, dkk (2009) terhadap balok yang diberi perkuatan eksternal CFRP menunjukkan hasil yang cukup baik dari segi peningkatan kapasitas momen dan daktilitas kurvatur. Persentase peningkatan daktilitas kurvatur yang terjadi mencapai rata-rata 265 persen, sedangkan peningkatan momen sebesar rata-rata 45 persen.

Analisis balok beton bertulang yang diberi perkuatan eksternal FRP dilihat seperti pada gambar 4 dibawah ini:



Gambar 5. Distribusi tegangan balok yang diperkuat dengan FRP

Persamaan keseimbangan diberikan dengan rumus:

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y + A_{frp} (E_{frp} \cdot \epsilon_{frp}) \quad (7)$$

$$A = \frac{A_s \cdot f_y + A_{frp} (E_{frp} \cdot \epsilon_{frp})}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (8)$$

$$\text{letak garis netral (c)} = \frac{a}{\beta_1} \quad (9)$$

Selanjutnya Momen nominal penampang (M_n) dirumuskan:

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \cdot (d - a/2) + C_s \cdot (d - d') \\ &= A_s \cdot f_y (d - a/2) + A_{frp} (E_{frp} \cdot \epsilon_{frp}) (h - a/2) \quad (10) \end{aligned}$$

METODE PENELITIAN

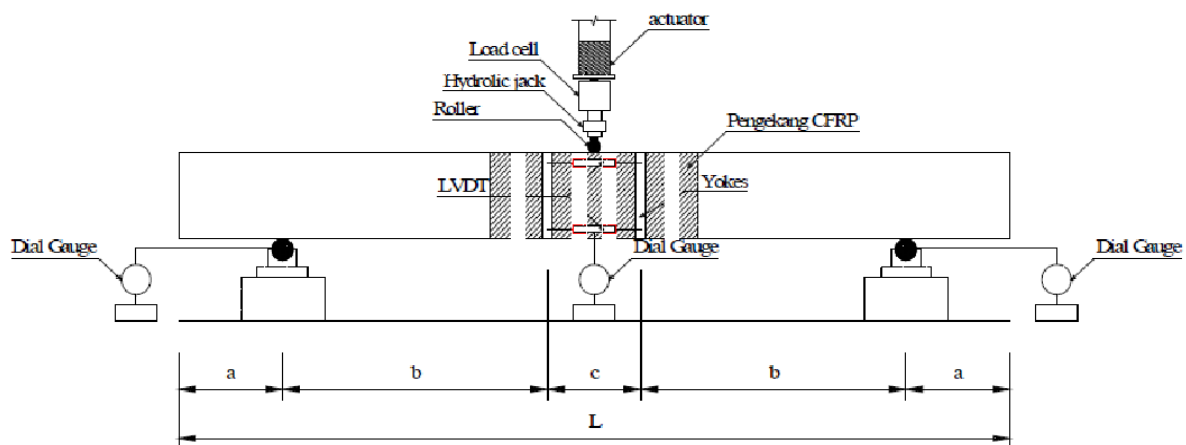
Benda uji berupa balok beton bertulang persegi berjumlah 2 (dua) buah dengan 3 (tiga) kali pengujian yaitu B-1 (*original beam/control beam*), B-2a (balok yang diuji dan dihentikan pada pembebanan tertentu, mengalami retak dan sebagian tulangan longitudinal telah mengalami leleh sebagai representasi balok yang mengalami kerusakan akibat gempa) dan B-2 (balok B-2a yang telah diperbaiki dengan cara retak-retak yang terjadi setelah diuji/diberi kerusakan dilakukan injeksi setelah itu dilakukan retrofit dengan perkuatan GFRP 2 lapis). Balok uji dirancang berpenampang persegi dengan dimensi penampang 150 x 300 mm dan panjang 2,5 m. Beton yang digunakan adalah beton kekuatan normal dengan $f'_c = 25,3$ MPa. Tulangan tarik baja ulir berdiameter 16 mm dengan $f_y = 549,94$ MPa. Tulangan tekan menggunakan diameter 16 mm dengan $f_y = 549,94$ MPa sedangkan tulangan sengkang berdiameter 8 mm dengan $f_y = 386,52$ MPa. Pengujian tarik GFRP diperoleh hasil $f_u = 510,48$ Mpa. Jumlah tulangan lentur maupun geser yang terpasang diperoleh dari hasil perhitungan

analisis struktur akibat beban gravitasi saja. Dalam penelitian ini dua balok uji dimaksudkan untuk mewakili kondisi yang sesungguhnya.

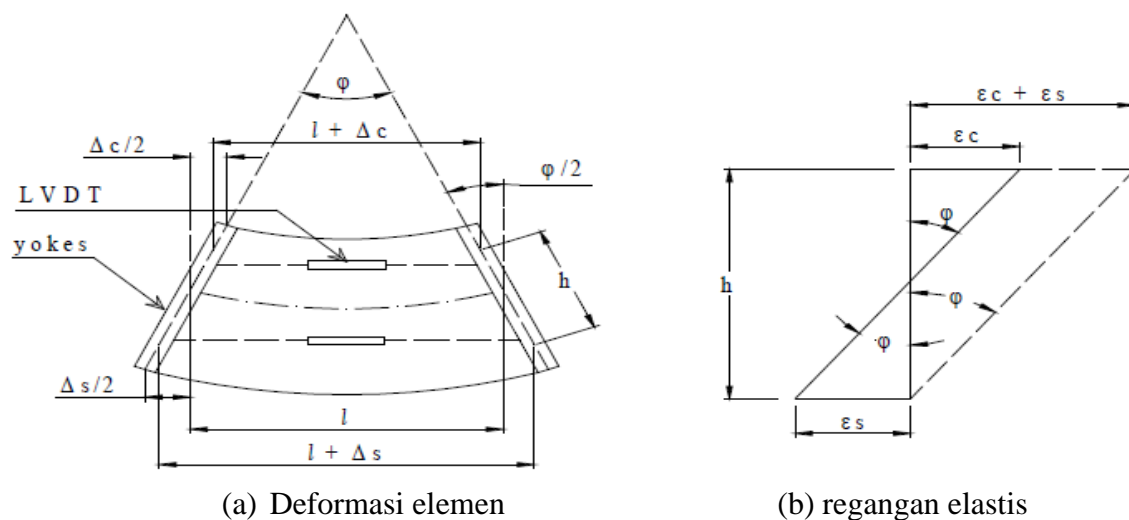
Pengujian dilakukan dengan meletakkan balok pada frame pengujian, kemudian balok diberikan beban pada tengah bentang balok. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan peningkatan beban 5 KN sampai balok mengalami keruntuhan. Data-data yang dicatat selama pengujian antara lain adalah beban, beban retak pertama, beban ultimit, lendutan dan lebar retakan. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$).

Balok B-1 diuji tanpa diberi GFRP Strips dan balok B-2 dibalut dengan perkuatan GFRP Strips dua lapis. Dengan memberi perkuatan pada balok B-2 diharapkan balok tersebut mampu berdeformasi secara inelastis dan diharapkan agar ada peningkatan baik momen maupun daktilitas.

Setting up pengujian ditunjukkan dalam gambar 6. Nilai kurvatur diperoleh dari pengukuran deformasi horisontal daerah tarik dan tekan, dengan memasang *yoke* dan LVDT seperti dalam Gambar 7. Data yang dicatat untuk tiap kenaikan beban atau perpindahan adalah besarnya beban dan perpindahan horisontal LVDT, untuk mencari nilai momen dan kurvatur



Gambar 6. Setting up benda uji



(a) Deformasi elemen

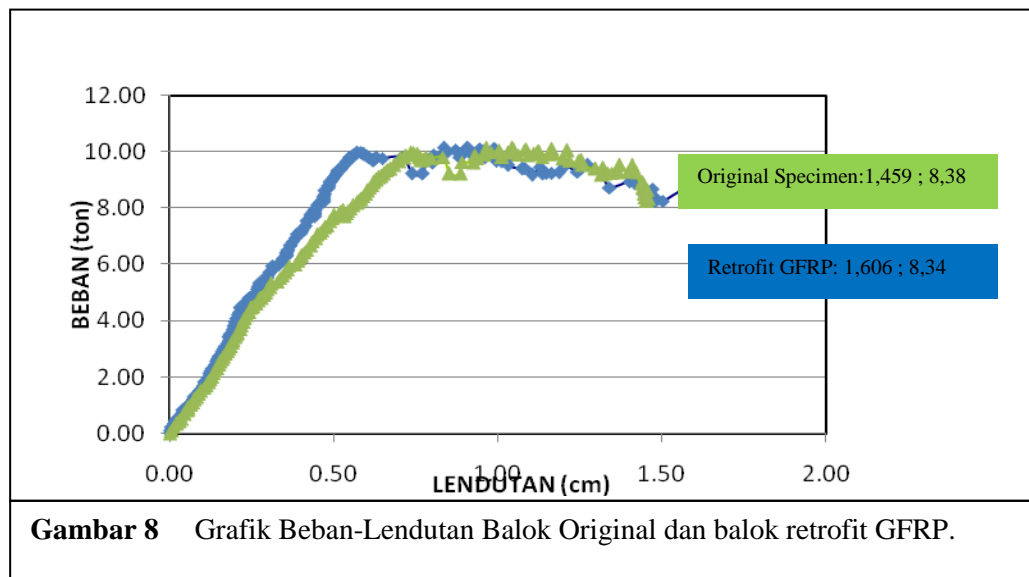
(b) regangan elastis

Gambar 7. Kurvatur pada balok

Besarnya momen pada tengah bentang diperoleh berdasarkan kesetimbangan gaya, $M = PL/4$ (gambar 6), sedangkan besarnya kurvatur diperoleh dengan data perpindahan arah horisontal LVDT atas (Δ_c) dan bawah (Δ_s) sesuai gambar 7. Nilai perpindahan dibagi dengan jarak antar yokes, l , untuk mendapatkan nilai regangan, ε_c dan ε_s . Kemudian dari distribusi regangan di atas dan dibawah tersebut, perputaran kurvatur dapat dicari, $\varphi = (\varepsilon_c + \varepsilon_s)/h$. Untuk memperoleh daktilitas kurvatur, μ_φ , maka nilai kurvatur yang terjadi dibagi dengan nilai kurvatur leleh, φ_y .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari grafik pada Gambar 8 hasil pengujian eksperimental dapat dilihat bahwa lendutan maksimum pada LVDT *Original Specimen* dan LVDT pada Retrofit GFRP sebesar 1,459 cm dan 1,606 cm. Dari grafik pada Gambar 8 juga dapat dilihat bahwa pada awal pembebanan pada kedua benda uji terjadi kenaikan lendutan yang sama. Namun setelah beban meningkat, pada benda uji dengan retrofit GFRP mengalami robekan pada lapis GFRP, sehingga terjadi penurunan faktor beban.



Gambar 9. Keruntuhan lentur balok beton

Dari grafik dapat dilihat adanya peningkatan kekuatan dengan penambahan GFRP, hal ini dapat kita lihat sesaat sebelum GFRP mengalami perobekan yakni pada lendutan

0,5 cm. Pada lendutan 0,5 kedua specimen mengalami perbedaan faktor beban yakni pada original specimen faktor bebannya adalah 8 ton sedangkan pada specimen retrofit GFRP faktor bebannya adalah 10 ton, sehingga mengalami penambahan kekuatan sebesar 20% (dua puluh persen).

Analisa yang dilakukan selain dari analisa grafik beban *lateral-displacement* adalah analisa grafik momen-*curvature*. Dari grafik momen-*curvature* terlihat bahwa terjadi peningkatan momen maksimum untuk kolom *retrofit* dibandingkan dengan kolom original dengan pengekanan eksternal GFRP. Nilai momen maksimum yang terjadi pada masing-masing *specimen* adalah 1,459 kNm dan 1,606 kNm untuk B1 dan B2. Dari analisa grafik momen-*curvature* diperoleh peningkatan kekuatan terhadap B1 dengan parameter peningkatan M_{max} adalah 4% terhadap B2.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Perbaikan Kekuatan Dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Strips* seperti yang telah diuraikan sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sementara sebagai berikut:

1. Kekuatan balok beton setelah di retrofit dengan GFRP mengalami peningkatan kapasitas beban (P) dari 8 ton ke 10 ton pada titik lendutan yang sama, sehingga dapat disimpulkan kekuatan balok beton dengan retrofit GFRP mengalami penambahan sebesar 20 % dibandingkan dengan kolom original.
2. Dalam menentukan peningkatan daktilitas maka digunakan parameter *displacement ductility* (μ_δ). Nilai μ_δ meningkat sebesar 4% pada balok GFRP dibandingkan dengan balok original.
3. Dengan meningkatnya kekuatan dan daktilitas pada struktur dengan retrofit maka material GFRP Strips dapat menjadi solusi untuk perkuatan bangunan utamanya balok beton bertulang pasca terjadi kerusakan.

Saran

Pada penelitian ini, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan agar kemungkinan tersebut dapat diperbaiki dikemudian hari antara lain:

1. *Specimen* akan sangat menentukan hasil dari penelitian sehingga desain awal, pembuatan dan perawatan *specimen* harus mendapatkan perhatian disetiap tahapannya.
2. Agar mendapatkan perilaku dan hasil yang memiliki tingkat validitas tinggi maka perlu difikirkan untuk menambah variasi dan pengulangan *specimen*.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan *sample* berupa model alternatif sambungan tulangan baja pada struktur bangunan tinggi yang riskan terhadap bahaya gempa.

REFERENSI

- Alami, Fikri. “*Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*”
- American Concrete Institute. “*Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)*”. Farmington Hills, 1995

- American Concrete Institute. "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-02): Reported by ACI Committee 440". ACI Committee 440, 2002
- ASTM Commite E-28, 1986. "Standard Methods for Tension Testing of Metalic Materials (Metric)".Designation: E8M-86a,Published October. Philadelphia.
- Bank, Lawrence. "Structural Design with FRP Materials" John Wiley & Sons, INC, Canada, 2006
- Gangarao, H, Taly, N and Gangarao, H. "Reinforced Concrete Design with FRP Composites" CRC Press, Prancis, 2007
- Mander, J.B., Priestly, M.J.N., and Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", Jornal of Structural Engineering, ASCE, V. 114, No. 8, August 1988, pp. 1804-1826
- Nawy, Edward. "Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar" PT. Refika Aditama, Bandung, 2008
- Nurlina, Siti. "STRUKTUR BETON" Penerbit BARGIE Media, Malang, 2008
- Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan. "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 1726-2002)". Badan Standardisasi Nasional. Bandung, 2002
- Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan. "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)". Badan Standardisasi Nasional. Bandung, 2001
- Park, R and Paulay,T."Reinforced Concrete Structures" John Wiley and Sons, Canada, 1975
- Samaan, M., Mirmiran, A., and Shahawy, M., "Models of Concrete Confined by Fiber Composites" Journal of Structural Engineering, September, 1998
- Sudarsana, I,K dan Widiarsa, I., B., R. " Pengaruh Pemasangan Angker Ujung Terhadap Perilaku Runtuh Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Lapis Gfrp (Glass Fibre Reinforced Polymer)" Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 13, No. 2, Juli, 2009.
- Tavio, Purwono, R dan Sosyidah, A. "Peningkatan Daya Dukung dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)" Dinamika Teknik Sipil, 2009
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. "Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010" Bandung, 2010

