

# Pengaruh *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) Terhadap Kuat Lentur Beton

Bima Herdiana Putera<sup>1</sup>, Purnomo Eko Prasetyo<sup>2</sup>

Yohanes Yuli Mulyanto<sup>3</sup>, Budi Setiyadi<sup>4</sup>

email: <sup>1</sup>17b10075@student.unika.ac.id, <sup>2</sup>17b10101@student.unika.ac.id

<sup>1,2</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata,  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Bendan Dhuwur, Semarang 50234

<sup>3,4</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata,  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Bendan Dhuwur, Semarang 50234

## Abstrak

Beton merupakan material struktur bangunan dan memberikan beberapa kelebihan, seperti desain yang bervariasi, tahan api dan biaya yang relatif murah. Namun dari segala aspek kelebihan yang diberikan oleh beton, masih terdapat satu kekurangan yaitu kuat tarik yang relatif rendah. Karena beton hanya mampu menerima tegangan tekan, maka diperlukan suatu material yang mampu menambah kekuatan tarik beton. Dengan kekurangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan menahan tegangan tarik dengan menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). Penelitian ini menggunakan benda uji yang berbentuk balok beton yang berukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm dengan mutu beton  $f_c' 25$  MPa. Selain itu juga dibuat benda uji balok beton bertulang BjTP 8. Untuk bahan perkuatan digunakan epoxy resin sebagai lem dan GFRP berjenis *woven roving*. Pengujian kuat tekan menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata 26,80 MPa. Pengujian kuat lentur yang dihasilkan dari penggunaan GFRP pada balok beton tanpa tulangan mengalami kenaikan sebesar 163 %. Penggunaan GFRP pada benda uji balok beton bertulang mengalami peningkatan sebesar 140 %.

**Kata kunci :** kuat lentur, *woven roving* GFRP, epoxy resin.

## Abstract

*Concrete is a building structure material and provides several advantages, such as varied designs, fire resistance and relatively low cost. However, from all aspects of the advantages provided by concrete, there is still one drawback, namely the relatively low tensile strength. Because concrete is only capable of receiving compressive stress, a material is needed that can increase the tensile strength of concrete. With these deficiencies, this study aims to improve the ability to withstand tensile stress by using Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). This study used specimens in the form of concrete beams measuring 15 cm × 15 cm × 60 cm with a concrete quality of  $f_c' 25$  MPa. In addition, BjTP 8 reinforced concrete beam test specimens were also made. For the reinforcement materials, epoxy resin was used as glue and GFRP was of the woven roving type. The compressive strength test produces an average compressive strength value of 26.80 MPa. The flexural strength test resulting from the use of GFRP on unreinforced concrete beams increased by 163%. The use of GFRP on reinforced concrete beam specimens has increased by 140%.*

**Keywords:** flexural strength, *woven roving* GFRP, epoxy resin.

## PENDAHULUAN

### Latar belakang

Beton yang telah melalui proses perencanaan tetap memiliki peluang untuk mengalami kerusakan akibat umur, aktivitas keempaan, perubahan fungsi struktur, pengaruh lingkungan, adanya prosedur pekerjaan dan perawatan yang tidak sesuai dengan prosedur. Adanya peluang untuk mengalami kerusakan sehingga diperlukan adanya angka keamanan tambahan. Bertambahnya angka keamanan yang terjadi tentu dibutuhkan perkuatan yang memiliki karakter dengan kekuatan mekanis yang tinggi. Masa sekarang perkembangan material yang memiliki karakter mekanis yang tinggi terus dilakukan penelitian dan terus dikembangkan. Penelitian yang dilakukan tentu mampu menjadi jawaban atas masalah perbaikan dan perkuatan struktur yang berfungsi untuk menaikkan angka keamanan struktur. Perkembangan penelitian material saat ini mampu memberikan jawaban akibat menurunnya kemampuan layan, baik kerusakan secara teknis maupun non teknis. Salah satu material mekanis yang berkembang yaitu berupa material *Fiber Reinforced Polymer* (FRP).

Material FRP sendiri terus diteliti untuk melihat pengaruh dalam perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang karena material FRP ini memiliki bobot yang ringan dibanding pelat baja yang memiliki bobot yang berat. Prinsip penggunaan FRP ini memiliki kesamaan dengan penggunaan pelat baja sebagai perbaikan dan perkuatan struktur, yaitu bertambahnya kekuatan tarik dari struktur. FRP sendiri secara umum memiliki tiga jenis yaitu berupa *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (AFRP), *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) dari ketiga jenis ini material yang baik dan memiliki harga yang relatif lebih murah dibanding ketiga bahan-bahan yaitu GFRP. Secara umum

material GFRP ini memiliki kuat tarik yang tinggi, berat jenis yang juga tinggi, tahan terhadap korosi, sifat mekanis yang tidak jauh berbeda dan dengan harga yang lebih murah dibanding dengan bahan FRP yang lain. Bentuk GFRP yang sering digunakan dalam perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang berupa lembaran. Penelitian penggunaan GFRP pada perkuatan lentur balok menunjukkan bahwa GFRP mampu menghambat retakan awal juga menahan kekuatan tarik dan lentur 1,333 lebih besar dari pada balok yang tidak diberi perkuatan (Patra, 2017).

### Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- Bagaimana pengaruh GFRP terhadap kemampuan balok beton dalam memikul beban terpusat?
- Bagaimana pengaruh GFRP terhadap kemampuan balok beton bertulang dalam memikul beban terpusat?

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- Mengukur beban maksimal yang mampu didukung oleh beton tanpa tulangan.
- Mengukur beban maksimal yang mampu didukung oleh beton bertulang.
- Mengukur pengaruh GFRP dengan balok beton tanpa tulangan.
- Mengukur pengaruh GFRP dengan balok beton bertulang.

### Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah perkuatan balok beton bertulang maupun balok beton tanpa tulangan menggunakan GFRP. Penelitian ini menggunakan mutu beton  $f_c' 25$  MPa dan menggunakan baja tulangan polos dengan diameter 8 mm.

Material perkuatan menggunakan GFRP jenis *woven roving* dengan berat 615 gr/m<sup>2</sup> dan menggunakan resin Kansai Epoxy Clear.

### Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu:

- Memberikan informasi tentang pengaruh kekuatan balok tanpa GFRP.
- Memberikan informasi tentang pengaruh kekuatan balok beton dengan GFRP.
- Memberikan informasi tentang pengaruh kekuatan balok beton bertulang tanpa GFRP.
- Memberikan informasi tentang pengaruh kekuatan balok beton bertulang dengan GFRP.

### TINJAUAN PUSTAKA

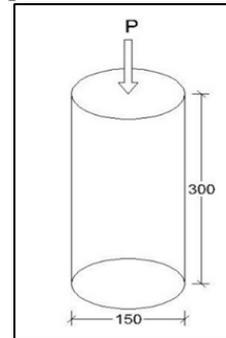
#### Beton

Beton merupakan campuran bahan-bahan agregat halus dan agregat kasar, yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan bahan perekat semen dan air sebagai bahan yang membantu terjadinya reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1994). Keberhasilan suatu pencampuran beton juga dipengaruhi oleh beberapa aspek antara lain cara pembuatan, perbandingan campuran dan pemeliharaan (Samekto dan Rahmadiyanto, 2001). Bahan penyusun beton terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen dan air yang dicampur dengan takaran tertentu menghasilkan suatu masa baru seperti batuan (McCormac, 2004).

#### Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan hasil pembebanan suatu beton sebelum mengalami keruntuhan menghasilkan nilai gaya tekan per satuan luas maksimum dapat disebut kuat tekan (Wariyatno dan Haryanto, 2013). Menurut

SNI 7656:2011 pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengujian Kuat Tekan

Menurut Tjokrodinuljo (1996) beton memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan yaitu:

- Jenis semen  
Pemilihan jenis semen mempengaruhi kekuatan rekat beton
- Takaran pasta semen  
Komposisi material dan semen harus diperhitungkan dengan tepat karena dapat mempengaruhi penyusunan struktur beton. Proses perekatan menutupi seluruh pori udara di dalam beton sehingga dapat menghindari dari segregasi.
- Faktor air semen  
Faktor air semen memiliki peran pada pencampuran beton yaitu sebagai perekat antara material satu dengan yang lain. Penggunaan air pada faktor air semen tidak boleh berlebihan yang dapat mengakibatkan daya rekat beton menurun dan *bleeding* (tidak tercampurnya air dan beton).

#### GFRP

FRP sendiri merupakan material komposit karena adanya penggabungan antara dua jenis bahan untuk mencapai sifat optimum dari setiap material penyusun. Bahan ini terbuat dari serat polimer yang diperkuat dengan resin. *Thermosetting Plastic Resin* memiliki fungsi sebagai pelaku yang

menyalurkan tegangan kepada serat, selain itu resin memberikan berbagai sifat fisika dan kimia yang diinginkan. Sistem perkuatan dengan menggunakan FRP ini ditempelkan pada bagian luar permukaan beton dan menggunakan resin sebagai perekat. Secara umum material FRP memiliki karakteristik sebagai berikut ini:

- a. Tahan terhadap korosi (*corossion resistant*)  
Material FRP merupakan material yang tahan terhadap korosi baik korosi di bagian dalam maupun korosi yang berada di bagian luar.
- b. Perbandingan kuat dan berat (*strength to weigh ratio*)

Perbandingan berat dan kekuatan material FRP menentukan tingkat keefektifan fungsi pengaplikasian FRP. Perbandingan yang tepat menghasilkan kekuatan FRP yang lebih tinggi dari perkuatan menggunakan *stainless stell*, besi atau baja.

- c. Ringan (*lighweight*)  
Material FRP merupakan material yang ringan dengan memiliki berat 1/6 dari berat besi dan memiliki berat 10 % dari beton.
- d. Sifat kelistrikan (*electrical properties*)  
Material FRP bukan material yang dapat menghantarkan listrik, tetapi dalam beberapa kasus memang ada material yang dikhususkan sebagai material yang dapat menghantarkan listrik.
- e. Ukuran stabil (*dimensional stability*)  
Material FRP mampu mempertahankan ukuran dengan baik, baik diaplikasikan untuk struktur maupun pemipaan. Material FRP juga dapat memenuhi permintaan yang disesuaikan dengan kebutuhan yang berada di pekerjaan lapangan dengan seperti kebutuhan dimensi, kekuatan material yang diperlukan, berat material yang akan digunakan dan biaya.
- f. Biaya pemeliharaan rendah (*low maintenance cost*)

Material FRP merupakan material yang tidak memerlukan pemeliharaan khusus, karena mampu menahan korosi dengan baik, mudah untuk dibersihkan, memiliki perlindungan khusus dari resin yang digunakan dan mampu bertahan dalam berbagai kondisi cuaca yang disesuaikan dengan pemilihan resin yang tepat.

FRP secara umum memiliki tiga jenis yaitu *Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP)*, *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*, dan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Karakteristik dari tiap jenis serat FRP dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Karakteristik Serat FRP**

Jenis Serat	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Modulus Of Elasticity (kN/mm)	Elongation (%)	Specific Density
Glass	2400 – 3500	70 - 85	3,5 – 4,7	2,6
Carbon High Strength	4300 – 4900	230 - 240	1,9 – 2,1	1,8
Carbon High Module	2740 – 5490	294 - 329	0,7 – 1,9	1,78 – 1,81
Carbon Ultra High Module	2600 – 4020	510 - 610	0,4 – 0,8	1,91 – 2,12
Aramid	3200 – 3600	424 - 430	2,4	1,44

(Sumber: Giulio, dkk., 2005)

*Glass Fiber Reinforced Polymer* atau GFRP merupakan bahan yang berasal dari serat kaca cair yang dipanaskan dengan suhu 2300°F lalu dipintal dengan mesin *bushing platinumrodhium* yang memiliki kecepatan 200 Mph. Penggunaan material GFRP memiliki kelebihan yaitu tahan terhadap korosi, memiliki daktilitas yang tinggi, kuat tarik yang baik, ringan dan bahan material yang relatif murah di antara bahan FRP yang lain. Menurut Musakkir (2018) GFRP memiliki karakteristik saat keadaan lepas dan komposit yang dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Karakteristik GFRP**

Keadaan Lepas		Keadaan Komposit		
Sifat Material	Nilai Test	Sifat Material	Nilai Test	
			Test	Desain
Tegangan tarik	3,24 GPa	Tegangan Ultimit	574 MPa	460 MPa
Modulus tarik	72,4 GPa	Regangan maks.	2,20%	1,76%
Regangan maks.	0,045	Modulus tarik	26,1 GPa	20,9 GPa
Kerapatan	2,55 gr/cm <sup>3</sup>	Teg. Tarik Ultimit	25,8 GPa	20,7 GPa
Tebal Fiber	0,366 mm	Tebal komposit	1,3 mm	1,3 mm

(Sumber: Musakkir, 2018)

Bahan serat mempengaruhi sifat mekanik komposit, kandungan serat yang tinggi akan mempengaruhi terhadap kuat tarik. Semakin tinggi kandungan serat akan menghasilkan kuat tarik yang tinggi, tetapi kandungan serat yang rendah akan menghasilkan kuat tarik yang kurang baik. Serat yang dapat digunakan dalam pembuatan bahan komposit berupa serat kaca, serat logam dan serat alami. Serat gelas sendiri memiliki materi penyusun dari butiran silica (SiO<sub>2</sub>), batu kapur dan paduan berupa Al, Ca, Mg, Na dan bahan penyusun lainnya. (Santoso, 2002). Menurut (Nugroho, 2007) serat kaca pada GFRP memiliki jenis dan komposisi senyawa kimia berbeda-beda dapat dilihat sebagai berikut:

a. *E-Glass (electrical glass)*

*E-Glass* adalah bahan yang mengandung alkali yang rendah. *E-Glass* memiliki kelebihan yaitu isolator listrik yang baik, tahan terhadap kelembaban dan memiliki sifat mekanik yang tinggi.

b. *Z-Glass*

*Z-Glass* adalah bahan yang digunakan untuk mortar dan beton karena memiliki keunggulan tahan terhadap serangan alkali.

c. *A-Glass*

*A-Glass* memiliki kandungan alkali yang tinggi.

d. *C-Glass*

*C-Glass* adalah bahan yang memiliki keunggulan berupa tahan terhadap korosi dan asam. *C-Glass* memiliki kekuatan yang lebih rendah dan harga lebih mahal dari *E-Glass*.

e. *S-Glass*

*S-Glass* atau *R-Glass* adalah bahan yang memiliki keunggulan yaitu tahan terhadap temperatur tinggi, kekakuan yang tinggi dan merupakan bahan yang dibuat untuk menaikkan kekuatan dan modulus tarik. *S-Glass* memiliki harga yang lebih mahal dari *E-Glass*.

Komposisi senyawa kimia pada setiap jenis serat kaca GFRP dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Komposisi Senyawa Kimia GFRP**

Tipe Serat	Komposisi Senyawa Kimia (%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	BaO
E-Glass	52,4	14,5	0,2	17,2	4,6	0,8	10,6	-	-
C-Glass	64,4	5,1	0,1	13,4	3,3	9,6	4,7	0,4	0,9
S-Glass	64,4	25,0	-	-	10,3	0,3	-	-	-

(Sumber: Nugroho, 2007)

Lapisan GFRP yang dijual di pasaran memiliki beberapa bentuk antara lain sebagai berikut:

a. *Continuous roving*

*Continuous roving* merupakan GFRP yang memiliki bentuk terurai seperti bentuk benang yang dikemas dalam bentuk gulungan silinder, dalam pelaksanaannya digunakan untuk proses *filament winding*.

b. *Woven roving*

*Woven roving* merupakan *continuous roving* yang ditenun menjadi lembaran. *Woven roving* memiliki kekuatan yang tinggi dan memiliki harga yang relatif terjangkau apabila dibandingkan dengan kain tenun biasa.

c. *Reinforcing mats*

*Reinforcing mats* merupakan kepingan dari kelainan serat kaca yang dijadikan satu dengan perekat khusus. Produk ini memiliki tingkat kekuatan yang kurang baik.

d. *Surface veil*

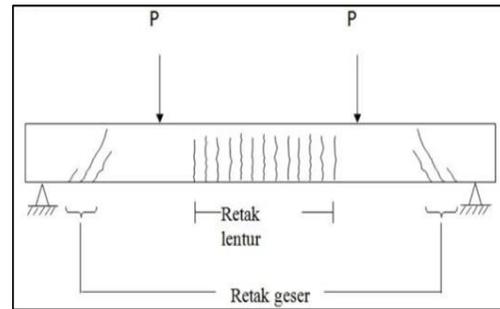
*Surface veil* merupakan material GFRP yang memiliki bobot yang sangat ringan. *Surface veil* memiliki dampak yang baik apabila digunakan sebagai pelapis untuk memberikan perlindungan terhadap kondisi cuaca yang ekstrim, memiliki daya tahan yang baik terhadap bahan-bahan kimia dan memiliki permukaan yang halus.

## Resin

Menurut Nugroho (2007) resin terbagi menjadi dua jenis, jenis yang pertama adalah *thermosetting* dan jenis yang kedua adalah *thermoplastic*. *Thermosetting* merupakan resin yang terbentuk karena adanya pemanasan atau penambahan bahan *addictive*. Setelah resin sudah terbentuk dan sudah mengeras sudah tidak dapat dilelehkan atau dicairkan kembali. *Thermosetting* memiliki dua kategori yang biasa digunakan yaitu *polyester* dan *epoxy*. *Polyester* dapat digunakan berbagai pengaplikasian secara komposit dan pemakaian terpisah, sifat mekanik yang dimiliki *polyester* relatif biasa. Epoxy resin yang biasa digunakan adalah *bisphenol-A epoxies* resin. *Bisphenol-A epoxies* resin memiliki daya tahan yang baik terhadap kimia alkali dan memiliki kemampuan tahan panas yang baik.

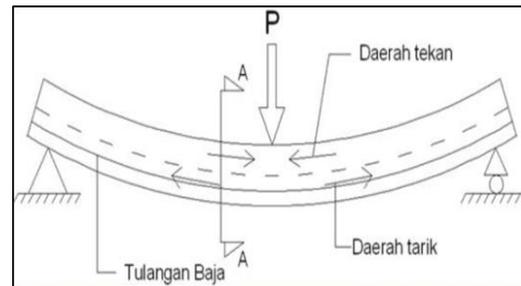
## Balok Bertulang

Berbagai hasil penelitian antara percobaan kuat tekan dengan kuat tarik beton menghasilkan nilai kuat tarik beton yang sangat kecil dibandingkan dengan nilai kuat tekannya. Balok beton yang tidak menggunakan tulangan memiliki tumpuan sederhana berupa tumpuan sendi dan tumpuan rol, dengan keadaan tersebut lalu ditambahkan beban yang bekerja berupa  $P$  maka balok beton mengalami momen luar. Setelah ditambahkan beban maka balok mengalami perubahan bentuk yaitu melengkung hingga mengalami keruntuhan pada area tarik. Reaksi pembebanan balok beton tanpa penambahan tulangan dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2. Reaksi Pembebanan Balok Beton Tanpa Tulangan**

Adanya karakteristik beton hanya mampu menerima gaya tekan, maka diperlukan material yang mampu untuk menaikkan kuat tarik beton yaitu menggunakan material baja. Reaksi pembebanan balok beton dengan penambahan material baja dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Reaksi Pembebanan Balok Beton Bertulang**

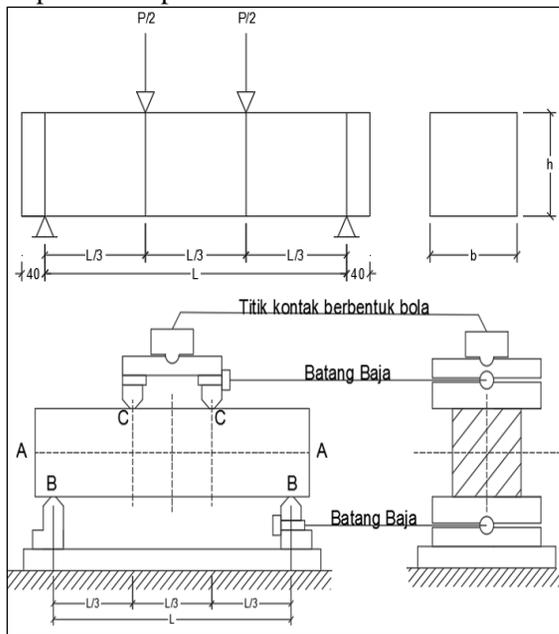
Menurut Kati (2016) keuntungan yang didapat dari kombinasi material baja dan beton pada struktur bangunan dapat dilihat sebagai berikut:

- Beton memiliki kemampuan untuk menahan kuat tekan.
- Baja memiliki kemampuan untuk menahan kuat tarik.
- Kuat tarik baja 100 kali lebih besar dari beton biasa.
- Tulangan di dalam beton terlindungi dari karat.
- Tulangan di dalam beton terlindungi dari suhu tinggi.

- f. Beton dan baja memiliki koefisien muai-termal hampir sama sehingga dapat bekerja sama terhadap perubahan temperatur.
- g. Kedua bahan memiliki adhesi kimia yang saling menguntungkan.

**Kuat Lentur**

Kuat lentur struktur balok merupakan kemampuan struktur balok beton dalam menerima dua perletakan gaya yang tegak lurus dengan benda uji dan pembebanan tersebut berada sejauh panjang dibagi tiga. Keruntuhan yang terjadi akibat adanya gaya yang diberikan maka akan dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa). Pengujian kuat lentur menggunakan acuan SNI 4431:2011 dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4. Pengujian Kuat Lentur Dengan Dua Titik Pembebanan**

Menurut SNI 4431:2011 perhitungan struktur balok yang mengalami patah dibagian tengah dapat dilihat pada Persamaan 2.1:

$$\sigma = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Perhitungan struktur balok yang mengalami patah diluar sisi tengah balok menurut SNI 4431:2011 dapat dilihat pada Persamaan 2.2:

$$\sigma = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}$$

Keterangan:

- $\sigma$  = Nilai kuat lentur (mm)
- P = Beban maksimum (N)
- L' = Panjang bentang balok (mm)
- a = Jarak tumpuan luar terdekat patahan dan jarak tampang melintang rata-rata (mm)
- b = Lebar balok (mm)
- h = Tinggi balok (mm)

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini memiliki diagram alir sebagai tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar.



**Gambar 5. Diagram Alir Penelitian**

Proses pengujian material hingga pengujian benda uji penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata.

**PEMBAHASAN**

Mutu beton penelitian ini menggunakan  $f_c \sim 25$  MPa, benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Benda Uji Silinder dan Balok**

Benda Uji Silinder				Benda Uji Silinder			
Kode	Hari	Kode	Hari	Kode	Hari	Kode	Hari
S7.1	7	S14.2	14	BN1	28	BT1	28
S7.2	7	S14.3	14	BN2		BT2	
S7.3	7	S28.1	28	BN3		BT3	
S14.1	14	S28.2	28	BN1'		BT1'	
				BN2'		BT2'	
				BN3'		BT3'	

### Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar

Tujuan dari analisis saringan yaitu melihat gradasi dari agregat yang digunakan untuk menentukan dalam perhitungan *mix design*. Analisis saringan agregat halus mengacu pada SK SNI S-04-1989-F yaitu modulus agregat halus berkisar antara 1,5 – 3,8. Data yang dihasilkan dari analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Analisis Saringan Agregat Halus**

Ukuran Saringan		Berat Tertahan	Tertahan	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif
ASTM	Mm	(Gram)	(%)	(%)	(%)
3/8	9,5	0	0	0	100
4	4,75	0	0	0	100
8	2,36	28,5	5,7	5,7	94,3
16	1,18	85,5	17,1	22,8	77,2
30	0,6	171	34,2	57	43
50	0,3	91,5	18,3	75,3	24,7
100	0,15	59,5	11,9	87,2	12,8
Modulus Kehalusan Butir		2,48			

Analisis saringan agregat kasar mengacu pada SK SNI-04-1989-F modulus kehalusan agregat kasar berkisar antara 6 – 7,1. Analisis saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Analisis Saringan Agregat Kasar**

Ukuran Saringan		Berat Tertahan	Tertahan	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif
ASTM	mm	(Gram)	(%)	(%)	(%)
3/4	19	68	13,6	13,6	86,4
3/8	9,5	311	62,2	75,8	24,2
4	4,75	110	22	97,8	2,2
8	2,36	10,5	2,1	99,9	0,1
16	1,18	0	0	99,9	0,1
30	0,6	0	0	99,9	0,1
50	0,3	0	0	99,9	0,1
100	0,15	0,5	0,1	100	0
Modulus Kehalusan Butir		6,87			

### Uji Kadar Air

Tujuan pengujian kadar air pada agregat dilakukan untuk mengetahui perbandingan kandungan air yang berada dalam agregat. Data yang dihasilkan dari uji kadar air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Uji Kadar Air Agregat Halus**

	Percobaan I	Percobaan II
Berat Awal (gr)	500	500
Berat Kering (gr)	491	494
Kadar Air (%)	1,8	1,2
Rata – Rata (%)	1,5	

Mengacu pada SNI 1971:2011 kandungan air dalam material agregat halus sebesar 0% - 3%, sehingga agregat halus penelitian ini telah lulus pengujian kadar air. Data yang dihasilkan dari uji kadar air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8. Uji Kadar Air Agregat Kasar**

	Percobaan I	Percobaan II
Berat Awal (gr)	500	500
Berat Kering (gr)	495	496,5
Kadar Air (%)	1	0,7
Rata-Rata (%)	0,85	

Mengacu pada SNI 1971:2011 kandungan air dalam material agregat kasar sebesar 0% - 1%, sehingga agregat kasar penelitian ini telah lulus pengujian kadar air.

### Uji Abrasi

Pengujian dilakukan menggunakan mesin *Los Angeles* dengan mengacu SNI 2417:2008 yaitu maksimum nilai keausan agregat kasar lolos saringan nomor 12 adalah 50%. Pengujian abrasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9. Uji Abrasi**

	Percobaan I	Percobaan II
Berat Awal (gr)	5013	5012
Berat Setelah Uji (gr)	3952	3947
Nilai Keausan (%)	21,16	21,25
Nilai Keausan Rata-Rata (%)	21,21	

### Analisis Berat Volume Agregat Halus dan Kasar

Tujuan analisis berat volume agregat halus dan kasar yaitu mengetahui perbandingan berat material dalam kondisi kering dengan volumenya. Data analisis berat volume agregat halus dan kasar sebagai berikut:

**Tabel 10. Analisis Berat Volume Agregat Halus dan Kasar**

Jenis	Diameter Wadah (cm)	Tinggi Wadah (cm)	Volume Wadah (liter)	Berat Wadah (kg)	Berat Agregat (kg)	Berat Volume (kg/liter)
Agregat Halus	14,8	17,1	2,9	4,33	4,84	1,67
Agregat Kasar	18,2	18,2	4,7	2,66	7,2	1,53

### Mix Design

Perhitungan *mix design* pada penelitian tugas akhir ini menggunakan SNI 7656:2012, perhitungan kebutuhan *mix design* dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11. Mix Design**

Benda Uji	Volume (m <sup>3</sup> )	Air (Liter)	Semen (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)
1 Silinder	0,0053	1,0862	2,3112	4,9596	4,3681
1 Balok	0,0135	2,7675	5,8883	12,6360	11,290

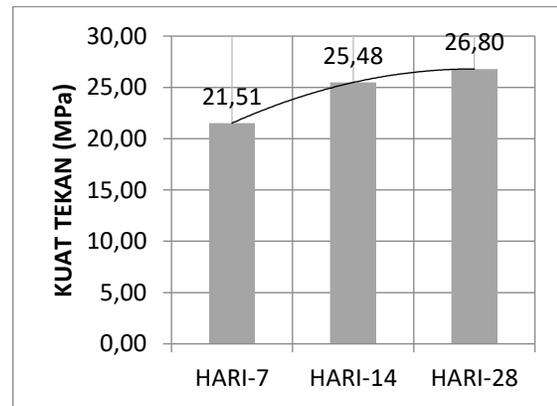
### Kuat Tekan

Uji kuat tekan beton dilakukan pada hari ke 7, 14 dan 28. Berikut merupakan data yang dihasilkan pengujian kuat tekan:

**Tabel 12. Uji Kuat Tekan**

Kode	Luas (mm)	Umur (hari)	Berat (kg)	Gaya (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)
S7.1	17662,5	7	12,55	310000	17,55	17,74
S7.2	17662,5	7	12,48	310000	17,55	
S7.3	17662,5	7	12,43	320000	18,12	
S14.1	17662,5	14	12,44	410000	23,21	23,59
S14.2	17662,5	14	12,56	430000	24,35	
S14.3	17662,5	14	12,51	410000	23,21	
S28.1	17662,5	28	12,55	470000	26,61	26,8
S28.2	17662,5	28	12,54	480000	27,18	
S28.3	17662,5	28	12,48	470000	26,61	

Tabel 12 menunjukkan bahwa kuat tekan pada umur 7 hari hingga umur 28 hari terus mengalami kenaikan dan dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6. Kuat Tekan Rata-rata**

Gambar 6 menunjukkan beton umur 28 hari mencapai kuat tekan sebesar 26,8 MPa, sehingga mencapai kuat tekan sesuai dengan rencana.

### Kuat Lentur

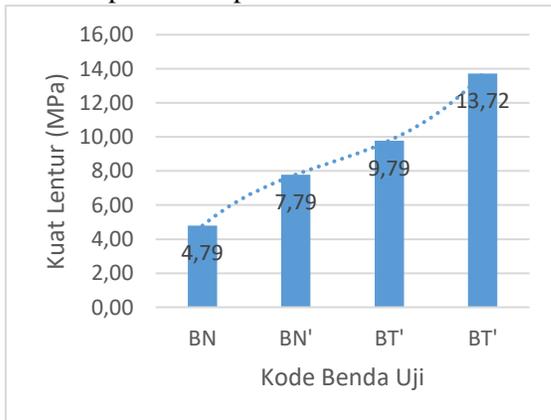
Pengujian kuat lentur menggunakan mesin *universal testing machine* dengan mengacu pada SNI 4431:2011. Benda uji yang digunakan pada pengujian kuat lentur adalah balok 15cm × 15cm × 60cm dengan waktu

perendaman 28 hari. Hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13. Uji Kuat Lentur**

Kode	Dia l (div )	Beban maksimu m (kN)	Kuat lentu r (MPa )	Rata- rata (MPa)	Devia si persen (%)
BN 1	123	28,82	5,12	4,79	163
BN 2	106	24,84	4,42		
BN 3	116	27,18	4,83		
BN 1'	172	40,30	7,16	7,79	
BN 2'	196	45,92	8,16		
BN 3'	193	45,22	8,04		
BT1	230	53,89	9,58	9,79	140
BT2	237	55,53	9,88		
BT3	238	55,76	9,91		
BT1 ,	330	77,32	13,7 5	13,72	
BT2 ,	324	75,91	13,5 0		
BT3 ,	334	78,26	13,9 1		

Dapat dilihat pada Tabel 13 menunjukkan bahwa penggunaan GFRP pada struktur balok beton memiliki kenaikan yang signifikan dibanding struktur balok beton yang tidak menggunakan lapisan GFRP. Kenaikan kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7. Kuat Lentur Rata-rata**  
**PENUTUP**

Berdasarkan data pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Uji analisis saringan menghasilkan nilai modulus kehalusan pada butir agregat halus sebesar nilai sebesar 2,48 dan agregat kasar sebesar 6,87.
2. Kadar air pada agregat halus memiliki nilai sebesar 1,5 % dan agregat kasar sebesar 0,85 %.
3. Uji abrasi pada agregat kasar menghasilkan nilai keausan rata-rata 21,21 %.
4. Nilai uji analisis berat volume pada agregat halus adalah 1,67 kg/liter dan agregat kasar sebesar 2,66 kg/liter.
5. Perhitungan *mix design* menghasilkan bahwa untuk 1 m<sup>3</sup> beton membutuhkan air sebanyak 205 liter, semen 379,63 kg, agregat kasar 9,36 kg dan agregat halus 824,37 kg.
6. Pengujian kuat tekan beton dengan usia 28 hari menghasilkan kuat tekan rata-rata 26,80 MPa.
7. Hasil dari pengujian kuat lentur rata-rata balok beton BN adalah 4,79 MPa dan BN' adalah 7,79 MPa.
8. Hasil dari pengujian kuat lentur rata-rata balok beton bertulang BT adalah 9,79 MPa dan BT' adalah 13,91 MPa.
9. Pengujian kuat lentur yang dihasilkan dari penggunaan GFRP pada balok beton tanpa tulangan mengalami kenaikan sebesar 163 %. Penggunaan GFRP pada struktur beton bertulang mengalami kenaikan sebesar 140 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, (2011) : SNI 1974:2011 Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder, 8.

- Badan Standarisasi Nasional, (2011) : SNI 4431:20011 Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan, 7.
- Badan Standarisasi Nasional, (2012) : SNI 7656:2012 Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa, 3-8.
- Dipohusodo, I. (1994): Struktur beton bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991- 03, Gramedia, Jakarta. Diakses dari situs internet: [https://www.academia.edu/28466015/Struktur\\_beton\\_bertulang\\_Berdasarkan\\_SK\\_SNI\\_T\\_15\\_1991\\_03\\_Departemen\\_Pekerjaan\\_Umum\\_RI\\_Is\\_timawan\\_Dipohusodo](https://www.academia.edu/28466015/Struktur_beton_bertulang_Berdasarkan_SK_SNI_T_15_1991_03_Departemen_Pekerjaan_Umum_RI_Is_timawan_Dipohusodo).
- Giulio, A., Luciano, R., dan Simonelli, G. (2005): *Modelling of failure mechanisms in rc beams retrofitted with frp in flexure*. Barcelona . Diakses dari situs internet: [https://www.researchgate.net/publication/237591102\\_MODELLING\\_OF\\_FAILURE\\_MECHANISMS\\_IN\\_RC\\_BEAMS\\_RETROFITTED\\_WITH\\_FRP\\_IN\\_FLEXURE](https://www.researchgate.net/publication/237591102_MODELLING_OF_FAILURE_MECHANISMS_IN_RC_BEAMS_RETROFITTED_WITH_FRP_IN_FLEXURE).
- Kati, R.R. (2016): Perilaku lentur balok beton bertulang dengan perkuatan geser menggunakan lembaran FRP, Universitas Hasanuddin. Diakses dari situs internet: <https://core.ac.uk/reader/77625160>.
- McCormac, J.C. (2004): *Desain beton bertulang edisi kelima jilid 2*, Jakarta : Erlangga, 13 – 14.
- Musakkir, A. (2018): *Pengaruh luas penampang rekatan terhadap kapasitas lentur balok dengan perkuatan FRP*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar, 17.
- Nugroho (2007): *Proses produksi pembuatan microcar dari bahan komposit*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Patra, M.F. (2017): Analisis dan eksperimen penggunaan *glass fiber reinforced polymer* pada perkuatan lentur balok beton, Universitas Sumatera Utara. Diakses dari situs internet: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/81474>.
- Samekto, W. dan Rahmadiyanto, C. (2001): *Teknologi beton*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta. Diakses dari situs internet: <https://id.scribd.com/document/238428783958/Samekto-Wuryati-Candra-Rahmadiyanto-2001-Teknologi-Beton-Yogyakarta-Kanisius#>.
- Santoso (2002): *Pengaruh berat serat chopped strand terhadap kekuatan Tarik, bending dan impak komposit GFRP kombinasi serat gelas chopped strand dan woven roving*, Universitas Surakarta, 24
- Tjokrodinuljo, K. (1996): *Teknologi beton*, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Diakses dari situs internet: <http://laser.umm.ac.id/catalog-detail-copy/060003418/>.
- Wariyatno, G.N. dan Haryanto, Y. (2013): *Kuat tekan dan kuat tarik belah sebagai nilai estimasi kekuatan sisa pada beton serat kasa aluminium akibat variasi suhu*, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jendral Soedirman, ISSN: 1858-3075, 9 (1), 21-28..