

ISSN : 2459 - 9727

# PROSIDING SEMNAS TS VII 2017

SEMINAR NASIONAL

**TEKNOLOGI CERDAS "SMARTECH"  
SOLUSI MENGHADAPI BENCANA**

Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta



## DAFTAR ISI

Susunan Panitia Semnas VII-2017	iii
Sambutan Ketua Panitia Seminar	v
Sambutan Dekan Fakultas Teknik UMS	vii
Sambutan Rektor UMS	ix
Daftar Isi	xi
<b>Kelompok Paper Teknik Sipil Struktur</b>	
Perbandingan Penggunaan SNI 03-1726-2002, SNI 03-1726-2010, dan SNI 03-1726-2002 Pada Analisis Gempa Struktur Gedung ( <i>Kode paper : Paper_(S-01)</i> ) <i>Prabowo Setiyawan, Rezza Geovanny, M.Faizal Amri, M. Faiqun Ni'am, Slamet Setioboro</i>	1 - 8
Desain Kolom Beton Bertulang Dengan Polinom Kuadrat ( <i>Kode paper : Paper_(S-02)</i> ) <i>Tjiang Arif Gunadi, Herman Parung, Abd. Rachman Djamaluddin dan A. Arwin Amiruddin</i>	9 - 17
Teknologi Desain Batu Bata Dalam Solusi Menghadapi Bencana ( <i>Kode paper : Paper_(S-03)</i> ) <i>Marwahyudi</i>	16 - 24
Deteksi Delaminasi Pada Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat Dengan Lembar GFRP ( <i>Kode paper : Paper_(S-04)</i> ) <i>Hijriah, Herman Parung, Rudy Djamaluddin dan Rita Irmawaty</i>	25 - 32
Kapasitas Lentur U-Ditch Pracetak Type 500x500 Dengan Perkuatan CFRP ( <i>Kode paper : Paper_(S-05)</i> ) <i>Rudy Djamaluddin, Rita Irmawaty, Datnur</i>	33 - 40
Perilaku Lentur Balok Beton Bertulangan Rangka ( <i>Kode paper : Paper_(S-06)</i> ) <i>Pieter Lourens Frans, Herman Parung, Rudy Djamaluddin dan Rita Irmawaty</i>	41 - 48
Optimalisasi Superplasticizer Masterglenium SKY 8614 Dengan Bahan Tambah Fly Ash, Slag Baja, dan Silica Fume Untuk Beton Mutu Tinggi ( <i>Kode paper : Paper_(S-07)</i> ) <i>Erika Listyawan Ardiansyah, Gradia Olfactra Ilokana, Muhammad Fajrul Falah, Muhammad Ujianto</i>	49 - 55
Analisis Gaya Dalam dan Simpangan Antar Lantai Gedung Asimetris Tahan Gempa Dengan Variasi Dilatasi (Studi Kasus: Bangunan Gedung Bookstore Ull) ( <i>Kode paper : Paper_(S-08)</i> ) <i>Yunalia Muntafi, Muhammad Rizky Haridio Putra</i>	56 - 63
Pengaruh GFRP Terhadap Kapasitas Lentur Sebagai Perkuatan Pada Balok Beton Bertulang Pasca Tulangan Meleleh ( <i>Kode paper : Paper_(S-09)</i> ) <i>Hidayat Machmud, M.W. Tjaronge, Rudy Djamaluddin dan Rita Irmawaty</i>	70 - 71
The Usage of Molasses in Crocrete Mix Design to Increase Compressive Strength ( <i>Kode paper : Paper_(S-10)</i> ) <i>Basuki, Abdul Rochman, Taufik Dwi Tyas Hartanto</i>	72 - 78
Studi Karakteristik Mekanik Komposit Kayu Randu Bermatrik Asam Sitrat ( <i>Kode paper : Paper_(S-11)</i> ) <i>Much Suranto, Mochamad Solikin, Sri Sunarjono</i>	79 - 85
Tinjauan Kuat tekan Beton Dengan Penambahan Limbah Gypsum Dengan Menggunakan Agregat Halus Abu Bata ( <i>Kode paper : Paper_(S-12)</i> ) <i>Aliem Sudjatmiko, Ardhi R S</i>	86 - 96

## DETEKSI DELAMINASI PADA BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN LEMBAR GFRP

Hijriah<sup>1</sup>, Herman Parung<sup>2</sup>, Rudy Djamaluddin<sup>3</sup> dan Rita Irmawaty<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil Universitas Hasanuddin

<sup>2,3,4</sup>Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jalan Poros Malino Km. 6, Gowa, Sulawesi Selatan

\*Email: hijriah\_civil@ymail.com

### Abstrak

*Metode perkuatan/perbaikan pada bangunan yang mengalami kerusakan, yang pada awalnya menggunakan metode konvensional kini berkembang cukup pesat. Salah satu alternatif perbaikan/perkuatan struktur adalah aplikasi Fiber Reinforced Polymer (FRP) pada struktur bangunan. Namun dalam pengaplikasiannya, FRP mengalami mode kegagalan yang disebut delaminasi. Benda uji terdiri dari 6 buah balok bertulang dengan dimensi 15 cm x 20 cm x 330 cm yang telah diperkuat dengan GFRP pada daerah lentur. Data yang diamati adalah mode kegagalan balok GFRP, beban maksimum, kapasitas lentur balok, regangan dan lendutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok dengan perkuatan GFRP mampu meningkatkan kapasitas lentur dari balok sebesar 4.14 % dan kapasitas beban ultimit) terhadap balok normal yaitu sebesar 4.31%. Regangan rata-rata GFRP pada saat benda uji hancur masing-masing adalah sebesar 5471.7 $\mu$ , 6397.17 $\mu$  dan 7454.72 $\mu$ . Hal ini menunjukkan bahwa benda uji hancur sebelum GFRP mencapai regangan putus sebesar 20000 $\mu$ . Sehingga mode kegagalan yang terjadi pada balok GFRP adalah debonding failure/delaminasi.*

**Kata kunci:** delaminasi, GFRP, kapasitas, lendutan.

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang rekayasa material yang menuntut terobosan baru dalam menciptakan material-material berkualitas tinggi dan ramah lingkungan. Suatu material yang mempunyai sifat-sifat istimewa, dimana kelebihan material tersebut harus memiliki kekuatan dalam menahan beban yang tinggi, kekakuan yang tinggi serta ketahanan terhadap korosi. Komposit merupakan material alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut.

Komposit merupakan gabungan dari dua unsur atau lebih material yang berbeda bentuk, sifat dan komposisinya sehingga setelah digabungkan akan diperoleh material baru dengan sifat yang lebih baik atau tidak dimiliki oleh material penyusunnya. Aplikasi Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan salah satu inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur bangunan. FRP dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang, lentur pelat, desak, geser dan lentur kolom [Pratama, M. Y, 2014].

Namun dalam penggunaannya, kegagalan rekatan antara FRP dengan beton tidak dapat dihindari. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan jenis kegagalan pada beton bertulang dengan perkuatan FRP disebabkan karena kegagalan lentur dari bagian penampang yang kritis atau kegagalan lekatan (*debonding*) lembar FRP dari beton bertulang. Delaminasi merupakan salah satu dari model kerusakan kritis yang terjadi pada komposit laminat. Delaminasi terjadi karena beberapa faktor seperti tegangan interlaminar yang tinggi dan konsentrasi tegangan pada lokasi retak atau kerusakan lain pada laminat [Astika Made, 2012]. Debonding/delaminasi pada area lekatan FRP/perekat/beton dapat menyebabkan penurunan kapasitas komponen yang signifikan yang menyebabkan kegagalan dini dari balok beton bertulang yang diperkuat dengan lapisan FRP [Djamaluddin, R. dkk, 2013]. Kegagalan pada balok yang diperkuat dengan FRP terjadi akibat terlepasnya lekatan antara balok dan GFRP. Pada saat beban yang diterima menghasilkan tegangan pada lekatan yang melampaui kapasitas tegangan lekatan maksimum GFRP maka akan terjadi debonding/delaminasi [Djamaluddin, R. dkk, 2014].

**METODOLOGI**

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 20 cm x 330 cm. Pengecoran benda uji menggunakan *ready mix* dengan kuat tekan  $f'c$  sebesar 25 Mpa. Benda uji terdiri dari balok normal sebanyak 3 buah dan balok variasi I sebanyak 3 buah. Balok normal digunakan sebagai balok kontrol dengan simbol BN1, BN2 dan BN3. Sedangkan balok variasi I merupakan balok yang diperkuat GFRP pada bagian lenturnya sepanjang bentang yang disimbolkan dengan BGA1, BGA2 dan BGA 3.

GFRP yang digunakan pada penelitian ini merupakan produk dari Fyfe Company, yaitu Tyfo® The Fiberwrap Composite System SEH-51A dengan karakteristik bahan yang dapat dilihat pada tabel 1.

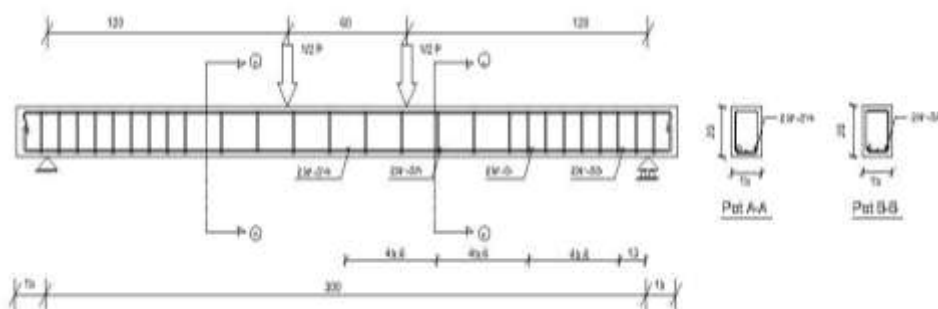
Pengujian benda uji dilakukan dengan pembebanan yang bersifat statik dengan kecepatan ramp actuator konstan sebesar 0,1 mm/s sampai balok runtuh seperti yang terlihat pada gambar 1. Data yang diamati adalah mode kegagalan balok GFRP, beban maksimum, kapasitas lentur balok, regangan dan lendutan. Pada saat pengujian juga diadakan pengukuran lendutan dengan memasang LVDT pada bagian bawah benda uji, pengukuran beban dapat dilihat pada *Load Cell* serta pengukuran regangan baja, beton dan GFRP dengan menggunakan *strain gauge*. Instrument tersebut kemudian dihubungkan dengan *data logger* untuk merekam data ke dalam komputer. Adapun posisi *strain gauge* baja, *strain gauge* beton dan *strain gauge* GFRP pada benda uji dapat dilihat pada gambar 2, 3 dan 4.

**Tabel 1. Karakteristik Bahan GFRP (Fyfo.Co LLC)**

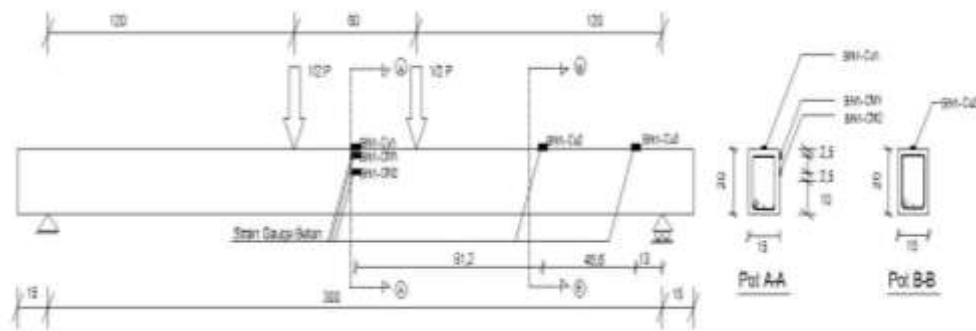
Properti Material GFRP	Keadaan Komposit	Keadaan Lepas
Tegangan tarik	575 Mpa	3240 Mpa
Modulus tarik	26.1 Gpa	72.4 Gpa
Tebal lapisan	1.3 mm	0.36 mm



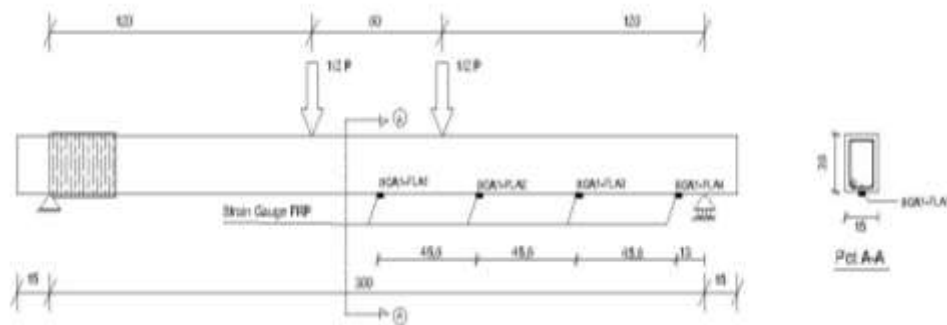
**Gambar 1. Set Up Benda Uji**



**Gambar 2. Posisi Strain Gauge Baja pada Benda Uji**



Gambar 3. Posisi *Strain Gauge* Beton pada Benda Uji



Gambar 4. Posisi *Strain Gauge* GFRP pada Benda Uji

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kapasitas Beban Maksimum

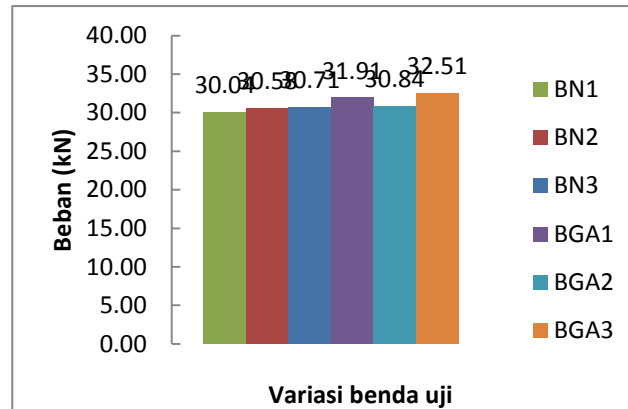
Pengujian benda uji dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap setiap kenaikan beban 1 kN hingga mencapai pembebanan maksimum dimana ditunjukkan dengan hancurnya balok pada beton normal dan terlepasnya ikatan GFRP dari beton pada balok variasi I. Penambahan GFRP pada balok beton bertulang menghasilkan nilai kapasitas beban yang berbeda. Adapun perbandingan beban maksimum untuk seluruh benda uji dapat dilihat pada tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa beban maksimum pada balok normal adalah sebesar 30.04 kN, 30.57 kN dan 30.70 kN sedangkan pada balok BGA1, BGA2 dan BGA3 berturut-turut sebesar 31.91 kN, 30.84 kN dan 32.51 kN.

Dari gambar 5 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan satu lapis GFRP di sepanjang bentang balok pada bagian lentur dapat meningkatkan kemampuan kapasitas balok dalam menahan beban ultimit. Dimana nilai beban maksimum rata-rata dari balok normal sebesar 30.44 kN dan beban maksimum rata-rata balok variasi sebesar 31.75 kN. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kapasitas beban ultimit pada balok variasi I terhadap balok normal yaitu sebesar 4.31 %.

Peningkatan beban balok yang diperkuat GFRP terhadap balok tanpa perkuatan (balok normal) disebabkan karena adanya penambahan lapisan GFRP pada balok, dimana GFRP memiliki kemampuan untuk menahan beban lentur dan akan bekerja secara maksimal ketika balok memasuki masa kondisi plastis. Hal ini menunjukkan bahwa ketika terjadi peningkatan beban yang signifikan dan ketika tulangan balok meleleh, balok masih mampu menahan beban selama GFRP masih melekat pada beton.

**Tabel 2. Beban Ultimit**

KODE BENDA UJI	BEBAN MAKSIMUM (kN)	BEBAN MAKSIMUM RATA-RATA (kN)	PERSENTASI KENAIKAN (%)
Balok Normal	BN1	30.04	-
	BN2	30.57	
	BN3	30.70	
Balok Variasi I	BGA 1	31.91	4.31%
	BGA 2	30.84	
	BGA 3	32.51	



**Gambar 5. Histogram Beban Maksimum**

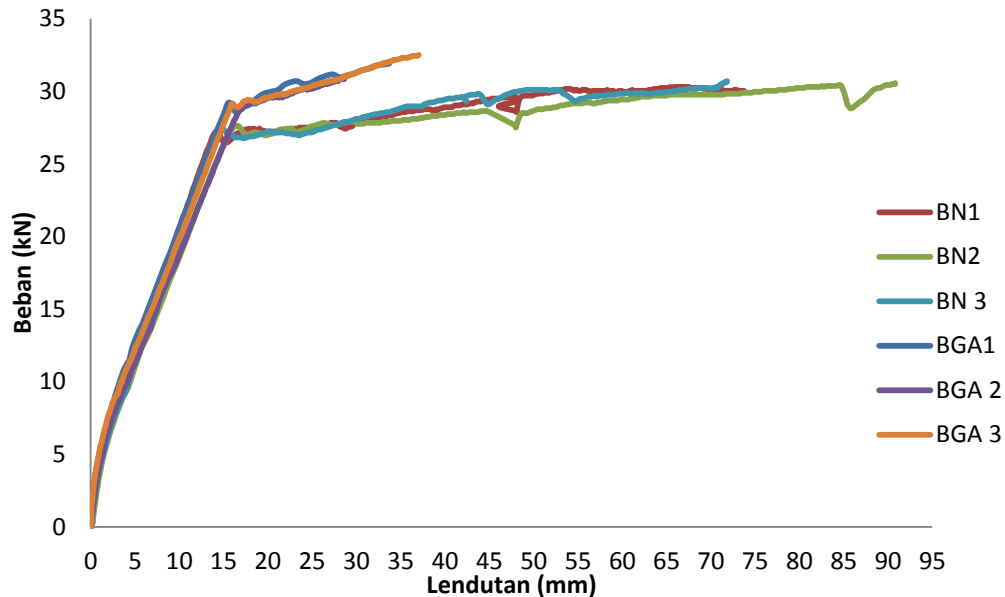
**Hubungan Beban dan Lendutan**

**Tabel 3. Beban Maksimum dan Lendutan Balok**

KODE BENDA UJI	BEBAN MAKSIMUM (kN)	LENDUTAN MAKSIMUM (mm)
BN1	30.04	73.74
BN2	30.57	90.80
BN3	30.70	71.83
BGA 1	31.91	33.69
BGA 2	30.84	28.62
BGA 3	32.51	37.03

Untuk mengetahui besarnya nilai lendutan (defleksi) yang terjadi pada benda uji, dilakukan pengukuran defleksi dengan menggunakan LVDT yang dihubungkan ke komputer. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa lendutan maksimum pada masing-masing balok uji yaitu, balok BN1 menghasilkan lendutan sebesar 73.74 mm dengan beban maksimum sebesar 30.04 kN, balok BN2 menghasilkan lendutan sebesar 90.80 mm dengan beban maksimum sebesar 30.57 kN, balok BN3 menghasilkan lendutan sebesar 71.83 mm dengan beban maksimum sebesar 30.70 kN, balok BGA1 menghasilkan lendutan sebesar 33.69 mm dengan beban maksimum sebesar 31.91 kN, balok BGA2 menghasilkan lendutan sebesar 28.62 mm dengan beban maksimum sebesar 30.84 kN dan balok BGA3 menghasilkan lendutan sebesar 37.03 mm dengan beban maksimum sebesar 32.51 kN . Besar lendutan dan beban maksimum dapat dilihat pada tabel 3.

Gambar 6 memperlihatkan perbedaan kekuatan antara benda uji Balok GFRP (BGA1, BGA2 dan BGA3) terhadap balok normal (BN1, BN2 dan BN3). Namun sifat balok normal lebih daktail dibandingkan dengan balok GFRP. Hal ini dapat dilihat dari besar lendutan yang ada, dimana balok normal memiliki lendutan yang cenderung lebih besar dibandingkan balok GFRP.



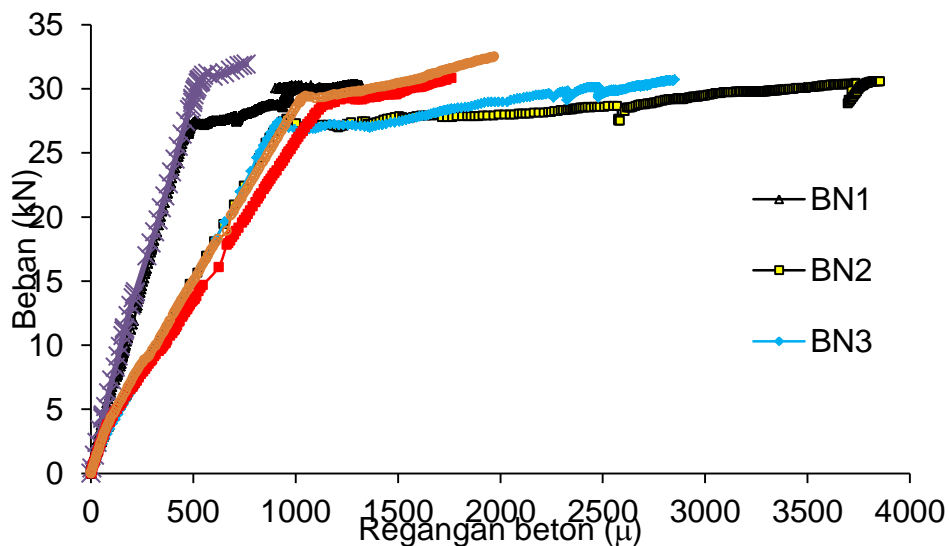
Gambar 6. Grafik Hubungan Beban dan Lentutan pada Tengah Bentang Balok

### Hubungan Beban dan Regangan

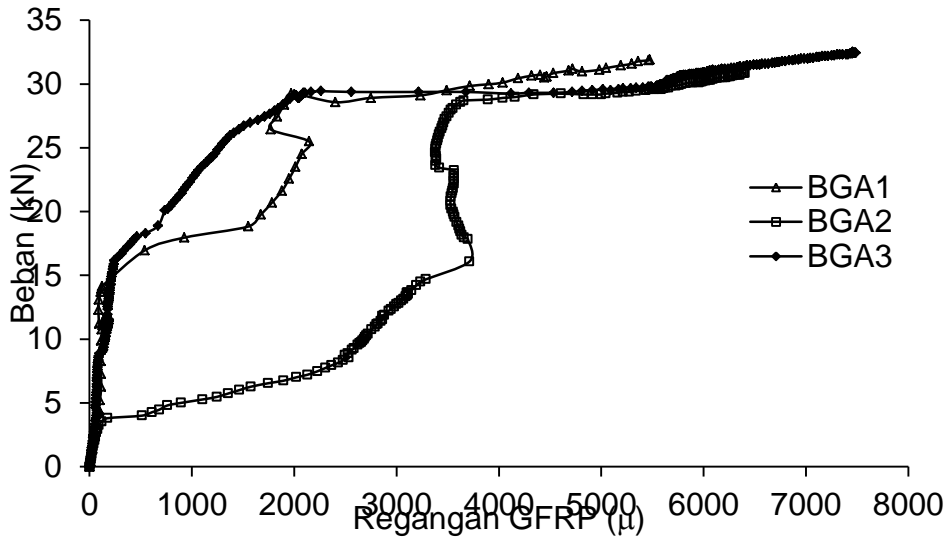
Regangan beton yang dimaksud merupakan regangan tekan beton hasil pembacaan strain gauge yang terdapat pada tengah bentang. Sementara regangan GFRP yang diperoleh merupakan regangan tarik yang diperoleh dari pembacaan strain gauge, juga pada tengah bentang balok.

Gambar 7 menunjukkan hubungan beban dan regangan beton. Terlihat secara jelas peningkatan nilai beban diikuti dengan peningkatan nilai regangan, baik untuk regangan beton maupun regangan GFRP. Nilai regangan tekan beton untuk kondisi beban ultimit pada BN1, BN2 dan BN3 berturut-turut sebesar sekitar 901.09, 3856.34 dan 2852.58, sedangkan untuk balok BGA1, BGA2 dan BGA3 sebesar 758.06, 1760.56 dan 1969.95.

. Pada gambar 8 menunjukkan grafik hubungan antara beban dan regangan GFRP. Dari grafik terlihat bahwa balok BGA1, BGA2 dan BGA3 menghasilkan regangan rata-rata GFRP pada saat benda uji hancur masing-masing adalah sebesar  $5471.7\mu$ ,  $6397.17\mu$  dan  $7454.72\mu$ . Hal ini menunjukkan bahwa balok hancur sebelum GFRP mencapai regangan putus sebesar  $20000\mu$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa mode kegagalan yang terjadi pada semua balok yang diperkuat dengan GFRP adalah *debonding failure* dan delaminasi.

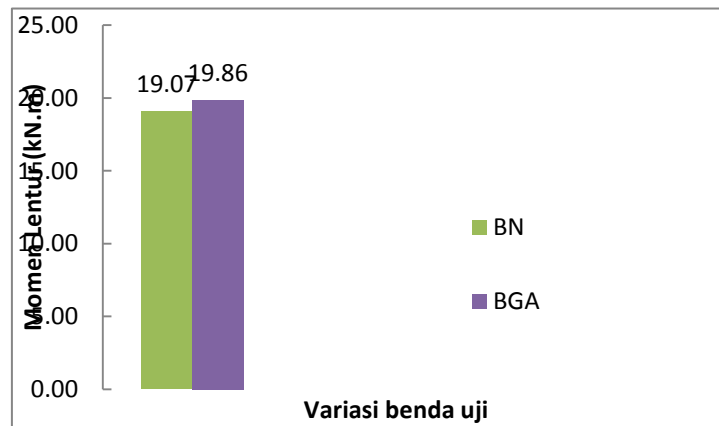


Gambar 7. Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton



Gambar 8. Grafik Hubungan Beban dan Regangan GFRP

### Kapasitas Lentur



Gambar 9. Histogram Kapasitas Lentur Benda Uji

Dari gambar 9 terlihat perbedaan yang jelas antara balok normal dengan balok GFRP, dimana terjadi peningkatan rata-rata kekuatan lentur sekitar 4.14%, ini memperlihatkan bahwa GFRP dapat meningkatkan kapasitas lentur pada balok kontrol.

### Mode dan Mekanisme Keruntuhan Balok GFRP

Pada gambar 10 dan 11 terlihat BGA1 dan BGA2, mengalami mode kegagalan *debonding failure*. Lepasnya GFRP diawali pada tengah bentang balok akibat retakan yang kemudian merambat hingga keujung lekatan. Sedangkan pada gambar 12, benda uji BGA3 mengalami mode kegagalan yang disebut delaminasi. Delaminasi adalah lepasnya ikatan laminasi GFRP dari permukaan balok. Lepasnya GFRP ini ditandai dengan bunyi krek pada tengah bentang benda uji hingga terlihat laminasi GFRP terlepas dan mengalami patah serat.

Kegagalan tersebut dapat terjadi karena GFRP memiliki mutu yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton dan baja tulangan sehingga pada saat beban yang diterima melampaui kapasitas material tersebut, maka baja tulangan dan beton akan meleleh terlebih dahulu. Karena beton dan baja tulangan telah meleleh terlebih dahulu, maka reaksi komposit antara permukaan beton dengan GFRP berkurang sehingga GFRP terlepas dari beton.



Gambar 10. Model Kegagalan BGA1



Gambar 11. Model Kegagalan BGA2



Gambar 12. Model Kegagalan BGA3

## KESIMPULAN

1. Terjadi peningkatan kapasitas beban ultimit pada balok GFRP (BGA1, BGA2 dan BGA3) terhadap balok normal yaitu sebesar 4.31%.
2. Balok dengan perkuatan GFRP mampu meningkatkan kapasitas lentur dari balok sebesar 4.14 %.
3. Mode kegagalan yang terjadi pada semua benda uji adalah kegagalan lekatan antara beton dengan GFRP (*debonding failure* dan *delaminasi*).

---

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengelola Laboratorium Teknik Struktur, Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar dan PT. Fyfe Fibrwarp Indonesia atas bantuan dan kerjasamanya dalam menyediakan material GFRP dan CFRP.

## DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Astika, M. 2012. *Analisa Delaminasi Pada Glass Fiber Reinforced Polymer Komposit Laminat Dengan Pembebanan Fatigue*. Dinamika Teknik Mesin, Volume 2 No.1, Januari 2012. Universitas Udayana, Jimbaran, Bali.
- Djamaluddin, R., Akkas, A.M, Irmawaty, R, 2013, *Debonding Behavior Of GFRP Sheet Reinforced Concrete*, Singapore.
- Djamaluddin, R. and Sultan, M. A, 2014, *Bond Characteristics of GFRP Sheet on Strengthened Concrete Beams due to Flexural Loading*, Jeju Island, Korea, IACSIT, The 4th International Conference on Civil Engineering and Materials (ICCEM 2014).
- Pratama, M. Y, 2014, *Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP Dan GFRP*, Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang.
- Teng, J.G, Chen, J.F. 2007. *Debonding Failures of RC Beams Strengthened with Externally Bonded FRP Reinforcement: Behaviour and Modelling*. Asia Pacific Conference on FRP in Structures. Hongkong: Department of Engineering.
- Travesa, A.T. 2007. *Simulation Of Delamination In Composites Under Quasi-Static And Fatigue*