

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU LEKATAN GESER *ABACA FIBER*
REINFORCED POLYMER SHEET PADA BETON DENGAN
VARIASI *EPOXY***

Disusun dan diajukan oleh:

**RIZKY ARMITHA MATO
D011 19 1018**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PERILAKU LEKATAN GESER ABACA FIBER REINFORCED POLYMER SHEET PADA BETON DENGAN VARIASI EPOXY

Disusun dan diajukan oleh

Rizky Armitha Mato
D011 19 1018

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 20 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M. Eng
NIP 197011081994121001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Fakhruddin, ST., M.Eng
NIP 198702282019031005

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng.
NIP 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Rizky Armitha Mato

NIM : D011 19 1018

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Studi Perilaku Lekatan Geser *Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet* pada
Beton dengan Variasi *Epoxy* }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 Juni 2023

Yang Menyatakan



Rizky Armitha Mato

ABSTRAK

RIZKY ARMITHA MATO. *Studi Perilaku Lekatan Geser Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet pada Beton dengan Variasi Epoxy* (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng. dan Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.)

Salah satu metode untuk meningkatkan kapasitas struktur adalah dengan perbaikan dan perkuatan struktur. *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) merupakan salah satu metode perbaikan dan perkuatan struktur yang paling populer saat ini. Namun, FRP memiliki harga yang relatif mahal. Sehingga, diperlukan inovasi yang dapat menggantikan bahan dasar penyusun FRP berupa serat alami dengan karakteristik yang berpotensi memiliki kuat tarik tinggi dan penggunaan biaya yang lebih murah, salah satunya adalah serat *abaca*. Namun, dalam pengaplikasian FRP sebagai perkuatan struktur, perlu memperhatikan kekuatan lekatan antara FRP-beton. Permukaan FRP dan beton sangat rentan terjadi *debonding* yang disebabkan adanya gaya tarik dan geser yang terjadi. Salah satu faktor yang paling mempengaruhi kelekatan antara FRP dan beton adalah penggunaan bahan perekat (*epoxy*), dimana *epoxy* digunakan sebagai material komposit FRP untuk memperkuat beton dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku lekatan geser serta pola retak dan mode kegagalan *Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet* (AbFRP) pada beton dengan variasi *epoxy*. Perilaku lekatan didiskusikan berdasarkan perilaku tegangan geser-*slip*, tegangan geser maksimum, dan tegangan geser-regangan. Tahapan pada penelitian ini terbagi atas 2, yaitu pengujian karakteristik material dan pengujian lekatan geser AbFRP pada beton. Pengujian karakteristik material AbFRP dilakukan menggunakan sampel 250 mm x 25 mm x 1,5 mm. Sementara itu, untuk pengujian lekatan geser AbFRP pada beton dengan variasi *epoxy* menggunakan 2 balok beton dengan dimensi masing-masing balok 250 mm x 100 mm x 100 mm. Penelitian ini menggunakan 2 tipe *epoxy* dan 2 jenis serat yaitu *abaca* dan *glass*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jenis *epoxy* yang berbeda menyebabkan perilaku lekatan yang berbeda pula pada AbFRP *sheet* terhadap beton, begitupula pada variasi jenis serat. Sedangkan, mode kegagalan yang terjadi terdapat 2 jenis, yaitu *debonding* atau kegagalan komposit dan kegagalan lekatan yang keduanya diikuti oleh substrat beton.

Kata Kunci: *Abaca Fiber Reinforced Polymer*, Variasi *Epoxy*, Kuat Lekatan

ABSTRACT

RIZKY ARMITHA MATO. *Studi Perilaku Lekatan Geser Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet pada Beton dengan Variasi Epoxy* (supervised by Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng. and Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.)

One of the methods to increase the structure's capacity is repairing and strengthening. Nowadays, Fiber Reinforced Polymers (FRP) are one of the most popular methods of repairing and strengthening structures. However, FRP cost has relatively expensive. Therefore, require an innovation to replace the primary material of FRP in the form of natural fibers with characteristics that have the potential to have high tensile strength and use at a lower cost, one of which is abaca fiber. However, in the practice of FRP as a structural reinforcement, it is necessary to consider the strength of the bond between the FRP and concrete. FRP and concrete surfaces are highly susceptible to debonding due to the tensile and shear forces that turn out. One of the factors that most affects the bond between FRP and concrete is the use of adhesives (epoxy), where epoxy is used as an FRP composite material to strengthen concrete properly. This study aims to analyze the behavior of shear bonding and the crack patterns and failure modes of the Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet (AbFRP) on concrete with epoxy variations. The bonding behavior is discussed based on the behavior of the slip-shear stress, maximum shear stress, and shear-strain stress. This study has two stages, testing material features and the AbFRP shear bond in concrete. Testing the characteristics of the AbFRP material was carried out using a sample measuring 250 mm x 25 mm x 1.5 mm. Meanwhile, for the test of AbFRP shear bond on concrete with epoxy variations using two concrete blocks with dimensions of 250 mm x 100 mm x 100 mm each. This study used two types of epoxy and fiber: abaca and glass. The results showed that the different user types of epoxy cause dissimilar bonding behaviors of the AbFRP sheet to concrete, likewise variations in fiber types. Meanwhile, there are 2 types of failure modes that occur, namely debonding or composite failure and adhesion failure, both of which are followed by the concrete substrate.

Keywords: Abaca Fiber Reinforced Polymer, Epoxy Variation, Bond Strength

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Beton	15
2.3 Komposisi Beton.....	16
2.3.1 Semen <i>Portland</i>	16
2.3.2 Agregat Kasar.....	18
2.3.3 Agregat Halus.....	18
2.3.4 Air	18
2.4 <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)</i>	19
2.5 <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer (AbFRP)</i>	22
2.6 <i>Epoxy Resin</i>	24
2.7 <i>Alkali Treatment</i>	25
2.8 Kuat Tekan Beton	25
2.9 Kuat Lekatan FRP terhadap Beton.....	26
2.10 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Lekatan FRP terhadap Beton	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Bagan Alir Penelitian	33
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	34
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	34
3.4 Pabrikasi <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer (AbFRP)</i>	35
3.5 Pengujian Karakteristik Mekanis <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer (AbFRP)</i> ..	38
.....	38
3.6 Pabrikasi Balok Beton.....	40
3.7 Pemasangan AbFRP dan GFRP	42
3.8 Pengujian.....	45
3.8.1 Pengujian Karakteristik Mekanis Beton.....	45
3.8.2 Pengujian Lekatan Geser.....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48

4.1 Pengujian Kuat Tarik <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i> (AbFRP)	48
4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton	49
4.3 Hubungan Tegangan Geser - <i>Slip</i>	50
4.3.1 Pengaruh Jenis <i>Epoxy</i>	50
4.3.2 Pengaruh Jenis Serat	52
4.4 Kapasitas Tegangan Geser Maksimum	55
4.5 Hubungan Tegangan Geser – Regangan	56
4.5.1 Pengaruh Jenis <i>Epoxy</i>	56
4.5.2 Pengaruh Jenis Serat	58
4.6 Mode Kegagalan	59
4.6.1 Mode Kegagalan CSA-A	60
4.6.2 Mode Kegagalan CSA-B.....	61
4.6.3 Mode Kegagalan CSG-A	63
4.7 Perbandingan Hasil Eksperimental dan Teoritis	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	69
Daftar Pustaka	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Konfigurasi Spesimen Benda Uji	6
Gambar 2. <i>Setup</i> benda uji dan instrumentasi untuk pengukuran DIC	7
Gambar 3. Mode Kegagalan: (a) <i>debonding</i> , (b) <i>debonding</i> + DFG, (c) <i>debonding</i> dan retakan makro	8
Gambar 4. Spesimen benda uji yang diperkuat dengan 1 lapisan: (a) pengaplikasian panel papan, (b) pengaplikasian lapisan dalam, (c) pengaplikasian serat (d) pengaplikasian lapisan luar.	9
Gambar 5. Visual pada spesimen DS-PBO-AK-1L-2.....	9
Gambar 6. Mode Kegagalan diamati pada: (a) DS-C-HW-1L-1000h-2, (b) DS-PBO-HW-2L-3000h-3, dan (c) DS-C-AK-2L-1000h-1.....	10
Gambar 7. Pengujian Geser Putaran Ganda.....	11
Gambar 8. Mode Kegagalan	11
Gambar 9. Spesimen Benda Uji.....	12
Gambar 10. Jenis susunan serat abaca	12
Gambar 11. <i>Setup</i> pengujian	13
Gambar 12. Spesimen uji geser ganda	14
Gambar 13. Mode kegagalan	15
Gambar 14. <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> (GFRP)	20
Gambar 15. Serat abaca.....	22
Gambar 16. <i>Setup</i> Pengujian.....	26
Gambar 17. <i>Effect of geometrical imperfection</i>	28
Gambar 18. <i>Misalignment of fibers</i>	28
Gambar 19. Lokalisasi regangan FRP yang disebabkan oleh deformasi beton yang tidak seragam.....	29
Gambar 20. Lokalisasi regangan FRP akibat retak beton: (a) penampang beton yang retak; (b) retak beton akibat pembentukan bidang keruntugan geser (Haskett et al. 2011).....	30
Gambar 21. Kolom FRP yang diberikan beban tekan aksial eksentrik: (a) diagram skematik beban eksentrik; (b) Distribusi regangan <i>hoop</i> FRP dalam FRP untuk kasus kolom yang dibebani secara eksentrik dan kon sentris.	31
Gambar 22. Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 23. Serat Abaca dan GFRP.....	35
Gambar 24. Bagan Alir Pabrikasi <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i> (AbFRP) ...	36
Gambar 25. Pabrikasi Benda Uji AbFRP.....	38
Gambar 26. Konfigurasi Benda Uji pada Pengujian Karakteristik Mekanis AbFRP.....	39
Gambar 27. <i>Universal Testing Machine</i> (UTM).....	39
Gambar 28. Dimensi Benda Uji Balok	40
Gambar 29. Pabrikasi benda uji	42
Gambar 30. Sketsa Pemasangan AbFRP pada Benda Uji Balok.....	42
Gambar 31. Metode Pemasangan AbFRP pada Benda Uji Balok	45
Gambar 32. Dimensi benda uji.....	45
Gambar 33. <i>Strain Gauge</i> dan <i>CN adhesive</i>	46
Gambar 34. <i>Data Logger</i>	46
Gambar 35. <i>Setup</i> benda uji	47

Gambar 36. <i>Setup</i> benda uji kuat tarik AbFRP	48
Gambar 37. <i>Setup</i> benda uji silinder	49
Gambar 38. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan <i>Slip</i> Pengaruh Jenis <i>Epoxy</i> ..	51
Gambar 39. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan <i>Slip</i> Pengaruh Jenis Serat ...	53
Gambar 40. Fase mekanis GFRP- <i>sheet</i> dan <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i> (AbFRP)	53
Gambar 41. Tegangan Geser <i>Ultimate</i>	55
Gambar 42. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Regangan Pengaruh Jenis <i>Epoxy</i>	57
Gambar 43. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Regangan Pengaruh Jenis Serat	58
Gambar 44. Mode Kegagalan CSA-A; (a) <i>shear failure of the concrete</i> , (b) Kegagalan komposit AbFRP	60
Gambar 45. Grafik Regangan pada Beban yang Berbeda (Hallonet et al, 2016) .	61
Gambar 46. Mode Kegagalan CSA-B.....	62
Gambar 47. Tahap Kegagalan Komposit Serat <i>Abaca</i>	62
Gambar 48. Mode Kegagalan CSG-A	63
Gambar 49. Perbandingan Nilai Teoritis dan Eksperimental.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi GFRP <i>Type</i> SEH51 dalam <i>dry sheet</i>	21
Tabel 2. Spesifikasi GFRP <i>Type</i> SEH51 dalam bentuk komposit	22
Tabel 3. Perbandingan Sifat Fisik Serat Alami	23
Tabel 4. Karakteristik Material <i>Epoxy</i>	24
Tabel 5. Dimensi Benda Uji AbFRP	38
Tabel 6. Variasi Benda Uji	40
Tabel 7. <i>Mix design</i> beton normal per m ³	41
Tabel 8. Hasil Uji Tarik AbFRP	48
Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 hari	50
Tabel 10. Sifat Mekanik <i>Epoxy</i>	52
Tabel 11. Perbandingan Sifat Mekanik GFRP dan AbFRP	54
Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoritis dan Eksperimental	67

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A_{adh}	Luas lekatan (mm^2)
F	Beban runtuh (N)
τ_{ave}	Tegangan geser antarmuka (MPa)
f'_c	Kuat tekan beton (MPa)
P	Gaya tekan aksial (N)
A	Luas penampang melintang benda uji (mm^2)
b	Lebar balok (mm)
b_f	Lebar FRP (mm)
L	Panjang lekatan FRP (mm)
t_f	Tebal lembaran FRP (mm)
E_f	Modulus elastisitas FRP (N/mm^2)
E_a	Modulus elastisitas <i>epoxy</i> (N/mm^2)
f_a	Kuat tarik <i>epoxy</i> (f_a)
P_u	Kuat lekatan (N)
τ_u	Tegangan geser
β_w	Koefisien rasio lebar serat terhadap beton
G_f	Energi fraktur antarmuka

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Katalog <i>Epoxy</i> Tipe A	74
Lampiran 2 Gambar Katalog <i>Epoxy</i> Tipe B.....	75

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul “**STUDI PERILAKU LEKATAN GESER ABACA FIBER REINFORCED POLYMER SHEET PADA BETON DENGAN VARIASI EPOXY**” merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I dan **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
5. **Bapak Dr. Eng. Ir. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Mato Kandupa** dan ibunda **Nursyamsi** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. **Muhammad Ayub Hidayatullah** sebagai saudara dan teman seumur hidup yang selalu memberikan motivasi dan senantiasa memberikan banyak warna dalam kehidupan penulis.
3. **Yuni** selaku partner dalam penelitian ini, yang selalu membantu dan menjadi teman berdiskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.

4. **Wanda, Arul, dan Afdal**, sebagai sahabat BERJUANG penulis di dunia perkuliahan. Terima kasih untuk semua pengalaman baru paling menyenangkan yang diberikan selama penulis berkuliah di teknik sipil.
5. **Yana, Nita, Muthia, Nurul, Debby, dan Yaya**, sebagai sahabat penulis di dunia perkuliahan. Terima kasih untuk selalu ada dalam suka dan duka penulis, serta selalu menemani penulis sejak maba hingga sekarang.
6. **Kak Alfiyyah Novely Gushlah, S.T.**, selaku partner selama proses penelitian.
7. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur**, terkhusus **Mei, Syifa, Fandi, dan Fikri**. Terima kasih karena telah menjadi teman berdiskusi yang baik dan telah menghidupkan suasana mukim perkuatan serta membuat penulisan tugas akhir ini menjadi sangat menyenangkan.
8. **Dinda Khairunnisa** sahabat sedari kecil yang selalu memberi motivasi dan menjadi penyemangat bagi penulis
9. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga dari awal hingga akhir nanti.
10. **HMS FT-UH** dan **kanda-kanda senior** yang telah mawadahi dan banyak membantu penulis dalam kehidupan kemahasiswaan

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Juni 2023

Rizky Armitha Mato

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan konstruksi bangunan di Indonesia sangat berkembang pesat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Dalam memenuhi kebutuhan infrastruktur bangunan yang baik, maka perlu untuk selalu memprioritaskan keamanan, keselamatan, dan kenyamanan dari pengguna bangunan gedung tersebut. Namun, tidak dapat dipungkiri bahwa dalam realisasinya, banyak terdapat kegagalan struktur yang terjadi pada suatu bangunan konstruksi. Kegagalan struktur dapat disebabkan oleh kesalahan dalam perencanaan dan pelaksanaan, serta bangunan mengalami kelebihan beban akibat adanya perubahan fungsi bangunan (Syahdana dan Safitri, 2021). Oleh karena itu, diperlukannya evaluasi kekuatan struktur bangunan sehingga dapat menentukan solusi perlakuan yang dapat diberikan pada elemen struktur bangunan yang mengalami kerusakan.

Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kapasitas struktur adalah dengan perbaikan dan perkuatan struktur. Dalam dunia ketekniksipilan, perbaikan dan perkuatan struktur umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai dengan kapasitas beban yang telah direncanakan (Naser et al, 2019). Adapun metode perbaikan dan perkuatan struktur yang ada saat ini diantaranya adalah metode pembesaran penampang elemen struktur, *steel plate*, dan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. Menurut Nelson et al (2020), FRP merupakan salah satu metode perbaikan dan perkuatan struktur yang paling populer saat ini. Beberapa penelitian telah dilakukan oleh Betschoga et al (2020), Ali et al (2021), Bhat (2021), Huang et al (2021), Sogut et al (2021), Wang et al (2021), dan Yang et al (2021), telah mengembangkan penelitian terkait FRP. Hal ini dikarenakan FRP dianggap sebagai salah satu metode perkuatan yang paling efektif untuk digunakan pada struktur bangunan gedung yang mengalami kerusakan.

Namun, dalam pengaplikasian FRP sebagai perkuatan struktur, permasalahan yang perlu diperhatikan adalah kekuatan lekatan antara FRP dengan

beton (D'Antino dan Pellegrino, 2014). Hal ini dikarenakan pada pengaplikasiannya, permukaan FRP dan beton sangat rentan terjadinya *debonding*, dimana salah satu penyebabnya adalah karena adanya gaya tarik dan geser yang terjadi dan akan sangat mempengaruhi kondisi kehancuran struktur secara keseluruhan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Wu dan Yin (2003), Lu et al (2005), Teng et al (2006), Park et al (2011), Kang et al (2012), Lee dan Lopez (2019), dan Li et al (2020) tentang perilaku kegagalan lekatan (*debonding*) yang terjadi pada *interface* FRP dan beton, dimana penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa kinerja *interface* FRP dan beton merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhatikan sebelum FRP diaplikasikan pada elemen struktur. Menurut Fonseca et al (2018), faktor yang menentukan daya tahan lekatan antara FRP dan beton dapat dikelompokkan ke dalam 3 kategori diantaranya adalah bahan perekat (*epoxy*), proses (desain dan fabrikasi), dan kondisi layan (kondisi lingkungan dan beban). Salah satu faktor yang paling mempengaruhi kelekatan antara FRP dan beton adalah penggunaan bahan perekat (*epoxy*), dimana *epoxy* digunakan sebagai material komposit FRP untuk memperkuat beton dengan baik karena tahan terhadap korosi, panas, dan suhu tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa *epoxy* akan berdampak langsung pada sistem kelekatan antara FRP dan beton (Li et al, 2019).

FRP memiliki beberapa kelebihan yaitu tahan terhadap korosi, mudah dalam pengaplikasiannya, dan juga memiliki bobot yang ringan (Naderpour et al, 2019). Namun, FRP memiliki beberapa kekurangan diantaranya yaitu memiliki harga yang relatif mahal dan tidak ramah lingkungan karena berbahan dasar *carbon* dan *glass* (Yang et al, 2021). Berdasarkan hal tersebut, diperlukan suatu inovasi yang dapat menggantikan bahan dasar penyusun FRP berupa serat alami dengan karakteristik yang berpotensi memiliki kuat tarik tinggi, ramah lingkungan, dan penggunaan biaya yang lebih murah agar dapat lebih efisien dijadikan sebagai perkuatan struktur (Kamarudin et al, 2022).

Belakangan ini, komposit yang diperkuat serat alami memiliki peran penting dalam ilmu material. Hal ini dikarenakan komposit serat alami memiliki sifat seperti ketangguhan yang baik, kuat, memiliki fleksibilitas, dan juga bobot yang ringan, serta lebih hemat biaya yang menjadikannya layak menjadi alternatif di

beberapa bidang. Selain itu, serat alami juga memiliki kelebihan yaitu ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, dan tersedia dengan mudah (Kumar et al, 2020). Menurut Adeniya et al (2019), beberapa serat alami yang telah terbukti ramah lingkungan dan memiliki potensi digunakan sebagai material penyusun FRP adalah sabut kelapa, sawit, bambu, dan abaca.

Adapun kuat tarik dari berbagai serat alami seperti sisal, kenaf, goni, dan bambu masing-masing ditemukan sekitar 227-700 MPa, 930 MPa, 400-800 MPa, dan 140-800 MPa, sedangkan serat abaca memiliki kekuatan tarik sekitar 970 MPa (Lantisce et al, 2009). Menurut Barba et al (2020), serat abaca memiliki kandungan 60% selulosa, 21% hemiselulosa, lignin 12-16%, dan pektin 1%, dimana selulosa merupakan komponen penting untuk kekuatan dan stabilitas sel serat yang menjadikan serat abaca memiliki kuat tarik yang tinggi. Serat abaca juga dianggap sebagai salah satu serat alami terkuat di pasaran, dimana serat abaca ini sering digunakan sebagai komponen dalam pembuatan kertas, benang, tali, dan barang-barang konstruksi rumah tangga, serta serat abaca juga berpotensi untuk menjadi sumber serat terbarukan dalam dunia industri karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, daya tahan, fleksibilitas, daya apung, dan memiliki ukuran serat yang panjang.

Hal ini menunjukkan bahwa serat abaca sangat berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti bahan penyusun FRP. Dengan melihat potensi tersebut, sebelum serat abaca diaplikasikan pada elemen struktur, perlu dilakukan penelitian terkait uji kelekatan (*debonding*) antara serat *abaca* dan beton. Berdasarkan uraian tersebut, maka penting dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental yaitu **“STUDI PERILAKU LEKATAN GESER ABACA FIBER REINFORCED POLYMER SHEET PADA BETON DENGAN VARIASI EPOXY”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku lekatan geser *Fiber Reinforced Polymer Sheet* pada beton dengan variasi *epoxy* dan variasi serat.

2. Bagaimana pola retak dan mode kegagalan pada balok beton yang diperkuat dengan *Fiber Reinforced Polymer Sheet* pada beton dengan variasi *epoxy* dan variasi serat.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perilaku lekatan geser *Fiber Reinforced Polymer Sheet* pada beton dengan variasi *epoxy* dan variasi serat.
2. Menganalisis pola retak dan mode kegagalan pada balok beton yang diperkuat dengan *Fiber Reinforced Polymer Sheet*.

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan memberi sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi salah satu solusi dalam perbaikan dan perkuatan struktur khususnya material penyusunan FRP yang lebih murah dan ramah lingkungan karena *Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet* merupakan serat alami yang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, daya tahan, fleksibilitas, daya apung, dan memiliki ukuran serat yang panjang.
2. Menjadi bahan referensi terkait kekuatan lekatan, pola retak, dan mode kegagalan pada balok beton yang diperkuat dengan *Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet*.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah pada tujuan penelitian yang ingin dicapai perlu maka adapun ruang lingkup pada penelitian sebagai berikut:

1. Benda uji yang digunakan adalah 2 balok beton dengan dimensi masing-masing balok 250 mm x 100 mm x 100 mm.
2. Variasi lembaran perkuatan yang digunakan adalah GFRP-sheet (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) dan *Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet*.
3. Variasi *epoxy* yang digunakan adalah *epoxy* tipe A dan tipe B (komersial).

1.6 Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah, sistematika penulisan yang dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga Tugas Akhir yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan ini dapat diurutkan yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini adalah latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, langkah-langkah yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian lekatan geser.

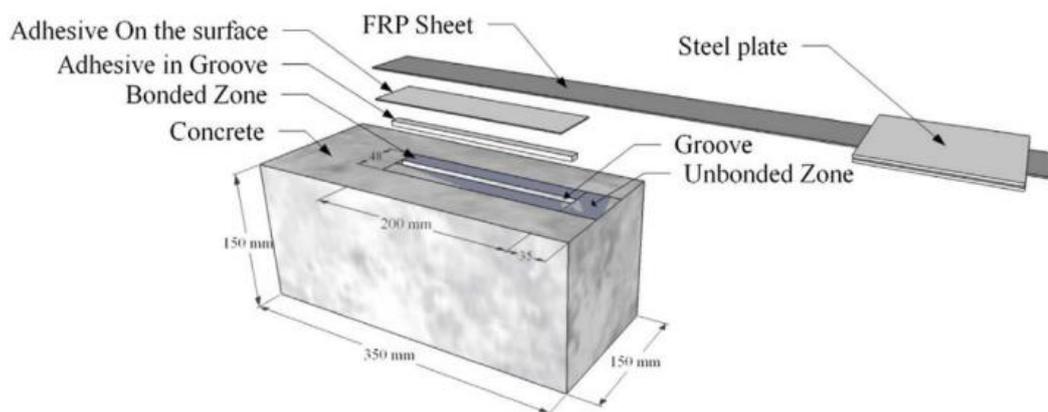
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

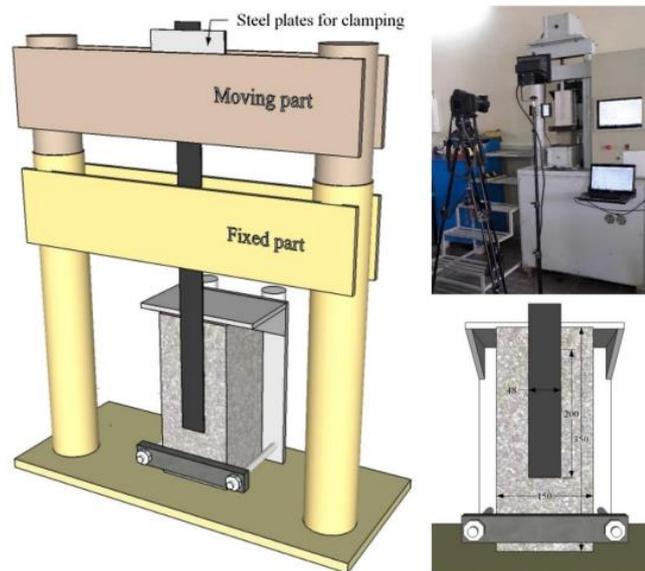
Riahi et al (2019) melakukan penelitian terkait perilaku ikatan polimer yang diperkuat dengan FRP terhadap beton melalui teknik *Externally Bonded Reinforcement on Groove* (EBROG). Pada metode EBROG, alur longitudinal di sepanjang arah serat FRP dipotong dan diisi dengan perekat, kemudian lembaran/pelat FRP ditempelkan pada substrat alur yang telah dibuat. Metode EBROG ini dianggap mampu menunda *debonding* FRP dan dapat meningkatkan kapasitas lentur balok RC yang dipasang FRP. Selain itu, metode ini juga dianggap tidak hanya dapat meningkatkan ketahanan ikatan secara signifikan, tetapi juga dapat mengurangi panjang ikatan efektif pada FRP yang digunakan. Penelitian ini menggunakan benda uji sebanyak 18 balok beton dengan dimensi 150 mm x 150 mm x 350 mm dicor dengan kuat tekan rencana 50 MPa. Lembaran serat yang digunakan merupakan serat karbon dengan arah serat searah SikaWrap 230C dan menggunakan epoksi Sikadur 330 sebagai bahan perekat FRP pada substrat beton melalui metode *wet lay up*. Adapun skema benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema Konfigurasi Spesimen Benda Uji

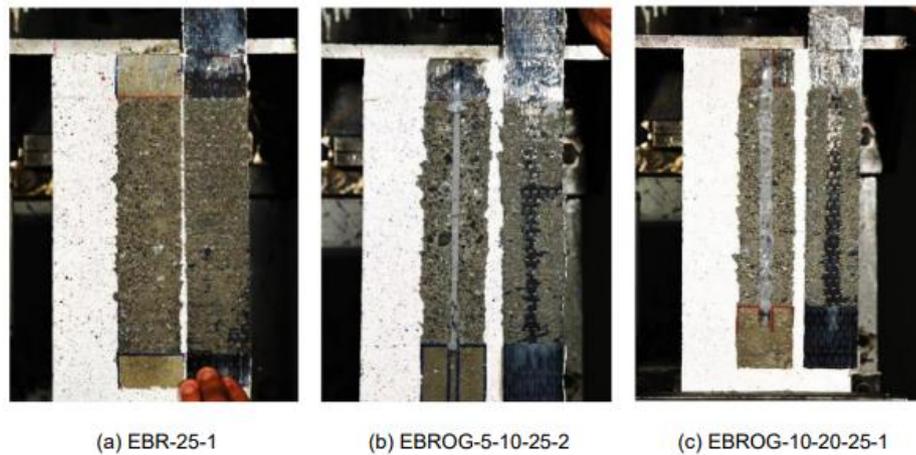
Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji kapasitas 300 kN untuk melakukan uji geser tunggal. Menurut ASTM D3039, benda uji diuji dengan kontrol kecepatan 2 mm/menit. Pengukuran *load cell* dicatat oleh pencatat data digital, dimana pada pengujian benda uji ini menggunakan sistem *Digital*

Image Correlation (DIC) yang diimplementasikan untuk mengukur perpindahan selama pengujian. Adapun *setup* dan instrumentasi untuk pengukuran DIC dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. *Setup* benda uji dan instrumentasi untuk pengukuran DIC

Pada saat pengujian, ketika beban ditarik pada panjang bebas FRP, panjang lekatan mengalami perpindahan. Deformasi relatif FRP terhadap balok beton ditentukan dan disebut sebagai *slip*. Kemudian, perpindahan di setiap titik pada pelat FRP diukur dan dikurangkan dari perpindahan rata-rata beton. Perilaku umum *debonding* dalam uji geser tunggal diamati pada semua benda uji, dimana perilaku linear awal yang diikuti oleh kinerja nonlinear hingga *debonding* terjadi. Perilaku *debonding* secara keseluruhan benda uji kurang lebih identik disemua spesifikasi. Pada pengujian, panjang dari ujung FRP dibebani ke bagian yang berkontribusi pada transfer beban dari komposit ke beton hingga terjadinya *debonding*. Sedangkan, bagian lain dari panjang FRP tidak terpengaruh oleh beban dan tidak mengalami *slip* apabila belum terjadi *debonding*. Setelah itu, *debonding* menyebar sepanjang FRP dan kemudian mengalami *slip* besar. Adapun mode kegagalan setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Mode Kegagalan: (a) *debonding*, (b) *debonding* + DFG, (c) *debonding* dan retakan makro

Verre (2021) melakukan penelitian terkait pengaruh kondisi lingkungan yang berbeda pada fenomena *debonding* pada FRP terhadap sambungan matriks beton dilakukan untuk memahami kapasitas rekat melalui uji geser langsung *single-lap* pada sambungan *Fiber Reinforced Cementitious Matrix* (FRCM) terhadap beton di bawah lingkungan basa (*alkaline treatment*) dan air panas. Banyak faktor yang berpengaruh antara serat tunggal dan matriks, diantaranya adalah ikatan antara serat eksternal dan internal, distribusi tegangan yang tidak seragam pada keliling serat, dan pengaturan pada arah serat. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah penampang persegi panjang dengan ukuran 200 mm x 150 mm x 400 mm. Sebelum menerapkan sistem perkuatan, permukaan benda uji dibasahi dengan lembaran kapas.

Teknik yang digunakan dalam penerapan *strip* komposit disusun menjadi tiga langkah. Langkah pertama, terdiri dari pemasangan pita perekat panel papan polistiren pada permukaan beton dengan ketebalan 3 mm. Bentuk dengan panjang dan lebar 260 mm (panjang *bonded* 1) dan 50 mm (lebar) dipotong dari panel papan untuk menampung *strip* komposit (**Gambar 4a**). Kemudian, mortar (disebut lapisan dalam) diaplikasikan dengan cetakan dengan tekanan ringan untuk merekatkan mortar ke substrat beton (**Gambar 4b**). Pada langkah kedua, serat ditempatkan pada lapisan dalam dan diperpanjang melewati bagian atas panel papan (**Gambar 4c**). Terakhir, pada langkah ketiga, operasi yang sama seperti pada langkah 1 diulangi (**Gambar 4d**). Penelitian ini juga mencakup *strip* komposit yang dilengkapi dengan dua lapis serat. Untuk membuat lapisan kedua,

perlu dilakukan langkah kedua dan ketiga. Dalam semua penerapan *strip* komposit, area pengikatan dimulai pada jarak 20 mm dari tepi permukaan atas prisma beton. Empat permukaan untuk setiap prisma beton digunakan, karena sambungan beton dicor secara vertikal dari permukaan atas. Bagian atas benda uji diratakan dengan sekop dan kemudian dibuat rata. *Curing* spesimen dilakukan pada suhu 20°C.



Gambar 4. Spesimen benda uji yang diperkuat dengan 1 lapisan: (a) pengaplikasian panel papan, (b) pengaplikasian lapisan dalam, (c) pengaplikasian serat (d) pengaplikasian lapisan luar.

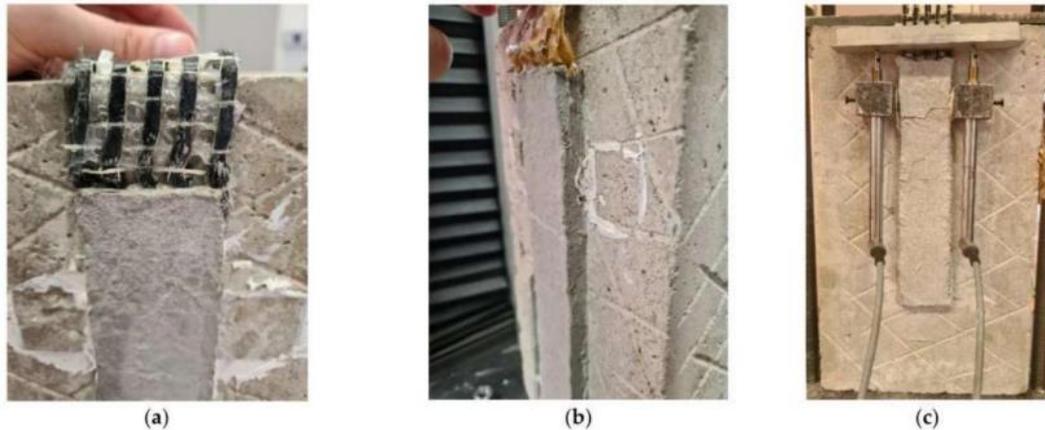
Setelah 28 hari perawatan pasca pengkondisian diperiksa secara visual dengan kaca pembesar 5x. Spesimen tidak menunjukkan adanya kerusakan. Pada permukaan luar matriks dan serat kering yang terletak di luar daerah ikatan muncul kemekaran yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Visual pada spesimen DS-PBO-AK-1L-2

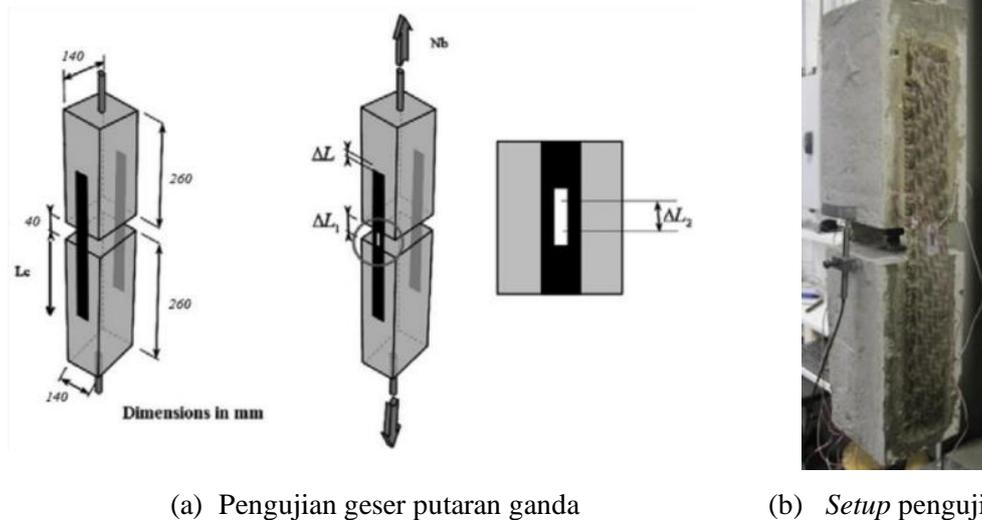
Mode kegagalan serupa sehubungan dengan benda uji tanpa perlakuan, dimana *slip* substansial dari serat antarmuka mortar-serat tidak tergantung pada jenis perlakuan. **Gambar 6** menunjukkan *slip* pada ujung benda uji yang

dibebani, khususnya untuk benda uji yang diperkuat masing-masing dengan 1L (**Gambar 6a**) dan 2L (**Gambar 6b**). Hanya satu benda uji yang dilengkapi dengan dua lapisan serat yang menunjukkan serangkaian retakan pada matriks eksternal selama pengujian. Berdasarkan hasil pengujian, tidak menunjukkan kerusakan akibat *alkaline treatment* dan retakan mungkin disebabkan oleh tidak seajarnya serat pada saat pembebanan dilakukan (**Gambar 6c**).



Gambar 6. Mode Kegagalan diamati pada: (a) DS-C-HW-1L-1000h-2, (b) DS-PBO-HW-2L-3000h-3, dan (c) DS-C-AK-2L-1000h-1

Hallonet et al (2016) melakukan penelitian tentang perilaku lekatan FRP yang dilekatkan secara adhesif pada beton. Pada penelitian ini menggunakan serat alami rami dan kaca sebagai bahan penyusun FRP dan dilakukan uji mekanis dengan pembebanan geser ganda pada spesimen benda uji balok yang diperkuat FRP rami dan kaca dengan konfigurasi yang berbeda. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 balok beton dengan ukuran 25 cm x 14 cm x 14 cm. Komposit serat yang direkatkan secara simetris pada 2 permukaan balok yang berlawanan memiliki panjang lekatan 200 mm pada setiap spesimen. Sketsa pengujian geser putaran ganda benda uji dan *setup* pengujian dapat dilihat pada **Gambar 7**.



(a) Pengujian geser putaran ganda

(b) *Setup* pengujian**Gambar 7.** Pengujian Geser Putaran Ganda

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel yang diperkuat dengan serat rami dan kaca memiliki kekuatan geser rata-rata sebesar 1,22 MPa dan regangan rata-rata pada saat kegagalan 1,3%. Disamping itu, mode kegagalan yang terjadi adalah pecahnya komposit serat dan juga terjadi kegagalan antar permukaan beton dan lembaran komposit FRP. Mode kegagalan yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 8**.

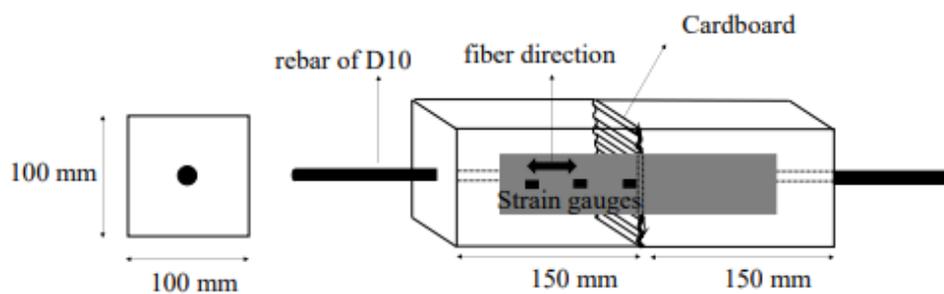
(a) Kegagalan beton yang diikuti dengan kegagalan *interface*

(b) Kegagalan beton yang diikuti dengan kegagalan komposit

Gambar 8. Mode Kegagalan

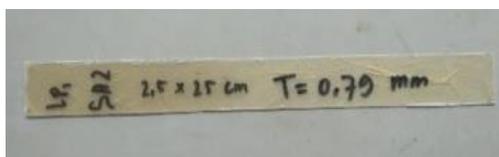
Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Saidi et al (2020) tentang kekuatan lekatan antara beton dan *Natural Fiber Reinforced Polymer* (NFRP) dimana serat abaca sebagai bahan penyusun FRP alami. Pada penelitian ini menggunakan benda uji berupa balok dengan luas penampang 300 mm x 100 mm x 100 mm. Tulangan tunggal yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tulangan

dengan diameter 10 mm. Benda uji yang digunakan merupakan dua balok yang kemudian akan direkatkan secara eksternal dengan menggunakan variasi susunan serat abaca, panjang lekatan, dan ketebalan yang berbeda yang akan diaplikasikan pada spesimen benda uji. Pada benda uji juga terdapat retakan buatan yang dibuat dengan mengaplikasikan karton di antara beton. Spesimen benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 9**. *Strain gauge* ditempel pada lembaran perkuatan komposit serat abaca setiap 50 mm dari retakan buatan dan pada tulangan. Sebanyak 6 spesimen diuji untuk mengevaluasi pengaruh panjang lekatan, ketebalan komposit serat *abaca*, dan susunan serat *abaca* terhadap kekuatan ikatan serat *abaca*.

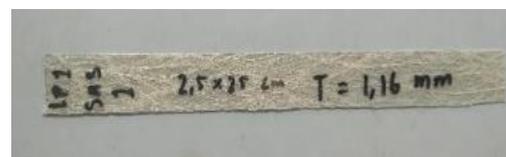


Gambar 9. Spesimen Benda Uji

Adapun salah satu variasi yang menjadi variasi pada penelitian ini adalah jenis susunan serat *abaca*. Jenis susunan serat abaca yang digunakan sebanyak 2 jenis, yaitu serat abaca yang disusun secara acak dan serat abaca yang disusun searah (ke arah yang sama). Jenis susunan serat *abaca* yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 10**.



(a) Spesimen SAA (acak)



(b) Spesimen SAS (searah)

Gambar 10. Jenis susunan serat abaca

Pada penelitian ini, pengujian yang dilakukan dengan memberikan beban tarik pada balok sampai benda uji mencapai keruntuhannya, *setup* pengujian benda uji dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Setup pengujian

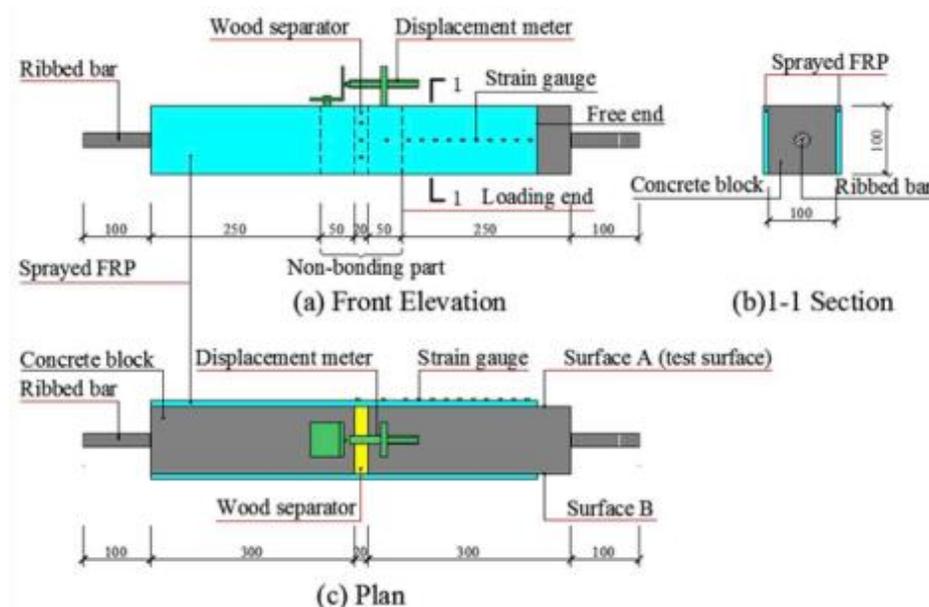
Hasil pengujian beban maksimum dan kekuatan lekatan lembaran komposit serat abaca secara keseluruhan hampir sama dan juga kekuatan lekatan yang dihasilkan hampir sama. Adhesif dan resin yang digunakan pada komposit laminasi mempengaruhi kekuatan FRP alami. Pada penelitian ini, penggunaan *polyester* pada komposit matriks mengakibatkan material komposit menjadi rapuh sehingga lebih mudah patah. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa kekuatan lekatan menurun seiring dengan panjang lekatan yang lebih panjang, karena beban maksimum yang dihasilkan hampir konstan untuk panjang lekatan yang berbeda. Beban maksimum untuk variasi panjang lekatan adalah sekitar 4 ton-force (tf), dimana panjang lekatan efektif diperlukan untuk menghitung kekuatan lekatan. Distribusi regangan untuk setiap spesimen memiliki perilaku yang sama dan nilai regangan yang dihasilkan semakin turun seiring dengan semakin jauh dari lokasi retakan buatan. Selain itu, perilaku pembebanan dan regangan pada variasi susunan dan ketebalan lembaran komposit serat abaca memiliki perubahan kekakuan pada saat beban mencapai 0,5 ton-force (tf). Hal ini menunjukkan bahwa susunan dan ketebalan lembaran komposit serat abaca akan berpengaruh terhadap kekakuan komposit serat abaca.

Yang et al (2019) melakukan penelitian tentang sifat mekanik ikatan antarmuka antara bahan FRP yang disemprotkan dan substrat beton. Pada penelitian ini akan mempelajari mode kegagalan, beban dan deformasi, kekuatan geser dan deformasi, distribusi regangan dan tegangan. Selain itu, ada 3 faktor utama yang menjadi titik fokus penelitian ini yaitu rasio volume serat, ketebalan

FRP yang disemprotkan, dan panjang ikatan. Adapun hasil dari penelitian ini diantaranya adalah:

1. Rasio volume serat tidak memiliki pengaruh yang jelas pada sifat ikatan antarmuka FRP yang disemprotkan dan substrat beton. Peningkatan rasio volume serat tidak dapat menyebabkan peningkatan yang sesuai dari kapasitas dukung geser, kapasitas deformasi dan kekakuan geser awal dari antarmuka ikatan.
2. Ketebalan FRP yang disemprotkan dapat mempengaruhi sifat ikatan antarmuka secara signifikan. Meningkatkan ketebalan FRP yang disemprotkan dapat meningkatkan kapasitas dukung geser antarmuka ikatan secara signifikan, tetapi menurunkan kapasitas deformasi geser, sementara tidak berpengaruh pada kekakuan geser awal.
3. Panjang ikatan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap sifat ikatan. Meningkatkan panjang ikatan dapat meningkatkan kapasitas geser antarmuka secara signifikan. Kapasitas deformasi geser dapat ditingkatkan dengan bertambahnya panjang lekatan, ketika panjangnya kurang dari panjang *bonding* efektif maksimum. Namun, panjang ikatan juga tidak dapat mempengaruhi kekakuan geser awal

Adapun rincian spesimen uji geser ganda dan mode kegagalan yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.



Gambar 12. Spesimen uji geser ganda



Gambar 13. Mode kegagalan

2.2 Beton

Menurut SNI 2847:2019, beton (*concrete*) adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*).

Menurut Mulyono (2018) berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 6 jenis, yaitu:

1. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran *shale*, lempung, *slates*, residu *slag*, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar 1900 kg/m atau berdasarkan kepentingan penggunaan strukturnya berkisar antara 1440–1850 kg/m³, dengan kekuatan tekan umur 28 hari lebih besar dari 17,2 Mpa.

2. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara 2200 kg/m³ – 2400 kg/m³ dengan kuat tekan sekitar 15 – 40 Mpa.

3. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m. Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

4. Beton massa (*mass concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

5. *Ferro-Cement*

Ferro-Cement adalah suatu bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan yang berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktil pada mortar semen.

6. Beton serat (*fibre concrete*)

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

Umumnya, ada tiga komponen campuran beton, yaitu bahan mengikat seperti semen atau kapur, agregat dan air. Air dan semen berperan sebagai perekat yang mengisi kekosongan agregat halus dan mengikat agregat kasar dan halus. Beton dapat di tambah dengan satu atau lebih admixture sebagai komponen keempat untuk mencapai tujuan atau sifat tertentu.

2.3 Komposisi Beton

2.3.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah suatu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150, Semen *Portland* didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (Mulyono, 2018).

Semen *Portland* merupakan semen yang umumnya digunakan untuk pekerjaan beton. Semen *Portland* dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang

komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenis yang dihasilkan sekitar antara 3,12 dan 3,16 dan berat volume sekitar 1500 kg/cm^3 (Nawi, 1998). Bahan utama pembentuk semen *Portland* yaitu kapur (CaO), Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), dan ditambah sedikit presentase dari Magnesia (MgO), dan terkadang sedikit alkali, serta untuk mengontrol komposisinya terkadang ditambahkan oxide besi. Untuk mengatur waktu ikat semen ditambahkan gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Pada proses pembuatan semen *portland* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a) Proses basah
- b) Proses kering

Secara umum, pembuatan semen dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu: penambahan di *Quarry*, pemecahan di *crushing plant*, penggilingan (*blending*), pencampuran bahan-bahan (*blended*), pembakaran (*clin*), penggilingan kembali hasil pembakaran, penambahan bahan tambah (*gypsum*), pengikatan (*packing plant*).

Perbedaan semen yang satu dengan yang lainnya dibedakan dari susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan utama bahan-bahan penyusun Semen *Portland* adalah kapur (CaO) sekitar 60%-65%, Silika (SiO_2) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe_2O_3 dan Al_2O_3) sekitar 7%-12%. Adapun sifat fisik dari semen yaitu, kehalusan butir, waktu pengikatan, kekekalan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi, dan hilang pijar. Secara garis besar, sifat dan karakteristik kimia ada 4 (empat) utama senyawa kimia yang penting sebagai penyusun semen *portland*, yaitu:

- (1) Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_3S ,
- (2) Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat menjadi C_2S ,
- (3) Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_3A ,
- (4) Tetrakalsium Aluminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat menjadi C_4AF).

2.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). Agregat kasar juga dapat didefinisikan sebagai kerikil, kerikil hancur, atau batu hancur, atau campuran ini, biasanya berkisar dari 4.76 mm sampai 150 mm. Agregat kasar juga harus terdiri dari keras, padat, tahan lama, dan tidak dilapisi fragmen batuan yang merusak. Batu yang sangat rapuh atau yang cenderung menurunkan kekuatan selama pengolahan, pengangkutan, atau dalam penyimpanan harus dihindari. Selanjutnya, batu yang memiliki penyerapan lebih besar dari 3 persen atau berat jenis kurang dari 2,5 dianggap tidak cocok untuk beton massa (Mulyono 2018).

2.3.3 Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat halus memiliki kehalusan antara 2 mm – 5 mm, dengan ukuran butir maksimum adalah 4,75 mm (No. 4). Agregat halus harus terdiri dari keras, padat, tahan lama, dan dilapisi un-fragmen batuan, dan harus tidak mengandung bahan berbahaya dari tanah liat, lumpur, debu, mika, bahan organik atau kotoran lainnya sedemikian rupa yang akan mempengaruhi sifat-sifat yang tidak diinginkan dari beton. Gradasi Agregat Normal menurut SNI 03-2834-2000, syarat-syarat untuk agregat halus, dimana syarat ini merupakan adaptasi dari *British Standard* di Inggris, yang mengelompokkan agregat halus dalam empat zone (daerah), yaitu:

1. Daerah Gradasi I, Pasir Kasar
2. Daerah Gradasi II, Pasir Agak Kasar
3. Daerah Gradasi III, Pasir Halus
4. Daerah Gradasi IV, Pasir Agak Halus.

2.3.4 Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran

agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. SNI 2847: 2019 menjelaskan bahwa air untuk pembuatan beton minimal memenuhi syarat sebagai air minum yang tawar, tidak berbau, dan tidak mengandung bahan-bahan organik lainnya yang dapat merusak beton atau tulangnya. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercampur garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menyebabkan penurunan kualitas beton yang dihasilkan dan juga akan mengubah sifat-sifat beton yang dibuat. Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang di tinjau, tetapi hanya perbandingan antara air dengan semen saja atau biasa di sebut faktor air semen (*water cement ratio*).

2.4 Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan material yang terbuat dari susunan serat (*fiber*) material sintesis seperti *glass*, *aramid*, dan *carbon* yang disatukan oleh zat matrik, seperti *epoxy* atau *polyester*. Penggunaan FRP dalam dunia ketekniksipil terdiri dari 2 bagian, pertama untuk perbaikan dan perkuatan struktur dan kedua untuk pembuatan konstruksi baru yang sepenuhnya menggunakan FRP ataupun komposit dengan beton. Karakteristik dari material komposit sangat dipengaruhi oleh kekuatan beton dan pengekuatnya. Perbandingan antara kekuatan beton dan serat merupakan faktor yang sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan.

Penggunaan FRP dalam perbaikan dan perkuatan struktur biasanya diaplikasikan pada balok, pelat, jembatan, dan kolom. Adapun keuntungan menggunakan FRP sebagai bahan perkuatan struktur antara lain:

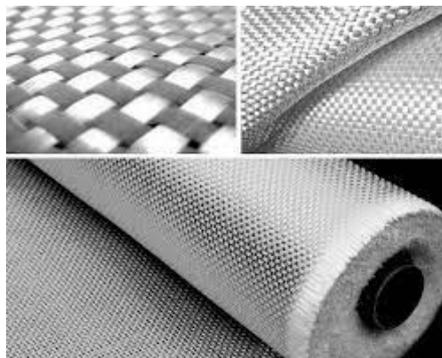
1. Teknik yang digunakan dalam pemasangan FRP tidak mengganggu elemen struktur yang lain.
2. Meningkatkan kapasitas struktur dengan penambahan berat struktur sendiri yang minimum.
3. Teknik pemasangan yang dilakukan relatif cepat sehingga dapat meminimalkan waktu pekerjaan.

4. Material FRP lebih tipis dan lebih ringan daripada menggunakan perkuatan dari baja.

Namun, FRP juga memiliki beberapa kelemahan-kelemahan dalam penggunaannya, diantaranya adalah kurang tahan terhadap suhu tinggi. Dengan suhu sekitar 70°C bahan perekat *epoxy* resin akan berubah dari kondisi keras menjadi lunak, bersifat plastis sehingga daya lekatnya akan menurun. Karakteristik mekanis material komposit sangat dipengaruhi oleh kekuatan beton dan pengekuatannya. perbandingan antara kekuatan beton dan serat merupakan faktor yang sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan.

Lembaran FRP merupakan salah satu material yang sangat laku di pasaran. Sebagai perkuatan, lembaran FRP dapat direkatkan pada sisi balok. *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) terbagi atas tiga jenis yaitu *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), *Aramid Fiber Reinforced Polymer* (AFRP), dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), tetapi yang paling berkembang saat ini adalah GFRP karena harganya yang lebih murah dan penggunaannya cukup luas (William, 2014).

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah material komposit yang terdiri dari serat kaca (*fiber glass*) yang disatukan zat matrik, seperti *epoxy* dan *polyester*, dimana serat kaca (*fiber glass*) memiliki bahan yang ringan dan sangat kuat. 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 dibanding FRP dengan bahan lain (William, 2014).



Gambar 14. *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP)

Meskipun kekuatan dan kekakuan yang dimiliki serat kaca sedikit lebih rendah dari serat karbon, serta bahan serat kaca juga dinilai lebih rapuh. Secara umum, serat kaca atau *fiberglass* sering digunakan di perahu, mobil, bak air panas, tangki air, dan pipa (Sanjay dan Yogesha, 2017).

Beberapa jenis serat kaca yang tersedia di pasaran adalah:

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

Adapun spesifikasi GFRP dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi GFRP *Type SEH51* dalam *dry sheet*

Karakteristik Material Serat Lepas	
Sifat-sifat	Nilai Test
Kekuatan tarik	3240 N/mm ²
Modulus Young's	72400N/mm ²
Regangan (<i>Elongation</i>)	4.5%
Kerapatan	2.55 g/cm ³
Berat per luasan	915 g/m ³
Tebal Serat	0.36 mm

Sumber: Fyfo.Co.LLC

Pada **Tabel 2** menunjukkan spesifikasi lembaran komposit GFRP tipe SEH51. Tebal lembaran GRFP yang digunakan yaitu 1.3 mm. GFRP memiliki nilai kuat tarik *ultimate* yang berbeda berdasarkan arah serat dimana pada arah serat utama, nilai kuat tarik GFRP sebesar 460 MPa sedangkan pada arah tegak

lurus utama serat (90 terhadap arah utama serat, nilai kuat tariknya hanya sebesar 20.7 Mpa).

Tabel 2. Spesifikasi GFRP *Type* SEH51 dalam bentuk komposit

Sifat Lapisan Komposit (GFRP + <i>Epoxy</i>)			
Uraian	Metode ASTM	Nilai Test	Nilai desain
Tegangan Tarik <i>ultimate</i>	D-3039	575 MPa	460 MPa
Regangan (<i>elongation</i>)	D-3039	2.20%	2.20%
Modulus Young's	D-3039	26100 N/mm ²	20900 N/mm ²
Kekuatan Tarik ultimit 90°	D-3039	25.8 Mpa	20.7 MPa
Tebal Lapisan serat		1.3 mm	1.3 mm

Sumber: Fyfo.Co.LLC

2.5 *Abaca Fiber Reinforced Polymer (AbFRP)*

Abaca (Musa Textilis) juga dikenal sebagai rami manila, termasuk dalam famili *Musaceae* (tanaman pisang) yang berasal dari Filipina yang telah dikenal dan dikembangkan sejak tahun 1519. Tanaman pisang abaca dikategorikan sebagai pisang jantan (tidak berbuah). Produksi utama budidaya pisang ini berupa serat yang terkenal dalam perdagangan internasional sebagai serat berkualitas tinggi karena serat pisang abaca tahan terhadap air asin dan banyak digunakan sebagai pembungkus kabel atau tali bawah air di kapal. Namun akhir-akhir ini serat abaca juga banyak digunakan untuk bahan baku pulp kertas berkualitas tinggi seperti kertas uang, cek, kertas saring, dan kertas pembungkus (Armecin dan Coseco, 2012).



Gambar 15. Serat abaca

Menurut Vijayalakshmi et al (2014), serat abaca adalah serat unggul dengan kekuatan tarik dan lipat yang tinggi, daya apung, porositas tinggi, ketahanan

terhadap kerusakan air asin, dan panjang serat hingga 3 m. Sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Barba (2020), menurutnya serat abaca adalah salah satu serat yang terkuat dari semua serat alami dan berpotensi untuk menjadi sumber serat terbarukan untuk aplikasi industri karena kekuatan mekaniknya yang tinggi, daya tahan, fleksibilitas, daya apung, dan panjang serat yang panjang. Adapun ciri-ciri dari serat *abaca* adalah halus, berkilau, berwarna krem muda dan sangat kuat. Pada **Tabel 3** menunjukkan perbandingan sifat fisik serat abaca dengan serat alam lainnya.

Tabel 3. Perbandingan Sifat Fisik Serat Alami

Sifat Fisik	Abaca	Rami	Goni	Sisal	Linen	Kapas
Kepadatan (g/cm ³)	1.5	1.48	1.46	1.33	1.4	1.54
Panjang (cm)	200-400	100-200	300-350	100	Hingga 90	1-6.5
Diameter (mikron)	150-260	16-50	60-110	100-300	12-60	11-22
Kekuatan Tarik (N/m ²)	980	550-900	400-800	600-700	800	400
Regangan/ <i>elongation</i> (%)	1.1	1.6	1.8	4.3	2.7-3.5	3-10
<i>Moisture Regain</i> (%)	5.81	12	13.75	11	10-12	8.5
Modulus Young (GPa)	41	30-60	20-25	17-22	50-70	6-10

Sumber: Vijayalakshmi et al, 2014

Ditinjau dari komposisi kimianya, serat abaca memiliki kandungan 60% selulosa, 21% hemiselulosa, lignin 12-16%, dan pektin 1%, dimana selulosa merupakan komponen penting untuk kekuatan dan stabilitas sel serat yang menjadikan serat abaca memiliki kuat tarik yang tinggi. Serat abaca memiliki kepadatan 1.5 g/cm³, kekuatan tarik 980 MPa, dan modulus elastisitas 41 GPa (Barba et al, 2020). Serat abaca juga memiliki kekuatan lentur spesifiknya sebanding dengan serat kaca dan memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dari nilon dan rayon. Dalam beberapa tahun terakhir, sifat mekanik spesifik serat abaca telah membuat serat abaca menjadi bahan yang menarik untuk dijadikan sebagai penguatan polimer.

Seperti serat alam lainnya, serat abaca perlu diberi perlakuan sebelum digunakan sebagai material penguat komposit untuk meningkatkan kemampuan adhesi antarmuka (*interfacial adhesion*) dan kemampuan menyerap uap air. Perlakuan yang umum diberikan pada serat alami adalah *alkali treatment*. *Alkali treatment* ini dapat menghilangkan hemiselulosa, lignin, pektin, lilin, dan minyak

untuk mengekspos selulosa kristal (*crystalline cellulose*). Hal ini dilakukan agar dapat mengurangi kemampuan serat untuk menyerap kelembapan dan dapat meningkatkan sifat tarik. Pada umumnya, alkali (NaOH) digunakan sebagai medium perlakuan serat alam.

2.6 Epoxy Resin

Epoxy resin adalah larutan yang digunakan untuk merekatkan serat pada beton atau objek yang ingin diperkuat. Campuran *epoxy resin* terdiri dari bahan padat dan cair yang saling larut. Campuran dengan *epoxy resin* yang lain dapat digunakan untuk mencapai kinerja tertentu dengan sifat yang diinginkan. *Epoxy resin* yang paling banyak digunakan adalah *Bisphenol A Eter Diglisidil*.

Epoxy resin dikeringkan dengan menambahkan anhidrida atau pengeras amina. Setiap pengeras menghasilkan profil larutan yang berbeda dan sifat yang diinginkan untuk produk jadinya. Kecepatan pengeringan dapat dikendalikan melalui seleksi yang tepat dari pengeras atau katalis untuk memenuhi persyaratan proses. Kelemahan *epoxy resin* adalah biaya yang relatif mahal dan proses pengeringan yang relatif lama. Material *epoxy resin* ini membutuhkan waktu pengeringan selama 72 jam.

Adapun keuntungan *epoxy resin* sebagai berikut:

- a. Berbagai sifat mekanis memungkinkan pilihan yang lebih banyak
- b. Tidak ada penguapan selama proses pengeringan
- c. Rendahnya penyusutan selama proses pengeringan
- d. Ketahanan yang baik terhadap bahan kimia

Pada penelitian ini menggunakan 2 tipe *epoxy*, dimana tipe *epoxy* tersebut memiliki sifat mekanik yang berbeda. Sifat mekanik yang dimaksud mencakup densitas (kg/dm^3), kuat tarik (MPa), modulus elastisitas (GPa), dan *elongation* (%). Karakteristik material *epoxy* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Karakteristik Material *Epoxy*

Resin	Densitas (kg/dm^3)	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	<i>Elongation</i> (%)
<i>Epoxy A</i>	2.62	2560	80.7	3 hingga 4
<i>Epoxy B</i>	1.1	62	2.6	4

2.7 Alkali Treatment

Sifat adhesi antarmuka yang rendah antara serat dan matriks polimer sering mengurangi potensinya sebagai bahan penguat karena sifat hidrofilik dari serat alami, sehingga dengan memberikan perlakuan zat kimia dianggap dapat mengoptimalkan antarmuka serat (Ramadevi et al, 2012). Perlakuan alkali pada serat alami dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan dari komposit dapat menunjukkan peningkatan kekuatan ikatan antarmuka dan adhesi antara matriks dan serat (Aziz dan Ansell 2004, Baley et al 2006, dan Stocchi et al 2007). Menurut Ramadevi et al (2012), di antara metode dalam meningkatkan sifat perekat alami, perlakuan alkali dapat dianggap sebagai metode paling ekonomis dan kerugian utamanya adalah penurunan kekuatan serat selama diberikan perlakuan.

Perlakuan alkali atau merserisasi adalah salah satu perlakuan kimia pada serat alami yang paling banyak digunakan memperkuat termoplastik dan thermoset. Faktor penting yang dilakukan dengan perlakuan alkali adalah terganggunya ikatan hidrogen pada struktur jaringan, sehingga dapat meningkatkan kekasaran permukaan. Perlakuan ini dapat menghilangkan sejumlah lignin, lilin, dan minyak yang menutupi permukaan luar dinding sel serat.

2.8 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan perbandingan antara beban maksimum dengan luas penampang bentuk silinder yang satuannya N/mm². Pengujian kuat tekan pada beton dipengaruhi oleh agregat kasar, agregat halus, semen, air, dan campuran lainnya. Untuk menghitung kuat tekan pada beton menggunakan persamaan 1 sesuai dengan SNI 1974:2011.

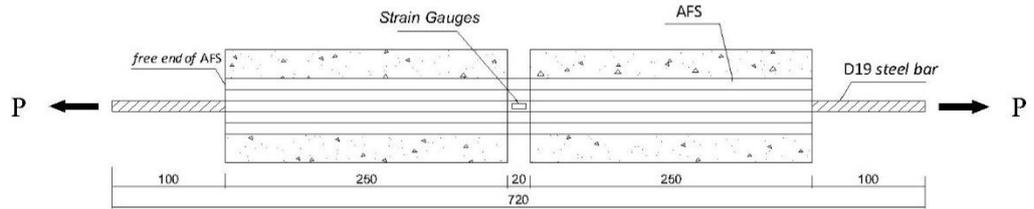
$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
- P = Gaya tekan aksial (N)
- A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

2.9 Kuat Lekatan FRP terhadap Beton

Diab & Farghal (2014) menyebutkan bahwa kapasitas lekatan antara FRP dan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: sifat mekanik dan fisik beton, ketebalan dan kekakuan FRP, ketebalan perekat, dan panjang lekatan.



Gambar 16. Setup Pengujian

Kuat lekatan antara lembaran FRP dan beton yang diuji dengan metode uji lekatan tipe *double-lap* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Wang dan Wu, 2017):

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2,25 - \frac{b_f}{b}}{1,25 + \frac{b_f}{b}}} \dots\dots\dots (2)$$

$$G_f = 0,55 \times \beta_w^2 \times \left(\frac{f_a^2}{2E_a}\right)^{0,42} \times \sqrt{0,53 \times \sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots (3)$$

$$P_u = \sqrt{G_f \times 2b_f^2 \times t_f \times E_f} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- P_u : kuat lekatan (N)
- E_f : modulus elastisitas FRP (N/mm²)
- E_a : modulus elastisitas perekat (GPa)
- f_a : kuat tarik epoxy (MPa)
- t_f : tebal lembaran FRP (mm)
- b_f : lebar lembaran FRP (mm)
- f'_c : kuat tekan beton (N/mm²)
- b : lebar balok (mm)
- β_w : Koefisien lebar serat terhadap beton
- G_f : Energi fraktur antarmuka (MPa)

Rasio perbandingan lebar lembaran FRP dan lebar balok (b_f/b) dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat lekatan akibat perpindahan

gaya dari FRP ke beton. Sedangkan b_f yang lebih kecil dibandingkan b akan menghasilkan tegangan geser yang lebih tinggi yang disebabkan oleh kontribusi beton di luar area lekatan (Chen J.F. & Teng J. G., 2001).

Hallonet et al (2016) dalam penelitiannya melakukan perhitungan pada beban runtuh (F) diukur dan tegangan geser antarmuka rata-rata keseluruhan (τ_{ave}) dihitung sebagai rasio antara gaya yang diberikan dengan luas ikatan (A_{adh}), seperti pada persamaan berikut:

$$\tau_{ave} = \frac{F}{2.A_{adh}} \dots\dots\dots (5)$$

τ_{ave} : tegangan geser antarmuka rata-rata keseluruhan (MPa)

F : beban runtuh (N)

A_{adh} : luas ikatan (mm²)

2.10 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Lekatan FRP terhadap Beton

Menurut Chen (2013), ada beberapa faktor yang dianggap sangat berpotensi mempengaruhi lekatan antara FRP dan beton, dimana faktor tersebut dapat diklasifikasikan menjadi 5 kategori, diantaranya adalah:

1. Faktor geometri

a. Diskontinuitas geometri

Diskontinuitas geometri menyebabkan konsentrasi tegangan sekitar detail tegangan meningkat, misalnya, tegangan adhesi dan pengelupasan yang terjadi antara FRP yang terikat dan substrat dalam bahan yang berbeda akan sangat terlokalisasi di ujung serat atau retakan pada substrat beton (Cadei et al, 2003).

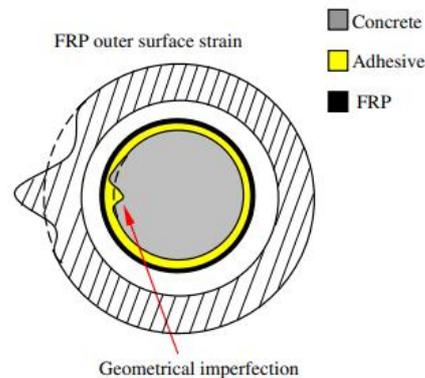
b. Daerah tumpang tindih FRP

Regangan FRP diukur dalam daerah tumpang tindih FRP biasanya jauh lebih rendah daripada tempat lain.

c. Ketidaksempurnaan geometri

Pada benda uji biasanya terdapat kecacatan atau tidak sempurna baik ketidaksempurnaan maupun dalam hal cacat permukaan. Jika ketidaksempurnaan yang ada pada benda uji besar maka dapat menyebabkan

perubahan kelengkungan terlokalisasi yang signifikan dan dapat menyebabkan pembengkokan FRP yang terlokalisasi dan oleh karena itu regangan tarik lokal yang besar, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 17**.



Gambar 17. *Effect of geometrical imperfection*

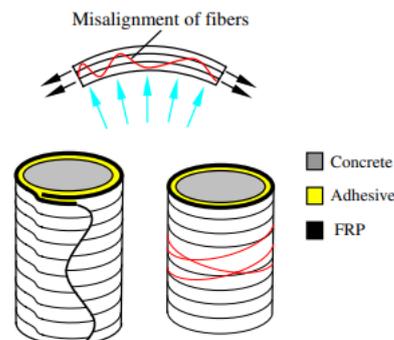
2. Faktor material FRP

a. Orientasi serat

Komposit FRP yang diaplikasikan pada pembungkus kolom biasanya bersifat *unidirectional* sehingga materialnya bersifat ortotropis dan sifat-sifatnya sangat sensitif terhadap orientasi serat.

b. Ketidaksejajaran dan teggangan serat yang tidak merata

Misalignment dan tegangan serat yang tidak merata pada *system wet lay up*, jika serat tidak disejajarkan dengan benar sehingga beberapa serat melengkung dengan kelengkungan lokal yang berbeda pada saat diaplikasikan di kolom seperti yang terlihat pada **Gambar 18** kekuatan FRP berkurang karena seratnya tidak ditekan secara seragam bahkan jika yang lainnya bersifat aksisimetris.



Gambar 18. *Misalignment of fibers*

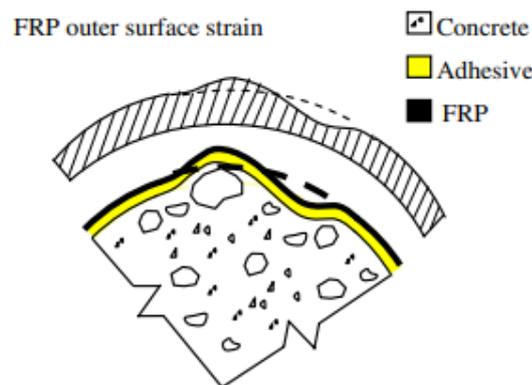
c. Kerusakan serat

Setiap kerusakan pada serat selama pemasangan jelas dapat mengurangi kekuatan *ultimate* dari FRP. Efek ketidaksejajaran serat, tegangan yang tidak merata, dan kerusakan pada serat dapat diminimalkan dengan desain yang tepat dan penerapan FRP yang cermat.

3. Faktor material beton

a. Deformasi yang tidak merata pada beton

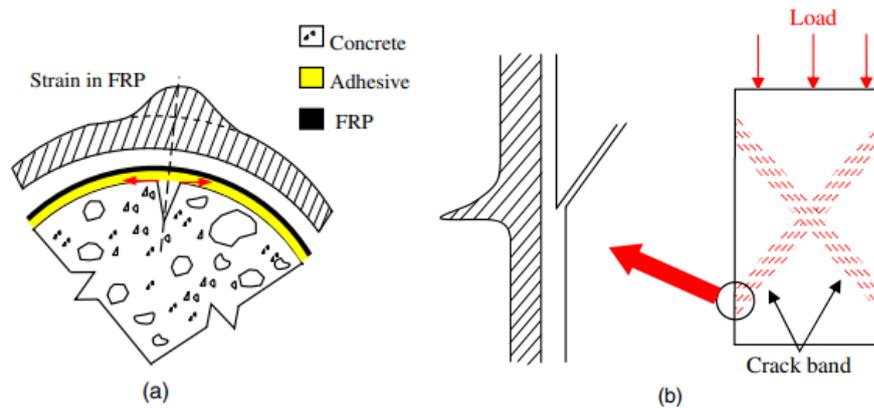
Desain dan analisis model mengasumsikan bahwa deformasi beton yang terbungkus FRP di bawah kompresi aksial adalah simetris dan seragam. Walaupun dalam beberapa kasus dimana beton adalah bahan yang heterogen, dimana kekakuan agregat kasar biasanya jauh lebih tinggi daripada pasta semen. Akibatnya, deformasi lokal menjadi tidak seragam bahkan ketika kolom memiliki pembebanan yang aksial dan seragam, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 19**.



Gambar 19. Lokalisasi regangan FRP yang disebabkan oleh deformasi beton yang tidak seragam

b. Lokalisasi regangan pada beton

Pada saat beban mendekati keruntuhan, retakan mulai muncul pada beton yang telah dilapisi FRP seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 20**. Lokalisasi regangan terjadi ketika beton mulai retak karena regangan pada lokasi keretakan meningkat dan membuat keretakan semakin melebar. FRP biasanya direkatkan pada beton, dimana peningkatan regangan lokal diharapkan terjadi pada FRP, yang biasa disertai dengan pelunakan lokal dan *debonding* pada antarmuka FRP dan beton.



Gambar 20. Lokalisasi regangan FRP akibat retak beton: (a) penampang beton yang retak; (b) retak beton akibat pembentukan bidang keruntugan geser (Haskett et al. 2011)

4. Bahan perekat dan faktor geometri

a. Sifat mekanis perekat

Material FRP dilekatkan pada beton dengan menggunakan perekat, dimana sifat perekat dapat mempengaruhi regangan dari FRP. Namun, ada 2 faktor utama yang perlu diperhatikan yaitu: (1) ikatan antara FRP dan beton; dan (2) ikatan antara lapisan FRP di dalam wilayah tumpang tindih.

b. Detail geometri perekat

Dua faktor geometri yang penting untuk diperhatikan dalam perekat, yaitu detail geometri perekat di ujung luar FRP dan ketebalan lapisan perekat. Dalam proses *wet lay up* membentuk FRP dari lembaran serat kering, resin peresapan (yaitu perekat) menjenuhkan serat melalui lembaran untuk membentuk lapisan FRP.

c. Pengikatan tidak seragam dan *debonding* parsial FRP

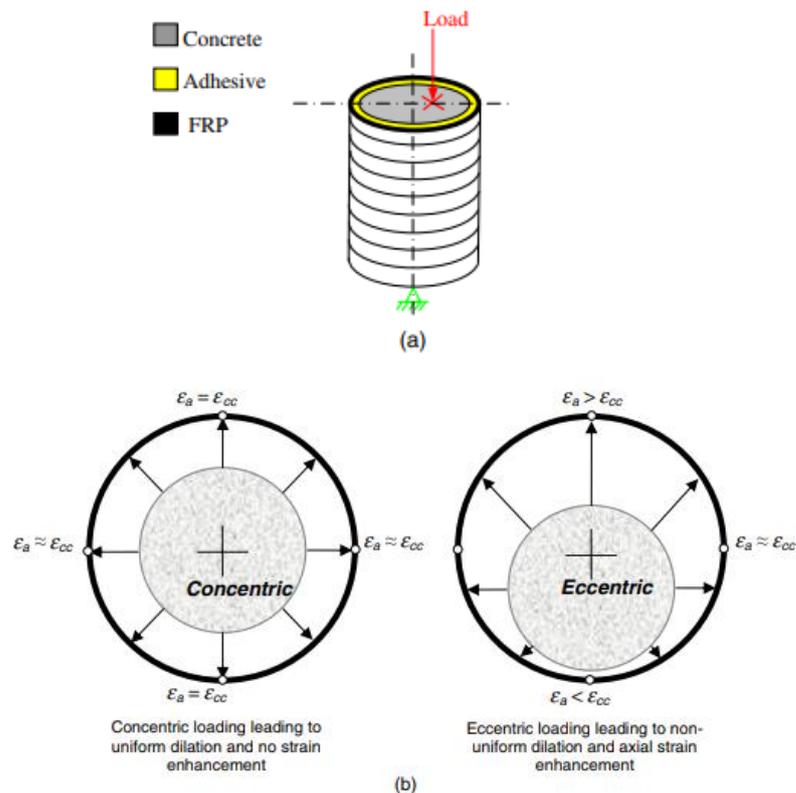
Efek lentur lokal pada bagian depan *debonding* tersebut retak dapat dialami pada FRP. Jika FRP pecah terjadi pada lokasi tersebut, regangan FRP yang diukur di tempat lain saat kegagalan bisa lebih rendah. *Debonding* parsial atau ikatan tidak seragam dari FRP akan memiliki efek yang serupa.

5. Faktor pembebanan

a. Eksentrisitas pembebanan

Benda uji kolom apabila diberikan beban tekan eksentrik sebagai pengganti beban tekan aksial sempurna seperti yang diasumsikan dalam perhitungan desain sederhana. Dalam praktiknya, kolom juga nonaksimetrik karena adanya daerah tumpang tindih FRP meskipun kolom beton dapat dianggap

aksisimetris. Eksentrisitas pemuatan (**Gambar 21(a)**) menyebabkan distribusi regangan yang tidak seragam pada beton dan FRP di sekitar keliling seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 21(b)**.



Gambar 21. Kolom FRP yang diberikan beban tekan aksial eksentrik: (a) diagram skematik beban eksentrik; (b) Distribusi regangan *hoop* FRP dalam FRP untuk kasus kolom yang dibebani secara eksentrik dan kon sentris.

b. Pembebanan tidak seragam

Setiap kontak yang tidak simetris dan tidak seragam pada tumpuan akan menyebabkan distribusi regangan tidak seragam pada FRP yang jauh dari tumpuan, sama dengan efek eksentrisitas pembebanan. Selain itu, kegagalan lokal prematur dapat terjadi di dekat tumpuan karena konsentrasi tegangan, yang mengarah ke regangan yang lebih rendah pada keadaan akhir.

c. Kekangan gesekan pada tumpuan

Untuk spesimen kolom pendek, pengekanan pada kedua ujungnya karena gesekan antara ujung kolom dan pelat beban dapat menyebabkan distribusi regangan yang tidak seragam sepanjang ketinggian. Ada dua efek yang ditimbulkan, pertama, pengekanan ujung dapat meningkatkan kapasitas

pemuatan dibandingkan dengan spesimen yang lebih panjang dan kedua, pengekang menghasilkan regangan yang lebih kecil di sebagian besar bagian kolom.

d. Penekanan karena deformasi termal dan mulur

Penekanan (atau relaksasi) jaket FRP dapat timbul karena faktor-faktor seperti *creep* beton di bawah pembebanan aksial dan deformasi termal yang berbeda antara beton dan FRP.