

Analisa Pola Kegagalan Balok Beton Menggunakan GFRP Bar Tanpa Selimut Beton

Saddam Husein^{1*}, Rudi Djamaluddin¹, Rita Irmawaty¹, Kusnadi¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: shusein538@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.02

Abstrak

Struktur beton bertulang yang menggunakan tulangan baja pada daerah korosif, menjadi rawan terhadap kerusakan atau penurunan kekuatannya akibat korosi. Korosi pada tulangan baja merupakan salah satu faktor penyebab menurunnya kekuatan struktur beton bertulang. Salah satu material yang dikembangkan mengatasi korosi adalah penggunaan material tulangan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kapasitas lentur dan pola kegagalan balok beton tanpa selimut dengan menggunakan material tulangan GFRP bar. Desain penelitian merupakan eksperimental laboratorium dengan rekapitulasi sebanyak 6 sampel yang terdiri dari 2 Balok beton menggunakan tulangan baja dengan selimut beton, 2 balok beton menggunakan tulangan GFRP bar dengan selimut beton, 2 balok beton menggunakan GFRP bar tanpa selimut beton. Metode pengujian dilakukan dengan dengan pengujian lentur statik monotonik dan Analisis data menggunakan uji kondisi retak awal dan kondisi ultimit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas lentur pada balok dengan tulangan GFRP bar lebih besar dibandingkan dengan balok tulangan baja dan mampu meningkatkan kapasitas lentur balok dalam menahan beban sebesar 39.76 %, pola kegagalan beton yang terjadi pada balok tulangan baja mengalami kegagalan lentur tekan ditandai dengan retakan yang terjadi pada sisi tertekan dan membentuk retakan tegak dengan sumbu netral beton yang tertekan, sedangkan pada balok beton tulangan GFRP tanpa selimut mengalami kegagalan keruntuhan tekan geser dengan kondisi tulangan berdeformasi (bi-linear) dengan retak miring dan secara tiba-tiba menjalar menuju sumbu netral beton yang tertekan sehingga terjadilah keruntuhan secara tiba-tiba.

Abstract

Failure Mode Analysis of Concrete Beams using GFRP Rebar without Concrete Cover. Reinforced concrete that uses rebar steel in corrosive areas, are prone to damage or decreased strength due to corrosion. Corrosion in the steel reinforcement is one of the factors that decreasing strength of reinforced concrete. One of the materials developed to overcome corrosion is the use of GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) reinforcement material. This study aims to analyze the flexural capacity and failure mode of concrete beams without concrete cover using material GFRP bar as reinforcement. The research design was an experimental laboratory with a recapitulation of 6 samples consisting of 2 beams using steel reinforcement with concrete cover. 2 concrete beams using reinforcement GFRP bar with concrete cover, 2 beams using GFRP bars without concrete cover. The research method uses the monotonic static flexure and analyzing the data using the initial crack condition and ultimate condition test. The results of the research indicate the flexural capacity of the beams with GFRP bar reinforcement is higher than steel reinforcement beams and can increase 39.76% of the flexural capacity of the beams in holding loads, the failure mode analysis occurs in steel reinforcing beam experiences compressive failure. Failure was characterized by cracks that occur on the depressing side and form an upright crack with the neutral axis of the compressed concrete, whereas in GFRP reinforced concrete beams without concrete cover, failure of shear compression with conditions of deformed reinforcement (bi-linear) with sloping cracks and suddenly spread towards the neutral axis of the compressed concrete so that there was a sudden collapse.

Kata Kunci: GFRP bar, kapasitas lentur, balok beton tanpa selimut

1. Pendahuluan

Struktur beton bertulang yang menggunakan tulangan baja yang berada pada daerah lingkungan laut atau pantai dimana kontak dengan air laut tidak dapat dihindari, menjadi rawan terhadap kerusakan atau penurunan kekuatannya akibat korosi. Korosi pada tulangan baja merupakan salah satu

faktor utama penyebab menurunnya kekuatan struktur beton bertulang [1]. Penggunaan tulangan tahan korosi pada elemen struktur beton bertulang pada kondisi lingkungan sangat agresif untuk meningkatkan umur struktur dan mengurangi biaya perawatan selama masa layan. Salah satu material yang dikembangkan sebagai tulangan struktur beton bertulang adalah



material FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) dalam bentuk tulangan (bar) yang berbahan dasar gelas atau *GFRP bar*. Selain tahan korosi, GFRP bar juga memiliki kekuatan yang tinggi, tidak terpengaruh magnet, memiliki ketahanan fatik yang baik, ringan, rendah daya hantar panas dan listriknya [2].

Penggunaan GFRP bar untuk penulangan pondasi lebih menguntungkan karena memiliki kuat tarik dan daya tahan terhadap korosi yang lebih tinggi dibandingkan tulangan besi untuk diameter yang sama. Balok beton bertulang yang memikul beban lentur, penampang balok menerima tegangan lentur tekan dan tegangan lentur tarik [3].

terjadinya dua mode kegagalan struktur yaitu kegagalan getas dengan hancurnya beton pada sisi tertekan dan kegagalan tarik dengan putusannya tulangan FRP. Mode kegagalan beton pada sisi tertekan lebih disukai dibandingkan dengan mode kegagalan tarik karena sifat plastis beton yang dapat melebihi kondisi batas bisa menjadi pertanda kegagalan dan kegagalannya kurang cepat dibandingkan dengan kegagalan akibat putusannya tulangan FRP bar [4].

Balok beton bertulang tanpa selimut tentunya akan mengalami penurunan kapasitas lentur mengingat rekatan antara tulangan dan beton juga berkurang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kekuatan rekatan tulangan FRP bar dengan beton lebih rendah dari tulangan besi dan berkurangnya tebal selimut beton juga menurunkan kekuatan rekatan tulangan dengan beton [5].

Pemasangan GFRP sheet selain sebagai geser juga diharapkan memberikan efek kekangan pada beton sehingga meningkatkan lekatan tulangan dengan beton. Berdasarkan model yang dibuat sebagai sebuah inovasi dalam konstruksi beton bertulang.

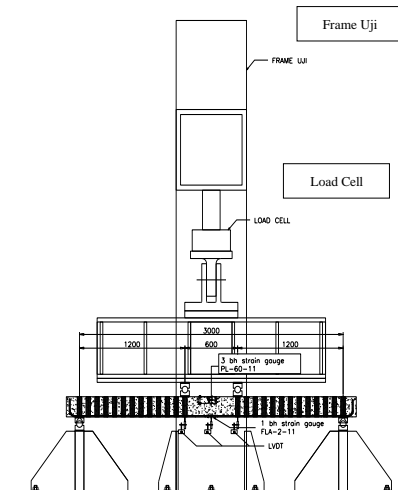
Berdasarkan permasalahan di atas, maka akan diidiskusikan analisa pola kegagalan balok beton menggunakan GFRP bar tanpa selimut beton.

2. Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

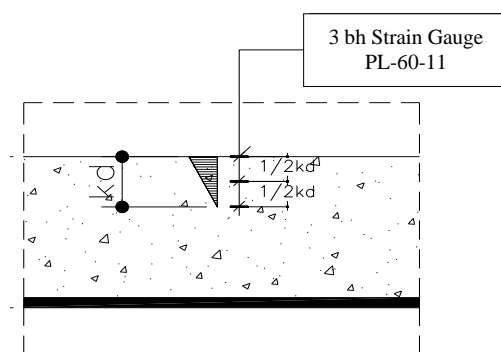
Balok beton bertulang diuji dengan empat titik pembebanan seperti pada gambar. Balok

ditumpu dengan dua buah perletakan sederhana (sendi-rol) dengan jarak tumpuan 3000 mm. Dua pembagi beban tak langsung dengan jarak 600 mm dari profil baja. Rasio bentang geser (a/d) adalah 5,6 mengindikasikan balok berada pada zona keruntuhan lentur. Pembebanan diberikan secara monotonik hingga hancur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengujian balok

Pada sisi tekan balok dipasang tiga buah strain gauge PL-80-11 pada posisi serat terluar, pada jarak setengah blok tekan dan pada posisi peralihan blok tekan seperti pada gambar 2. Pada sisi bawah (tarik) dipasang tiga buah LVDT masing pada tengah bentang dan dibawah titik pembebanan.



Gambar 2. Posisi strain gauge beton

3. Hasil Penelitian

3.1. Karakteristik Tulangan Baja dan GFRP Bar

Pengujian tarik baja tulangan dilakukan sebelum pembuatan benda uji. Hal ini bertujuan untuk mengetahui mutu baja tulangan yang akan digunakan. Hasil pemeriksaan kuat tarik baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 1.



Tabel 1. Hasil pengujian tarik baja tulangan

Sample	Tegangan Leleh (Nmm ²)	Regangan Leleh (u)	Tegangan Ultimit (N mm ²)	Modulus Elastisitas (N/m ²)	Klasifikasi SNI-2052-2014
I	372.8	1823.81	534.59	202980	Bj TS 35
II	383.91	1983.81	561.66	194922	Bj TS 35
III	361.56	1743.81	547.79	212990	Bj TS 35
Rata-rata	372.76	1,850.5	548.0	203,631	

Uji tarik GRFRP bar tidak dapat dilakukan dilaboratorium disebabkan terjadinya selip antara *grip* tulangan untuk mencengkram GFRP bar pada saat beban tarik dilakukan. Namun

produsen GFRP bar (PT.Tyfo) telah mengeluarkan sifat mekanis dari GFRP bar dapat dilihat pada tabel 2.

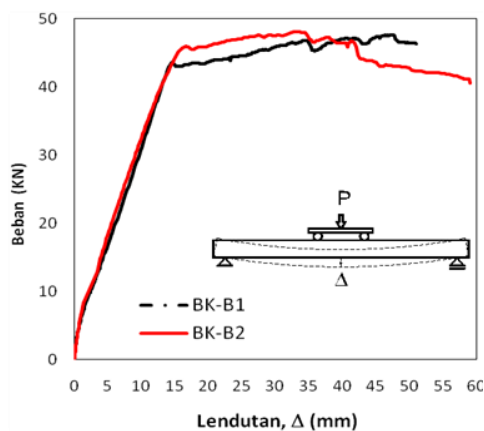
Tabel 2. Sifat mekanis GFRP bar

Diameter nominal (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat tarik (Mpa)	Regangan putus (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
12.7	129	708	1.79	44800

3.2. Hasil Analisa Balok Beton Bertulang

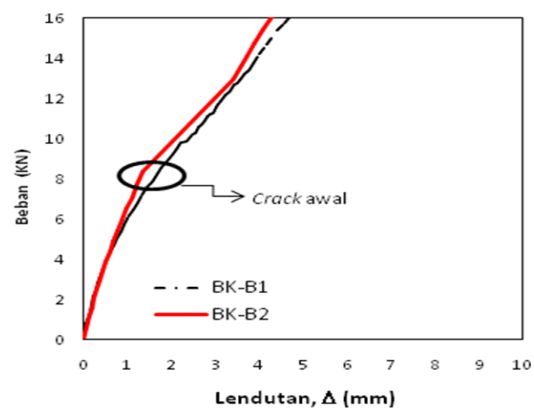
1) Hubungan Beban Lendutan Balok Kontrol Tulangan Baja (BK)

Grafik hubungan beban lendutan balok kontrol satu (BK-B1), memperlihatkan baja tulangan bersifat elastisitas penuh hingga balok mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 7.53 kN dengan nilai lendutan sebesar 1.455 mm. Setelah retak awal, balok kemudian memperlihatkan sifat elastoplastis baja hingga tulangan mengalami leleh dimana nilai beban sebesar 43.6492 kN dengan nilai lendutan 14.6 mm. Kurva hubungan menjadi jauh lebih datar dibanding sebelumnya, hal ini terjadi sampai balok mengalami keruntuhan (*failure*) pada beban ultimit sebesar 47.581 kN dengan nilai lendutan 47.04 mm.



Gambar 3. Hubungan beban dan lendutan Balok Kontrol (BK)

Pada balok kontrol dua (BK-B2) mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 8.33 kN dengan nilai lendutan sebesar 1.36 mm. Setelah retak awal, balok kemudian memperlihatkan sifat elastoplastis baja hingga tulangan mengalami leleh dimana nilai beban sebesar 45.91 kN dengan nilai lendutan 14.44 mm. Kurva hubungan menjadi jauh lebih datar dibanding sebelumnya, hal ini terjadi sampai balok mengalami keruntuhan (*failure*) pada beban ultimit sebesar 48.11 kN dengan nilai lendutan 33.65 mm.



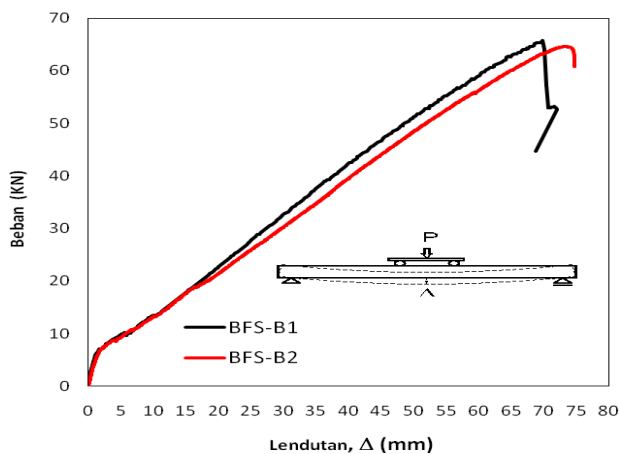
Gambar 4. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi *crack* awal balok BK (Balok Kontrol)

2) Hubungan Beban dan Lendutan Balok Tulangan GFRP Bar Selimut Beton (BFS)

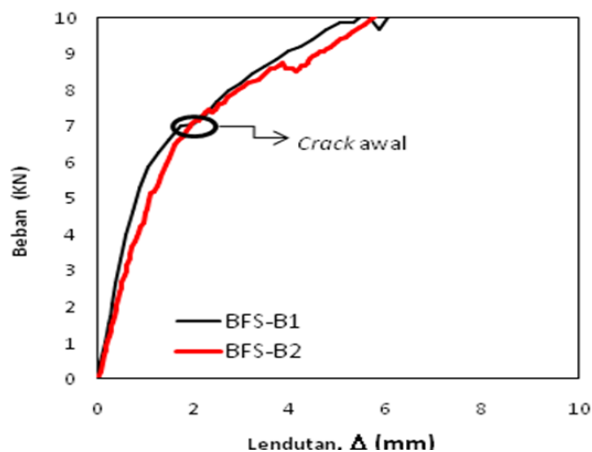
Grafik hubungan beban lendutan balok fiber selimut beton (BFS-B1), memperlihatkan balok mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 7.263 kN dengan nilai lendutan sebesar

2.22 mm. Pada kondisi *crack* awal pada BFS hampir sama dengan BK, namun tulangan GFRP memiliki perilaku *bi-linear* yang diteliti pada peneliti terdahulu, hal ini menyebabkan balok runtuh pada beban ultimit sebesar 65.70 kN dengan lendutan sebesar 69.75 mm.

Pada BFS-02 memperlihatkan balok mengalami *crack* awal pada beban sebesar 7.13 kN dengan lendutan sebesar 2.03 mm. Peningkatan beban secara terus menerus hingga balok mengalami kondisi runtuh pada beban 64.64 kN dengan lendutan sebesar 73.44 mm.



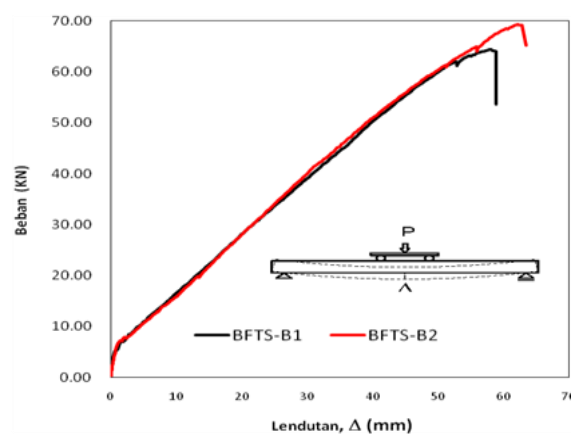
Gambar 5. Hubungan beban dan lendutan Balok Fiber Selimut Beton (BFS)



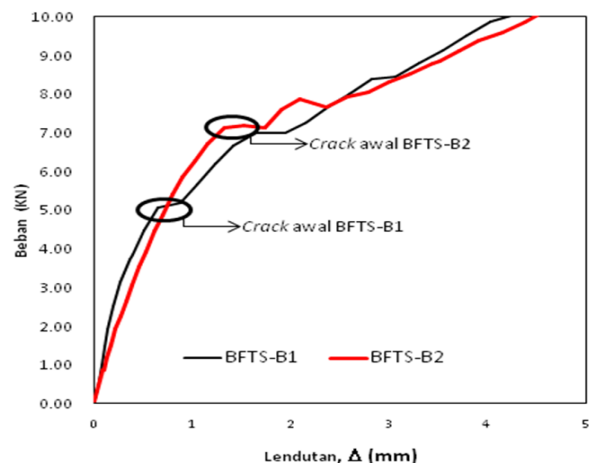
Gambar 6. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi *crack* awal balok BFS

awal pada BFTS hampir sama dengan BK, namun tulangan GFRP memiliki perilaku *bi-linear* yang diteliti pada peneliti terdahulu, hal ini menyebabkan balok runtuh pada beban ultimit sebesar 64.04 kN dengan lendutan sebesar 58.91 mm.

Pada BFTS-B2 memperlihatkan balok mengalami *crack* awal pada beban sebesar 7.13kN dengan lendutan sebesar 1.74 mm. Peningkatan beban secara terus menerus hingga balok mengalami kondisi runtuh pada beban 69.31kN dengan lendutan sebesar 62.16 mm.



Gambar 7. Hubungan beban dan lendutan Balok Fiber Selimut Tanpa Beton (BFTS)



Gambar 8. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi *crack* awal

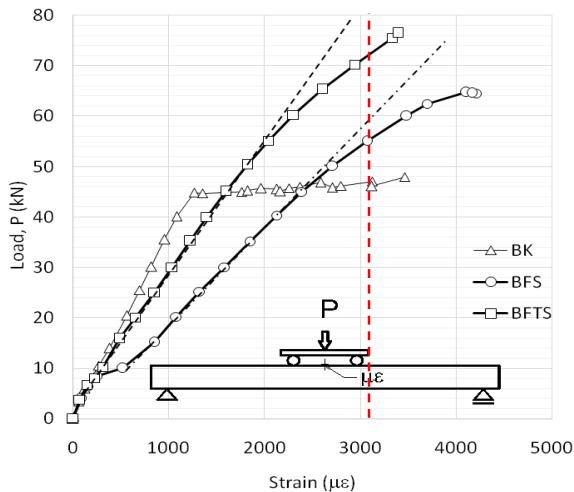
3) Hubungan Beban dan Lendutan Balok GFRP Bar Tanpa Selimut Beton (BFTS)

Grafik hubungan beban lendutan balok fiber tanpa selimut beton (BFTS-B1), memperlihatkan balok mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 5.06kN dengan nilai lendutan sebesar 0.66 mm. Pada kondisi *crack*

4) Hubungan Beban dan Regangan Beton

Kurva hubungan beban regangan beton mirip kurva beban lendutan. Pada balok normal BK kondisi leleh beban berada pada 13.99 kN dengan regangan sebesar 384.62 $\mu\epsilon$ hingga balok mengalami kegagalan pada beban 46.11 kN dengan regangan sebesar 3119.23 $\mu\epsilon$. Pada

balok dengan fiber selimut (BFS) kondisi leleh beban berada pada 13.99 kN dengan regangan sebesar 849.99 $\mu\epsilon$ hingga balok mengalami kegagalan pada beban 64.50 kN dengan regangan sebesar 4209.61 $\mu\epsilon$. Pada balok dengan fiber tanpa selimut (BFTS) kondisi leleh beban berada pada 20.058 kN dengan regangan sebesar 648.077 $\mu\epsilon$ hingga balok mengalami kegagalan pada beban 76.50 kN dengan regangan sebesar 3394.23 $\mu\epsilon$.



Gambar 9. Hubungan beban dan regangan Beton BK, BFS, BFTS

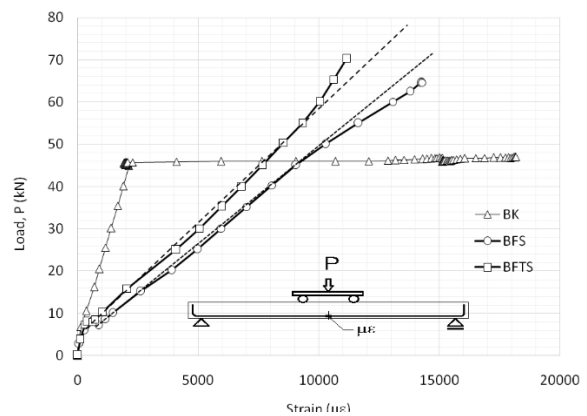
Dari hasil grafik hubungan beban – regangan beton. beton normal BK, beton fiber selimut (BFS), beton fiber tanpa selimut (BFTS) mampu berdeformasi lebih besar dari 3000 $\mu\epsilon$ sebelum mengalami beton hancur.

5) Hubungan Beban dan Regangan Baja

Untuk mengevaluasi beban dan regangan pada baja maka dibuat hubungan beban dan regangan baja. Besar regangan baja pada eksperimen ini diukur dengan menggunakan alat strain gauge tipe FLA-6-11-5L (gauge factor $2,12 \pm 1\%$). Kenaikan regangan direkam melalui data logger TDS 530 yang ditransfer ke computer software. Pencatatan data regangan baja pada benda uji dilakukan setiap perubahan beban oleh hydraulic pump yang terekam oleh load cell yang ditransfer ke benda uji. pada balok normal menggunakan baja tulangan sedangkan pada balok fiber selimut (BFS) dan balok fiber tanpa selimut (BFTS) menggunakan GFRP bar.

Hubungan beban-regangan Baja yang terjadi di tengah bentang pada balok dengan kondisi normal (BK), balok fiber selimut

(BFS), balok fiber tanpa selimut (BFTS), dimana pada balok normal BK beban maksimum sebesar 47.04 kN dengan regangan tulangan baja 18174.5 $\mu\epsilon$ pada Balok fiber selimut (BFS) beban maksimum sebesar 64.57 kN dengan regangan tulangan baja 14277.7 $\mu\epsilon$ Pada balok fiber tanpa selimut (BFTS) beban maksimum sebesar 70.2386 kN dengan regangan tulangan baja 11143.1 $\mu\epsilon$. Grafik pada gambar 20, menjelaskan Kondisi tulangan GFRP bar pada balok BFS dan BFTS yang belum mengalami putus akibat pemberian beban secara statis ditandai kurva yang linear, pada saat setelah balok mengalami *crack awal* ditandai dengan perubahan kekakuan pada balok dan tulangan.



Gambar 10. Hubungan beban dan regangan Baja BK, BFS, BFTS

6) Pola Retak dan Mode Kegagalan

Pola retak dan keruntuhan Balok Kontrol (BK), Balok Fiber Selimut (BFS), Balok Fiber Tanpa Selimut (BFTS) dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa pada balok BK-B1, BK-B2, BFS-B1, BFS-B2, BFTS-B2 mengalami kegagalan lentur. Kegagalan Retak lentur ditandai dengan retakan yang terjadi pada sisi bawah menjalar ke atas dan membentuk retakan tegak lurus sumbu balok. Retakan geser muncul dengan terbentuknya retak miring terjadi akhir pembebanan. Retak miring terbentuk dari retak lentur pada bentang geser. Retak miring terjadi pada bagian sisi tertekan pada bentang geser dan sisi tengah balok di dekat tumpuan.



Gambar 11. Mode keruntuhan Balok Kontrol (BK)



Gambar 12. Mode keruntuhan balok BFS

Pada balok BFS-B1 mengalami kegagalan keruntuhan tekan geser, kegagalan ini dimulai dengan timbulnya retak lentur halus vertical di tengah bentang, dan tidak terus menjalar karena terjadi kehilangan lekatan lembar U-Wrap GFRP-SHEET, setelah itu diikuti dengan retak miring yang lebih curam dan secara tiba-tiba menjalar menuju sumbu netral.



Gambar 13. Mode keruntuhan balok BFTS

Tabel 3. Rekapitulasi mode keruntuhan semua sample balok

No.	Jenis balok	Mode keruntuhan
1	balok kontrol (bk-b1)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
2	balok kontrol (bk-b2)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
3	balok fiber selimut (bfs-b1)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
4	balok fiber selimut (bfs-b2)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
5	balok fiber tanpa selimut (bfts-b1)	keruntuhan geser (delaminasi pada grfp sheet sebelum runtuh, beton pecah serta retak miring di daerah geser)
6	balok fiber tanpa selimut (bfts-b2)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)

4. Kesimpulan

Kapasitas lentur pada balok dengan tulangan GFRP bar lebih besar dibandingkan dengan balok dengan tulangan baja dan mampu meningkatkan kapasitas lentur balok dalam menahan beban sebesar 39.76 %, pola kegagalan beton yang terjadi pada balok tulangan baja mengalami kegagalan lentur tekan ditandai dengan retakan yang terjadi pada sisi tertekan dan membentuk retakan tegak dengan sumbu netral beton yang tertekan, sedangkan pada balok beton tulangan GFRP tanpa selimut mengalami kegagalan keruntuhan tekan geser dengan kondisi tulangan berdeformasi (bi-linear) dengan retak miring dan secara tiba-tiba menjalar menuju sumbu netral beton yang tertekan sehingga terjadilah keruntuhan secara tiba-tiba.

Referensi

- [1] L. Wang, X. Zhang, J. Zhang, Y. Ma, and Y. Liu, "Effects of Stirrup and Inclined Bar Corrosion on Shear Behavior of RC Beams," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 537–546, 2015.
- [2] ACI 440.1R-03, "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars," *ACI Comm.*, vol. 440, no. 88, pp. 1–6, 2003.
- [3] S. A. Jabbar and S. B. H. Farid, "Replacement of Steel Rebars by GFRP Rebars in the Concrete Structures," *Karbala Int. J. Mod. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 216–227, 2018.
- [4] C. Bywalski, M. Drzazga, M. Kamiński, and M. Kaźmierowski, "Analysis of Calculation Methods for Bending Concrete Elements Reinforced with FRP Bars," *Arch. Civ. Mech. Eng.*, 2016.
- [5] A. Veljkovic, V. Carvelli, M. M. Haffke, and M. Pahn, "Concrete Cover Effect on the Bond of GFRP Bar and Concrete Under Static Loading," *Compos. Part B Eng.*, vol. 12, pp. 40–53, 2017.