

TESIS

ANALISA PENGARUH PERKUATAN DENGAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)* PADA STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Dalam Mencapai
Derajat Magister Teknik (M.T)



Oleh :

NAMA : Y U S F A R
NOMOR MAHASISWA : 153120038
BIDANG KAJIAN UTAMA : GEOTEKNIK & JALAN RAYA

Diajukan Kepada :

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2018**

Tesis

ANALISA PENGARUH PERKUATAN DENGAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)* PADA STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

YUSFAR

NPM. 153120038

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji

Pada tanggal 21 Januari 2019

Dewan Penguji :

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT

Tim Penguji Lain

Dr. Anas Puri, S.T., M.T

Pembimbing Pendamping

Dr. Elizar, S.T., M.T

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh gelar Magister Teknik

tanggal 20-04-2019



Dr. Anas Puri, S.T., M.T

Ketua Program Magister Teknik Sipil UIR

Universitas Islam Riau

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis

ANALISA PENGARUH PERKUATAN DENGAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)* PADA STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

YUSFAR

NPM. 153120038

Program Studi : Teknik Sipil
Bidang Kajian : Geoteknik dan Jalan Raya
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 21 Januari 2019
Dan dinyatakan LULUS

DEWAN PENGUJI

Ketua Penguji



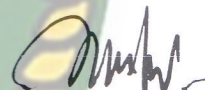
Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT

Anggota Penguji I



Dr. Elizar, S.T., M.T

Anggota Penguji II



Dr. Anas Puri, S.T., M.T

Mengetahui
Direktur

Program Pasca Sarjana Universitas Islam Riau



Dr. Ir. Saipul Bahri, M.Ec

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr, wb.

Puji dan syukur penulis sampaikan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan KaruniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “ Analisa Pengaruh Perkuatan Dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (*GFRP*) Pada Struktur Balok Beton Bertulang ”. Adapun penulisan ini untuk memenuhi persyaratan Kurikulum Akademis untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

Penulisan Tesis ini penulis lakukan berdasarkan percobaan – percobaan pada produk – produk perkuatan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (*GFRP*) yang banyak dipakai dilapangan. Penulis ingin mengetahui secara langsung peningkatan kekuatan yang didapat setelah balok beton di beri perkuatan *GFRP*, sesuai dengan yang dipasang dilapangan. Hasil dari percobaan yang dituliskan di dalam Tesis ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk mengambil keputusan dilapangan untuk kegiatan – kegiatan Pemeliharaan Jembatan balok beton yang banyak terdapat di ruas – ruas jalan Provinsi Riau.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih banyak terdapat kekurangan – kekurangan, oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran yang akan menyempurnakan dalam pembuatan Tesis ini, penulis berharap Tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, wassalamu’alaikum wr, wb.

Penulis, 2019

YUSFAR
NPM 153120038

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmad dan hidayah-Nya sehingga Tesis ini dengan judul “ Analisa Pengaruh Perkuatan Dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* Pada Struktur Balok Beton Bertulang ” dapat diselesaikan. Penulis. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada program Pasca Sarjana Universitas Islam Riau.

Atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH. MCL, selaku Rektor Universitas Islam Riau – Pekanbaru.
2. Bapak Dr. Saipul Bahri, M.Ec selaku Direktur Pasca Sarjana Universitas Islam Riau – Pekanbaru.
3. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT selaku ketua Prodi Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas Islam Riau – Pekanbaru.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT., I. PU, selaku Guru Besar Teknik Sipil Universitas Islam Riau – Pekanbaru dan sebagai Pembimbing I dalam Penulisan Tesis ini.
5. Ibu Dr. Elizar, ST., MT selaku Dosen Teknik Sipil Universitas Islam Riau – Pekanbaru dan sebagai Pembimbing II dalam penulisan Tesis ini.
6. Seluruh Dosen di Program Pasca Sarjana Universitas Islam Riau – Pekanbaru.
7. PT. FYFE FIBR/RAP Indonesia sebagai penyedia produk.
8. PT. ESTP Indonesia sebagai penyedia produk
9. Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung di Lampung.
10. Laboratorium struktur Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung di Bandung.

Akhir kata semoga Tesis ini bermamfaat bagi penulis khususnya dan untuk Pembaca pada umumnya

Pekanbaru, 2019

YUSFAR
NPM 153120038

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Mamfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Penelitian Terdahulu Yang Pernah Dilakukan	4
2.2. Keaslian Penelitian	5
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1. Umum	7
3.2. Sejarah <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i> Komposit	9
3.3. Aplikasi Struktural Sipil Menggunakan Komposit.....	11
3.4. Proses Manufaktur.....	11

3.5. Karakteristik Komposit	12
3.6. Material Pembentuk Komposit	13
3.7. Fiber Reinforced	13
3.8. Sistem Resin	14
3.9. <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)</i> dan Aplikasinya	15
3.10. Tulangan Baja	17
3.11. Balok Beton	18
3.12. Balok Beton Tanpa Tulangan.....	19
3.13. Balok Beton Bertulangan.....	20
3.14. Lentur Pada Balok	20
3.15. Jenis Keruntuhan Pada Balok	21
3.16. Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan <i>FRP</i>	22
3.17. <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (G FRP)</i>	24
3.18. Perhitungan Beban Maksimum Yang Dapat di Pikul Balok.....	26
3.18.1. Balok Tanpa Perkuatan.....	26
3.18.2. Balok Dengan FRP	26
 BAB IV METEODOLOGI PENELITIAN	
4.1. Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian.....	28
4.2. Peralatan dan Bahan	28
4.2.1. Peralatan	28
4.2.2. Bahan	32
4.3. Cara Penelitian	34

4.3.1. Uji Fisik Material Beton Normal	34
4.3.2. Material Baja Tulangan	34
4.3.3. Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang	34
4.4. Tahapan Proses Penelitian	36
4.5. Cara Analisis	38
4.5.1. Desain	38
4.6. Variasi Benda Uji	40
4.6.1. Beton Benda Uji 1A	40
4.6.2 Beton Benda Uji 2A Dengan 1 Lapis GFRP Dari Distributor A	40
4.6.3. Beton Benda Uji 1 B	41
4.6.4. Beton Benda Uji 2B Dengan 1 Lapis GFRP Dari Distributor B	41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1. Material Balok Dan GFRP	42
5.2. Komposisi Mix Design	43
5.3. Kuat Tekan Beton	43
5.4. Hasil Pengujian Lentur	44
5.4.1. Hasil Data Pengujian Untuk Balok Beton Bertulang Normal Produk A .	44
5.4.2. Hasil Data Pengujian Untuk Balok Beton Bertulang Diperkuat Dengan <i>GFRP</i> Produk A	44
5.4.3. Hasil Data Pengujian Untuk Balok Beton Bertulang Normal Produk B .	44
5.5. Hasil Data Pngujian Untuk Balok Beton Bertulang Diperkuat Dengan <i>GFRP</i> Produk B	45
5.6. Perbandingan Balok Normal Dan Balok Yang Diperkuat <i>GFRP</i>	45
5.7. Pola Retak Yang Terjadi Pada Balok Benda Uji	46
5.8. Tegangan dan Lendutan	47

5.9. Tegangan dan Regangan	50
5.10. Data Hasil Pengujian Masing – masing Produk	53
5.11. Hasil Perhitungan Peningkatan Kekuatan Balok	54
5.12. Perbandingan Kekuatan Antara Produk A dan Produk B	55

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	56
6.2. Saran	56



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3.1. Karakteristik GFRP Yang Digunakan (Tyfo SEH – 51 A Composite)	26
Tabel 5.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Benda Uji	43
Tabel 5.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal dan Yang Diperkuat Dengan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polimer) Produk A	45
Tabel 5.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal dan Yang Diperkuat Dengan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polimer) Produk B	45
Tabel 5.4. Hubungan tegangan dan lendutan pada balok Normal.....	48
Tabel 5.5. Hubungan tegangan dan lendutan pada balok dilapisi <i>GFRP</i>	49
Tabel 5.6. Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok Normal	50
Tabel 5.7. Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok yang dilapisi <i>GFRP</i>	51
Tabel 5.8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Masing – masing Produk	53
Tabel 5.9. Hasil Perhitungan Peningkatan Kekuatan Balok	54
Tabel 5.10. Perbandinga Produk A dan Produk B	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 3.1. Diagram Tegangan Regangan Batang Batang Tulang Baja (Dipohusoda, 1994)	17
Gambar 3.2. Kedudukan Baja Tulangan Dalam Balok Beton (Mc Cormac, 2004)	18
Gambar 3.3. Balok Dengan Bahan P dan Q (Nawy, 2008)	19
Gambar 3.4. Balok Melengkung (Nawy, 2008)	19
Gambar 3.5. Elemen Balok Beton Bertulang (Nawy, 2008)	20
Gambar 3.6. Balok dibebani Lentur Murni (Endah Pengestuti, 2009)	21
Gambar 3.7. Distribusi Regangan Ultimit pada Keruntuhan Lentur (Nawy, 2008)	32
Gambar 3.8. Glass Fiber Reinforced Polymer	23
Gambar 4.1. Universal Tusting Machine	28
Gambar 4.2. Jack Hidrolik Kapasitas	29
Gambar 4.3. Mesin Pencampur Bahan Beton Kapasitas 0,2 m ³	29
Gambar 4.4. Cetakan Silinder Ukuran 15 cm x 30 cm	30
Gambar 4.5. Cetakan Balok Ukuran 15 cm x 30 cm x 250 cm	30
Gambar 4.6. Dial Gauge Dengan Ketelitian 0,01 mm	31
Gambar 4.7. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)	32
Gambar 4.8. Epoxy	32
Gambar 4.9. Ultrachem Crete RM	33

Gambar 4.10. EstogROUT MD 70 Premix	33
Gambar 4.11. Kondisi Pengujian Balok	35
Gambar 4.12. Bagan Tahapan Proses Pengujian	37
Gambar 4.13. Desain beban dan Balok	38
Gambar 4.14. Desain Tulangan dan Penampang Balok	39
Gambar 5.1. Pola Retak Pada Balok Normal	46
Gambar 5.2. Pola Retak Pada Balok yang dilapisi <i>GFRP</i>	47
Gambar 5.3 Tegangan dan Lentutan pada balok normal	
Gambar 5.4 Tegangan dan Lentutan pada balok yang dilapisi <i>GFRP</i>	
Gambar. 5.5. Tegangan dan Regangan pada Balok Normal.	
Gambar 5.6. Tegangan dan Regangan pada Balok dilapisi <i>GFRP</i> .	
Gambar 5.7 Kuat lentur Masing – masing Produk	
Gambar 5.8 Perhitungan peningkatan kekuatan balok	
Gambar 5.9 Perbandingan Peningkatan kekuatan Produk A dan Produk B	

**ANALISA PENGARUH PERKUATAN DENGAN GLASS FIBER
REINFORCED POLYMER (GFRP) PADA STRUKTUR BALOK BETON
BERTULANG**

Yusfar1, Sugeng Wiyono2, Elizar2

- 1) Mahasiswa Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Riau
- 2) Dosen Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Riau
e-mail : paimadjid@gmail.com

ABSTRAK

Kerusakan yang terjadi pada balok beton bertulang dapat disebabkan karena umur struktur, kesalahan design awal, kesalahan pengerjaan, pembebanan yang tidak sesuai rencana ataupun faktor – faktor alam lainnya. Biasanya struktur yang rusak akan segera dibongkar dan diganti tanpa mempertimbangkan adanya kemungkinan untuk diperbaiki atau diberi perkuatan. *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* merupakan material yang bisa digunakan dalam perkuatan struktur beton bertulang, salah satu jenisnya adalah *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Material ini sangat baik digunakan sebagai perkuatan karena bobotnya ringan, tahan korosi, dan memiliki kekuatan yang tinggi.

Penelitian dengan pengujian laboratorium bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan lembaran *GFRP* untuk perkuatan tarik balok, balok yang digunakan berukuran 250 cm x 30 cm x 15 cm dan diberi beban sampai mengalami keretakan, lembaran *GFRP* yang digunakan diambil dari dua produsen yang berbeda yang banyak diaplikasikan dilapangan saat ini. Sehingga bisa didapat masing – masing peningkatan kekuatan yang nantinya akan dibandingkan untuk memberikan pertimbangan bagi praktisi dilapangan.

Dari hasil penelitian didapat bahwa terjadinya peningkatan kekuatan pada bolok yang telah di lapsi dengan *GFRP*, untuk produk A terjadi peningkatan kekuatan sebesar 10,72% dari balok normal dan untuk produk B terjadi peningkatan kekuatan 24,15% dari balok normal.

Kata kunci : Balok Beton Bertulang, Perkuatan, GFRP

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perbaikan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai dengan beban rencana dan umur rencana. Umumnya, struktur perlu perkuatan apabila terjadi perubahan fungsi bangunan sehingga perlu tambahan faktor keamanan atau pada saat perencanaan, elemen-elemen strukturnya dirancang sesuai tata cara yang lama dimana beban gempa nominalnya lebih rendah dari yang ditetapkan oleh tata cara saat ini. Balok merupakan elemen struktur yang bekerja untuk menahan lentur dan deformasi. Pada saat beban ditingkatkan, balok tersebut menahan regangan dan defleksi tambahan yang menyebabkan retak-retak lentur sepanjang serat tarik dari balok tersebut. Penambahan secara terus menerus terhadap tingkat beban, mengakibatkan kegagalan atau kerusakan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut, agar supaya balok tersebut dapat berfungsi kembali untuk menahan beban maka balok tersebut harus diperbaiki dan diperkuat.

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah salah satu alternatif material yang dapat digunakan sebagai material perkuatan dan perbaikan struktur. Walaupun material ini cukup mahal namun banyak keuntungan yang dapat diberikan bila menggunakan *GFRP* yaitu mempunyai kuat tarik yang tinggi, daktilitas yang tinggi, beratnya ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk membawanya ke lokasi, selain itu dalam pelaksanaan tidak mengganggu aktifitas yang ada pada daerah perbaikan struktur tersebut. (Phalguni Mukhopadhyaya, dan Narayan Swamy, 2001).

Balok yang telah mengalami penurunan kekuatan untuk menahan beban dapat diperbaiki dan diperkuat dengan cara menempelkan *GFRP* pada daerah lentur, daerah geser dan atau pada daerah kombinasi lentur dan geser balok yang telah rusak. Dengan penambahan ini diharapkan *GFRP* dapat membantu

meningkatkan kembali kemampuan balok Jembatan untuk menahan beban. Karena hal ini lah membuat kami sangat tertarik untuk melihat pengaruh pemasangan *GFRP* pada balok jembatan yang telah mengalami penurunan kekuatan akibat umur/usia jembatan yang telah melebihi umur rencana atau akibat menerima beban yang melebihi beban yang direncanakan. Karena keadaan ini banyak kami jumpai pada pekerjaan/tugas yang kami lakukan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka permasalahan yang dapat dirumuskan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pemasangan *GFRP* terhadap kekuatan balok beton bertulang untuk masing – masing produk yang berbeda.
2. Berapa besar peningkatan kekuatan masing – masing balok beton bertulang yang di lapiasi dengan *GFRP* dari produk yang berbeda.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mempelajari perilaku lentur balok yang telah dilapis dengan *GFRP* dari masing – masing produk, yaitu produk A dan Produk B
2. Membandingkan masing – masing peningkatan kekuatan atau kesanggupan dalam memikul beban terhadap pemakaian *GFRP* dari dua produk yang berbeda.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan di atas, maka penelitian yang akan dilakukan adalah uji eksperimental balok beton bertulang untuk mengetahui efek pembebanan terhadap lendutan yang terjadi pada balok yang telah diperkuat dengan *GFRP* dari dua produk yang berbeda.

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Balok beton yang digunakan pada penelitian ini adalah balok beton bertulang di atas dua tumpuan sederhana dengan ukuran 15 cm x 30 cm x 250 cm sebanyak dua buah sampel untuk masing – masing produk.

2. Menggunakan tulangan utama diameter 10 mm sebanyak 4 buah dan tulangan bagi (*beugel*) diameter 8 mm dengan jarak 15 cm.
3. Tidak membahas pengaruh *GFRP* terhadap geser.
4. Pengujian dilakukan terhadap kuat tekan.

1.5. Mamfaat Penelitian

Adapun mamfaat yang diharapkan dari penelitain ini adalah :

1. Memberikan informasi perilaku lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan menggunakan *GFRP*.
2. Sebagai referensi untuk penelitian lanjutan mengenai perkuatan balok beton yang diperkuat dengan menggunakan *GFRP*.
3. Sebagai referensi untuk alternatif perbaikan dan perkuatan struktur pada Jembatan – Jembatan beton di daerah Riau yang telah melampaui umur rencana atau yang mendapat pembebanan yang melebihi dari kapasitasnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu Yang Pernah Dilakukan

Penelitian – penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan perbaikan struktur menggunakan *FRP* sudah banyak dilakukan diluar negeri. Alnadher Ali dkk (2014), dalam penelitiannya yang berjudul Perbandingan Balok Beton Bertulang tanpa *CFRP* dan dengan *CFRP* yang menggunakan metode eksperimental sebanyak 16 sampel beton bertulang yang dicor dengan desain beton *SCC (Self Consolidating Concrete)*. Dimensi beton yaitu 240mm x 120mm x 1840 mm. Kuat tekan yang dipakai adalah 44,6 Mpa dan kuat tariknya 4,27 Mpa. Prosedur pengerjaan dilakukan dengan pembebanan pada satu titik dengan menggunakan alat *INSTRON 8806 Universal Testing Machine (UTM)* dengan kapasitas 2500 kN. Hasil dari penelitian yaitu terjadi peningkatan kuat lentur pada balok beton bertulang sebesar 7,4 % dari kuat lentur beton bertulang tanpa *CFRP*.

Di Indonesia penelitian tentang perkuatan eksternal balok beton dalam upaya *retrofitting* sudah cukup banyak. Haloho dan Tarigan (2015), dalam penelitiannya yang berjudul Perkuatan Balok Beton Bertulang Menggunakan Pelat Baja Yang Diangkur. Balok yang digunakan berdimensi 15cm x 25 cm dengan panjang 320 cm. Berdasarkan hasil analitis terjadi peningkatan kekuatan balok yaitu 3,79 kali kekuatan awal sedangkan dari pengujian diperoleh peningkatan kekuatan balok sebesar 2,44 kali kekuatan awal. Berdasarkan hasil pengujian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan pelat baja pada daerah tarik dapat meningkatkan kekuatan dan memperkecil lendutan dan penggunaan angkur untuk merekatkan pelat baja dengan beton dapat mengatasi masalah lepasnya pelat dari balok beton.

Yoman dan Tarigan (2016) dalam penelitiannya yang berjudul Perbandingan Kekuatan dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Menggunakan Pelat Baja dan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. Balok yang digunakan berdimensi 15 cm x 25 cm dengan panjang 320 cm. Berdasarkan hasil analitis

terjadi peningkatan kekuatan balok dengan *FRP* yaitu 1,991 kali kekuatan awal, sedangkan dengan pelat baja yaitu 1,64 kali kekuatan awal. Dari pengujian diperoleh peningkatan kekuatan balok dengan *FRP* sebesar 1,44 kali kekuatan awal, sedangkan dengan pelat baja sebesar 1,056 kali kekuatan awal. Berdasarkan hasil pengujian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan *FRP* pada daerah tarik mampu menahan kekuatan lebih besar daripada pelat baja dan juga mampu

2.2. Keaslian Penelitian

Deskarta (2009) meneliti perkuatan GFRP dengan judul “Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang menggunakan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*” dengan tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan lapis GFRP dengan arah serat 0^0 , $+45^0$, $0^0/90^0$ pada balok beton bertulang dalam menahan gaya geser.

Metode yang digunakan Deskarta adalah melapisi pada arah sejajar balok dan tegak lurus balok, benda uji yang digunakan balok berukuran 10 cm x 15 cm x 95 cm sebanyak 8 buah benda uji. Kemudian data yang diambil adalah data kuat lentur balok beton bertulang dengan meletakkan benda uji pada alat uji lentur kemudian diberi dua buah beban terpusat.

Dari penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Kuat Tarik Ultimed lapis *GFRP* meningkat sebesar 22,14% dibandingkan dengan yang tidak diperkuat dengan *GFRP*.
2. Penambahan lapis *GFRP* pada balok dapat merubah model keruntuhan dari keruntuhan geser tekan menjadi keruntuhan lentur.
3. Peningkatan beban saat tulangan leleh pada balok dengan lapis *GFRP* masing – masing sebesar 13,744%, 11,374% dan 12,322%.

Sementara pada penelitian ini yang berjudul ANALISA PENGARUH PERKUATAN DENGAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)* PADA STRUKTUR BALOK BETON BERTULANG, penelitian ini menggunakan data sampel dari dua distributor berbeda belum pernah ada yang melaksanakannya dan data langsung diambil menggunakan sampel yang mewakili keadaan di lapangan. Penelitain sebelumnya pernah dilakukan hanya

menggunakan data dari satu sampel distributor dan hanya melihat keretakan yang terjadi.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Pada tahun sebelum Masehi, sudah banyak jenis material yang digunakan oleh bangsa primitif pada zaman itu. Material yang sering digunakan adalah polimer, keramik maupun komposit. Hal ini dapat dilihat barang – barang antik hasil penemuan sejarah. Berdasarkan hasil – hasil penemuan tersebut dapat dilihat bahwa material yang paling mutakhir saat ini yaitu komposit adalah batu bata yang terdiri dari tanah liat dan jerami yang berasal dari China dan Mesir Kuno.

Seiring dengan berkembangnya zaman. Perkembangan dan penggunaan material komposit pun terus meningkat. Material komposit adalah penggabungan dua jenis material atau lebih untuk memperoleh sifat optimum dari setiap material penyusunnya. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Material komposit tersusun dari dua jenis material, yaitu material dasar (*Matriks*) dan material pengisi (*Filler*). *Filler* pada material komposit berfungsi sebagai penguat, sedangkan *matriks* berfungsi sebagai perekat atau pengikat, pelindung filament, serta pelintas tegangan ke material pengisi (Feldman dan Hartomo, 1995). Penggunaan Komposit sering diaplikasikan untuk produk – produk sederhana (rumahan), alat olah raga, pesawat penumpang dan pesawat militer, jembatan hingga produk – produk untuk transportasi atau alat – alat militer yang membutuhkan ketangguhan dan kekuatan yang sangat baik.

Banyak jenis dari material komposit ini, yaitu *MMC (Metal Matrix Composite)* yaitu komposit dengan material dasar dan material penguatnya berbahan dasar logam, *CMC (Ceramic Matrix Composite)* yaitu *composite* dengan material dasar dan material penguatnya berbahan dasar keramik dan *PMC (Polymer Matrix Composite)* yaitu komposit dengan material dasar dan material penguatnya *polimer*.

PMC adalah salah satu jenis komposit yang paling populer saat ini. Penelitian dan penggunaan terhadap material *PMC* terus dikembangkan untuk menggantikan penggunaan logam seperti baja yang relative lebih berat. *Polimer* yang dapat digunakan dalam pembuatan komposit ini yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Secara garis besar jenis polimer *thermoset* adalah jenis *polimer* yang tidak dapat didaur ulang, sedangkan jenis *polimer thermoplastic* adalah jenis *polimer* yang dapat didaur ulang. (Sudarsono dan Widiarsa, 2008).

Jenis *PMC* yang saat ini sering digunakan dinamakan *FRP (Fibre Reinforced Polymer)* yaitu material polimer yang diperkuat dengan menggunakan serat. Penggunaan serat ini dimaksudkan agar berat material komposit menjadi lebih ringan dibandingkan dengan menggunakan logam yang relatif lebih berat. Sedangkan keuntungan menggunakan *polimer* dibandingkan logam adalah polimer tidak akan berkarat (korosi) dan dalam pembuatannya tidak membutuhkan suhu yang sangat tinggi. Bahan serat yang umum digunakan pada *FRP* ada tiga jenis serat (*fiber*) yaitu, carbon, aramid (*Kevlar*) dan *glass* yang masing – masing disebut dengan *CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*, *AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer)* dan *GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)* (Sudarsono dan Widiarsa, 2008).

Saat ini telah berkembang metode perkuatan struktur menggunakan material *FRP* ini. Sistem perkuatan diletakkan pada bagian luar permukaan struktur dengan menggunakan perekat epoksi. Material *FRP* yang menggunakan serat kaca (*GFRP*) adalah material yang banyak digunakan untuk system perkuatan ini karena memiliki kuat tarik yang tinggi hingga mencapai 4900 Mpa, ringan dan tidak mudah mengalami korosi sehingga memiliki durabilitas (keawetan) yang tinggi, mudah dalam pemasangannya sehingga menghemat waktu, serta bahannya fleksibel (mudah dibentuk). Struktur yang diperkuat biasanya berupa struktur beton yang mengalami retak lentur akibat pembebanan baik pada balok, kolom maupun slab beton. Perkuatan dengan material ini diyakini dapat menambah kapasitas kuat lentur maupun geser dari struktur.

Sebenarnya perkuatan struktur dapat dilakukan dengan menggunakan pelat baja yang dilekatkan pada bagian permukaan struktur yang hendak diperkuat, misalnya pada bagian tengah bentang maupun tumpuan. Beberapa penelitian pernah dilakukan terhadap penggunaan pelat baja ini dan menunjukkan hasil yang cukup memuaskan dimana terjadi peningkatan kapasitas kuat lentur dari struktur. Namun penggunaan pelat baja memiliki kelemahan karena baja memiliki masa yang relative berat dan sulit diaplikasikan untuk daerah tumpuan, karena kelemahan ini banyak penelitian digunakan untuk penggunaan *GFRP* dimana diharapkan *GFRP* dapat menggantikan perkuatan dengan menggunakan pelat baja sehingga didapat material perkuatan yang ringan namun memiliki kekuatan yang tinggi. Penelitian – penelitian yang dilakukan difokuskan untuk melihat pengaruh perkuatan *GFRP* yang direkatkan pada balok beton bertulang dalam meningkatkan kapasitas lentur maupun geser dari struktur. Berdasarkan penelitan – penelitain yang dilakukan didapatkan hasil yang cukup memuaskan dimana struktur balok beton yang diperkuat dengan *GFRP* mengalami peningkatan kapasitas lentur. (Lindsay, 1995).

Karena perkuatan *GFRP* ini dilakuakan dengan melekatkan material menggunakan perekat dengan struktur yang akan diperkuat, maka jenis perekat yang digunakan harus diperhatikan untuk mencegah kegagalan struktur akibat lepasnya ikatan antara material *GFRP* dengan beton sehingga perkuatan yang dilakukan menjadi efektif. Perekat yang biasa digunakan untuk melekatkan material *GFRP* dengan struktur beton adalah zat epoksi dan bentuk *GFRP* yang digunakan adalah bentuk pelat (*plate*) dan lembaran (*wrap*).

3.2. Sejarah *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* Komposit

Konsep material yang diperkuat dengan serat sebenarnya telah ditemukan pada penggunaan jerami sebagai penguat dalam batu bata yang diproduksi tahun 800 SM di Israel. Sedangkan di Amerika Serikat, penggunaan penguat serat gelas pendek untuk campuran semen telah dilakukan sejak tahun 1930-an dan material dengan matriks resin yang diperkuat serat (komposit yang kita kenal hari ini) sudah mulai dikembangkan sejak tahun 1940-an. Dalam Tesis ini, istilah komposit

yang digunakan nanti akan merujuk kepada polimer yang diperkuat dengan serat atau biasa disebut dengan *FRP (Fiber Reinforced Polymer)*.

Setelah Perang Dunia II, para produsen di AS mulai memproduksi komposit dengan resin poliester sebagai matriksnya dan *glass fiber* sebagai penguatnya untuk aplikasi lambung perahu dan *radome* (kubah radar). Pada industri otomotif, komposit pertama kali dipergunakan sebagai badan kendaraan di awal tahun 1950-an. Karena sifat-sifat komposit sangat diinginkan, pada perkembangan selanjutnya penelitian banyak ditekankan pada ilmu material komposit dan proses manufakturnya. Adapun sifat-sifat komposit tersebut antara lain:

1. bobotnya ringan,
2. tahan korosi, dan
3. kekuatannya tinggi.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan kemudian menghasilkan perkembangan dua teknik manufaktur baru yang membantu memajukan teknologi komposit ke pasar baru, yaitu dikenal sebagai *filament winding* dan *pultrusion*. Mulai saat itu permintaan yang besar berdatangan dari industri rekreasi dan olahraga seperti alat pancing, raket tenis, peralatan ski dan stik golf. Industri *aerospace* juga mulai menggunakan komposit pada bejana bertekanan, *container* dan komponen-komponen pesawat terbang non-struktural. Pada Angkatan Laut Amerika Serikat, komposit banyak diterapkan pada *mine sweeping vessels*, kapal kru dan suku cadang kapal selam. Selain itu, konsumen rumah tangga juga mulai memasang bak mandi, pagar, tangga dan peralatan listrik dari komposit. Aplikasinya untuk fasilitas umum yang pertama kali dengan komposit adalah struktur kubah yang dibangun di Benghazi pada tahun 1968 dan kemudian struktur lainnya mengikuti secara perlahan.

Dengan meningkatnya permintaan material komposit, proses manufaktur seperti *pultrusion*, *resin transfer molding* dan *filament winding* terus dikembangkan dan diimplementasikan sejak tahun 1990-an. Pada kebanyakan negara maju yang menjadi fokus saat ini adalah membangun kembali infrastruktur

transportasi dengan menggunakan komposit FRP untuk pemeliharaan dan rehabilitasi jembatan yang ada maupun untuk konstruksi baru.

3.3. Aplikasi Struktural Sipil Menggunakan Komposit

Banyak proyek jembatan bagi pejalan kaki telah dibangun di seluruh Amerika Serikat menggunakan *pultruded composite structural shapes*. Di negara-negara yang rentan terhadap aktivitas gempa bumi, jembatan beton dipasang dengan penggabungan *composite filament winding* untuk meningkatkan ketangguhannya. Ikatan antar lempeng menggunakan komposit laminat tipis untuk memperkuat beton dan baja jembatan. *Composite prestressed piles* diterapkan untuk struktur sipil dan kelautan di beberapa negara bagian di pesisir.

3.4. Proses manufaktur

Ada tiga teknik manufaktur dasar yang telah dipatenkan dalam memproduksi produk struktural komposit (DNV *Design Guideline for Design with Composites*,2000), yaitu:

1. *Pultrusion process* yang melibatkan penarikan terus menerus *roving fiber* melalui resin dan masuk ke cetakan yang kemudian dipanaskan. Suhu tinggi dalam cetakan menyebabkan matriks komposit mengeras (*curing*) menjadi bentuk penampang struktural.
2. *Filament winding process* dapat diotomatisasi untuk membungkus serat dengan resin di sekitar *mandrel* untuk menghasilkan bentuk melingkar atau poligonal.
3. *Lay up* dapat dilakukan secara manual dengan tangan atau *machine buildup of mats fiber* yang dihubungkan secara permanen dengan sistem resin. Metode ini memungkinkan beberapa lapisan dengan orientasi serat yang berbeda yang akan dibentuk hingga ketebalan lembaran dan bentuk produk sesuai dengan yang diinginkan.

3.5. Karakteristik Komposit

Sifat mekanik komposit tergantung pada beberapa variabel seperti jenis serat, orientasi, dan desainnya. Desain serat mengacu pada konfigurasi bentuk serat yang diperoleh dengan mengempang, merajut atau menenun. Komposit adalah bahan anisotropik dengan kekuatan yang berbeda untuk suatu arah tertentu. Kurva tegangan-regangan komposit adalah kurva linear elastis menuju titik kegagalan fraktur. Resin polimer dalam material komposit, yang merupakan padatan elastis, dapat merespon secara *viskoelastis* untuk beban yang diberikan. Meskipun demikian, material tersebut dapat mengalami *creep* dan terdeformasi pada pembebanan yang berkelanjutan. Komposit memiliki banyak kualitas struktural yang sangat baik, beberapa contohnya adalah kekuatan tinggi, ketangguhan material, ketahanan fatik dan ringan. Karakteristik lainnya yang sangat diinginkan adalah ketahanan terhadap suhu tinggi, abrasi, korosi dan serangan kimia.

Beberapa keuntungan komposit dalam penggunaan sebagai komponen struktur adalah kemudahan manufaktur, penanganan, dan pemasangannya. Waktu penyelesaian proyek dapat lebih singkat. Komposit dapat dirancang untuk kemampuan tinggi, daya tahan dan memperpanjang umur perawatan. Komposit memiliki ratio kekuatan-berat (*strength-to-weight ratio*) yang sangat baik.

Beberapa kelemahan dalam penggunaan komposit di jembatan adalah biaya investasi tinggi, *creep* dan penyusutan. Desain dan konstruksinya memerlukan spesialis yang sangat mengetahui mengenai desain rekayasa dan disiplin ilmu material. Komposit memiliki potensi untuk terdegradasi oleh lingkungan, sebagai contoh yaitu serangan alkali dan paparan radiasi *ultraviolet*. Terdapat kekurangan pada bagian sambungan dan/atau teknologi pengikatannya. Ada kekhawatiran terjadi global dan lokal *buckling*. Meskipun sifat ringan mungkin menjadi keuntungan dalam penanggulangan pada beban gempa, namun hal tersebut juga dapat membuat aerodinamis struktur yang tidak stabil. Dalam manufaktur dengan proses *hand layup*, ada kekhawatiran tentang konsistensi dari sifat material.

3.6. Material Pembentuk Komposit

Sesuai dengan namanya, *advance fiber reinforced polymer composites* terbuat dari serat sebagai penguat, resin, *filler* dan aditif. Serat meningkatkan kekakuan dan kekuatan tarik. Resin sebagai matriks memberikan kekuatan tekan yang tinggi dan mengikat serat di dalamnya. *Filler* berfungsi untuk mengurangi biaya bahan baku dan penyusutan. Aditif membantu tidak hanya meningkatkan sifat mekanik dan fisik dari komposit saja, tetapi juga *workability*-nya. Diskusi selanjutnya akan menjelaskan mengenai fungsi dasar dan perilaku unsur-unsur pembentuk *FRP* seperti serat dan resin sebagai material dasar pembentuk komposit. (DNV *Design Guideline for Design with Composites*,2000).

3.7. Fiber Reinforced

Serat adalah unsur penting dalam komposit. Banyak penelitian dan pengembangan telah dilakukan mengenai efek-efek serat dalam jenis, fraksi volume, desain dan orientasi. Serat umumnya menempati 30% – 70% dari volume matriks dalam komposit. Serat dapat dicincang, ditenun, dijahit dan/atau dikepang. Jenis serat yang paling umum digunakan dalam *advance fiber reinforced polymer composites* untuk aplikasi struktural adalah *Glass fiber*, aramid, dan karbon. *Glass fiber* adalah serat yang paling murah, sedangkan karbon adalah yang paling mahal. Harga serat aramid hampir sama dengan harga serat karbon kualitas rendah. Kemudian pada tesis ini yang akan dibahas adalah *glass fiber*.

Glass fiber dibagi menjadi tiga kelas, yaitu *E-glass*, *S-glass* dan *C-glass*. *C-glass* ditujukan untuk penggunaan pada aplikasi kelistrikan, *S-glass* digunakan untuk kekuatan tinggi dan *E-glass* digunakan untuk ketahanan korosi yang tinggi. Dari ketiga serat tersebut, *E-glass* adalah material penguat yang paling umum digunakan dalam struktur sipil. *E-glass* terbuat dari *lime-alumina-borosilicate* yang dapat dengan mudah diperoleh dari kelimpahan bahan baku seperti pasir. Kekuatan dan modulus *glass fiber* dapat menurun dengan meningkatnya suhu. Oleh karena itu, material *glass* dapat mengalami *creep* pada beban berkelanjutan.

Glass fiber sendiri dianggap sebagai material *isotropik* dan memiliki koefisien ekspansi termal yang lebih rendah dibandingkan dengan baja.

3.8. Sistem Resin

Resin merupakan komponen penting dalam komposit. Dua jenis dari resin adalah termoplastik dan termoset. Sebuah resin termoplastik berbentuk padat pada suhu kamar. Meleleh ketika dipanaskan dan mengeras bila didinginkan. Rantai polimer pada termoplastik secara kimia tidak mengalami *cross link*. Karena termoplastik tidak mengalami *curing* secara permanen, maka ia tidak digunakan untuk aplikasi struktural. Sebaliknya, resin termoset dapat mengalami *curing* secara permanen dengan membentuk *cross link* pada temperatur tinggi. Karakteristik ini membuat komposit resin termoset sangat diinginkan untuk aplikasi struktural. Resin yang paling umum digunakan dalam komposit adalah poliester tak jenuh, epoksi dan vinil ester.

– Poliester tak jenuh

Poliester tak jenuh dihasilkan oleh polimerisasi kondensasi dari asam dikarboksilat dan *dihydric alkohol*. Formulasi mengandung bahan tak jenuh seperti *maleic anhidrida* atau asam fumarat yang merupakan bagian dari komponen asam dikarboksilat. Formulasi mempengaruhi viskositas, reaktivitas, ketahanan dan *heat deflection temperature* (HDT). Viskositas mengontrol kecepatan dan derajat pembasahan (saturasi) dari serat. Reaktivitas ini mempengaruhi waktu *curing* dan puncak temperatur eksoterm. Puncak eksoterm yang tinggi diperlukan untuk melakukan *curing* pada temperatur ruang dan eksoterm rendah untuk bagian tebal. Kekakuan atau fleksibilitas komposit memiliki elongasi yang lebih tinggi, modulus rendah, dan HDT. HDT adalah properti termal jangka pendek yang mengukur sensitivitas termal dan stabilitas dari resin.

Keuntungan dari poliester tak jenuh adalah stabilitas dimensi dan biaya yang terjangkau. Keuntungan lainnya yaitu kemudahan dalam penanganan,

pengolahan dan fabrikasi. Resin ini memiliki nilai terbaik untuk keseimbangan antara kinerja dan kemampuan struktural.

– Epoksi

Epoksi digunakan dalam komposit terutama *glisidil eter* dan amina. Sifat material dan tingkat *curing* dapat direkayasa untuk memenuhi sifat yang diperlukan. Penggunaan epoksi umumnya ditemukan di kapal laut, otomotif dan alat-alat listrik. Viskositas tinggi pada resin epoksi digunakan untuk proses seperti *molding*, *filament winding* dan *hand layup*. *Curing agent* dipilih dengan cermat karena akan mempengaruhi jenis reaksi kimia, *pot life* dan sifat material akhir. Meskipun epoksi mahal, tetapi sepadan dengan sifat yang diperlukan.

– Vinil Ester

Resin vinil ester dikembangkan untuk mengambil keuntungan dari kedua gabungan sifat *workability* yang berasal dari resin epoksi dan *curing* yang cepat dari poliester. Vinil ester memiliki sifat fisik lebih tinggi dari poliester, tetapi biaya yang lebih murah dari epoksi. Akrilik ester dilarutkan dalam suatu monomer stirena untuk memproduksi resin vinil ester yang di-*curing* dengan peroksida organik. Sebuah produk komposit dengan vinil ester dapat memenuhi permintaan ketangguhan tinggi dan juga ketahanan korosi yang sangat baik.

3.9. *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) dan Aplikasinya*

Konsep material yang diperkuat dengan serat sebenarnya telah ditemukan pada penggunaan jerami sebagai penguat dalam batu bata yang diproduksi tahun 800 SM di Israel. Sedangkan di Amerika Serikat, penggunaan penguat serat gelas pendek untuk campuran semen telah dilakukan sejak tahun 1930-an dan material dengan matriks resin yang diperkuat serat (komposit yang kita kenal hari ini) sudah mulai dikembangkan sejak tahun 1940-an. Dalam paper ini, istilah komposit yang digunakan nanti akan merujuk kepada polimer yang diperkuat dengan serat atau biasa disebut dengan *FRP (Fiber Reinforced Polymer)*.

Setelah Perang Dunia II, para produsen di AS mulai memproduksi komposit dengan resin poliester sebagai matriksnya dan *glass fiber* sebagai penguatnya untuk aplikasi lambung perahu dan *radome* (kubah radar). Pada industri otomotif, komposit pertama kali dipergunakan sebagai badan kendaraan di awal tahun 1950-an. Karena sifat-sifat komposit sangat diinginkan, pada perkembangan selanjutnya penelitian banyak ditekankan pada ilmu material komposit dan proses manufakturnya. Adapun sifat-sifat komposit tersebut antara lain; bobotnya ringan, tahan korosi dan kekuatannya tinggi.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan kemudian menghasilkan perkembangan dua teknik manufaktur baru yang membantu memajukan teknologi komposit ke pasar baru, yaitu dikenal sebagai *filament winding* dan *pultrusion*. Mulai saat itu permintaan yang besar berdatangan dari industri rekreasi dan olahraga seperti alat pancing, raket tenis, peralatan ski dan stik golf. Industri *aerospace* juga mulai menggunakan komposit pada bejana bertekanan, *container* dan komponen-komponen pesawat terbang non-struktural. Pada Angkatan Laut Amerika Serikat, komposit banyak diterapkan pada *mine sweeping vessels*, kapal kru dan suku cadang kapal selam. Selain itu, konsumen rumah tangga juga mulai memasang bak mandi, pagar, tangga dan peralatan listrik dari komposit. Aplikasinya untuk fasilitas umum yang pertama kali dengan komposit adalah struktur kubah yang dibangun di Benghazi pada tahun 1968 dan kemudian struktur lainnya mengikuti secara perlahan.

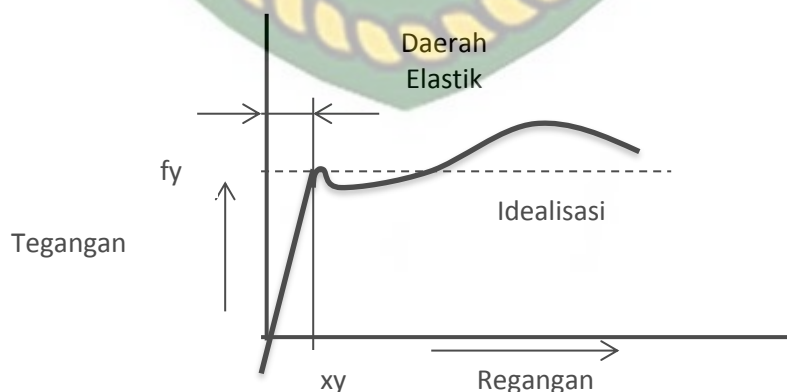
Dengan meningkatnya permintaan material komposit, proses manufaktur seperti *pultrusion*, *resin transfer molding* dan *filament winding* terus dikembangkan dan diimplementasikan sejak tahun 1990-an. Pada kebanyakan negara maju yang menjadi fokus saat ini adalah membangun kembali infrastruktur transportasi dengan menggunakan komposit *FRP* untuk pemeliharaan dan rehabilitasi jembatan yang ada maupun untuk konstruksi baru.

3.10. Tulangan Baja

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk beton agar dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberikan perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul di dalam sistem.

Agar dapat berlangsung lekatan erat antara baja tulangan dengan beton, selain batang polos berpenampang bulat (BJPT) juga ada digunakan batang deformasi (BJTD), yaitu batang tulangan baja bersirip atau polos dan umumnya diberi kait pada ujungnya.

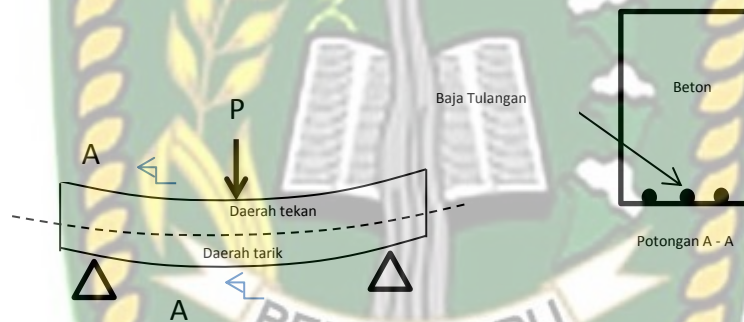
Sifat fisik batang tulangan baja yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Suatu diagram hubungan tegangan regangan – regangan tipikal untuk baja tulangan dapat dilihat pada gambar 3.1. Gambar Diagram Tegangan Regangan Batang Tulangan Baja (Dipohusodo,1994). Tegangan leleh (titik leleh) baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar SII 0136-84 dengan ketentuan bahwa tegangan leleh adalah tegangan baja pada saat dimana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan leleh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.



Gambar 3.1 Diagram Tegangan Regangan Batang Tulangan Baja (Dipohusodo, 1994)

Pada Gambar 3.1 ini dapat dilihat modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan – regangan di daerah elastis dimana antara mutu baja satu dengan yang lainnya tidak banyak bervariasi. Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 10.5.2, modulus elastisitas baja tulangan non-prategang (E_s) diambil sebesar 200.000 MPa, sedangkan modulus elastisitas tendon prategang E_s ditentukan melalui pengujian atau data pabrik.

Retak-retak melintang yang halus boleh timbul di dekat baja tulangan yang ditempatkan di daerah tarik dari beton biasa (kecuali jika diberi prategang), retak – retak demikian diharapkan akan terjadi namun tidak mempengaruhi penampilan dari unsur struktur. Untuk posisi kedudukan baja tulangan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Kedudukan Baja Tulangan dalam balok beton (Mc Cormac, 2004)

Pada Gambar 3.2 menunjukkan kedudukan baja tulangan terletak pada daerah yang mengalami gaya tekan.

3.11. Balok Beton

Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser. Balok juga merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Fungsinya adalah sebagai rangka penguat horizontal bangunan akan beban – beban.

3.12. Balok Beton Tanpa Tulangan

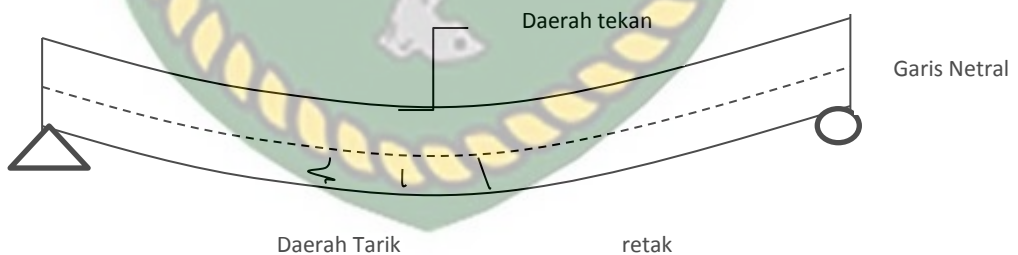
Sifat dari bahan beton yaitu sangat kuat untuk menahan tekanan, tetapi tidak kuat untuk menahan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tariknya.

Jika sebuah balok beton (tanpa tulangan) ditumpu oleh tumpuan sederhana (sendi-rol), dan di atas balok tersebut bekerja beban terpusat P serta beban merata q , maka akan timbul momen luar, sehingga balok akan melengkung kebawah seperti tampak pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4



Gambar 3.3 Balok dengan Beban P dan q (Nawy, 2008)

Pada Gambar 3.3. ini beban yang terjadi pada balok adalah beban terpusat (P) dan beban merata (q).



Gambar 3.4 Balok Melengkung (Nawy, 2008)

Pada Gambar 3.4 ini bahagian atas balok akan tertekan dan bahagian bawah balok akan tertarik pada saat balok diberi beban.

3.13. Balok Beton Bertulang

Untuk menahan gaya tarik yang cukup besar pada serat – serat balok bagian tepi bawah, maka perlu diberi baja tulangan sehingga disebut dengan istilah beton bertulang. Pada bagian balok bertulang ini tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa, sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat ditahan oleh baja tulangan seperti tampak pada gambar elemen balok pada Gambar 3.5.

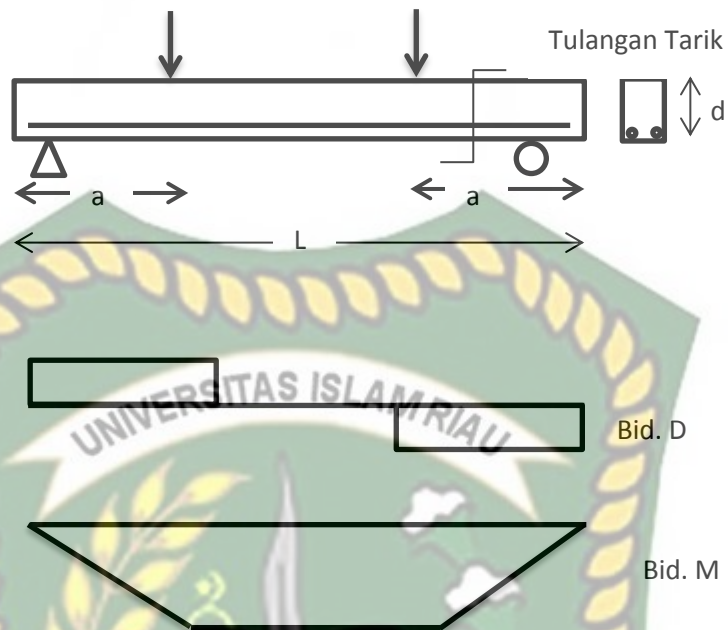


Gambar 3.5 Elemen Balok Beton Bertulang (Nawy, 2008)

Pada Gambar 3.5 ini dapat dilihat tulangan di tempatkan pada bahagian yang mengalami Tegangan Tarik. Karena sifat beton yang tidak kuat terhadap tarik, maka pada bagian balok yang menahan tarik (di bawah garis netral) akan ditahan oleh tulangan, sedangkan pada bagian yang menaha tekan (di atas garis netral) tetap ditahan oleh beton.

3.14. Lentur Pada Balok

Struktur balok beton bertulang dengan tumpuan sederhana (simple beam) yang dibebani secara simetris dengan dua buah gaya P sejauh a dari tumpuan, maka akan terjadi keadaan lentur murni, yaitu dimana momen konstan sebesar $P.a$ di daerah antar kedua beban P (Gambar 3.6). Untuk mendapatkan uji lentur struktur balok dapat dilakukan dengan membuat perbandingan antara bentang geser dan tinggi efektif balok ($a/d \geq 3$), serta mendasian agar keruntuhan yang akan terjadi adalah keruntuhan tarik (Tension Failure).



Gambar 3.6 Balok dibebani lentur murni (Endah Pengustuti, 2009)

Pada Gambar 3.6 ini dapat dilihat bidang geser dan bidang moment yang terjadi balok beton bertulang yang diberi gaya tekan.

3.15. Jenis Keruntuhan Pada Balok

Jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok lentur tergantung pada sifat – sifat penampang balok, dan dibedakan menjadi 3 jenis berikut (Alami, Fikri dan Widyawati, 2010):

1. Keruntuhan Tekan (*brittle failure*), keadaan dimana beton hancur sebelum baja tulangan leleh. hal ini berarti regangan tekan beton sudah melampaui regangan batas 0.003, tetapi regangan tarik baja tulangan belum mencapai leleh ($\epsilon_s < \epsilon_y$). Penampang seperti keruntuhan tersebut disebut penampang over – reinforced. Pada balok yang mengalami keruntuhan tekan atau keruntuhan getas, pada saat beton mulai hancur, baja tulangnya masih kuat (belum leleh), sehingga lendutan pada balok relatif tetap (tidak bertambah). Tetapi, jika di atas balok ditambah beban yang besar, maka baja tulangan akan meleleh dan dapat terjadi keruntuhan secara mendadak tanpa ada peringatan lendutan membesar pada balok. Keadaan ini sangat berbahaya sehingga

sistem perencanaan beton bertulang yang dapat mengakibatkan over-reinforced tidak diperbolehkan.

2. Keruntuhan seimbang (*balance*), keadaan dimana beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton mencapai regangan batas 0,003 dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh pada saat yang sama ($\epsilon_s = \epsilon_y$). Pada keadaan ini, kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan baja tersebut hemat. Sistem perencanaan beton bertulang yang demikian ini merupakan system perencanaan yang ideal, tetapi sulit dicapai karena dipengaruhi oleh beberapa factor, misalnya ketidaktepatan mutu baja dengan mutu baja rencana, ketidaktepatan mutu beton dalam pelaksanaan pembuatan adukan dengan mutu beton rencana, maupun kurang teliti pada perencanaan hitungan akibat adanya pembulatan.
3. Keruntuhan Tarik (*ductile failure*), keadaan dimana baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Hal ini berarti tegangan tarik baja tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan beton belum mencapai batas 0,003 ($\epsilon_s > \epsilon_y$). Penampang seperti keruntuhan tersebut disebut penampang under-reinforced. Pada balok yang mengalami keruntuhan tarik atau keruntuhan daktail. Pada saat baja tulangan mulai leleh betonnya masih kuat (belum hancur), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika di atas balok ditambah beban yang besar, maka lendutan balok semakin besar dan akhirnya dapat terjadi keruntuhan. Keadaan demikian dapat memberikan peringatan tentang lendutan membesar sebelum runtuh sehingga system perencanaan beton bertulang yang under-reinforced lebih aman dan diperbolehkan.

3.16. Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan FRP

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan sejenis pelat/lembaran tipis yang di dalamnya terdapat serat – serat carbon, kaca, aramid dan fiber. Tiga prinsip penggunaan *FRP* dalam perkuatan struktur adalah :

1. Meningkatkan kapasitas momen lentur pada balok atau plat dengan menggunakan *FRP* pada bagian tarik.
2. Meningkatkan kapasitas geser pada balok dengan menambahkan *FRP* di bagian sisi pada daerah geser.
3. Meningkatkan kapasitas beban aksial dan geser pada kolom dengan menambahkan *FRP* di sekeliling kolom.

Ada beberapa keuntungan dan kerugian dalam menggunakan *FRP* sebagai perkuatan struktur antara lain (Pratama, I Made Yana, 2014):

Keuntungan Penggunaan *FRP* :

1. Kuat tarik sangat tinggi.
2. Material *FRP* lebih tipis dan lebih ringan dari pada perkuatan baja.
3. Perkuatan dengan *FRP* dapat menambah kekuatan lentur dan geser tanpa mempengaruhi berat sendiri struktur.
4. Tidak mengalami karat.

Kerugian Penggunaan *FRP* :

1. Material *FRP* tidak tahan api sehingga harus dilapisi lapisan tahan kebakaran.
2. Pemasangan *FRP* memerlukan biaya yang relative mahal.
3. Material *FRP* tidak tahan terhadap sinar ultraviolet sehingga diperlukan pelapisan atau penutupan dengan mortal pada bagian yang langsung terkena sinar ultraviolet.

Pengembangan material komposit *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* telah membuka peluang baru untuk keperluan perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang. ada 3 Jenis *FRP* yang dibedakan berdasarkan serat penyusunnya, yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (serat karbon), *Glass Fiber Reinforced Polymer* (serat gelas) dan *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (serat aramid). Dalam penelitian ini digunakan *FRP* dari serat gelas (*GFRP tipe E-Glass*) yang dipakai sebagai perkuatan pengujian.

3.17. *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) merupakan jenis *FRP* yang menggunakan bahan dari serat kaca. *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* terbuat dari kaca cair yang dipanaskan pada suhu sekitar 2300° F dan dipintal dengan bantuan Bushing Platinumrhodium pada kecepatan 200 mph.

Bentuk dan contoh *Glass Fiber Reinforced polymer (GFRP)* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.8. di bawah.



Gambar 3.8. Glass Fiber Reinforced Polymer

Pada Gambar 3.8 dapat dilihat contoh material *GFRP*, material ini memiliki cukup banyak keuntungan yang dapat diberikan, antara lain merupakan material yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik tinggi, superior dalam daktilitas, lebih ringan sehingga tidak memerlukan alat berat untuk dibawa ke lokasi dan lebih murah disbanding *FRP* bahan yang lain.

Beberapa jenis serat kaca yang tersedia di pasaran, antara lain:

1. *E-Glass*, yang memiliki kandungan alkali yang lebih rendah dan merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Keuntungan yaitu memiliki sifat mekanis yang tinggi.
2. *Z-Glass*, digunakan untuk mortar semen dan beton karena memiliki resistensi yang tinggi terhadap alkali.
3. *A-Glass*, yang memiliki kandungan alkali tinggi.
4. *C-Glass*, yang digunakan untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan korosi yang besar untuk asam.
5. *S-Glass* atau *R-Glass*, yang diproduksi untuk ekstra kekuatan dan modulus yang tinggi.

Sebagai material untuk perkuatan eksternal, *GFRP* bentuk lembaran dapat digunakan untuk :

1. Perbaikan balok dan slab beton yang rusak, dengan asumsi bahwa debonding antara FRP dan beton tidak menyebabkan kegagalan elemen struktur.
2. Mengatasi penambahan lebar retakan akibat bertambahnya beban layan.
3. Melindungi tulangan dari korosi karena adanya retakan.
4. Meningkatkan kekuatan lentur akibat peningkatan beban.
5. Merencanakan beton baru yang memiliki daktilitas tinggi
6. Perbaikan struktur akibat kesalahan desain atau konstruksi.
7. Meningkatkan kemampuan geser beton.
8. Meningkatkan kekuatan pengeangan kolom beton.
9. Perbaikan struktur lama.

Berikut Karakteristik *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* dari produk A yang digunakan dalam penelitian ini

Tabel 3. 1. Karakteristik *GFRP* yang digunakan

Tensile Strength	470,000 psi (3.24 GPa)
Tensile Modulus	10.5 x 10 ⁴ psi (72.4 GPa)
Ultimate Elongation	4.5 %
Density	0.092 lbs/in ³ (2.55 g/cm ³)
Minimum weight per sq.yd	27 oz (915 g/m ²)

Sumber : (Tyfo SEH-51 A Composite)

Pada Tabel 3.1 dapat dilihat Kuat Tekan Bahan *GFRP* dari Produk A adalah 470.000 psi (3.24 GPa), Ultimate Elongationnya 4,5%, dan beratnya hanya 915 g/cm²). jadi sangat ringan.

3.18. Perhitungan Beban Maksimum Yang Dapat Di pikul Balok

Pada perhitungan ini kita akan menghitung perkutan balok yang tanpa parkuatan dan yang diberi perkuatan *FRP* dalam hal ini yang digunakan adalah *GFRP* untuk masing – masing produk yang akan digunakan.

3.18.1 Balok Tanpa Perkuatan

Tata cara perhitungan beban maksimum yang dapat dipikul balok tanpa perkuatan telah diatur dalam ACI Committee 440 yaitu sebagai berikut :

Beban yang dapat dipikul balok

$$\frac{1}{3} pb + \frac{1}{8} q (b^2 - 4a^2) = Mn \quad (3.1)$$

3.18.2. Balok Dengan *FRP*

Tata cara perhitungan beban maksimum yang dapat dipikul balok dengan *FRP* telah diatur dalam ACI Committee 440 yaitu sebagai berikut :

Kapasitas momen nominal perkuatan lentur dengan menggunakan *FRP* dapat dihitung dengan,

$$Mn = [A_s f_s (d - a/2) + A_s' f_s' (d-d') + \Psi_f A_s f_{fe} (h-a/2)] \quad (3.2)$$

dimana :

b = lebar balok

y = letak titik penampang

n = nilai perbandingan E_s/E_c

A_s = luas tulangan tarik

A_s' = luas tulangan tekan

d = Jarak serat tarik terluar terhadap tulangan

d' = jarak serat tekan terluar terhadap tulangan



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA) di Lampung dan Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung (ITB) di Bandung. Lama penelitian selama 3 bulan yaitu dari bulan November 2017 s/d bulan Januari 2018.

4.2. Peralatan dan Bahan

Adapun Peralatan dan bahan yang akan digunakan adalah sebagai berikut ;

4.2.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. *Universal testing Machine* kapasitas 100 ton untuk uji tekan, tarik, modulus elastisitas dan uji lentur.



Gambar 4. 1 Universal testing Machine

Mesin ini digunakan untuk perletakan benda uji berupa balok beton ukuran 15cm x 30cm x 250 cm yang di atasnya telah ditempatkan beban yang akan ditekan dengan *Jack hidrolik*.

2. *Jack hidrolik* kapasitas 20 ton untuk uji lentur balok beton bertulang.



Gambar 4.2 Jack hidrolik kapasitas 20 ton

Alat ini digunakan untuk menekan balok beton/benda uji sampai mengalami retak, dengan cara memberikan tekan secara bertahap.

3. Mesin Pencampur bahan beton kapasitas 0.2 m³ (*Mixer*)



Gambar 4.3 Mesin Pencampur bahan beton kapasitas 0.2 m³ (*Mixer/Molen*)

Merupakan Alat yang digunakan untuk mencampur material beton dari kedua produk yang akan digunakan sebagai benda uji. Alat ini dijalankan dengan mesin yang disambungkan kepada badan mixer.

4. Cetakan silinder ukuran 15 cm x 30 cm



Gambar 4.4 Cetakan silinder ukuran 15 cm x 30 cm

Alat ini digunakan untuk mencetak benda uji berupa selinder yang akan diukur kuat tekan beton yang akan dijadikan benda uji. Alat ini terbuat dari besi baja.

5. Cetakan balok ukuran 15 cm x 30 cm x 250 cm



Gambar 4.5 Cetakan balok ukuran 15 cm x 30 cm x 250 cm

Merupakan cetakan untuk membuat benda uji (mal) yang akan digunakan untuk penelitian, cetakan ini terbuat dari balok kayu dan papan triplek yang diberi pengaku agar kuat.

6. *Dial gauge* dengan ketelitian 0.01 mm



Gambar 4.6 *Dial gauge* dengan ketelitian 0.01 mm

Alat ini digunakan untuk melihat lendutan yang akan terjadi dan dipasang pada posisi bawah balok uji sebanyak tiga buah, yang mana posisinya satu ditengah benda uji dan satu masing – masing di kedua ujung balok benda uji.

Dan alat bantu lainnya yang akan digunakan untuk membantu kelancaran percobaan ini, seperti ; alat pendeteksi lebar retak (jangka sorong), *Concrete Compression Testing*, Neraca, Gerjagi, Palu, meteran dan ban perendam.

4.2.2. Bahan

Sedangkan pemakaian bahan pada penelitian ini meliputi :

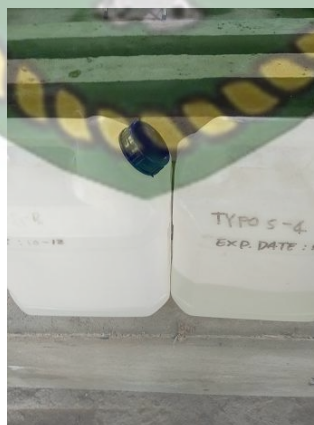
1. *Glass Fiber Reinforced Polimer (GFRP)*



Gambar 4.7 *Glass Fiber Reinforced Polimer (GFRP)*

Bahan perkuatan yang akan digunakan dalam percobaan ini yaitu material *GFRP*, material ini merupakan material lembaran serat kaca yang tipis dan nanti akan dipasangkan pada beton dengan menggunakan *Epoxy*. Untuk produk A menggunakan *GFRP* dari FYFE yaitu Typo SHE-51A Composite dan untuk produk B dari ESTOP yaitu EstoGlass.

2. Epoxy



Gambar 4.8 Epoxy

Merupakan bahan perekat *GFRP* ke balok beton yang berupa cairan kimia yang mempunyai daya lekat yang tinggi dari masing – masing produk yang digunakan.

3. Ultrachem Crete RM



Gambar 4.9 Ultrachem Crete RM

Merupakan bahan utama pembuat beton dari Produk A berupa bubuk seperti semen.

4. EstogROUT MP70 Premix



Gambar 4.10 EstogROUT MP70 Premix

Merupakan bahan utama pembuat beton dari Produk B berupa bubuk seperti semen.

4.3. Cara Penelitian

Penelitian yang dilaksanakan adalah pengujian eksperimen tentang perilaku lentur balok beton bertulang normal dengan beton bertulang yang diperkuat dengan menggunakan GFRP dari dua produk yang berbeda. Tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut;

4.3.1. Uji Fisik Material Beton Normal

Pertama dilakukan pembuatan rancangan campuran beton normal dengan $f_c' = 20$ MPa (Beton K-250), sebelum dilakukan pengecoran balok tersebut bahan – bahan pembentuk benda uji yakni dengan menggunakan bahan *Ultrachem Create RM* untuk benda uji dari produk A yang nantinya akan dilapisi dengan *GFRP Typo SHE- 51A Composite* dan diuji di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA). Dan *Estrogrout MP 70 Premix* untuk benda uji dari produk B yang nantinya akan dilapisi dengan *GFRP EstoGlass* dan diuji di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung (ITB).

Uji fisik beton terdiri dari pengujian kuat tekan, uji lentur, serta modulus elastisitas, untuk pengujian ini digunakan *Concrate Compression Testing*.

4.3.2. Material Baja Tulangan

Sertifikat kuat tarik baja tulangan $\varnothing 10$ mm yang akan digunakan sebagai tulangan memanjang pada serat tekan dan $\varnothing 8$ mm untuk serat tarik, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan leleh dan modulus elastisitas baja yang ditunjukkan dengan sertifikatnya.

4.3.3. Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

Pengujian dilakukan untuk masing – masing produk yang berbeda dengan perlakuan sama untuk produk A di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA) di Lampung dan untuk Produk B di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung (ITB) di Bandung, yaitu :

- a. Pengujian dilakukan di atas frame terbuat dari profil baja yang di desain dengan perletakan sederhana (sendi-rol) untuk menguji kekuatan lentur balok dengan panjang balok 250 cm dan penampang berbentuk empat persegi dengan ukuran 15 cm x 30 cm dengan beban maksimum rencana 20 ton.
- b. Pengujian dilaksanakan setelah sampel mencapai umur beton 17 hari, benda uji terdiri dari empat buah balok.
- c. Pembebanan akan dilaksanakan sampai beton mengalami retak lentur/keruntuhan.
- d. Pada balok yang dilapisi perkuatan *GFRP* akan diberi beban sampai mengalami retak lentur/keruntuhan.
- e. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan balok dalam memikul beban, untuk mengetahui lendutan yang terjadi dipasang *Dial gauge* dan ditempatkan pada bagian bawah balok .

Kondisi Pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.11 dibawah ini.



Gambar 4.11 Kondisi Pengujian Balok

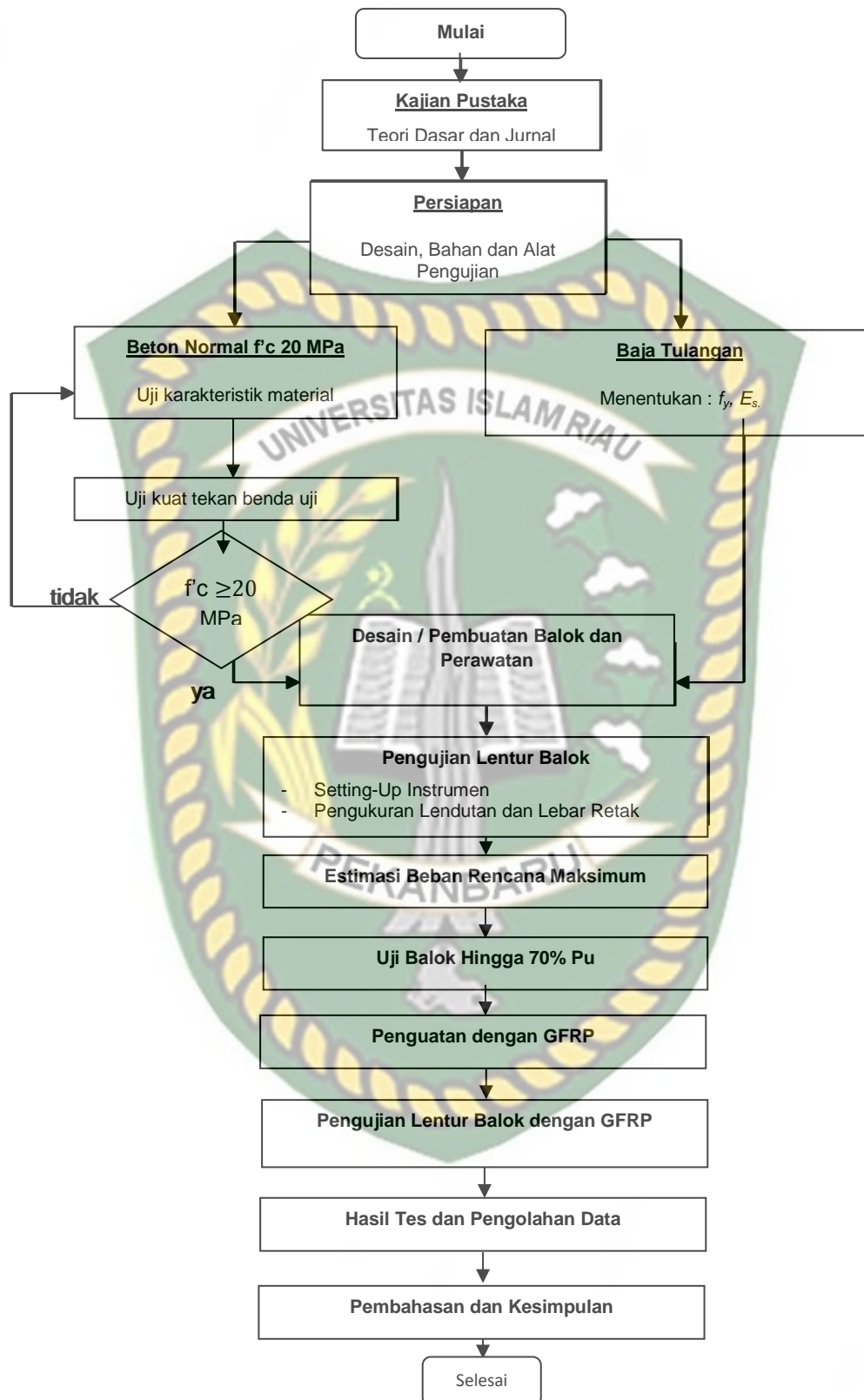
4.4. Tahapan Proses Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini yang pertama dilakukakan kajian pustaka , yaitu mencari teori – teori dasar tentang perkuatan – perkuatan pada balok yang pernah dilakukan dengan menggunakan *FRP* baik malalui buku – buku maupun jurnal – jurnal tentang penelitian sebelumnya. Kemudian dilakukan persiapan untuk pembuatan sampel yang dilakukan dengan desain cetakan benda uji, persiapan alat dan bahan.

Bahan uji dibuat sesuai desain rencana setelah sampai umurnya kita kan uji karakteristiknya untuk memastikan memenuhi syarat yang direncanakan, apabila telah memenuhi syarat maka akan kita cetak balok beton sesuai dengan dimensi dan setelah umur beton cukup maka kita akan seting up peralatan, untuk sampel balok yang akan dilapisi *GFRP* akan kita lapisi dulu dengan standar dari produk masing – masing. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian lentur balok baik yang dilapisi *GFRP* maupun yang tidak dilapisi *GFRP*. Sebelum dilakuakan uji lentur kita akan estimasi dulu beban rencana agar diperoleh hasil yang maksimal.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dicatat yang nantinya akan dilakukan pengolahan data dan pembahansan untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan

untuk lebih jelasnya tahapan proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.12. Bagan Tahapan Proses Penelitian.



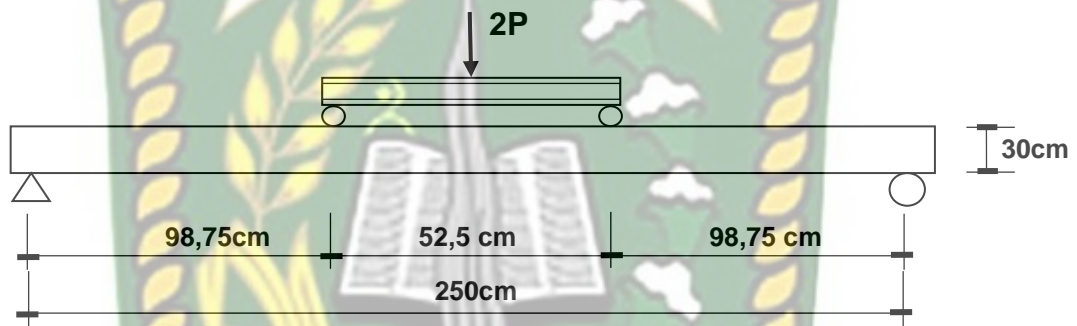
Gambar 4.12. Bagan Tahapan Proses Penelitian

4.5. Cara Analisis

Setelah semua hasil diperoleh maka akan dilakukan analisis pada masing – masing balok benda uji dari masing – masing Produk.

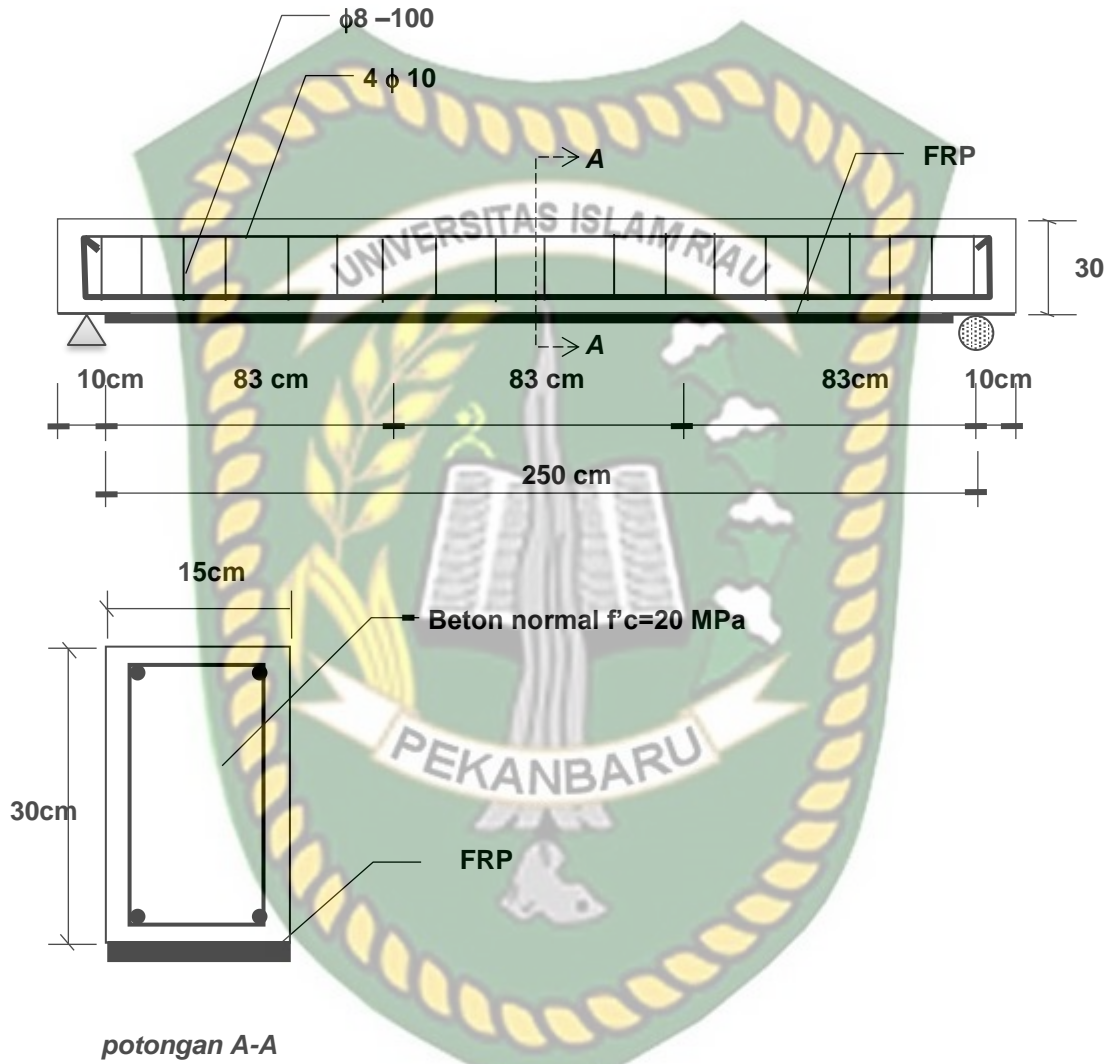
4.5.1 Desain

Dimensi dan tulangan balok dianalisa dengan metode kekuatan batas (*ultimate strength design*) dan pengujian balok dilakukan dengan instrumen standar umum pengujian balok. Desain balok seperti Gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar. 4.13 Desain Beban dan Balok

Pada Gambar 4.13 dapat dilihat beban di letak di tangan balok dan di salurkan melalui balok yang diletakkan ditengah – tengah benda uji agar beban merata pada bidang momen. Panjang balok adalah 250 cm, tinggi balok 30 cm dan lebar balok adalah 15 cm, diletakkan pada tumpuan rol dan sendi. Model benda uji yang dibuatkan merupakan standar dari pengujian balok beton.



Gambar. 4.14 Desain Tulangan dan Penampang Balok

4.6. Variasi Benda Uji

Berikut adalah variasi benda uji yang dibuat dan digunakan untuk penelitian ini .

4.6.1. Beton Benda Uji 1A

No	Kode Sampel	Jumlah Sampel	Keterangan
1	1A	1 buah	

Sampel benda uji 1A ini adalah balok beton dari Produk A yang tidak diberi perkuatan, pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA) di Lampung


4.6.2. Beton Benda Uji 2GA dengan 1 Lapis GFRP Dari Distributor A

No	Kode Sampel	Jumlah Sampel	Keterangan
2	2GA	1 buah	

Sampel benda uji 2GA ini adalah balok beton dari Produk A yang diberi perkuatan *GFRP* dari Produk A satu lapis, pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Struktur, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA) di Lampung.

4.6.3 . Beton Benda Uji 1B

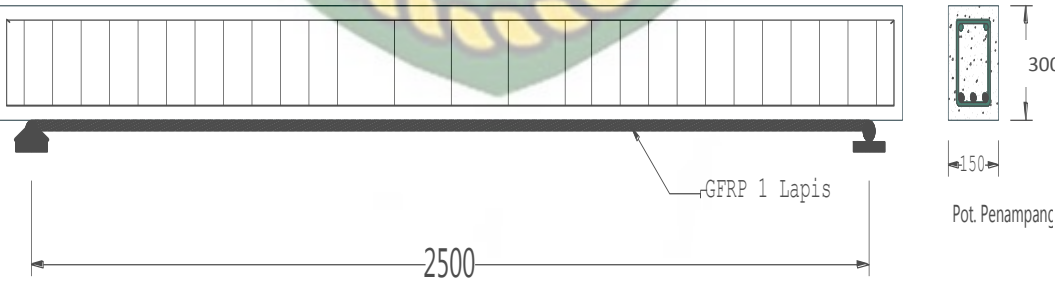
No	Kode Sampel	Jumlah Sampel	Keterangan
1	1B	1 buah	



Sampel benda uji 1B ini adalah balok beton dari Produk B yang tidak diberi perkuatan, pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung (ITB) di Bandung.

4.6.3. Beton Benda Uji 2GB dengan 1 Lapis GFRP Dari Distributor B

No	Kode Sampel	Jumlah Sampel	Keterangan
2	2GB	1 buah	



Sampel benda uji 2GB ini adalah balok beton dari Produk B yang diberi perkuatan *GFRP* dari Produk B satu lapis, pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung (ITB) di Bandung.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Material Balok dan GFRP

Material untuk pembuatan balok dari Produk A adalah *Ultrachem Crete RM*, *Ultrachem Crete RM* adalah mortar (semen + pasir silica). Komposisi *Ultrachem Crete RM* adalah campuran yang terdiri atas semen tipe 1, pasir silica yang dikombinasi dengan bahan *pozzolan*, bahan *additive* khusus dalam bentuk bubuk. Air yang digunakan dalam adukan adalah 4-5 liter air per 30 Kg bubuk, air yang digunakan adalah air kran yang tersedia di Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik sipil Universitas Lampung. *Ultrachen Crete RM* (1 Zak). Pada pembuatan benda uji ini dibutuhkan 9 zak *Ultrachem Crete RM* dan air 45 liter untuk satu balok benda uji. Pembuatan dan pengujian balok dari produk A dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA).

Untuk balok benda uji yang akan dilapisi dengan produk A menggunakan jenis *Glass Polymer Typo SHE-51A Composite* dengan epoksi *Typo S Epoxy*, yang dipasang pada balok normal setelah mencapai umur 17 hari.

Untuk pembuatan balok dari produk B digunakan *Estrogrout MP70 Premix*, yang merupakan campuran bubuk kering dan agregat grade 3 mm sampai 10 mm dan semen Portland tipe 1. Air yang digunakan dalam adukan adalah 4-5 liter air per 30 Kg bubuk, air yang digunakan adalah air kran yang tersedia di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Bandung. *Estrogrout MP70 Premix* (1 zak). Pada pembuatan benda uji dari produk B ini memakai 9 zak *Estrogrout MP70 Premix* dan air 44 liter untuk satu balok benda uji. Pembuatan dan pengujian balok dari produk B dilakukan di Laboratorium struktur Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung (ITB).

Untuk balok benda uji yang akan dilapisi dengan produk B menggunakan jenis *Glass Polymer EstoGlass* dengan epoksi *EstoWrap Resin*, yang dipasang pada balok normal setelah mencapai umur 17 hari.

5.2. Komposisi Mix Design

Dari hasil pemeriksaan material dan *Mix Design* didapat komposisi dalam 1 balok beton benda uji terdiri dari 9 zak Ultrachem Crete RM dan 45 liter air untuk Produk A, untuk Produk B 1 balok beton terdiri dari 9 zak EstogROUT MP70 Premix dan air 44 Liter. Berikut ini dapat dilihat spesifikasi teknis masing – masing Produk

5.3. Kuat Tekan Beton

Sebelum dilakukan pengujian pada balok, maka dilakukan uji kuat tekan beton dari sampel silender yang dibuat untuk mendapatkan kuat tekan yang telah direncanakan, pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur 17 hari.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Benda Uji

No	Kode	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Rasio (H/D)	Berat Sampel (gr)	Beban Maks		Kuat tekan beton (Kg/cm ²)	Faktor Koreksi		Konversi kuat tekan kubus (kg/cm ²)	Kuat tekan rata-rata (kg/cm ²)
						KN	Kg		H/D	Bentuk sampel		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	SILINDER-1	15	30	2.00	11300	490.5	50000	283.09	1	0.83	341.07	318.79
2	SILINDER-2	15	30	2.00	11100	466.3	46533	269.12	1	0.83	324.24	
3	SILINDER-3	15	30	2.00	11050	418.6	42671	241.59	1	0.83	291.07	

Dari hasil uji kuat tekan beton pada tabel di atas menunjukkan bahwa kuat tekan beton pada umur 17 hari mencapai 318,79 Kg/cm² . Jadi memenuhi kuat tekan yang disyaratkan yaitu melebihi 20 Mpa (250 Kg/cm²).

5.4. Hasil Pengujian Lentur

Setelah melakukan pengujian pada masing – masing sampel, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

5.4.1. Hasil Data Pengujian Untuk Balok Beton Bertulang Normal Produk A

Pengujian sampel dilakukan pada saat umur beton sudah 17 hari, pengujian dilakukan dengan meletakkan balok di atas dua tumpuan dan dibebani dengan dua beban terpusat. Pada balok normal ini (belum dilapisi dengan *GFRP*) pembebanan dilakukan secara bertahap sampai balok mengalami kegagalan.

Adapun data – data yang diambil pada pengujian ini adalah beban saat terjadi retakan pertama dan beban ultimit. Besarnya nilai beban diperoleh dari pembacaan *Load Cell* yang terjadi pada balok saat pengujian, yang diperoleh dari pembacaan alat yang digunakan. Kondisi retak pertama pada beban mencapai 14.000 Kg. (dapat dilihat pada Lampiran)

5.4.2. Hasil Data Pengujian Untuk Balok Beton Bertulang Diperkuat dengan GFRP Produk A

Sampel dan metode yang digunakan sama dengan balok beton bertulang normal yaitu yang telah mencapai umur beton 17 hari, tetapi diberi perkuatan dengan *GFRP* (*Glass Fibre Reinforced Polymer*) dari Produk A sepanjang bidang tarik balok. Adapun data – data yang diambil adalah pada saat terjadi keretakan pertama pada balok setelah diberi beban, dan dilihat nilainya pada pembacaan *Load Cell*. Dari data yang didapat retak pertama (balok hancur) terjadi pada bacaan beban 15.500 Kg. (dapat dilihat pada Lampiran)

5.4.3. Hasil Data Pengujian Untuk Balok Beton Bertulang Normal Produk B

Metode pengujian sama dilakukan dengan produk A, pada pengujian sampel balok normal produk B ini didapat retak pertama (balok hancur) pada balok terjadi pada bacaan beban 15.560,64 Kg. (dapat dilihat pada Lampiran)

5.5. Hasil Data Pengujian Untuk Balok Beton Bertulang Diperkuat dengan GFRP Produk B

Metode pengujian sama dilakukan dengan produk A, pada pengujian sampel balok yang diperkuat dengan *GFRP (Glass Fibre Reinforced Polymer)* dari produk B ini didapat retak pertama (balok hancur) pada balok terjadi pada bacaan beban 19.319,10 Kg. (dapat dilihat pada Lampiran)

5.6. Perbandingan Balok Normal dan Balok yang Diperkuat GFRP

Dari uraian di atas terlihat jelas bahwa beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok yang diperkuat dengan GFRP lebih besar dari pada beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok normal yang tanpa diperkuat.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal dan yang diperkuat dengan *GFRP (Glass Fiber Reinforced Polimer)* Produk A

No	Kode	Tgl Cor	Umur Beton (hari)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Panjang (cm)	Bentang (cm)	Beban Maks (kg)	Kuat Lentur Beton (Kg/cm ²)
1	Balok Normal	26/11/2017	17	15	30	2500	2200	14,000.00	2,281.481
2	Balok Glass 1 Layer	26/11/2017	17	15	30	2500	2200	15,500.00	2,525.926

Dari Tabel 5.2 dapat dilihat beban maksimal masing- masing benda uji dari produk A adalah 14.000 Kg dan kuat lentur betonnya 2.281,481 Kg/cm² untuk balok normal dan beban maksimal 15.500 Kg serta kuat lentur betonnya 2.525,926 Kg/cm² untuk balok yang dilapisi GFRP.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal dan yang diperkuat dengan *GFRP (Glass Fiber Reinforced Polimer)* Produk B

No	Kode	Tgl Cor	Umur Beton (hari)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Panjang (cm)	Bentang (cm)	Beban Maks (kg)	Kuat Lentur Beton (Kg/cm ²)
1	Balok Normal	26/11/2017	17	15	30	2500	2200	15,560.00	2,535.703
2	Balok Glass 1 Layer	26/11/2017	17	15	30	2500	2200	19,319.00	3,148.281

Dari Tabel 5.3 dapat dilihat beban maksimal masing- masing benda uji dari produk B adalah 15.560 Kg dan kuat lentur betonnya 2.535,703 Kg/cm²

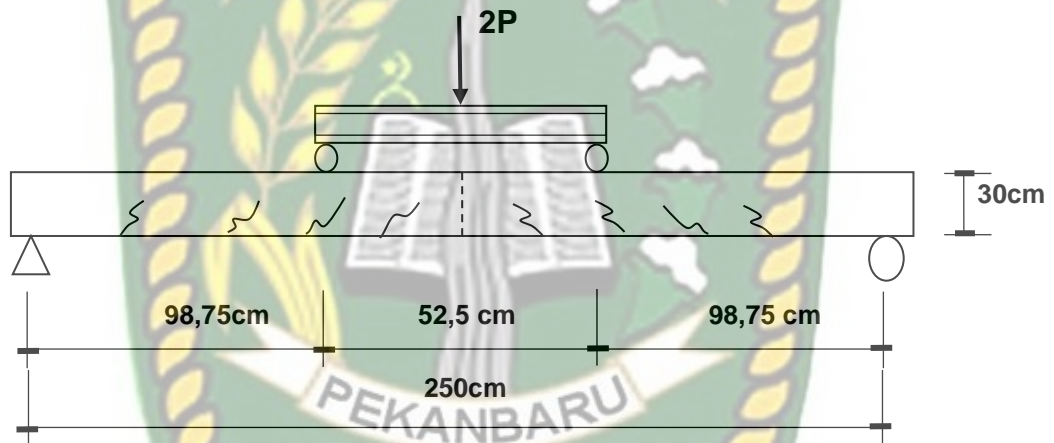
untuk balok normal dan beban maksimal 19.319 Kg serta kuat lentur betonnya 3.148,281 Kg/cm² untuk balok yang dilapisi *GFRP*.

5.7. Pola Retak Yang Terjadi Pada Balok Benda Uji.

Dari hasil pengujian pada balok pada saat terjadi keruntuhan terdapat pola retak yang berbeda untuk masing – masing balok uji, berikut ini gambar pola retak yang terjadi pada balok uji.

1. Pola Retak Pada balok Normal

Pola retak pada balok normal dapat dilihat pada Gambar 5.1 di bawah ini

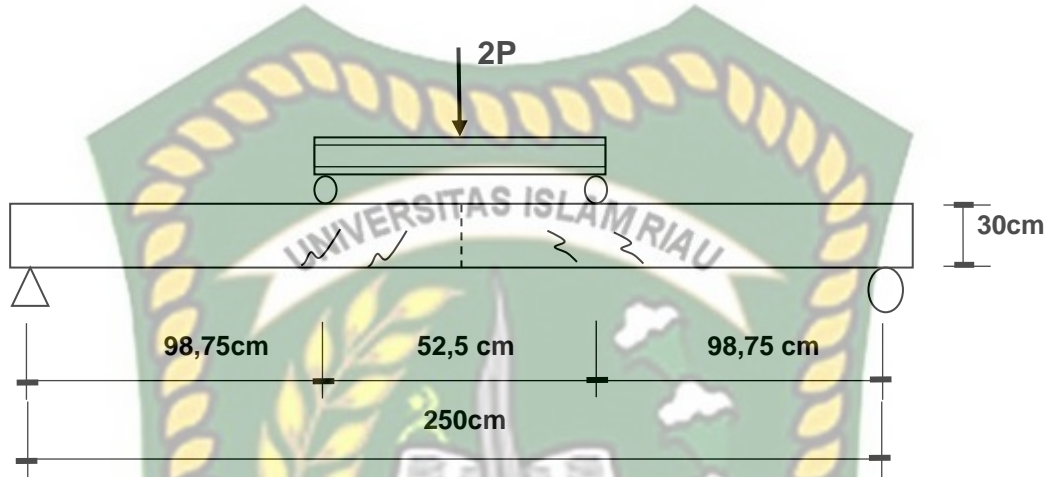


Gambar 5.1 Pola retak pada Balok Normal

Pada balok normal setelah diberikan beban maksimal dan balok runtuh terdapat delapan retakan yang terjadi pada balok, dari hasil pengamatan dan pengukuran pola retak yang terdekat dari pusat beban adalah 11,6 cm dan pola retak terjauh dari pusat beban adalah 84.6 cm dengan lebar celah retak terkecil 0.01 mm dan yang terlebar 8.81 mm.

2. Pola Retak Pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*

Pola retak pada balok yang dilapisi dengan *GFRP* dapat dilihat pada Gambar 5.2 di bawah ini



Gambar 5.2 Pola retak pada Balok yang dilapisi *GFRP*

Pada balok yang telah dilapisi dengan *GFRP* setelah diberikan beban maksimal dan balok runtuh terdapat empat retakan yang terjadi pada balok, dari hasil pengamatan dan pengukuran pola retak yang terdekat dari pusat beban adalah 8 cm dan pola retak terjauh dari pusat beban adalah 29.5cm dengan lebar celah retak terkecil 0.91 mm dan yang terlebar 8.71 mm.

Dari hasil di atas dapat disimpulkan balok yang dilapisi dengan *GFRP* pada saat beban maksimal dan balok runtuh jumlah retakannya lebih sedikit dari balok normal yang tidak dilapisi dengan *GFRP*, jarak retak menjadi lebih terpusat karena semakin dekat dengan titik pusat beban.

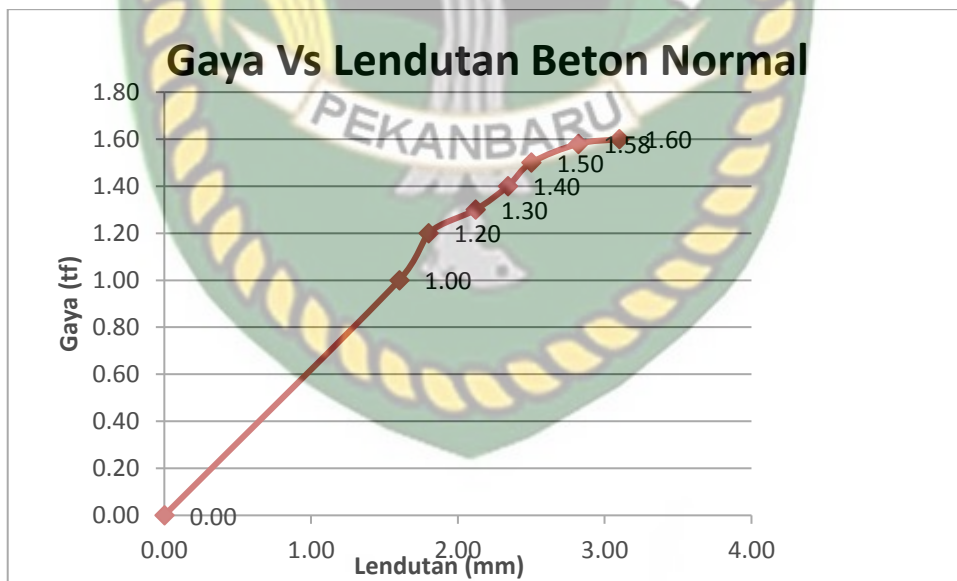
5.8. Tegangan dan Lentutan

Pada saat uji lentur dan tegangan diberikan maka terjadi lentutan pada tengah bentang yang diukur dengan dial gauge sampai balok mengalami keruntuhan, hubungan tegangan dan lentutan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4, yaitu tabel hubungan tegangan dan lentutan pada balok normal, dan Tabel 5.5. Tabel hubungan tegangan dan lentutan pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*

Tabel 5.4. Tabel hubungan tegangan dan lendutan pada balok normal

No	Tegangan (Kn)	Lendutan (mm)
1	9.80665	1.60
2	11.76798	1.80
3	12.74865	2.12
4	13.72931	2.34
5	14.70998	2.50
6	15.49451	2.82
7	15.69064	3.10

Pada Tabel 5.4 di atas dapat dilihat makin besar tegangan yang diberikam lendutan yang terjadi semakin besar, dan balok hancur pada tegangan 15,69064 Kn dan lendutan yang terjadi 3.10 mm, dan dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.3. Gambar Tegangan dan Lendutan pada balok normal.



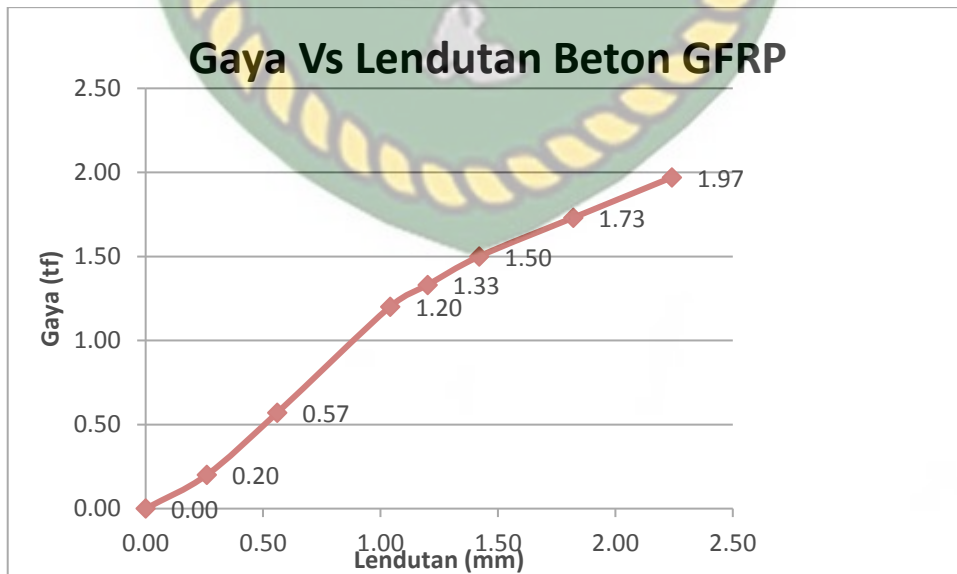
Gambar 5.3 Tegangan dan Lendutan pada balok normal

Untuk hasil pengujian pada balok yang dilapisi dengan *GFRP* tegangan dan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5.5. Tabel hubungan tegangan dan lendutan pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*

Tabel 5.5. Tabel hubungan tegangan dan lendutan pada balok dilapisi *GFRP*

No	Tegangan (Kn)	Lendutan (mm)
1	1.96133	0.26
2	5.58979	0.56
3	11.76798	1.04
4	13.04284	1.20
5	14.70998	1.42
6	16.96550	1.82
7	19.31910	2.24

Pada Tabel 5.5 di atas dapat dilihat makin besar tegangan yang diberikan lendutan yang terjadi semakin besar, dan balok hancur pada tegangan 19,31910 Kn dn lendutan yang terjadi 2.24 mm, dan dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.4. Gambar Tegangan dan Lendutan pada balok dilapisi *GFRP*.



Gambar 5.4 Tegangan dan Lendutan pada balok yang dilapisi *GFRP*

Dari dua tabel dan gambar di atas dapat kita lihat bahwa balok normal yang tidak dilapisi *GFRP* pada saat mengalami keruntuhan lendutannya 3,10 mm sedangkan balok yang dilapisi *GFRP* lendutan yang terjadi 2.24 mm pada saat balok mengalami keruntuhan jadi lapisan *GFRP* dapat mereduksi lendutan yang terjadi pada balok dan beban yang pun meningkat dari 15,69064 Kn menjadi 19,31910 Kn.

5.9. Tegangan dan Regangan

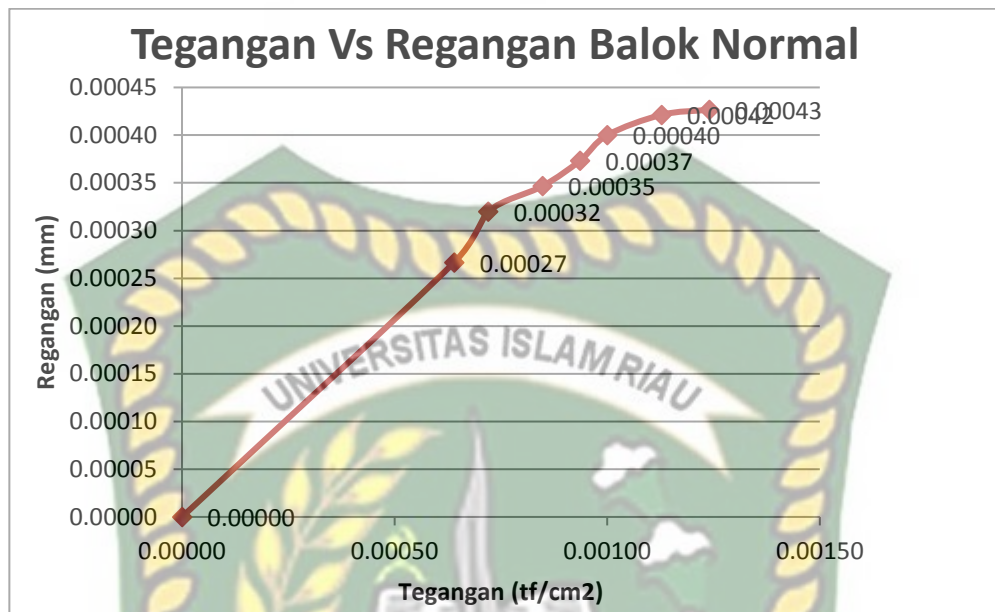
Dari data uji lentur yang diperoleh dapat kita buat tabel hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada masing benda uji, baik yang balok normal maupun balok yang dilapisi dengan *GFRP*. Untuk hubungan tegangan dan regangan pada balok normal kita tampil kan pada Tabel 5.6. Tabel Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok normal

Tabel 5.6. Tabel Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok normal

No	Gaya (tf)	Tegangan (tf/cm ²)	Lendutan (mm)	Regangan ($\Delta L/L_i$) mm	Modulus Elastisitas (tf/cm ²)
1	1.00	0.00027	1.60	0.00064	4.16667
2	1.20	0.00032	1.80	0.00072	4.44444
3	1.30	0.00035	2.12	0.00085	4.08805
4	1.40	0.00037	2.34	0.00094	3.98860
5	1.50	0.00040	2.50	0.00100	4.00000
6	1.58	0.00042	2.82	0.00113	3.73522
7	1.60	0.00043	3.10	0.00124	3.44086

Pada Tabel 5.6. Tabel Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok normal dapat dilihat pada saat tegangan maksimum ketika balok hancur regangan yang terjadi adalah 0.00124 mm.

Dan grafiknya dapat kita gambarkan pada Gambar 5.5. Tegangan dan Regangan pada Balok Normal.



Gambar. 5.5. Tegangan dan Regangan pada Balok Normal.

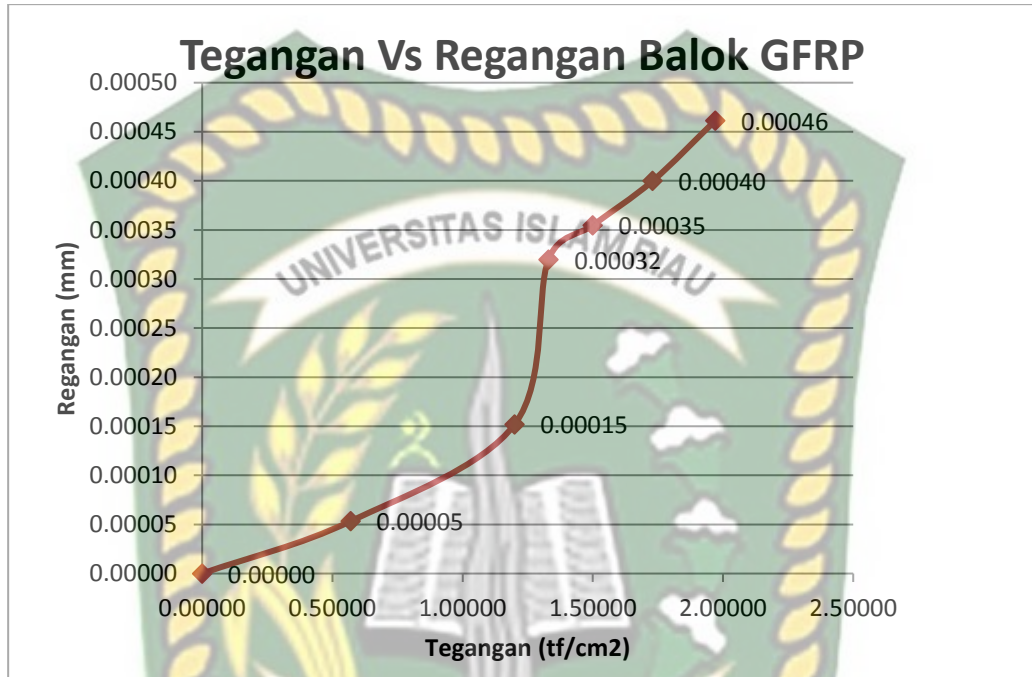
Untuk balok yang dilapisi dengan *GFRP* dari uji kuat lentur kita juga dapat membuat tabel hubungan antara tegangan dan regangan dan kita tampilkan pada Tabel 5.7. Tabel Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*.

Tabel 5.7. Tabel Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*.

No	Gaya (tf)	Tegangan (tf/cm ²)	Lendutan (mm)	Regangan ($\Delta L/L$) mm	Modulus Elastisitas (tf/cm ²)
1	0.20	0.00005	0.26	0.00010	5.12821
2	0.57	0.00015	0.56	0.00022	6.78571
3	1.20	0.00032	1.04	0.00042	7.69231
4	1.33	0.00035	1.20	0.00048	7.38889
5	1.50	0.00040	1.42	0.00057	7.04225
6	1.73	0.00046	1.82	0.00073	6.33700
7	1.97	0.00053	2.24	0.00090	5.86310

Pada Tabel 5.7. Tabel Tegangan dan Regangan yang terjadi pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*. dapat dilihat pada saat tegangan maksimum ketika balok hancur regangan yang terjadi adalah 0.00090 mm.

Dan grafiknya dapat kita gambarkan pada Gambar 5.6. Tegangan dan Regangan pada Balok dilapisi *GFRP*.



Gambar 5.6. Tegangan dan Regangan pada Balok dilapisi *GFRP*.

Dari tabel dan grafik di atas dapat kita lihat bahwa pada balok normal regangan yang terjadi pada saat balok hancur lebih besar dari pada regangan yang terjadi pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*, yaitu 0.00124 mm pada balok normal dan 0.00090 mm pada balok yang dilapisi dengan *GFRP*, jadi dapat kita simpulkan lebaran *GFRP* dapat mengurangi regangan yang terjadi sehingga kekuatan balok untuk dapat menahan beban dapat meningkat.

5.10. Data hasil Pengujian masing – masing Produk

Setelah melakukan pengujian masing – masing produk pada laboratorium yang berbeda maka dapat diperoleh hasil seperti yang disajikan pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kuat Lentur Masing – masing Produk

No	Benda Uji	Kuat Lentur (Kg/cm ²)	Keterangan
1	Produk A Normal	2281.481	Benda uji A
2	Produk A GFRP	2525.926	Benda Uji A GFRP
3	Produk B Normal	2535.704	Benada Uji B
4	Produk B GFRP	3148.281	Benda Uji GFRP

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kuat Lentur Masing – masing Produk

Tabel 5.8 menunjukkan hasil pengujian kuat lentur masing – masing produk dan dapat kita lihat untuk produk B hasilnya lebih tinggi dari produk A baik yang kondisi normal maupun balok yang telah dilapisi dengan *GFRP*.



Gambar 5.7 Kuat lentur Masing – masing Produk

5.11. Hasil Perhitungan Peningkatan Kekuatan Balok

Dari hasil pengujian kuat tekan lentur maka dapat dihitung peningkatan kekutan balok masing – masing produk dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.9. Hasil perhitungan peningkatan kekuatan balok.

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan peningkatan kekuatan balok

No	Benda Uji	Beban Max (kN ² /m)	Keterangan
1	Produk A Nornal	91.00	Benda uji A
2	Produk A GFRP	100.75	Benda Uji A GFRP
3	Produk B Normal	101.14	Benada Uji B
4	Produk B GFRP	125.57	Benda Uji GFRP

Tabel 5.9 menunjukkan hasil analisa perhitungan peningkatan kekuatan balok masing – masing produk. Dapat kita lihat untuk produk A peningkatannya dari 91,00 kN²/m sebelum dilapisi meningkat menjadi 100,75 kN²/m setelah balok dilapisi dengan *GFRP*. Dan untuk produk B peningkatannya dari 101,14 kN²/m sebelum dilapisi meningkat menjadi 125,57 kN²/m setelah balok dilapisi dengan *GFRP*.



Gambar 5.8 Perhitungan peningkatan kekuatan balok

5.12. Perbandingan Kekuatan Antara Produk A dan Produk B

Dari hasil perhitungan yang kita dapatkan dari hasil pengujian maka kita dapat membuat perbandingan peningkatan kekuatan dari masing – masing produk yang kita bandingkan pada penelitian ini, dan hasilnya kita tampilkan pada Tabel 5.10. Tabel perbandingan Peningkatan kekuatan Produk A dan Produk B. dan pada Gambar. 5.9. Peningkatan kekuatan Produk A dan Produk B.

Tabel 5.10 Perbandingan Peningkatan kekuatan Produk A dan Produk B

No	Benda Uji	Prosentase (%)	Keterangan
	Produk A	10.72	
	Produk B	24.15	

Dari Tabel 5.10 dapat kita lihat untuk produk B peningkatan kekuatan yang diberikan lebih besar dari produk A, yaitu 24,15 % untuk produk B dan 10.72 % untuk produk A.



Gambar 5.9 Perbandingan Peningkatan kekuatan Produk A dan Produk B

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian atau uji coba di laboratorium, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Terjadinya peningkatan kekuatan pada balok normal setelah dilakukan pelapisan(perkuatan) dengan *GFRP* satu lapis, yaitu pada produk A sebesar 10,72 % dan pada produk B terjadi peningkatan kekuatan sebesar 24,15 %.
2. Dari hasil penelitian dengan perlakuan yang sama maka dapat diperoleh hasil bahwa *GFRP* dari produk B lebih unggul dari produk A, karena dapat memberikan peningkatan kekuatan lebih besar yaitu 24,15%.

6.2. Saran

1. Hasil penelitain ini dapat kita gunakan untuk program pemelihara jembatan yang gelagar utamanya menggunakan balok beton, terutama pada jembatan – jembatan beton yang sudah berumur di atas 20 tahun yang banyak terdapat pada ruas – ruas jalan di Provinsi Riau.
2. Pada penelitian ini kami hanya menggunakan satu lapis (*layer*) *GFRP*, maka perlu dikembangkan lagi penelitian dengan menambah lapisan (*layer*) perkuatan, apakah terjadi penambahan kekuatan yang signifikan atau tidak.
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu diperhitungkan juga gaya geser, agar hasil yang dicapai dapat lebih lengkap.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI. Committee 318, 2008. *Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI-08) and Commentary*, American Concrete Institute. U.S.A
- Ballaguru Perumalsamy, Nanni Antonio and Diancaspro James, 2009. *FRP composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures*. Taylor and Francis Group, LLC. U.S.A
- Seeble, F. & Karbhari, V; A paper titled *Advanced Composites for Civil Engineering Applications in the United States*, University of California, San Diego, CA.
- Ballinger, Craig; April 1994 "Composites poised to make inroads as Highway Structural Materials," *The Journal: Roads and Bridges; Issue*, pp. 40-44.
- Smith, W; Resin Systems; 1990. *Delaware Composites Design Encyclopedia (DCDE)*, Volume 3;
- Fyfe Co. LLC, *Typo Fibrwrapes System* EstoGlass, ESTOP, *Hight Strenght Glass Fiber Sheet For Concrate Structural Strengthening System*
- Alimi, Fikri dan Widyawati. R, 2010. *Studi Eksperimental Kekuatan Geser Balok Beton Bertulang dengan GFRP*, Jurnal Rekayasa. 14,(2), 109-123.
- Sudarsana I Ketur dan Sutepa A.A Gede, 2007. *Perkuatan Kolom Bulat Beton Bertulang Dengan Lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.11, N0.1, Januari 2007.
- Deskarta Putu, 2009. *Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.13, N0.2, Juli 2009.
- Sudiasa, I M. A., 2002. *Perilaku Runtuh Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- FIP, *Repair and Strengthening of Concrete Structures*, London, 1991.
- ACI 440.2R-08, *Guide For Design and Construction of Externally Bonded FRP System For Strengthening Concrete Structures*, July 2008.
- ICRI, *Guide for the Selection of Strengthening System for Concrete Structures*, February 2006.
- Alami, F. *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan CFRP Strip*, Prosiding HEDS Seminar on Science and Technology 2007, ISBN 978-979-1441-05-6, Hal 37-47.

Malek, AM, Saadatmanesh, Ehsani. MR. *Prediction Of Failure Load of R/C Beams Strengthened with FRP Plate Due to Stress Concentration at the Plate End.* ACI Journal. 1998.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau