

TESIS
STUDI KINERJA PERKUATAN GESER BALOK BETON
BERTULANG DENGAN NATURAL FIBER

*Performance Study Of Reinforced Concrette Beams Shear
Strengthend With Natural Fiber*

SYAMSUL FAHRI

D012 211 008



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

TESIS

STUDI KINERJA PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN NATURAL FIBER

SYAMSUL FAHRI
D012211008

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin
pada tanggal 04 Oktober 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, S.T., M.Eng.
NIP. 198702282019031005

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. M. Asad Abdurrahman, ST. MEng.PM
NIP. 197303061998021001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Syamsul Fahri

Nomor Mahasiswa : D012211008

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, Tesis berjudul ”**STUDI PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN NATURAL FIBER**”, adalah karya saya dengan arahan komisi pembimbing (Pembimbing Utama Prof. Dr. Rudy Djamaludin, S.T, M.Eng. dan Pembimbing Pendamping Dr. Eng. Fakhruddin, S.T, M.Eng.) Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari tesis ini telah dipublikasikan di International Conference Prociding dengan ISSN 2541-223X sebagai artikel dengan judul “*Mechanical Properties of Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet as Sustainable Green Strengthening Material.*” ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 25 Oktober 2023

Yang menyatakan,



Syamsul Fahri

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Tesis ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tesis yang berjudul **“Studi Kinerja Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang dengan Natural Fiber”** ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan kepada pembaca dan juga kepada penulis dalam memahami karakter

Penyusunan Tesis ini tidak lepas dari bimbingan, petunjuk, dan perhatian dari dosen pembimbing. Maka dalam kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta **Syafaruddin dan Mardawiah, S.Pd** atas segala doa, kasih sayang dan motivasinya.
2. Saudara Orang tua saya beserta istri **Drs. Rusdi, dan Hj. Hasmawati** atas segala doa, kasih sayang dukungan materil dan motivasinya.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak **Dr. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng.PM** Selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Ibu **Prof. Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, sebagai Ketua Prodi Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku Tim Penilai Satu Seminar Usul, Seminar Hasil, dan Ujian Akhir Magister.

8. Bapak **Prof. Dr. Rudy Djamaluddin, S.T, M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penelitian ini.
9. Bapak **Dr.Eng. Fakhruddin, S.T, M.Eng.**, Sekretaris Mahasiswa Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin selaku dosen pembimbing II dan yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penelitian ini.
10. Bapak **Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, selaku Tim Penilai Dua Seminar Usul, Seminar Hasil, dan Ujian Akhir Magister .
11. Bapak **Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, S.T, M.Eng.**, selaku Tim Penilai ke tiga Seminar Usul, Hasil dan Ujian Akhir Magister.
12. Seluruh Dosen, Staf, dan Karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
13. Seluruh member Rekayasa dan Perkuatan struktur yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian Tesis ini.
14. Saudari **Nur Fitrayana, S.Ak** atas dukungan dan motivasi yang terus diberikan.
15. Rekan-rekan mahasiswa **Teknik Sipil Angkatan 2015** yang tidak bisa disebutkan namanya satu per satu yang senantiasa memberikan bantuan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak kekurangan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Gowa, 25 Oktober 2023

Penulis

ABSTRAK

SYAMSUL FAHRI. *Studi Kinerja Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Dengan Natural Fiber* (Dibimbing oleh **Rudy Djamaluddin**, dan **Fakhruddin**).

Kegagalan yang terjadi pada struktur bangunan dapat menyebabkan perubahan pada fungsi bangunan sehingga terjadi penurunan kekuatan dan kapasitas struktur bangunan, maka dari itu diperlukan metode perbaikan dan perkuatan (*strengthening*). Penggunaan material perkuatan saat ini masih menggunakan material sintetis namun pada penelitian ini menggunakan material alam *Abaca Fiber Sheet* yang berpotensi dapat digunakan sebagai perkuatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku geser serta pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan *Abaca Fiber Sheet* (AFS). Untuk mengetahui karakteristik material AFS maka dilakukan pengujian tarik serat tunggal serat abaca dan pengujian tarik AFS. Abaca diberi perlakuan NaOH 5% untuk meningkatkan kuat tarik dan mengurangi kadar organik pada serat alami. Pengujian geser Balok beton bertulang menggunakan sampel 2300 mm x 150 mm x 300 mm. Hasil pengujian tarik serat tunggal abaca untuk serat tanpa perlakuan *treadment* (NT) tegangan maksimum yang diperoleh sebesar 1162,9 N/mm² dan Modulus Elastisitas mencapai 16428 N/mm² sedangkan serat dengan perlakuan (T) tegangan maksimum yang diperoleh sebesar 2100,1 N/mm² dan Modulus Elastisitas mencapai 17790 N/mm². Hasil penelitian pada uji geser balok beton bertulang menunjukkan penggunaan perkuatan *Abaca Fiber Sheet* (AFS) dapat meningkatkan beban maksimum sebesar 27,3% dari balok kontrol (CB). Beban maksimum yang diperoleh pada AFS sebesar 171,3 MPa dengan kapasitas geser sebesar 85,6 kN, dan lendutan sebesar 14,9 mm dengan regangan pada perkuatan geser AFS mencapai 6555 $\mu\epsilon$. Mode kegagalan balok yang diperkuat dengan AFS hampir sama dengan balok yang di perkuat dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP), retak diawali pada daerah lentur dan menjalar ke titik pembebanan setelah mencapai beban maksimum beton mengalami kehancuran pada sisi tekan dan regangan pada beton SBA mencapai 2483 $\mu\epsilon$. Kinerja perkuatan geser AFS menunjukkan daktilitas yang lebih tinggi dari GFRP dengan peningkatan regangan yang signifikan dengan mode kegagalan pada masing-masing spesimen balok dengan perkuatan AFS dan GFRP mengalami gagal lentur.

Kata kunci : Perkuatan geser, *Abaca Fiber Sheet*, *Glass Fiber Reinforced Polymer*.

ABSTRACT

SYAMSUL FAHRI. *Performance Study Of Reinforced Concrete Beams Shear Strengthened With Natural Fiber* (supervised by **Rudy Djamaluddin**, and **Fakhruddin**)

Failure in the building structure can cause changes in the function of the building which results in a decrease in the strength and capacity of the building structure, therefore of methods strengthen is needed. Strengthen materials currently still use synthetic material, however in this study using natural materials Abaca Fiber Sheet potential as material strengthening. This research aims to analyze the shear behavior as well as crack patterns and failure modes of reinforced concrete beams strengthened with Abaca Fiber Sheet (AFS). To determine the characteristics of AFS material, single fiber tensile testing and AFS tensile testing were conducted. Abaca was treated with 5% NaOH to increase tensile strength and reduce organic content in natural fibers. Shear testing of reinforced concrete beams used samples measuring 2300 mm x 150 mm x 300 mm. Single fiber tensile testing for fibers without treatment (NT) the maximum stress obtained was 1162.9 N/mm² and Modulus of Elasticity reached 16428 N/mm² while fibers with treatment (T) the maximum stress obtained was 2100.1 N/mm² and Modulus of Elasticity reached 17790 N/mm². The results of the shear test of reinforced concrete beams showed that the use of Abaca Fiber Sheet (AFS) strengthen can increase the maximum load by 27.3% of the control beam (CB). The maximum load obtained on AFS was 171.3 MPa with a shear capacity of 85.6 kN, and a deflection of 14.9 mm with a strain on AFS shear strengthen reaching 6555 $\mu\epsilon$. The failure mode of beams strengthened with AFS is almost the same as that of beams strengthened with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), the cracking starts in the bending region and spreads to the loading point after reaching the maximum load the concrete is crushed on the compressive side and the strain in SBA concrete reaches 2483 $\mu\epsilon$. The shear strengthen performance of AFS showed more ductile results than GFRP a significant increase in strain with the failure mode for each beam specimen strengthened with AFS and GFRP is flexural failure.

Keywords : Shear Strengthen, Abaca Fiber Sheet, Glass Fiber Reinforced Polymer.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I <u>PENDAHULUAN</u>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II <u>TINJAUAN PUSTAKA</u>	7
2.1 Beton Bertulang	7
2.2 Mode Kegagalan Pada Balok Beton Bertulang	9
2.3 Kapasitas Geser Beton Bertulang	12
2.4 Perkuatan geser dengan <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	15
2.5 Serat Abaca	20
2.5.1 <i>Abaca Fiber Sheet (AFS)</i>	20
2.5.2 Karakteristik <i>Abaca Fiber Sheet (AFS)</i>	21
BAB III <u>METODOLOGI PENELITIAN</u>	23
3.1 Rancangan Penelitian	23
3.2 Lokasi dan Tempat Penelitian	25
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.3.1 Peralatan Pengujian	25
3.4 Benda Uji	29
3.4.1 Pengujian Karakteristik Abaca Fiber Sheet	29
3.4.2 Perencanaan dimensi penampang benda uji balok	32
3.4.3 Perhitungan Kapasitas Geser Balok	34
3.5 Pengujian Geser	39

BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Karatersitik Material.....	42
4.1.1	Hasil uji tarik tulangan	42
4.1.2	Hasil uji tekan beton	43
4.1.3	Hasil uji serat tunggal <i>Abaca Fiber</i>	44
4.1.4	Hasil pengujian tarik <i>Abaca Fiber Sheet</i> (AFS).....	46
4.2	Hubungan Beban dan Lendutan	48
4.3	Beban Maksimum.....	50
4.4	Hubungan Beban dan Regangan.....	52
4.4.1	Hubungan Beban dan Regangan Balok <i>Abaca Fiber Sheet</i> (AFS) dan Balok <i>Glass Fiber Sheet</i> (SBG).....	52
4.4.2	Hubungan Beban dan Regangan Beton	54
4.5	Pola Retak dan Mode Kegagalan.....	55
4.6	Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimental	60
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Retak lentur (Nawy 2008)	9
Gambar 2. Retak tarik diagonal (Nawy,2008)	10
Gambar 3. Keruntuhan tekan geser (Nawy 2008).....	11
Gambar 4. Diagram Keruntuhan Balok	12
Gambar 5. Perlawanan terhadap geseran	13
Gambar 6. Diagram bidang geser.....	14
Gambar 7. (a) Pisang Abaca, (b) Abaca Fiber	21
Gambar 8 . Diagram alir penelitian.....	24
Gambar 9. LVDT (<i>Linear Variable Displacement Transducer</i>)	25
Gambar 10. <i>Strain gauge</i> dan Perekat	26
Gambar 11. Data Logger TDS 530	27
Gambar 12. UTM (<i>Universal Testing Machine</i>) Kapasitas 1000 kN	27
Gambar 13. UTM (<i>Universal Testing Machine</i>) Kapasitas 10 kN	28
Gambar 14. Statik Monotonik 1000 kN.....	28
Gambar 15. Proses <i>Alkali treathment</i> serat abaca.....	29
Gambar 16. Perendaman serat Abaca menggunakan NaoH 5%.....	29
Gambar 17. Benda uji Pengujian tarik Serat Tunggal Abaca	30
Gambar 18. Proses perubahan serat Abaca menjadi lebaran	30
Gambar 19. Proses pengayaman serat abaca menjadi lembaran dengan teknik manual.....	31
Gambar 20. Pembuatan benda uji AFS menggunakan epoxy	31
Gambar 21. Benda uji Pengujian Tarik AFS	32
Gambar 22. Dimensi benda uji.....	33
Gambar 23. Pemasangan <i>Abaca Fiber Sheet</i> (AFS) pada balok.....	33
Gambar 24. Penampang benda uji sebelum dan setelah dipasang FRP	34
Gambar 25. Ilustrasi penempatan <i>strain gauge</i> pada benda uji	40
Gambar 26. Desain dan <i>set-up</i> benda uji	40
Gambar 27. <i>Set-up</i> benda uji.....	41
Gambar 28. Pengujian kuat tarik Serat Tunggal Abaca.....	44
Gambar 29. Grafik Uji kuat tarik serat tunggal.....	45

Gambar 30. Pengujian tarik <i>Abaca Fiber Sheet</i> (AFS)	47
Gambar 31. Grafik Kuat tarik benda uji AFS	48
Gambar 32. Grafik hubungan beban dan lendutan Balok	49
Gambar 33. Grafik beban maksimum	51
Gambar 34. Grafik hubungan beban dan regangan tulangan tarik SBA dan SBG	52
Gambar 35. Grafik hubungan beban dan regangan tulangan geser Balok	53
Gambar 36. Grafik hubungan beban dan regangan SBA dan SBG	54
Gambar 37. Grafik hubungan beban dan regangan Beton	55
Gambar 38. Retak awal Balok Kontrol (CB)	56
Gambar 39. Retak awal daerah geser	56
Gambar 40. Retak utama pada Balok CB	57
Gambar 41. Retak awal Balok <i>Abaca Fiber Sheet</i> (SBA)	57
Gambar 42. <i>Concrete crushing</i> pada Balok SBA	58
Gambar 43. Perkuatan AFS setelah dilepas setiap 50 mm.....	58
Gambar 44. Retak awal Balok <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> (SBG).....	59
Gambar 45. <i>Concrete crushing</i> pada Balok SBG	59
Gambar 46. Grafik $V_{f(pred)}$ SBA dan SBG	62
Gambar 47. Grafik Perbandingan $V_{f(pred)}$ dan $V_{f(exp)}$	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi GFRP Tyfo SHE-51A dalam bentuk dry sheet	16
Tabel 2. Spesifikasi GFRP Tyfo SEH51-A dalam bentuk komposit.....	16
Tabel 3. Perbandingan sifat fisik serat abaca dengan serat alami lainnya.....	21
Tabel 4. Variasi benda uji pengujian kuat geser	32
Tabel 5. Hasil pengujian tarik tulangan	41
Tabel 6. Hasil uji tekan beton	47
Tabel 7. Hasil uji tarik serat tunggal	44
Tabel 8. Modulus Elastisitas Serat Tunggal Abaca	46
Tabel 9. Hasil uji tarik AFS <i>Untread</i> dan <i>Tread</i>	47
Tabel 10. Rekapitulasi hasil pengujian geser.....	50
Tabel 11. Kontribusi kapasitas geser balok bertulang	51
Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoritis dan Eksperimental.....	60
Tabel 13. Tabel Perbandingan $V_{f(pred)}$ dan $V_{f(exp)}$	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur yang terbuat dari beton bertulang akan kehilangan kekuatan seiring bertambahnya usia beton. Akibatnya termasuk perubahan dalam fungsi bangunan, perubahan dalam standar desain, kualitas pekerjaan yang buruk, dan bencana alam. Secara umum, balok beton bertulang dapat mengalami dua jenis keruntuhan yaitu keruntuhan lentur dan geser. Keruntuhan lentur terjadi secara bertahap sehingga dapat memberikan peringatan sebelum kegagalan terjadi sebaliknya kegagalan geser tidak memberikan peringatan apapun sebelum kegagalan terjadi sehingga rawan terhadap daerah bencana. Kegagalan geser umumnya dikaitkan dengan tulangan geser yang tidak mencukupi, namun itu bisa dicegah dengan menggunakan teknik perkuatan struktur (*strengthening*).

Terdapat beberapa tipe perkuatan, salah satu metode yang populer adalah metode perkuatan dengan menggunakan fiber atau yang dikenal dengan *Fiber Reinforced Polimer* (FRP). FRP merupakan material jenis komposit yang berbentuk lembaran, tulangan dan serat yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas lentur balok. Penelitian FRP telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu seperti yang dilakukan oleh Wang, Zhang, dan Liu (2021), Ajith dan Nooh (2021), Al-Khafaji, Salim, dan El-Sisi (2021), Huang, dkk. (2021), dan Bhat (2021). FRP menjadi salah satu metode perkuatan yang populer karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya ringan, pengaplikasian yang mudah, ketahanan terhadap korosi yang memadai dan tidak memerlukan area kerja yang luas. Namun, FRP memiliki ketahanan yang buruk terhadap paparan suhu tinggi, ketidakcocokan dengan substrat beton, kemungkinan kegagalan mendadak tanpa peringatan serta tidak efisien diaplikasikan pada lingkungan yang lembab, serta peningkatan kekuatan yang relatif kecil dengan harga yang relatif mahal. Metode kedua adalah metode pelat baja eksternal. Metode ini terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan struktural dalam hal ini kekuatan dan daktilitas. Namun, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain ketahanan terhadap

korosi yang rendah, biaya pengerjaan yang relatif mahal. Metode Perkuatan yang ketiga adalah Concrete Jacketing. Metode ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain Mampu meningkatkan daktilitas dan kekuatan struktur (kapasitas aksial, kapasitas lentur, dan kemampuan geser). Adapun kurangan dari metode ini yaitu adanya penambahan beban akibat penambahan volume beton dan tulangan, selain itu Jika penempatan concrete jacketing ini tidak diperhatikan dengan baik maka dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem perkuatan baru yang dapat menutupi kekurangan-kekurangan pada metode perbaikan lainnya. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan penyusun FRP berupa serat alami (*Natural Fibre*), dengan karakteristik yang berpotensi memiliki kuat tarik tinggi, ramah lingkungan, dan penggunaan biaya yang lebih murah.

Menurut Adeniyi, dkk. (2019), berbagai serat alami yang berpotensi digunakan sebagai material penyusun FRP adalah sabut kelapa, kelapa sawit, pisang, bambu, sekam padi, dan bahan ramah. Serat alami dari alam memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sintesis terutama pada bobot yang lebih ringan, dan biaya yang lebih murah. Serat alam juga memiliki keuntungan terutama pada kekakuan dan kekuatan yang tinggi (Saravana Bavan D and Mohan Kumar G C 2010). Keunggulan lainnya yang menarik adalah bahwa serat alami *Abaca Fiber* tahan terhadap kondisi yang ekstrim yaitu pada daerah asin (K. Vijayalakshmi 2014). Penelitian yang dilakukan (M. Ramesh, T. S. A. Atreya, U. S. Aswin, H. Eashwar, and C. Deepa 2017) mengungkapkan tentang serat *abaca* yang digunakan sebagai penguat untuk komposit berbasis *epoxy* dengan rasio 50% serat *abaca* dan 50% *resin epoxy* bahan tersebut dapat menahan beban yang tinggi. Di sisi lain, untuk meningkatkan sifat serta memperluas aplikasi serat *abaca* Manicham Ramesh dkk terus meneliti dan membuat bahan *hybrid* antara serat *abaca* dan serat *carbon* untuk memberikan kekuatan mekanik yang tinggi. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa serat *abaca* memiliki kuat tarik yang tinggi dan tahan terhadap air asin. Menurut Vijayalakshmi (2014), serat *abaca* adalah serat alami yang paling kuat dibandingkan dengan serat lainnya. Pada penelitian ini, akan memanfaatkan serat *Abaca (Musa textilis)* yang berasal dari pelepah pisang *Abaca*. Jenis pisang tersebut sangat banyak ditemukan di Pulau Sulawesi.

Abaka adalah serat daun yang termasuk dalam famili tanaman pisang dengan nama botani *Musa Textiles*. Daun ini tegak, runcing, lebih sempit, dan lebih runcing dibandingkan daun pisang. Abaca (Manila Hemp) adalah salah satu bahan penguat serat alami. Abaca adalah serat yang keras dan sama sekali berbeda dari rami sejati, yang merupakan serat lembut dan merupakan produk *Cannabis sativa* (K.Vijayalakshmi 2014).

Serat *Abaca* (*Musa textiles*) memiliki komponen terpenting dari serat alam yaitu *Hemiselulosa*, *Solulosa*, *Lignin*, *Pektin*, dan *Lilin*. Hasil karakterisasi serat abaka menunjukkan serat abaka berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan alternatif berdasarkan sifat kimia, fisika dan termal. Abaca merupakan salah satu serat alam yang memiliki sifat mekanik tinggi karena didukung oleh arsitektur dinding selnya. Sifat mekanik serat abaka sangat dipengaruhi oleh struktur dinding sel, komposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin (Mazharul Islam Kiron, 2013).

Dedi Setiawan (2015) melakukan penelitian yang menyimpulkan bahwa serat abaca digunakan sebagai alternatif material penguat komposit. Setelah diberikan perlakuan dengan alkali (NaOH), perlakuan ini dapat mengubah sifat mekanik serat abaca, termasuk meningkatkan regangan (*strain*) sebesar 50,89%, meningkatkan kekuatan tarik (*tensile strength*) sebesar 26,52%, dan menurunkan modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) sebesar 6,11%.

Saat ini penggunaan serat alami (*Natural Fibre*) banyak dijumpai pada industri manufaktur otomotif yang berfokus pada pengurangan biaya dan berat dengan komponen ramah lingkungan. Banyak industri otomotif menerapkan komposit serat alam di interior dan eksterior kendaraan. Sebagian besar perusahaan telah berhasil memproduksi komposit berbasis serat alami pada komponen kendaraan utama yang gunakan sebagai komponen material utama (Deepak Verma & Iren Senal, 2019). Sifat dan manfaat yang serat alami yang dapat diaplikasikan pada industri keberlanjutan, serat alami dapat mengatasi masalah yang disebabkan oleh bahan tak terbarukan dengan menciptakan produk dan teknologi yang ramah lingkungan untuk menuju indsutri 4.0 dalam penggunaan jangka panjang. Aplikasi pada indsutri otomotif serat alami dapat menjadi komponen interior dan eksterior kendaraan seperti *dashboard*, panel pintu, dan sandaran kursi. (Mohd Salahuddin.

Dkk, 2022). Jerman adalah negara terdepan dalam penggunaan serat alami komposit dalam produsen mobil dan telah mengambil inisiatif untuk memperkenalkan komposit serat alami yang diaplikasikan pada interior dan eksterior mobil (M.R. Sanjay.dkk, 2016). Namun penggunaan serat alami (*Natural Fiber*) dalam bidang konstruksi sebagai perkuatan eksternal masih terbatas.

Dengan potensial yang dimiliki dari serat abaca, serat ini dapat dikembangkan sebagai *natural fiber* dan perkuatan struktur beton bertulang yang Terinspirasi dari GFRP. Penelitian ini akan mengembangkan *natural fiber reinforced polymer* dalam bentuk lembaran yang akan digunakan sebagai material perkuatan geser balok beton bertulang. Sebagai perbandingan, juga dibuat benda uji dengan perkuatan material komersil GFRP *Sheet*.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan serat Abaca sebagai material penyusun *Natural Fiber Reinforced Sheet* sebagai material perkuatan geser balok beton bertulang dan penulis menuangkan dalam penelitian berjudul “*Studi Kinerja Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Dengan Natural Fiber*”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penguraian latar belakang yang dituangkan sebelumnya, dirumuskan masalah yaitu:

- 1) Bagaimana perilaku mekanis *Abaca Fiber Sheet* (AFS)?
- 2) Bagaimana perilaku geser balok beton bertulang yang diperkuat dengan Natural Fiber Jenis Abaca Fiber Sheet (AFS) dan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)?
- 3) Bagaimana pola kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan Abaca Fiber Sheet (AFS) dan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisis perilaku mekanis *Abaca Fiber Sheet* (AFS).
2. Untuk menganalisis perilaku geser balok beton bertulang yang diperkuat dengan Natural Fiber Jenis *Abaca Fiber Sheet* (AFS).

3. Untuk menganalisis pola kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan *Abaca Fiber Sheet* (AFS) .

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Model benda uji adalah balok beton bertulang yang terbuat dari beton normal dengan mutu f'_c 25 MPa.
2. Benda uji yang digunakan adalah balok 150 mm x 300 mm dengan panjang 2300 mm. Tulangan pokok (longitudinal) yang digunakan adalah tulangan ulir 3 D16, sedangkan tulangan sengkang (transversal) menggunakan tulangan polos ϕ 8-350 dan ϕ 8-150..
3. Serat yang digunakan adalah *Abaca Fiber* yang di pabrikan atau di anyam secara manual membentuk *Abaca Fiber Sheet*.
4. Variasi benda uji menggunakan Balok Kontrol (BK), Balok dengan perkuatan *Abaca Fiber Sheet* (AFS) yang dipasang full wrapping, dan Balok dengan perkuatan Glass Fiber Reinforced Polymerd (GFRP).
5. Pembebanan dengan beban dua titik dilakukan secara monotonik menggunakan alat uji statik dengan kapasitas 200 kN.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini adalah Balok beton bertulang yang diperkuat *Natural Fiber* jenis *Abaca Fiber Sheet* (AFS) dapat dimanfaatkan sebagai material maju bahan yang ramah lingkungan dengan kapasitas mendekati atau sama dengan bahan konvensional yang digunakan sebagai perkuatan beton bertulang saat ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Sebuah sistematika penulisan akan dijelaskan tentang proses penulisan tesis ini, yang terdiri dari lima bab utama sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan terhadap masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan secara singkat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menuangkan kerangka konseptual secara singkat tentang penelitian gambaran umum mengenai pengujian.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam Bab ini menjelaskan metode yang digunakan pada penelitian yang dilakukan dengan awal persiapan penelitian hingga mencapai tahap akhir hasil penelitian.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan dan merincikan hasil analisis perhitungan data-data eksperimental yang didapatkan pada pengujian sebelumnya.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini menjelaskan mengenai apa kesimpulan terhadap penelitian yang dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Sifat utama dari beton yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, tetapi juga bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Dalam perhitungan struktur, kuat tarik beton ini biasanya diabaikan. Beton bertulang merupakan kombinasi dua unsur bahan; tulangan baja dan beton yang digunakan secara bersama, sehingga desain struktur elemen beton bertulang dilakukan berdasarkan prinsip yang berbeda dengan perencanaan desain suatu bahan (Amrinsyah Nasution, 2009).

Beton bertulang merupakan material penting pada konstruksi. Hampir semua bangunan struktur besar dan kecil seperti jembatan, trotoar, bendungan, dinding penahan tanah, terowongan, drainase, irigasi dan sebagainya. Pertimbangan penggunaan beton bertulang pada konstruksi dikarenakan keunggulan-keunggulan yang dimiliki sebagai berikut (Jack.C. McCormac dan Russel H. Brown 2014):

1. Memiliki kekuatan tekan yang cukup besar per satuan biaya dibandingkan dengan material lainnya.
2. Beton bertulang memiliki ketahanan yang baik terhadap api dan air, dan juga merupakan material struktur terbaik yang tahan pada kondisi yang terdapat air. Pada saat kebakaran beton sebagai penutup tulangan untuk mengurangi kerusakan pada tulangan.
3. Struktur beton bertulang sangat kaku
4. Material dengan Biaya perawatan yang rendah
5. Dibandingkan dengan material lainnya, material beton bertulang memiliki masa layan yang panjang. Dalam kondisi pekerjaan yang tepat, struktur beton bertulang dapat digunakan dalam waktu yang sangat lama tanpa mengurangi kemampuan ketahanannya dalam menahan beban. hal ini memberikan fakta bahwa kekuatan beton tidak berkurang seiring dengan waktu tetapi justru meningkat dalam jangka waktu yang sangat lama diukur dalam hitungan tahun karena proses pepadatan pasta semen yang lama.

6. Pada penerapannya beton bertulang merupakan material yang ekonomis terutama pada pekerjaan pondasi, pelat lantai, dinding penahan tanah, demaga dan aplikasi lainnya yang serupa.
7. Fitur khusus yang dimiliki oleh material beton yaitu kemampuan untuk dicetak menjadi berbagai macam bentuk yang luar biasa.
8. Sebagian besar wilayah, penggunaan material lokal penyusun beton memiliki biaya yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan membutuhkan semen dan baja tulangan dalam jumlah yang relatif kecil yang mungkin dapat dikirim dari bagian wilayah lain.
9. Kompetensi tenaga kerja yang diperlukan lebih rendah jika dibandingkan dengan material lain seperti baja struktur.

Dari berbagai keunggulan yang dimiliki beton bertulang terdapat beberapa kelemahan-kelemahan penggunaan material beton bertulang sebagai berikut:

1. Beton memiliki kekuatan tarik yang sangat rendah, sehingga membutuhkan penggunaan tulangan tarik.
2. Bekisting dan penopang beton diperlukan untuk menahan beton sampai cukup mengeras pada penerapan struktur atap, dinding, lantai dan struktur yang serupa. Sehingga membutuhkan biaya tambahan sehingga diperlukan penekanan dan pengurangan biaya bekisting dan penopang beton.
3. Kekuatan tarik yang rendah per unit berat menjadi masalah tersendiri terutama pada struktur dengan bentang panjang. Beton juga memiliki berat yang cukup besar yang berpengaruh pada momen lentur. Penggunaan agregat ringan menjadi solusi yang dapat digunakan tetapi biaya pembuatan beton meningkat.
4. Demikian juga kekuatan tarik unit per volume rendah sehingga penggunaan material penyusun beton bertulang menjadi relatif besar, hal ini menjadi pertimbangan pada pembuatan bangunan tinggi dan struktur beton dengan bentang panjang.
5. Sifat-sifat beton sangat bervariasi tergantung pada proporsi pencampurannya.

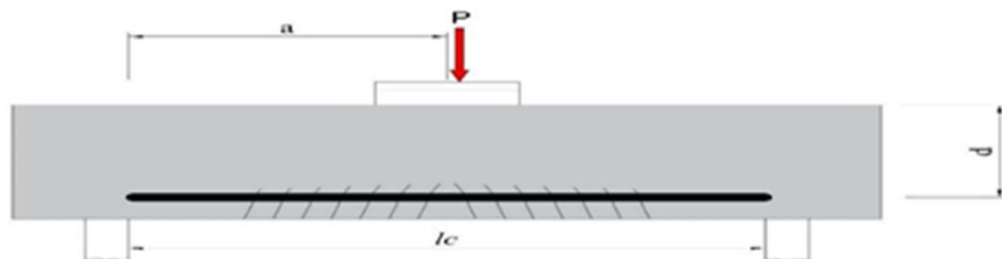
Perilaku suatu struktur termasuk beton bertulang tergantung bukan hanya pada sifat bahan melainkan juga karakter beban. Ada situasi dimana struktur menerima beban statis yaitu beban yang besarnya tetap ataupun terjadi perubahan secara perlahan-lahan dan bekerja untuk jangka waktu yang lama. Ada pula beban yang bersifat dinamis contohnya beban kejut yang bekerja tiba-tiba dan beban berulang yang terjadi sejumlah besar siklus.

2.2 Mode Kegagalan Pada Balok Beton Bertulang

Menurut Nawy (2008), kelangsingan balok yaitu perbandingan antara bentang bersih dengan tinggi balok menentukan ragam keruntuhan balok. Jenis keruntuhan ini pada dasarnya ada 3 ragam yaitu keruntuhan lentur, keruntuhan tarik diagonal dan keruntuhan tekan akibat geser.

1. Keruntuhan Lentur

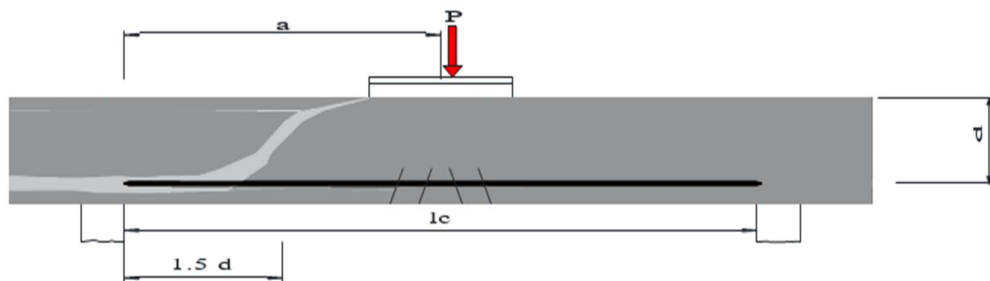
Daerah yang mengalami keruntuhan lentur, terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. Perbandingan antara bentang geser (a) dengan tinggi efektif balok (d) sebesar antara $> 5,5$ untuk beban terpusat dan $l_c/d > 16$ untuk beban terdistribusi. Tegangan geser θ yang sangat kecil dan tegangan lentur σ yang sangat dominan yang besarnya hampir mendekati tegangan utama horizontal $\sigma_t \text{ max}$ menyebabkan keruntuhan lentur. Pada keadaan runtuh lentur demikian, beberapa retak halus berarah vertikal terjadi di daerah tengah bentang sekitar 50% dari yang diakibatkan oleh beban runtuh lentur. Apabila besarnya beban bertambah terus, retak – retak di tengah bentang bertambah, dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang.



Gambar 1. Retak lentur (Nawy 2008)

2. Keruntuhan tarik diagonal

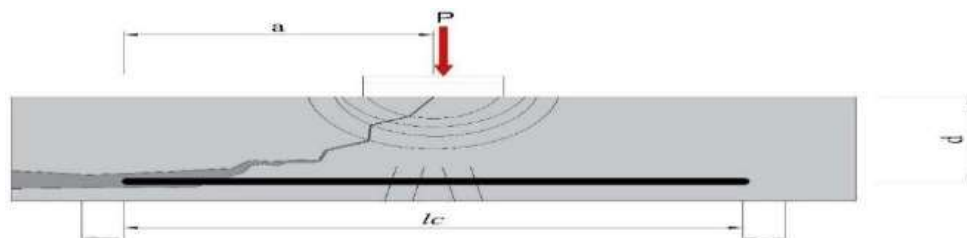
Keruntuhan ini dapat terjadi apabila kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatannya. Perbandingan antara bentang geser (a) dengan tinggi efektif balok (d) adalah 2,5 sampai 5,5 untuk beban terpusat dan 11-16 untuk beban terdistribusi. Balok demikian disebut balok dengan kelangsingan menengah. Retak mulai terjadi di tengah bentang, berarah vertikal berupa garis halus. Hal ini diikuti dengan rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton disekitarnya pada perletakan, tanpa adanya peringatan sebelum runtuh, dua atau tiga retak diagonal terjadi pada jarak antara $1,5d$ sampai $2d$ dari muka perletakan.



Gambar 2. Retak tarik diagonal (Nawy,2008)

3. Keruntuhan tekan geser

Balok dengan keruntuhan tekan geser memiliki perbandingan bentang geser (a) dengan tinggi efektif balok (d) antara 1 dan 2,5 untuk beban terpusat dan l_c/d kurang dari 5,0 untuk beban terdistribusi. Seperti keruntuhan diagonal, keruntuhan ini dimulai dengan retak lentur-halus-vertikal di tengah bentang. Tidak lama kemudian, keruntuhan ini tidak terus menjalar karena kehilangan lekatan antara tulangan membujur (longitudinal) dengan beton di sekitarnya. Gambar 3 menunjukkan retak geser sebagai berikut.



Gambar 3. Keruntuhan tekan geser (Nawy 2008)

Setelah retak lentur itu diikuti dengan retak miring yang lebih curam daripada retak diagonal tarik (secara tiba – tiba dan menjalar terus menuju sumbu netral). Pada saat bertemunya retak miring ini dengan tepi beton yang tertekan, terjadilah keruntuhan secara tiba – tiba.

Ada tiga penyebab umum kegagalan balok beton bertulang, Jenis kegagalan pada balok tersebut yaitu:

1) Kondisi *Balanced Reinforced*

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan.

Kondisi regangan :

$$\varepsilon_c = 0.003 \text{ dan } \varepsilon_s = \frac{fy}{E_s} \quad (1)$$

Pada kondisi ini berlaku :

$$\rho = \rho_{balance} \text{ dan } \varepsilon_s = \varepsilon_c \quad (2)$$

2) Kondisi *Over-Reinforced*

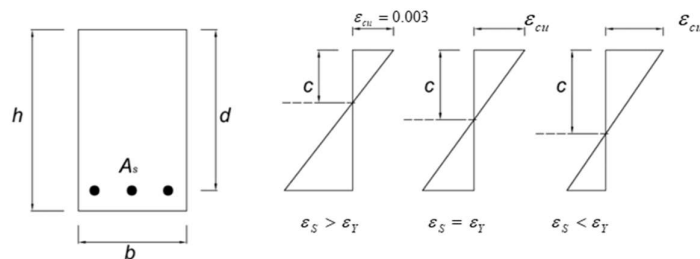
Kondisi ini terjadi ketika tulangan yang digunakan lebih dari yang diperlukan dalam kondisi keseimbangan. Penampang beton hancur sebelum tulangan baja meleleh.

$$\text{Pada kondisi ini berlaku : } \rho > \rho_{balance} \text{ dan } \varepsilon_s < \varepsilon_c \quad (3)$$

3) Kondisi *Under - Reinforced*

Apabila tulangan tarik yang digunakan pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi keseimbangan, tulangan baja akan meleleh dari betonnya terlebih dahulu. Dalam situasi ini, berlaku :

$$\rho < 75\% \rho_{balance} \text{ dari } \varepsilon_s > \varepsilon_c \quad (4)$$



Gambar 4. Diagram Keruntuhan Balok

2.3 Kapasitas Geser Beton Bertulang

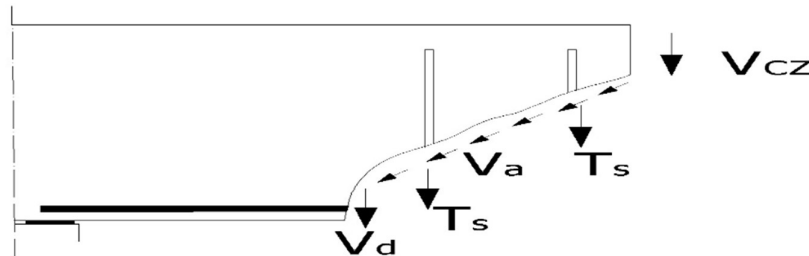
Geser dalam beton selalu diikuti oleh desak dan tarik oleh lenturan. Pengaruh-pengaruh geser yang ditimbulkan merupakan akibat dari torsi dan kombinasi torsi dengan lentur (Chu-kia Wang dan Charles G. Salmon 1993).

Kerusakan pada balok beton tanpa tulangan biasanya terjadi di area sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok. Ini disebut bentang geser. Salah satu cara kerusakan geser adalah retak akibat tarik diagonal. Pada balok tanpa tulangan geser dengan bentang geser yang lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur terjadi terlebih dahulu sebelum retak akibat tarik diagonal. Retak miring akibat geser di badan balok bertulang dapat muncul tanpa retak lentur di sekitarnya atau dapat merupakan lanjutan dari retak lentur sebelumnya..

Retak geser balok adalah retak miring yang terjadi setelah retak lentur sebelumnya. Retak lentur adalah retak miring yang terjadi setelah retak lentur sebelumnya. Retak jenis terakhir ini dapat ditemukan pada baik balok beton bertulang prategang maupun biasa. Retak lentur biasanya melambat dimulai dari tepi masuk ke dalam balok dengan arah hampir tegak lurus. Tidak ada penurunan tegangan selama proses sampai di ujung salah satu rekatan terdalam terjadi kombinasi tegangan lentur dan geser yang signifikan; tegangan geser yang cukup besar menyebabkan retak miring. Balok beton bertulang lentur arah memanjang membutuhkan tulangan baja untuk menahan gaya tarik yang dihasilkan oleh lenturan.. Apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat, tulangan baja yang diperuntukkan menahan momen lentur didalam balok letaknya tidak berada pada tempat terjadinya tegangan tarik diagonal, sehingga diperlukan tambahan tulangan baja untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat yang sesuai (Dipohusodo, 1994). Menurut Vis dan Kusuma (1995), geser beton ditahan oleh :

1. Aksi pasak oleh tulangan memanjang (V_d)
2. Komponen vertikal gaya geser yang terdapat pada retak miring akibat permukaan retakan yang tidak teratur (menghindari butiran – butiran kerikil). Gaya geser (V_a) pada retak miring disebut “interlocking”

3. Komponen vertikal gaya geser pada daerah tekan yang belum retak (V_{cz}).
4. Gaya (T_s) yang terdapat dalam tulangan geser



Gambar 5. Perlawanan terhadap geseran

5. Perencanaan perkuatan geser SNI 2847:2019 menggunakan persamaan:

$$\Phi V_n \geq V_u \text{ atau } V_n = V_c + V_s \quad (5)$$

Dimana,

V_u = Gaya geser tekfaktor (kN),

V_c = Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton (kN),

V_s = Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN),

V_n = Kekuatan geser nominal (kN).

Φ = Faktor Reduksi

Untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja menggunakan persamaan :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (6)$$

Dimana,

A_v = Luas tulangan geser min.;

d = Jarak dari serat tekan terjauh kepusat tulangan tarik longitudinal mm;

s = Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser kearah sejajar tulangan okok penampang (mm);

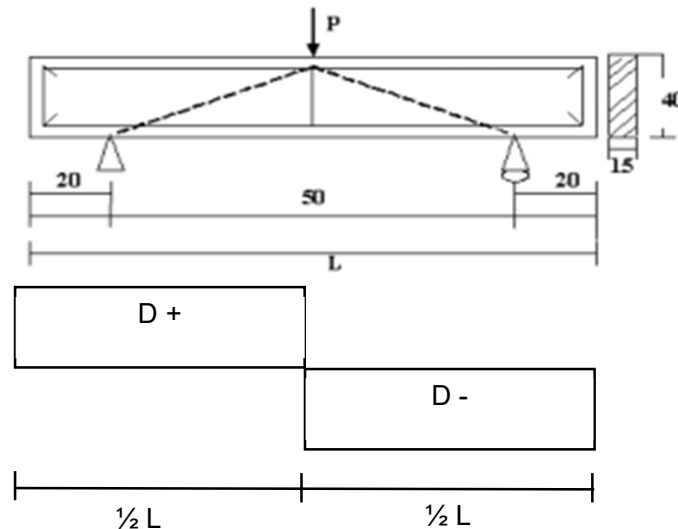
f_y = Kuat leleh tulangan geser (MPa);

Untuk jarak tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ untuk struktur non-prategang dan $(3/4)h$ untuk komponen struktur prategang, atau 600 mm. Ketentuan tulangan geser minimum dapat diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian bahwa komponens struktur tersebut mampu mengembangkan kuat lentur dan geser nominal yang diperlukan tanpa adanya tulangan geser.

Bila hasil analisa diperlukan tulangan geser, maka luas tulangan geser minimum untuk komponen struktur nonprategang harus dihitung dengan persamaan dibawah.

$$A_v = 0,062 \sqrt{f'c} \cdot \frac{bw.s}{f_{yt}} \quad (7)$$

Untuk mengetahui kapasitas geser yang terjadi harus dilakukan pengujian yang dapat menggambarkan bagaimana balok tinggi hanya menerima gaya geser saja, yaitu dengan meletakkan balok pada tumpuan dengan perletakan sendi jepit dan rol. Beban yang terjadi pada balok adalah terpusat ditengah bentang ($1/2L$). dari pengujian tersebut dapat tergambarkan diagram bidang geser yang terjadi pada bentang tersebut. Gambar 6 menunjukkan diagram bidang geser sebagai berikut



Gambar 6. Diagram bidang geser

2.4 Perkuatan geser dengan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

FRP adalah material yang terbuat dari serat (fiber) dari material sintetis seperti kaca, aramid, atau karbon yang digabungkan dengan zat matrik seperti epoxy atau polyester. Penggunaan FRP dalam rekayasa sipil terdiri dari dua tahap. Pertama, digunakan untuk memperbaiki dan memperbarui struktur, dan kedua, dibuat konstruksi baru sepenuhnya menggunakan FRP ataupun komposit dengan beton. Kekuatan beton dan pengekananya sangat memengaruhi sifat mekanis material komposit. Perbandingan kekuatan beton dan serat sangat penting untuk karakteristik mekanis produk yang dihasilkan..

Material FRP dalam bentuk lembaran adalah jenis material yang sangat populer di pasaran. Kelebihan dari FRP dalam bentuk lembaran adalah material yang mudah digunakan dan dapat ditempelkan pada permukaan struktur yang rusak dengan menggunakan *epoxy*. Mereka juga relatif murah dibandingkan dengan bahan lain, memiliki kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan kimia, dan sifat isolasi yang baik. FRP jenis lembaran digunakan sebagai penguatan eksternal dengan tujuan untuk:

1. Memperbaiki slab dan balok beton yang rusak dengan mengasumsikan debonding pada FRP-beton tidak terjadi kegagalan elemen struktur,
2. Menangani peningkatan lebar retakan sebagai akibat dari beban layanan,
3. Meningkatkan kuat lentur sebagai hasil dari beban yang lebih besar seperti beban lalu lintas dan beban gempa,
4. Merencanakan beton dengan daktilitas tinggi,
5. Perbaikan bangunan yang disebabkan oleh kesalahan dalam desain atau konstruksi,
6. Untuk meningkatkan kemampuan geser beton,
7. Meningkatkan kapasitas pengekanan kolom beton
8. Perbaikan struktur kuno dan kuno,
9. Saat digunakan, FRP digabungkan dengan bahan perekat epoxy resin impregnation, yang akan merekatkan lembaran fiber pada balok beton. Tyfo

SEH-51A adalah jenis GFRP yang digunakan dalam penelitian ini. Spesifikasinya disajikan dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi GFRP Tyfo SHE-51A dalam bentuk *dry sheet*

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

(Sumber : Fyfe.Co.LLC)

Karakteristik material GFRP lepas dan kering disajikan dalam Tabel 1. Untuk membuat lembaran GFRP dengan ketebalan tertentu, serat GFRP dapat digunakan. Spesifikasi lembaran komposit GFRP tipe SEH-51A adalah 1,3 mm tebal, seperti yang sajikan dalam Tabel 2. Kuat tarik ultimit GFRP sebesar 460 MPa pada arah utama serat, tetapi hanya 20,7 MPa pada arah tegak lurus serat.

Tabel 2. Spesifikasi GFRP Tyfo SEH51-A dalam bentuk komposit

Sifat Lapisan Komposit (GFRP + <i>Epoxy</i>)			
Uraian	Metode ASTM	Nilai Test	Nilai Desain
Kekuatan tarik ultimit dalam arah utama fiber	D-3039	575 MPa	460 MPa
Regangan (<i>Elongatin</i>)	D-3039	2.20%	2.20%
Modulus Young's	D-3039	26100 N/mm ²	20900 N/mm ²
Kekuatan tarik ultimit 90° dari arah utama fiber	D-3039	25.8 MPa	20.7 MPa
Tebal Fiber		1.3 mm	1.3 mm

(Sumber : Fyfe.Co.LLC)

Kekuatan geser nominal V_n adalah gabungan kontribusi beton V_c dengan tulangan geser V_s , dan kekuatan geser FRP V_f (ACI 440.2R-08). Ketahanan geser masih dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan atau dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Phi V_n = \Phi (V_c + V_s + \Psi V_f) \quad (8)$$

dimana,

Φ = Faktor reduksi kekuatan, $\Phi = 0.65$,

Ψ = Faktor reduksi FRP; $\Psi = 0.95$ untuk komponen yang ditutup. lembaran keliling penampang atau keempat sisinya, $\Psi = 0.85$ untuk *U-wrap* tiga sisi atau benuk plat.

Kekuatan geser FRP V_f dapat dihitung sesuai dengan persamaan 2.10 berikut.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_e (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} \quad (9)$$

$$V_f = 2nt_f w_f \quad (10)$$

dimana,

A_{fv} = Luas perkuatan geser FRP,

V_f = Kekuatan geser yang disumbangkan FRP,

S_f = Jarak komposit pusat ke pusat,

d_{fv} = Tinggi komposit (dari ujung ke titik berat tulangan pokok),

t_f = Ketebalan FRP,

w_f = Lebar FRP.

Tegangan efektif FRP (f_{fe}) ditentukan dari regangan yang terjadi pada Kondisi batas geser Tegangan efektif FRP (f_{fe}) yang terjadi ditentukan :

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_{fe} \quad (11)$$

Dimana,

ε_{fe} = Regangan efektif,

E_{fe} = Modulus elastisitas GFRP

Dalam pelaksanaanya, regangan efektif (ε_{fe}) dibatasi nilai berikut :

1. Untuk *wrap* yang tempelkan pada empat sisi :

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.075 \varepsilon_{fu} \quad (12)$$

2. Untuk *wrap* yang tempelkan pada tiga sisi :

$$\varepsilon_{fe} = K_v f_u \leq 0.004 \varepsilon_{fu} \quad (13)$$

Dengan K_v yaitu faktor reduksi untuk lekatan geser, yang artinya nilainya adalah sebagai berikut:

$$K_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0.75 \quad (14)$$

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0.58}} \quad (15)$$

$$k_1 = \left(\frac{f'c}{27} \right)^{2/3}$$

$$k_2 = \left(\frac{df - d_{fv}}{d_{fv}} \right) \text{ untuk } U\text{-Wrap}$$

$$k_2 = \left(\frac{df - 2L}{d_{fv}} \right) \text{ Untuk dua sisi}$$

dimana,

- ε_{fu} = Regangan ultimit,
- K_v = Koefisien reduksi lekatan geser,
- L_e = Panjang ikatan aktif,
- k_1 = Faktor koefisien reduksi ikatan
- k_2 = Faktor koefisien reduksi ikatan,
- n = Jumlah lapisan FRP
- d_{fv} = Tinggi efektif FRP,
- $f'c$ = Kuat tekan beton eksisting

Beberapa pedoman perhitungan untuk mendapatkan kapasitas geser (V_s) yang disumbangkan FRP dan dapat digunakan sebagai perbandingan yaitu pedoman perhitungan *fib Bulletin 14*, TR 55 dan EN 1998-3.

Persamaan yang diberikan *fib Bulletin 14* untuk mendapatkan untuk kapasitas geser ($V_{Rd.f}$) yang di sumbangkan FRP sebagai berikut :

$$V_{Rd.f} = 0,9 \varepsilon_{fe} E_{fu} b_w d (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \quad (16)$$

$$A_{fw} = 2b_f t_f ; h_f = d \text{ diambil tinggi max. FRP}$$

Untuk *U-wraps*

$$\varepsilon_{fe} = \min \left(0,65 \frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0,56} \times 10^{-3}, 0,17 \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0,3} \varepsilon_u \quad (17)$$

Peeling-off *fracture*

Dimana :

$V_{Rd.f}$	= Kapasitas geser yang disumbangkan FRP (N),
A_{fw}	= Luas perkuatan geser (mm^2),
θ	= Sudut antara sumbu balok dan retak geser,
α	= Sudut antara sumbu balok dan tegak lurus dengan gaya geser,
b_w	= Lebar balok (mm),
f_{cm}	= Kuat tekan beton (MPa),

Persamaan yang diberikan TR 55 untuk mendapatkan kapasitas geser ($V_{Rd.f}$) yang di sumbangkan FRP sebagai berikut.

$$V_{Rd.f} = \frac{A_{fw}}{s_f} \left(d_f - \frac{n_s}{3} l_{t,max} \cos\beta \right) E_{fd} \varepsilon_{fse} (\sin\beta + \cos\beta); \quad (18)$$

$$A_{fw} = 2b_f; l_{t,max} = 0,7 \sqrt{\frac{E_{fd} t_f}{f_{ctk}}}; f_{ctk} = 0,21 (f'c)^{\frac{2}{3}}; \quad (19)$$

For complete wraps : $n_s = 0$

For U-wraps : $n_s = 1$;

$$\varepsilon_{fse} = \min \left(\frac{\varepsilon_{df}}{2}, 0,5 \sqrt{\frac{f_{ctk}}{E_{fd} t_f}}, 0,004 \right) \quad (20)$$

Dimana :

$V_{Rd.f}$ = Kapasitas geser yang disumbangkan FRP (N),

A_{fw} = Luas perkuatan geser (mm^2),

s_f = Jarak spasi tengah ke tengah FRP (mm),

d_f = Tinggi efektif serat tekan terluar ke tulangan geser (mm),

$l_{t,max}$ = Panjang jangkar maximum (mm),

f_{ctk} = Karakteristik kuat tarik beton (MPa),

ε_{fse} = Regangan efektif FRP,

ε_{df} = Desain Kapasitas regangan penuh FRP,

Persamaan yang diberikan *EN 1998-3* untuk mendapatkan untuk kapasitas geser ($V_{Rd,f}$) yang di sumbangkan FRP sebagai berikut :

$$V_{Rd,f} = 0,9 d f_{fe} 2 n t_f (\cot \theta + \cot \beta) \left(\frac{w_f}{s_f} \right)^2 \sin \beta \quad (21)$$

For Fully wrapped strengthening schemes :

$$f_{fe} = f_{fd} \left[1 - k \frac{L_e \sin \beta}{2z} \right] + \frac{1}{2} \langle f_u, (\eta_R - f_{add}) \rangle \left[1 - \frac{L_e \sin \beta}{z} \right] \quad (22)$$

For U-wrapping schemes :

$$f_{fe} = f_{fd} \left[1 - k \frac{L_e \sin \beta}{z} \right] \quad (23)$$

Dimana,

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f n t_f}{\sqrt{4\tau_{max}}}} \quad (24)$$

$$f_{fd} = \sqrt{\frac{0,6 E_f f_{ctm} K_{EN}}{n t_f}} \quad (25)$$

$$\tau_{max} = 1,8 f_{ctm} K_{EN}$$

$$K_{EN} = \left\{ \sqrt{\frac{1,5 (2 - w_f / s_f)}{1 + (w_f / 100 \text{ mm})}} \right\} \quad (26)$$

$$k = \frac{\pi - 2}{\pi}, z = 0,9 d$$

$$\eta_R = 0,2 + 1,6 \frac{r_c}{b} \text{ for } 0 \leq \frac{r_c}{b} \leq 0,5$$

Dimana isitilah dalam $\langle . \rangle$ harus diambil hanya jika positif dan dimana koefisien η_R tergantung pada jari-jari pembulatan R dan lebar balok b_w .

2.5 Serat Abaca

2.5.1 Abaca Fiber Sheet (AFS)

Abaca (musa textillis nee), adalah tumbuhan alami yang dan masuk dalam kategori family musacease (tanaman pisang. Serat tanaman pisang banyak digunakan dalam pembuatan tali kapal karena tahan terhadap air garam (Sudjendro, 1999). Jenis pisang Abaka (Musa textilis) banyak ditemukan di pulau Sulawesi, Indonesia. Karena serat abaka adalah bahan yang tidak diinginkan yang diperoleh

setelah panen pisang abaka, serat ini dapat digunakan sebagai bahan baku industri tanpa mengeluarkan biaya tambahan. Untaian ini memiliki sifat tarik yang lebih tinggi, tidak mudah terurai, dan memiliki kekuatan lentur yang sama dengan serat gelas (Bledzki dkk., 2006; Huang, 2009; Ramadevi dkk., 2012; Agung dkk., 2012; Mamun dkk., 2015; Ming, dkk., 2015; Agnivesh K dkk., 2017). Pisang Abaka dan serat Abaka ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. (a) Pisang Abaka, (b) Abaca Fiber

2.5.2 Karakteristik *Abaca Fiber Sheet* (AFS)

Berbagai kemajuan dalam teknologi di bidang rekayasa material saat ini memungkinkan pembuatan material berkualitas tinggi dan ramah lingkungan. Beton serat dibuat dengan menambahkan bahan tambahan serat ke dalam adukan. Bahan tambahan serat dapat berupa apa pun, mulai dari kawat baja hingga serat tumbuh-tumbuhan seperti abaka, rami, sabut kelapa, bambu, dan ijuk. Sifat fisik abaka dan serat alam lainnya disajikan dalam Tabel 3. (Vijayalakshmi, 2014).

Tabel 3. Perbandingan sifat fisik serat abaka dengan serat alami lainnya

<i>Physical properties</i>	<i>Abaca</i>	<i>Hemp</i>	<i>Jute</i>	<i>Sisal</i>	<i>Linen</i>	<i>Cotton</i>
Density (g/cm ³)	1,5	1,48	1,46	1,33	1,4	1,54
Fibre length	2-4 mtr	1-2 mtr	3-3,5 mtr	1 mtr	Up to 90 cm	10-65
Fibre diameter (microns)	150-260	16-50	60-110	100-300	12-60	11-22
Tensile strength (N/mm ²)	980	550-900	400-800	600-700	800	400
Elongation	1,1%	1,6%	1,8%	4,3%	2,7-3,5%	3-10%
Moisture regain	5,81%	12%	13,75%	11%	10-12%	8,5%
Young's modulus (GPa)	41	30-60	20-25	17-22	50-70	6-10

(K. Vijayakshmi 2014)

Serat abaca adalah salah satu jenis serat alam yang dapat digunakan untuk penguat komposit, terutama komposit berharga murah dan ramah lingkungan. Komposisi kimia serat abaca adalah sebagai berikut: cellulose = 64,72%, air = 11,85%, kapur = 1,02%, ekstrak aqueos = 0,97%, lemak dan wax = 0,63%, dan bahan pecah dan pectic = 21,83%. (Mueller, D. H. and Krobjilowski, A., 2003).

Namun, menurut Turner, serat abaca mengandung cellulose 63,20%, moisture 10%, aqueous extract 1,40%, fat and wax 0,20%, lignin 5,10%, hemicelluloses 19,60%, dan pectin 0,50%. Serat abaca perlu diproses sebelum digunakan sebagai penguat komposit untuk meningkatkan adhesi antarmuka (interfacial adhesion) dan kemampuan untuk menyerap uap air. Perlakuan yang diberikan biasanya menggunakan alkali (NaOH) untuk perlakuan serat alam. Perlakuan alkali dapat menyebabkan permukaan serat menjadi kasar karena lemak yang terkikis di permukaannya. Permukaan serat yang kasar akan meningkatkan ikatan mekanik material matriks, yang berarti bahwa serat-matriks lebih mudah terikat satu sama lain. Isocyanate dan silane juga dapat digunakan untuk perawatan serat alam. (Turner, J., B. Mather dan M. Lock. 2002).