

SKRIPSI

**PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG YANG
DIPERKUAT DENGAN STRIP *U-WRAP* ABACA *FIBER*
*REINFORCED POLYMER SHEET***

Disusun dan diajukan oleh:

**NINDYA ADE RESKI
D011 19 1039**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN STRIP *U-WRAP ABACA FIBER* *REINFORCED POLYMER SHEET*

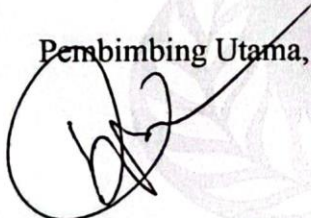
Disusun dan diajukan oleh

NINDYA ADE RESKI
D011 19 1039

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

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST, 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 : Nindya Ade Reski
NIM : D011191039
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Perilaku Geser Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Strip *U-Wrap*
Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet}

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, 17 Mei 2023

Yang Menyatakan


Nindya Ade Reski

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 **“PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT STRIP U-WRAP ABACA FIBER REINFORCED POLIMER SHEET”** 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.,IPM** 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, ST., MT.** selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Prof. Dr. Ir. 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 **Haeruddin** dan ibunda **Hamdania** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. **Bapak Dr. Eng. Ir. Ardy Arsyad S.T, M.Eng, Sc.**, sebagai dosen sekaligus sosok bapak kedua selama masa perkuliahan yang juga telah membimbing dan memberikan bantuan serta kelancaran penulis selama perkuliahan.
3. **Novi dan Nizar** sebagai saudara tercinta dan teman seumur hidup yang selalu memberikan tunjangan serta dukungannya dalam hidup penulis.
4. **Ira, Bile, Indy dan Amirah** sebagai teman seperjuangan penulis yang senantiasa menemani dan memberikan semangat, dukungan dan kasih sayangnya baik di kala senang maupun susah selama masa perkuliahan.
5. **Sainal, Zatirah, Ucil, Alip, Muhe, Lopa, Deden dan Imal** sebagai teman seperjuangan sedari awal kuliah yang selalu menghibur, memberikan warna yang indah dan selalu memberikan dorongan dan bantuan tebengan selama masa perkuliahan.
6. **Syifa, Upi, Sara, Ammar dan H09** sebagai teman bertukar pikiran sedari awal perkuliahan dan turut mewarnai masa perkuliahan penulis.
7. **Ikhsan, Mei, Fikri dan Ipi** selaku partner yang selalu membantu dan menemani selama proses penelitian serta memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. **Kak Syamsul Fahri, ST** selaku rekan TA yang senantiasa memberikan masukan dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir.

9. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
10. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.

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, 17 Mei 2023

Penulis

ABSTRAK

NINDYA ADE RESKI. PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN STRIP U-WRAP ABACA FIBER REINFORCED POLYMER SHEET (Dibimbing oleh Rudy Djamaluddin dan Fakhruddin)

Struktur beton bertulang merupakan struktur dengan penggunaan terbanyak di industri konstruksi modern pada pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan dan struktur lainnya. Seperti halnya manusia, suatu infrastruktur juga memiliki umur rencana. Semakin tua umur manusia maka semakin berkurang kinerja dan kualitasnya, sama halnya dengan gedung, semakin tua suatu gedung maka semakin berkurang kapasitas dan kekuatannya sehingga akan menyebabkan kerusakan pada struktur. Untuk meningkatkan kapasitas struktur dalam memikul beban digunakan metode perbaikan dan perkuatan struktur, salah satu metode yang populer dalam perkuatan struktur adalah penggunaan *Fiber Reinforced Polymer*. Pembuatan FRP dilakukan dengan tenaga mesin pada pabrik. Dengan menggunakan minyak bumi sebagai bahan bakar dalam pembuatan FRP ini, produksinya dinilai tidak ramah lingkungan. Untuk itu, para ahli berusaha mencari material yang bersifat alami dengan karakteristik yang berpotensi memiliki kuat tarik tinggi, ramah lingkungan dan penggunaan biaya yang lebih murah serta berkelanjutan (*sustainable*). Serat Abaca memiliki potensial yang besar untuk dikembangkan sebagai alternatif perkuatan struktur beton bertulang berupa *natural fiber* yang terinspirasi dari CFRP dan GFRP. Penelitian ini akan mengembangkan *natural fiber reinforced polymer* dalam bentuk lembaran yang akan digunakan sebagai material perkuatan geser balok beton bertulang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku geser serta pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang dengan perkuatan Strip *U-Wrap* Abaca *Fiber Reinforced Polymer Sheet*. Perilaku geser didiskusikan berdasarkan perilaku beban-lendutan, beban maksimum, beban-regangan baja dan beban-regangan beton. Tahapan penelitian yaitu pengujian geser balok menggunakan sampel balok 150x300 mm dengan panjang 2300 mm sebanyak 3 buah yang terdiri atas balok kontrol, balok dengan perkuatan *Glass Fiber Reinforced Polymer* strip *U-Wrap* dan balok dengan perkuatan *Abaca Fiber Reinforced Polymer* strip *U-Wrap* masing-masing sebanyak 1 buah. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan serat abaca sebagai alternatif perkuatan pada *fiber reinforced polymer* dapat meningkatkan kapasitas geser pada balok. Dari mode kegagalan, balok yang diperkuat dengan *Abaca Fiber Reinforced Polymer* mengalami kegagalan lentur.

Kata kunci : Kapasitas struktur, Abaca, *Fiber Reinforced Polymer*

ABSTRAC

NINDYA ADE RESKI. *SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAM WITH STREAP U-WRAP ABACA FIBER REINFORCED POLYMER SHEET* (supervised by Rudy Djamaluddin and Fakhruddin)

Reinforced concrete structures are structures with the most use in the modern construction industry in the construction of infrastructure such as buildings, bridges and other structures. Like humans, an infrastructure also has a design life. The older the human age, the less the performance and quality, as is the case with buildings, the older a building, the less capacity and strength it will cause damage to the structure. To increase the capacity of the structure to carry the load, the method of repair and strengthening of the structure is used, one of the popular methods of strengthening the structure is the use of Fiber Reinforced Polymer. FRP manufacture is done by machine power at the factory. By using petroleum as a fuel in the manufacture of FRP, the production is considered not environmentally friendly. For this reason, experts are trying to find materials that are natural with characteristics that have the potential to have high tensile strength, are environmentally friendly and use lower costs and are sustainable (sustainable). Abaca fiber has great potential to be developed as an alternative to reinforced concrete structures in the form of natural fibers inspired by CFRP and GFRP. This research will develop natural fiber reinforced polymer in sheet form which will be used as a shear strengthening material for reinforced concrete beams. This study aims to analyze the shear behavior as well as crack patterns and failure modes of reinforced concrete beams reinforced with Strip U-Wrap Abaca Fiber Reinforced Polymer Sheet. The shear behavior is discussed based on the load-deflection behavior, maximum load, steel load-strain and concrete load-strain. The research stage was testing the beam shear using a beam sample of 150x300 mm with a length of 2300 mm consisting of 3 beams consisting of control beams, beams with reinforced Glass Fiber Reinforced Polymer strip U-Wrap and beams with reinforced Abaca Fiber Reinforced Polymer strip U-Wrap each as much as 1 piece. The results showed that the use of abaca fiber as an alternative to fiber reinforced polymer reinforcement can increase the shear capacity of beams. From the failure mode, beams reinforced with Abaca Fiber Reinforced Polymer experience bending failure.

Keywords : Capacity of structures, Abaca, Fiber Reinforced Polymer

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRAC.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Beton Bertulang	10
2.2.1 Kuat Tekan Beton.....	11
2.2.2 Kuat Tarik Beton	11
2.3 Kegagalan Balok Beton Bertulang.....	12
2.4 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang.....	13
2.4.1 Kapasitas Geser Sebelum Penambahan FRP.....	13
2.4.2 Kapasitas Geser Setelah Penambahan FRP	15
2.5 Retak pada Balok Beton Bertulang.....	17
2.6 Metode Perbaikan dan Perkuatan.....	19
2.7 Karakteristik Material	21
2.7.1 <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	21
2.7.2 <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)</i>	22
2.7.3 <i>Abaca Fiber Sheet (AFS)</i>	23
2.7.4 Epoxy Resin.....	24
2.7.5 Komposit	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Lokasi Penelitian.....	27
3.2 Prosedur Penelitian	27
3.3 Benda Uji	28

3.3.1 Pengujian Karakteristik Mekanis Tulangan	28
3.3.2 Pengujian Karakteristik Mekanis Beton	29
3.3.3 Pengujian Karakteristik Mekanis <i>Abaca Fiber Sheet</i>	29
3.3.4 Pengujian Balok Geser	30
3.4 Pabrikasi <i>Abaca Fiber Sheet</i> (AFS)	32
3.6 Benda Uji Balok Lentur	35
3.6.1 Perencanaan Dimensi Penampang Benda Uji Balok.....	35
3.6.2 Pabrikasi Benda Uji Balok Beton Bertulang	36
3.6.3 Pemasangan AFS dan GFRP <i>sheet</i>	36
3.6.4 <i>Setup</i> Benda Uji	38
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Pengujian Tarik Baja Tulangan.....	41
4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton	42
4.3 Pengujian Kuat Tarik Lembaran <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i>	43
4.4 Pengujian Geser Balok.....	45
4.4.1 Hubungan Beban Lendutan	45
4.4.2 Beban Maksimum.....	47
4.4.3 Perbandingan Analisa Teoritis dan Hasil Pengujian	49
4.4.4 Hubungan Beban-Regangan	51
4.5 Pola Retak dan Mode Kegagalan.....	56
4.5.1 Pola Retak dan Mode Kegagalan Balok CB.....	56
4.5.2 Pola Retak dan Mode Kegagalan Balok SBG	58
4.5.3 Pola Retak dan Mode Kegagalan Balok SBA	60
4.6 Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimental.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Glass Fiber Reinforced Polymer Tyfo SHE-51A.....	22
Tabel 2. Perbandingan sifat fisik serat abaca dengan serat lainnya	24
Tabel 3. Karakteristik material Epoxy Resin	25
Tabel 4. Variasi benda uji pengujian kuat lentur.....	35
Tabel 5. Hasil pengujian kuat tarik baja.....	41
Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari.....	43
Tabel 7. Hasil uji tarik AFS.....	44
Tabel 8. Rekapitulasi hubungan beban-lendutan.....	46
Tabel 9. Kontribusi kapasitas geser balok beton bertulang	48
Table 10. Perbandingan kapasitas beban dan momen berdasarkan analisa dengan rata-rata hasil pengujian	50
Tabel 11. Rekapitulasi perbandingan kapasitas geser eksperimen dan analitis ...	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pola retak beton serat 2,5 cm.....	7
Gambar 2. Pola retak balok serat 5 cm.....	7
Gambar 3. Pola retak balok serat 7,5 cm.....	7
Gambar 4. Modus kegagalan dan pola retak balok yang diuji	8
Gambar 5. Balok beton bertulang.....	10
Gambar 6. Perlawanan terhadap geseran.....	14
Gambar 7. Perlawanan terhadap geseran setelah penambahan FRP	15
Gambar 8. Pola retak lentur.....	17
Gambar 9. Pola retak geser	18
Gambar 10. Pola retak geser-lentur	18
Gambar 11. Konsep perbaikan dan perkuatan struktur	20
Gambar 12. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP).....	22
Gambar 13. Grafik hubungan strain-tensile stress dari beberapa komposit.....	26
Gambar 14. Diagram alir penelitian	28
Gambar 15. Universal Testing Machine (UTM)	29
Gambar 16. Dimensi benda uji	29
Gambar 17. LVDT.....	30
Gambar 18. (a) Strain gauge baja (b) CN adhesive	30
Gambar 19. (a) Strain gauge beton (b) CN-E adhesive.....	31
Gambar 20. (a) Alat load cell (b) Data logger.....	31
Gambar 21. Ilustrasi perubahan serat abaca menjadi lembaran	32
Gambar 22. Skema perlakuan serat abaca metode treatment	33
Gambar 23. Proses pembuatan AFS strip.....	33
Gambar 24. Skema pengujian tarik AFS	34
Gambar 25. Dimensi benda uji	35
Gambar 26. Pabrikasi benda uji balok beton bertulang.....	36
Gambar 27. Skema uji tarik Abaca Fiber Sheet	36
Gambar 28. Proses pemasangan lapisan GFRP strip dan AFS strip	38
Gambar 29. Setup benda uji	39
Gambar 30. Posisi strain gauge	39
Gambar 31. Gaya dalam balok eksperimen.....	40
Gambar 32. Pengujian kuat tarik tulangan baja.....	42
Gambar 33. Uji kuat tekan.....	42
Gambar 34. Pengujian kuat tarik lembaran Abaca Fiber Sheet.....	43
Gambar 35. Hubungan tegangan-regangan AFS	44
Gambar 36. Hubungan beban-lendutan variasi	45
Gambar 37. Beban maksimum	48
Gambar 38. Kurva hubungan momen dan kurvatur	50
Gambar 39. Hubungan beban-regangan tulangan tarik	51
Gambar 40. Hubungan beban-regangan tulangan geser.....	52

Gambar 41. Hubungan beban-regangan beton	53
Gambar 42. Hubungan beban-regangan FRP	54
Gambar 43. Korelasi AFS strip dan AFS strip pada balok	55
Gambar 44. Pola retak pada balok control	57
Gambar 45. Retak awal daerah geser	57
Gambar 46. Retak utama pada balok CB	57
Gambar 47. Pola retak balok SBG.....	58
Gambar 48. Retak awal balok SBG.....	58
Gambar 49. Retak awal daerah geser	59
Gambar 50. Kehancuran beton pada sisi tekan.....	59
Gambar 51. Pola retak balok SBA.....	60
Gambar 52. Retak awal balok SBA.....	60
Gambar 53. Retak geser balok SBA.....	61
Gambar 54. Mode kegagalan balok SBA strip.....	61
Gambar 55. Kehancuran beton pada sisi tekan.....	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan kapasitas lentur dan kapasitas geser balok beton bertulang	72
Lampiran 2. Perbandingan efektifitas ketebalan dan lebar FRP	75

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
ε_{fu}	Regangan ultimit (mm/mm)
K_v	Koefisien reduksi lekatan geser
L_e	Panjang ikatan aktif (mm)
k_1	Faktor koefisien reduksi ikatan
k_2	Faktor koefisien reduksi ikatan
n	Jumlah lapisan FRP
d_{fv}	Tinggi efektif FRP (mm)
f'_c	Kuat tekan beton eksisting (MPa)
A_f	Luas perkuatan geser FRP (mm ²)
V_f	Kekuatan geser yang disumbangkan FRP (kN)
S_f	Jarak komposit pusat ke pusat (mm)
s	Jarak antar tulangan geser (mm)
f_{fe}	Tegangan efektif pada FRP (MPa)
t_f	Ketebalan FRP (mm)
w_f	Lebar FRP (mm)
E_c	Modulus elastisitas beton (MPa)
E_f	Modulus elastisitas FRP (MPa)
V_u	Gaya geser berfaktor (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 kekuatan
Ψ	Faktor reduksi FRP
C_c	Gaya tekan pada beton (kN)
C_s	Gaya tekan pada tulangan (kN)
T_s	Jumlah gaya total dari tulangan tarik (kN)

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
a	Tinggi balok tekan equivalen (mm)
h	Tinggi balok (mm)
L	Panjang balok (mm)
d	Jarak serat tekan ke titik berat tulangan tarik (mm)
d'	Jarak serat tekan ke titik berat tulangan tekan (mm)
f_y	Kuat leleh tulangan longitudinal (MPa)
$f_{y'}$	Kuat leleh tulangan geser (MPa)
$A_{s'}$	Luas tulangan tekan balok (mm ²)
A_s	Luas tulangan tarik balok (mm ²)
M_n	Momen nominal (kN.m)
P_n	Kapasitas lentur (kN)
f_{fu}	Kuat tarik ultimit (MPa)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur beton bertulang merupakan struktur yang banyak dijumpai dewasa ini karena materialnya yang mudah didapatkan, kuat, dan cenderung ekonomis dalam pemeliharaannya. Hal ini menjadikan beton sebagai material komposit dengan penggunaan terbanyak di industri konstruksi modern pada pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan dan struktur lainnya. Namun, seperti halnya manusia, suatu infrastruktur juga memiliki umur rencana. Semakin tua umur manusia maka semakin berkurang kinerja dan kualitasnya, sama halnya dengan gedung, semakin tua suatu gedung maka semakin berkurang kapasitas struktur dan kekuatannya sehingga akan menyebabkan kerusakan pada struktur gedung terutama pada elemen-elemen strukturalnya.

Ada banyak jenis kerusakan yang terjadi pada elemen-elemen struktur sehingga perlu adanya metode untuk meningkatkan kapasitasnya dalam memikul beban, yaitu dengan metode perbaikan maupun perkuatan struktur. Dalam penerapannya, perbaikan dan perkuatan dalam dunia ketekniksipilan merupakan dua hal yang berbeda. Perbaikan (*repairing*) adalah metode yang digunakan untuk mengembalikan kapasitas struktur untuk memenuhi kapasitas mula-mula sedangkan perkuatan (*strengthening*) adalah metode yang digunakan bukan hanya dengan tujuan untuk memenuhi kapasitas mula-mula tetapi juga menambah kapasitas struktur melampaui kapasitas mulanya. Perkuatan struktur dapat diaplikasikan pada struktur baru maupun struktur lama. Pada struktur baru, perkuatan diaplikasikan ketika terjadi kegagalan desain, atau mutu yang tidak tercapai selama konstruksi. Sementara pada struktur lama, perkuatan diaplikasikan pada elemen struktur yang terpengaruh oleh kondisi lingkungan, umur bangunan, perubahan fungsi bangunan maupun perubahan standarisasi (Triwiyono, 1998).

Dewasa ini, metode perkuatan yang paling populer untuk digunakan adalah metode perkuatan dengan *fiber* atau yang dikenal dengan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). FRP memiliki beberapa kelebihan seperti bobotnya yang ringan, kekuatan

tarik tinggi, tahan terhadap korosi dan mudah untuk diaplikasikan sehingga dapat menjadi solusi untuk metode perkuatan elemen struktur beton bertulang. Penelitian FRP telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu seperti yang dilakukan oleh Wang, Zhang dan Liu (2021), Ajith dan Nooh (2021) dan Huang (2021). Jenis FRP yang umum digunakan adalah *Carbon Fiber Reinforced Polymer* dan *Glass Fiber Reinforced Polymer*.

Menurut Karl (2021) komposit CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) dapat meningkatkan kapasitas geser secara signifikan. Namun, biayanya yang tinggi telah mendorong para peneliti untuk menyelidiki efektivitas komposit kaca (*glass*) FRP sebagai bahan perkuatan geser. Meskipun serat kaca dinilai lebih murah daripada serat karbon, efektivitas kaca dalam perkuatan geser sedikit lebih rendah daripada serat karbon. Karena kepedulian terhadap lingkungan meningkat seiring berjalannya waktu, beberapa peneliti telah mengeksplorasi penerapan berbagai jenis serat alam sebagai bahan perkuatan geser. Namun, kualitas yang diamati dalam kapasitas geser secara komparatif lebih kecil daripada serat buatan.

Menurut Luke S. Lee (2009) Dalam kasus komposit FRP, masalah lingkungan tampaknya menjadi penghalang kelayakannya sebagai bahan yang berkelanjutan terutama ketika mempertimbangkan penipisan bahan bakar fosil, polusi udara, kabut asap, dan pengasaman yang terkait dengan produksinya. Selain itu, kemampuan untuk mendaur ulang komposit FRP terbatas dan, tidak seperti baja dan kayu, komponen struktural tidak dapat dengan mudah digunakan kembali untuk melakukan fungsi serupa di struktur lain. Di sisi lain, manfaat potensial komposit FRP, seperti yang dijelaskan sebelumnya, berpotensi mengurangi beberapa dampak lingkungan.

Dewasa ini, komposit polimer yang diperkuat serat alam (*natural fiber*) semakin banyak digunakan. Selain memiliki sifat mekanik yang sangat baik dengan masa jenis rendah dan berharga murah, komposit ini memiliki keunggulan ramah lingkungan. Komposit polimer yang diperkuat serat alam memiliki sifat terbiodegradasi (*biodegradability*), mudah didaurulang atau dapat rusak bila dibakar setelah tidak digunakan tanpa meninggalkan emisi gas berbahaya atau materi sisa atau dapat dinyatakan bahwa komposit polimer yang diperkuat serat alam merupakan komposit yang ramah lingkungan (Joly, C., 1996).

Chin (2020) NFRP memiliki berbagai keunggulan diantaranya dapat mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan karena jumlahnya yang melimpah ruah dan biaya produksi yang ekonomis. Serat alam seperti serat pisang, serat rami, serat sisal dan serat kapas juga bukan merupakan kategori dari limbah yang merusak alam walaupun dalam jumlah yang banyak karena serat-serat tersebut dapat dengan mudah terurai dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk alami.

Penelitian yang dilakukan oleh Dedi Setiawan (2015), menunjukkan bahwa serat abaca dapat digunakan sebagai alternatif material penguat komposit dengan terlebih dahulu diberi perlakuan diantaranya menggunakan alkali (NaOH). Pemberian perlakuan ini dapat merubah sifat-sifat mekanik serat abaca yang meliputi meningkatkan regangan (*strain*) sebesar 50,89%, meningkatkan kekuatan tarik (*tensile strength*) sebesar 26.52%, dan menurunkan modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) sebesar 6.11%.

Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa serat abaca memiliki kuat tarik yang tinggi dan tahan terhadap air asin. Berdasarkan penelitian Vijayalakshmu (2014), serat abaca adalah serat alami yang paling kuat dibandingkan dengan serat lainnya di mana pada penelitian ini akan memanfaatkan serat abaca (*Musa Textilis*) yang berasal dari pelepah pisang Abaca.

Serat Abaca memiliki potensial yang besar untuk dikembangkan sebagai alternatif perkuatan struktur beton bertulang berupa *natural fiber* yang terinspirasi dari CFRP dan GFRP. Penelitian ini akan mengembangkan *natural fiber reinforced polymer* dalam bentuk lembaran strip yang akan digunakan sebagai material perkuatan geser balok beton bertulang. Sebagai perbandingan, juga dibuat benda uji dengan perkuatan material komersil GFRP *sheet*.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penting untuk dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terkait bagaimana perilaku penambahan serat Abaca sebagai material penyusun *Natural Fiber Reinforced Sheet* sebagai material perkuatan pada balok beton bertulang dan penulis tuangkan dalam penelitian yang berjudul **“PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT STRIP U-WRAP ABACA FIBER REINFORCED POLIMER SHEET”**

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perilaku geser balok beton bertulang dengan perkuatan Strip *U-Wrap Abaca Fiber Reinforced Polimer Sheet*?
2. Bagaimana pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang dengan perkuatan Strip *U-Wrap Abaca Fiber Reinforced Polimer Sheet*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan Rumusan Masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perilaku geser balok beton bertulang dengan perkuatan Strip *U-Wrap Abaca Fiber Reinforced Polimer Sheet*
2. Menganalisis pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang dengan perkuatan Strip *U-Wrap Abaca Fiber Reinforced Polimer Sheet*

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan memberi manfaat dalam perkuatan elemen struktur dengan menggunakan material yang bersifat *sustainable* dan ramah lingkungan dengan kapasitas yang mendekati atau sama dengan bahan konvensional yang digunakan saat ini.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

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 dengan ukuran 150 mm x 300 mm dengan panjang 2300 mm, dengan tulangan pokok (longitudinal) menggunakan tulangan ulir 3D16 dan tulangan sengkang (transversal) menggunakan tulangan polos $\phi 8 - 350$ dan $\phi 8 - 300$.

3. Serat abaca diberikan perlakuan terlebih dahulu sebelum dianyam menjadi alternatif perkuatan AFS strip.
4. Serat abaca dianyam secara manual dengan metode silang (*cross matting*).
5. Variasi benda uji menggunakan Balok Kontrol (CB), Balok dengan perkuatan *Abaca Fiber Sheet* (AFS) yang dipasang strip *U-wrapping*, dan Balok dengan perkuatan *Glass Fiber Reinforced Polymerd* (GFRP).
6. Sudut pemasangan FRP pada balok beton bertulang menggunakan sudut 90° , tegak lurus terhadap tulangan longitudinal.
7. Benda uji dibebani dengan beban dua titik secara monotonik menggunakan alat uji statik dengan kapasitas 100 ton.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga tugas akhir yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat 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 ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini 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 lapangan maupun dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian geser balok

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

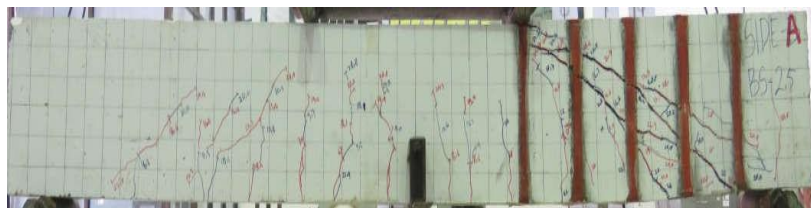
Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Salvana, Wirahman dkk. (2022) melakukan penelitian tentang pengaruh lebar serat abaka sebagai material NFRP untuk kuat geser balok beton bertulang. Serat NFRP Abaca terbungkus penuh (*complete wrapping*) pada permukaan balok beton bertulang. Penelitian dilakukan pada empat balok beton bertulang berukuran 15 cm x 30 cm x 220 cm dengan tumpuan sederhana dengan dua titik pembebanan untuk mengetahui pengaruh lebar serat abaka terhadap peningkatan kuat geser balok. Satu benda uji sebagai benda uji kontrol dan tiga benda uji diperkuat dengan NFRP serat abaca dengan variasi lebar serat masing-masing 2.5 cm, 5 cm, dan 7.5 cm. NFRP serat abaca direkatkan secara penuh (*complete wrapping*) pada permukaan dari salah satu sisi bentang geser balok beton bertulang dengan perekat resin epoxy dan hardener dengan perbandingan 1:1 berbentuk strip dengan jarak 15 cm.



Gambar 1. Pola retak beton serat 2,5 cm



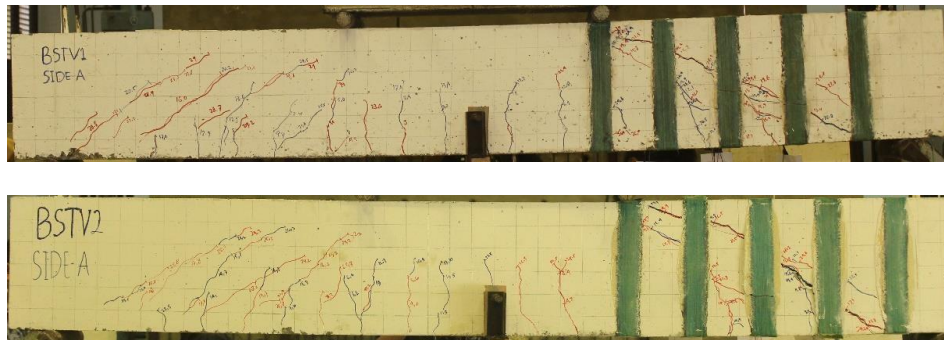
Gambar 2. Pola retak balok serat 5 cm



Gambar 3. Pola retak balok serat 7,5 cm

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kapasitas geser balok beton bertulang seiring bertambahnya lebar serat. Keruntuhan lentur terjadi pada benda uji dengan lebar 7,5 cm, hal ini terjadi karena kapasitas geser balok telah melebihi kapasitas lentur balok. Satu benda uji sebagai benda uji kontrol dan tiga benda uji diperkuat dengan NFRP Serat Abaca dengan variasi lebar serat masing-masing 2,5 cm, 5 cm, dan 7,5 cm. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kapasitas geser balok beton bertulang seiring bertambahnya lebar serat. Keruntuhan lentur terjadi pada benda uji dengan lebar 7,5 cm, hal ini terjadi karena kapasitas geser balok telah melebihi kapasitas lentur balok.

Saidi dkk. (2020) melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah lapisan serat abaka sebagai bahan FRP alami untuk perkuatan geser balok beton bertulang. Dua balok diperkuat geser yang terikat secara eksternal dengan jumlah lapisan NFRP yang berbeda dan juga balok *control* disiapkan. Pengujian dilakukan dengan menerapkan dua beban aksial pada balok.



Gambar 4. Modus kegagalan dan pola retak balok yang diuji

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan satu lapisan dan dua lapisan komposit serat abaca sebagai bahan NFRP untuk balok yang diperkuat geser meningkat 9,78% dan 9,92% beban maksimum. Bahan NFRP komposit serat abaca berkontribusi masing-masing 11% dan 18,57% dari total beban geser maksimum untuk laminasi satu lapisan dan dua lapis masing-masing. Selain itu, perkuatan geser balok yang terikat secara eksternal mempengaruhi pola retak dan nilai lendutan.

Muh. Husardi Husain (2018) melakukan penelitian tentang Pengaruh Perkuatan Geser GFRP *Sheet* Terhadap Perilaku Pola Kegagalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perkuatan geser GFRP *sheet* terhadap kapasitas geser dan pola kegagalan balok beton bertulang. Pada penelitian ini

digunakan benda uji berupa balok beton bertulang dengan dimensi 15 cm x 35 cm x 3300 cm dengan mutu beton yang digunakan 25 MPa. Benda uji dibuat dalam 4 variasi yaitu 1 balok normal dan 3 balok perkuatan. Balok perkuatan pertama diperkuat dengan perkuatan geser GFRP dengan lebar sabuk 75 mm (BGU75). Balok perkuatan kedua diperkuat dengan perkuatan geser GFRP dengan lebar sabuk 100 mm (BGU100). Balok perkuatan ketiga diperkuat dengan perkuatan geser GFRP dengan lebar sabuk 500 mm (BGUF). Ketiga balok perkuatan diperkuat setelah tulangan geser meleleh dengan sabuk GFRP berbentuk *U-Shape* dan pembebanan dengan static monotonic. Hasil penelitian menunjukkan perkuatan geser GFRP *sheet* mampu mengembalikan kekuatan balok sebelum terjadi retak geser dengan persentase BGU75, BGU100, dan BGUF mencapai 89.8%, 91.1% dan 94.8%. Sampai pada beban ultimit semua balok perkuatan tidak mengalami debonding ataupun rupture pada GFRP tetapi terjadi *concrete crushing* pada sisi tekan balok yang terjadi setelah tulangan Tarik meleleh sehingga balok masih dalam kondisi *under reinforced*.

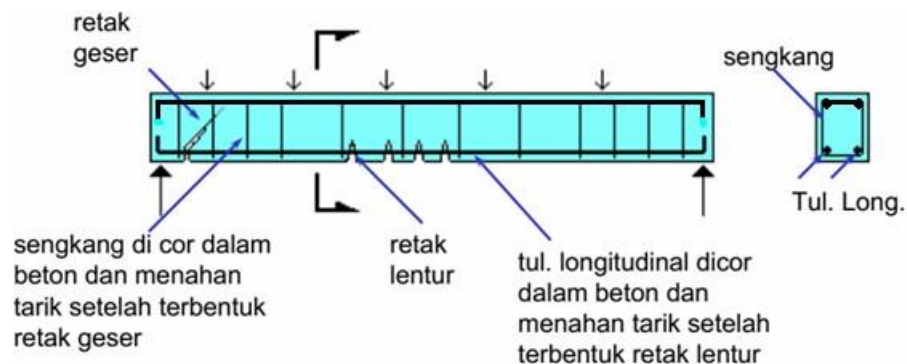
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Turner, J., B. Mather dan M. Lock (2002) Serat abaca juga merupakan salah satu jenis serat alam yang potensial dikembangkan untuk material penguat komposit, khususnya komposit berharga murah dan ramah lingkungan. Ditinjau dari komposisi kimianya serat abaca mengandung: cellulose = 64,72%, moisture = 11,85%, ash = 1,02%, aqueous extract = 0,97%, fat and wax = 0,63%, dan inorganic and pectic matter = 21,83% (Mueller, D. H. and Krobjilowski, A., 2003). Sedangkan menurut Turner, serat abaca mengandung: cellulose = 63,20%, moisture = 10%, aqueous extract = 1,40%, fat and wax = 0,20%, dan lignin = 5,10%, hemi celluloses = 19,60%, dan pectin = 0,50%. Seperti serat alam yang lain, serat abaca perlu diberi perlakuan sebelum digunakan sebagai material penguat komposit untuk meningkatkan kemampuan adhesi antarmuka (*interfacial adhesion*) dan kemampuan menyerap uap air. Pada umumnya, alkali (NaOH) digunakan sebagai medium perlakuan serat alam. Perlakuan alkali (*alkali treatment*) dapat menyebabkan permukaan serat alam menjadi kasar akibat pengikisan lemak yang ada pada permukaan serat. Permukaan serat yang kasar akan memperkuat ikatan mekanik material matriks sehingga dapat

meningkatkan adhesi serat-matriks. Selain alkali, silane, dan isocyanate dapat digunakan sebagai medium perlakuan serat alam.

2.2 Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan pasta yang terbuat dari semen dan air. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat lemah. Beton bertulang merupakan kombinasi antara beton dan batangan baja yang digunakan secara bersama, dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton. Oleh karena itu desain struktur elemen beton bertulang dilakukan berdasarkan prinsip yang berbeda dengan perencanaan desain satu bahan.

Beton bertulang merupakan bahan konstruksi yang umum digunakan dalam berbagai bentuk pada hampir semua struktur seperti bangunan gedung, jembatan, dinding penahan tanah, terowongan, tangki, saluran air dan lainnya, yang dirancang dari prinsip dasar desain dan penelitian elemen beton bertulang yang menerima gaya aksial, momen lentur, gaya geser, momen puntir, atau kombinasi dari jenis gaya-gaya dalam tersebut. Prinsip dasar desain ini berlaku umum bagi setiap tipe sistem struktur selama diketahui variasi gaya aksial, momen lentur, gaya geser dan unsur gaya dalam lainnya, disamping konfigurasi bentang dan dimensi setiap elemen. Pada beton bertulang, unsur beton mempunyai kekuatan tekan yang besar, tetapi tidak mampu menerima tegangan tarik.



Gambar 5. Balok beton bertulang

Ini berarti tulangan baja yang ditanam dalam beton menjadi unsur kekuatan yang memikul tegangan tarik. Seperti dalam Gambar 5, kapasitas balok akan meningkat lebih besar jika tulangan baja ditanam pada bagian tarik (sisi atas pada tumpuan dan sisi bawah pada bentang lapangan) penampang. (Sudarno P Tampubolon, 2022).

2.2.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan merupakan nilai kekuatan tekan maksimum yang dihasilkan dari beban dibagi dengan luas penampang yang menerima beban. Kuat tekan beton tergantung pada tipe campuran, waktu dan kualitas perawatan. Menurut Chu Kia Wang (1993), Kuat tekan ($f'c$) diperoleh berdasarkan hasil uji tekan laboratorium terhadap benda uji baik silinder ataupun kubus pada saat umur beton 28 hari. Mengenai frekuensi pengetesan dianggap memuaskan jika nilai rata-rata pengujian kekuatan yang berurutan sama atau melebihi $f'c$ yang disyaratkan dan tidak ada tes kekuatan individual. Semakin rendah perbandingan air-semen, semakin tinggi kekuatan-tekan. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi di dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan (mudahnya beton untuk dicor) akan tetapi menurunkan kekuatan. Suatu ukuran dari pengerjaan beton ini diperoleh dengan percobaan *slump*.

Menurut peraturan SNI 03-2847-2002, pasal 7.1.3, kuat tekan beton $f'c$ yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari. Pada saat beban ultimit, retak yang searah dengan arah pembebanan menjadi dapat terlihat dengan jelas dan beton akan segera hancur. Diketahui bahwa semakin rendah kekuatan beton, semakin tinggi regangan kegagalan, panjang dari bagian awal yang relatif linear meningkat dengan meningkatnya kekuatan tekan beton dan terjadi penurunan daktilitas yang nyata dengan peningkatan kekuatan.

2.2.2 Kuat Tarik Beton

Perilaku beton pada saat diberikan beban aksial tarik agak berbeda dengan perilaku beton saat diberikan beban tekan. Hubungan tegangan regangan tarik beton pada umumnya bersifat linear sampai terjadinya retak yang biasanya langsung diikuti oleh keruntuhan beton. Kekuatan tarik beton lebih sulit diukur dibanding kuat tekannya karena masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Ada

sejumlah metode yang tersedia untuk menguji kekuatan tarik dan yang paling sering digunakan adalah tes pembelahan silinder. Selain itu juga digunakan *rupture* fr', Nawy, Edward G (1998).

2.3 Kegagalan Balok Beton Bertulang

Kegagalan pada balok beton bertulang pada dasarnya dipengaruhi oleh melelehnya tulangan baja dan hancurnya beton bertulang. Menurut Nawy Edward G. (2003), Ada tiga kemungkinan yang bisa terjadi yang menyebabkan kegagalan balok beton bertulang, yaitu :

a. Kondisi *balanced reinforced*

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

Kondisi regangan : $\epsilon_c=0,003$ dan $\epsilon_s= f_yE_s$

Pada kondisi ini berlaku : $\rho= \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s= \epsilon_y$

b. Kondisi *Over-Reinforced*

Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya penampang beton terlebih dahulu sebelum tulangan baja meleleh.

Pada kondisi ini berlaku: $\rho> \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s< \epsilon_y$

c. Kondisi *Under-Reinforced*

Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja terlebih dahulu dari betonnya. Pada kondisi ini berlaku : $\rho< 75\% \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s> \epsilon_y$

Balok disebut *under-reinforced* jika balok mempunyai lebih sedikit tulangan dari pada yang diperlukan untuk suatu perbandingan seimbang. Jika sebuah balok berada dalam keadaan *under-reinforced* dan beban ultimit sudah hampir tercapai, baja akan mulai meleleh meskipun tegangan pada beton tekan masih belum mencapai tegangan ultimitnya. Jika beban terus diperbesar, tulangan akan memanjang sehingga terjadi lendutan dan muncul retak besar pada beton tarik. Kondisi ini menjadi peringatan bahwa beban harus dikurangi atau struktur akan

rusak dan runtuh. Hal inilah yang menjadi pertimbangan suatu balok harus didesain tetap dalam kondisi *under-reinforced*. Peningkatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan. Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi *under-reinforced*.

2.4 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang

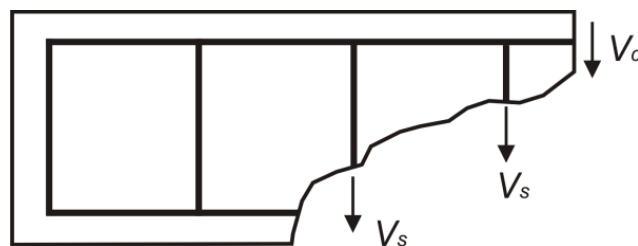
2.4.1 Kapasitas Geser Sebelum Penambahan FRP

Kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, umumnya kerusakan terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok dan dinamakan bentang geser. Retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Pada bentang geser lebih pendek, kerusakan timbul akibat kombinasi dari pergeseran, remuk dan belah, sedangkan untuk balok tanpa tulangan geser dengan bentang geser lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum retak karena tarik diagonal. Terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan geser merupakan peringatan awal kerusakan geser.

Retak miring akibat geser di badan balok bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan sebagai retak geser badan. Retak miring yang terjadi sebagai proses kelanjutan dari retak lentur yang timbul sebelumnya dinamakan sebagai retak geser lentur. Retak jenis terakhir ini dapat dijumpai pada balok beton bertulang biasa maupun pra tegang. Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung melambat dimulai dari tepi masuk ke dalam balok dengan arah hampir tegak lurus. Proses tersebut terus berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai terjadinya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser di ujung salah satu rekatan terdalam, yang terjadi tegangan geser cukup besar dan mengakibatkan terjadinya retak miring. Tulangan baja pada balok beton bertulang lentur arah memanjang bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat, tulangan baja yang diperuntukkan menahan momen

lentur di dalam 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), pergeseran beton ditahan oleh:

1. Aksi pasak oleh tulangan memanjang (Vd)
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 6. Perlawanan terhadap geseran

Perencanaan penulangan geser menurut SNI 2847:2019 menggunakan persamaan:

$$\phi V_n \geq V_u \text{ atau } V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (1)$$

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

$$V_n = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2)$$

Untuk gaya geser yang disumbangkan oleh sengkang vertikal (V_s) menggunakan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots (3)$$

Tetapi kuat geser V_s dapat diambil dari nilai

$$V_s = \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{f'c} b_w \dots\dots\dots (4)$$

Untuk jarak tulangan geser yang dipasang 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

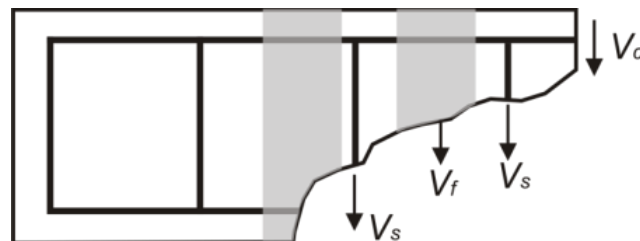
komponen struktur tersebut mampu mengembangkan kuat lentur dan geser nominal yang diperlukan tanpa adanya tulangan geser.

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

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f'_c} b_w d}{(1200) f_y} \dots\dots\dots (5)$$

Tetapi A_v boleh kurang dari $\frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$, dengan b_w dan s dinyatakan dalam milimeter.

2.4.2 Kapasitas Geser Setelah Penambahan FRP



Gambar 7. Perlawanan terhadap geseran setelah penambahan FRP

Dengan adanya penambahan FRP, kontribusi dari kapasitas geser yang disumbangkan oleh FRP perkuatan tersebut perlu diperhitungkan. Sehingga, persamaan (6) dapat ditulis menjadi

$$\phi V_n \geq V_u \text{ atau } \phi V_n = \phi (V_c + V_s + \Psi V_f) \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

V_u = gaya geser berfaktor (kN),

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

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

V_f = kekuatan geser yang disumbangkan oleh FRP Perkuatan (kN)

V_n = kekuatan geser nominal (kN),

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 bentuk plat.

Kekuatan geser FRP V_f dapat dihitung sesuai dengan persamaan 7 berikut.

$$V_f = \frac{A_f f_{fe} (\sin a + \cos a) d_{fv}}{s_f} \text{ atau } A_f = 2nt_f w_f \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

- A_f = luas perkuatan geser FRP (mm^2),
- V_f = kekuatan geser yang disumbangkan FRP (kN),
- S_f = jarak komposit pusat ke pusat (mm),
- d_{fv} = tinggi komposit (mm),
- t_f = ketebalan FRP (mm),
- w_f = lebar FRP (mm)

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

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_{fe} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

- ε_{fe} = regangan efektif,
- E_{fe} = modulus elastisitas GFRP

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

Untuk *wrap* yang direkatkan pada empat sisi

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.075 \varepsilon_{fu} \dots\dots\dots (9)$$

Untuk *wrap* yang direkatkan pada tiga sisi

$$\varepsilon_{fe} = K_v f_u \leq 0.004 \varepsilon_{fu} \dots\dots\dots (10)$$

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

$$K_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0.75 \dots\dots\dots (11)$$

$$L_e = \frac{23300}{(nt_f E_f)^{0.58}} \dots\dots\dots (12)$$

Dengan

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (13)$$

$$k_2 = \left(\frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} \right) \text{ untuk } U\text{-Wrap} \dots\dots\dots (14)$$

$$k_2 = \left(\frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} \right) \text{ untuk dua sisi} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana,

ε_{fu} = regangan ultimit,

K_v = koefisien reduksi lekatan geser,

L_e = panjang ikatan aktif (mm),

k_1 = faktor koefisien reduksi ikatan,

k_2 = faktor koefisien reduksi ikatan,

n = jumlah lapisan FRP,

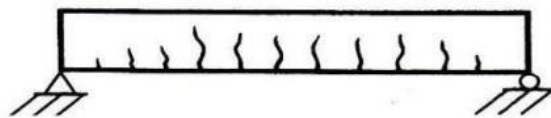
d_{fv} = tinggi efektif FRP (mm),

f'_c = kuat tekan beton eksisting (kN)

2.5 Retak pada Balok Beton Bertulang

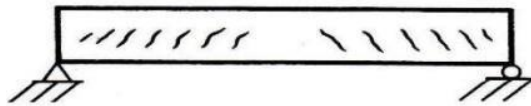
Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan. Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990):

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok. Retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik balok dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netralnya.



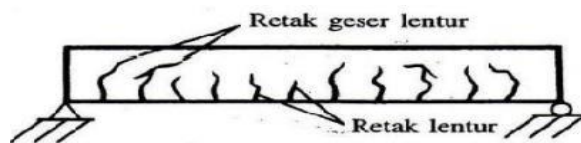
Gambar 8. Pola retak lentur

2. Retak Geser (*Web Shear Crack*), keretakan miring akibat geser dapat terjadi pada balok sebagai retak bebas maupun sebagai perpanjangan retak lentur. Akan tetapi pada beberapa kasus retak geser akan berkembang secara bebas pada balok meskipun tidak ada retak lentur pada daerah tersebut. Retak miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil.



Gambar 9. Pola retak geser

3. Retak Geser-Lentur (*Flexural Shear Crack*), merupakan perpaduan retak geser dan retak lentur. Retak geser-lentur terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur.



Gambar 10. Pola retak geser-lentur

Apabila struktur dibebani dengan suatu beban yang menimbulkan momen lentur masih lebih kecil dari momen retak maka tegangan yang timbul masih lebih kecil dari modulus of rupture beton $f_r = 0,70 \sqrt{f_c}$. Apabila beban ditambah sehingga tegangan tarik mencapai f_r , maka retak kecil akan terjadi. Apabila tegangan tarik sudah lebih besar dari f_r , maka penampang akan retak.

Ada tiga kasus yang dipertimbangkan dalam masalah retak yaitu:

- a. Ketika tegangan tarik $f_t < f_r$, maka penampang dipertimbangkan untuk tidak terjadi retak. Untuk kasus ini $I_g = \frac{1}{12} b h^3$
- b. Ketika tegangan tarik $f_t = f_r$, maka retak mulai timbul. Momen yang timbul disebut momen retak dan dihitung sebagai berikut:

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y}, \text{ dimana } y = \frac{h}{2}$$

- c. Apabila momen yang bekerja sudah lebih besar dari momen retak maka retak penampang sudah meluas. Untuk perhitungan digunakan momen inersia retak (I_{cr}), transformasi balok beton yang tertekan, transformasi dan tulangan n.As.

Beton bertulang akan mengalami retak yang disebabkan oleh kekuatan tarik beton yang cukup rendah. Retak tidak dapat dicegah dan dihindari namun dapat dibatasi ukurannya dengan menyebar atau mendistribusikan tulangan pada beton. Nilai lebar retak maksimum yang dapat diterima sangat bervariasi yaitu dari sekitar

0,004 sampai 0,016 dan nilai ini sangat tergantung pada lokasi terjadinya retak, jenis struktur, tekstur permukaan beton, iluminasi, dan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi terjadinya retak pada balok beton bertulang.

2.6 Metode Perbaikan dan Perkuatan

Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kerusakan/kehancuran. Perkuatan struktur diperlukan apabila terjadi kerusakan yang menyebabkan degradasi yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu kekuatan, kekakuan dan daktilitas, kestabilan, serta ketahanan terhadap kinerja tertentu (Triwiyono, 1998).

Pemilihan material dan penentuan metode perbaikan dan perkuatan didasarkan pada jenis kerusakan yang terjadi, besar dan luasnya kerusakan, faktor lingkungan, ketersediaan peralatan, waktu pelaksanaan, dan biaya yang dibutuhkan. Berikut merupakan beberapa metode perbaikan dalam menangani kerusakan yang umum terjadi pada beton :

1. Injeksi Perbaikan injeksi dilakukan pada kerusakan akibat retak, dimana retak dibedakan menjadi dua yaitu retak struktur dan non-struktur. Untuk retak non-struktur digunakan metode injeksi dengan material pasta semen yang dicampur dengan *expanding agent* atau hanya melakukan sealing dengan material mortar polymer. Sedangkan untuk retak struktur digunakan metode injeksi dengan material *epoxy* yang memiliki viskositas rendah sehingga dapat mengisi sekaligus melekatkan kembali bagian beton yang terpisah.
2. Grouting Perbaikan grouting adalah metode perbaikan dengan melakukan pengecoran memakai bahan *non-shrink* mortar. Metode ini dapat dilakukan secara manual atau menggunakan pompa dengan persyaratan material harus memiliki sifat mengalir dan tidak susut.
3. Perbaikan *shotcrete* adalah menembakkan mortar dengan tekanan pada lubang atau permukaan beton yang memerlukan perbaikan. Metode ini dilakukan dengan memompa material yang telah dicampur melalui pipa kemudian mortar yang masih kering ditembak/dipompa dan akan tercampur dengan air di ujung saluran.



Gambar 11. Konsep perbaikan dan perkuatan struktur

Beberapa metode perkuatan yang umum dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Concrete Jacketing* adalah suatu metode perkuatan dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan. Dalam melakukan perkuatan dengan concrete jacketing biasanya digunakan bahan *micro concrete* yang memiliki sifat dapat memadat tanpa bantuan *vibrator (self compaction)*. Teknik perkuatan ini digunakan pada kolom dengan tujuan untuk memperbesar penampang kolom sehingga kekuatan geser beton menjadi meningkat.
2. *Steel Jacketing* adalah metode perkuatan kolom persegi beton bertulang. Steel jacketing terdiri dari empat sudut baja longitudinal yang ditempatkan di setiap sudut kolom. Sudut longitudinal ini terhubung bersama menjadi sebuah kerangka yang dihubungkan dengan strap baja *transversal*.
3. *Fiber Reinforced Polymer* Perkuatan pada balok dilakukan dengan menggunakan *fiber carbon*. Metode perkuatan menggunakan FRP dilakukan dengan cara menempelkan pada permukaan beton dengan menggunakan perekat *epoxy*. FRP merupakan bahan yang ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi.

Pemilihan metode perkuatan dipengaruhi oleh beberapa pertimbangan, antara lain:

1. Efektifitas perkuatan.
2. Kemudahan pelaksanaan perkuatan
3. Biaya, dalam hal ini terkait dengan pemilihan bahan agar diperoleh hasil perkuatan sesuai dengan yang diinginkan dan dapat tahan lama.

2.7 Karakteristik Material

2.7.1 *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

FRP merupakan material komposit yang digunakan dalam konstruksi sipil. Produk FRP yang terbuat dari kaca lebih dikenal dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. GFRP terbuat dari kaca cair yang dipanaskan sekitar 2300°F dan dipintal dengan bantuan *Bushing Platinumrhodium* pada kecepatan 200 mph, dan yang terbuat dari karbon dikenal dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

Material komposit mempunyai beberapa kelebihan seperti berkekuatan tinggi, ringan dan punya daya tahan yang tinggi. Selain itu FRP juga merupakan bahan non korosi, netral terhadap gaya magnet jika dibandingkan terhadap baja, FRP punya kuat tarik lebih besar, modulus elastisitas kecil dan hubungan tegangan-regangan elastisitas. Terdapat beberapa keuntungan menggunakan FRP sebagai bahan perkuatan struktur:

- a. Teknik yang digunakan dalam pemasangan tidak mengganggu penggunaan struktur lainnya.
- b. Meningkatkan kapasitas struktur dengan penambahan berat struktur sendiri adalah minimum.
- c. Teknik yang digunakan relatif cepat, meminimalkan waktu bekerja.
- d. Material FRP lebih tipis dan lebih ringan daripada menggunakan perkuatan dari baja.

Akan tetapi perlu diperhatikan kelemahan-kelemahan pemakaian bahan ini, antara lain kurang tahan terhadap suhu yang tinggi. Dengan suhu sekitar 70°C bahan perekat *epoxy resin* akan berubah dari kondisi keras menjadi lunak, bersifat plastis sehingga daya lekatnya akan menurun.

Selain itu material FRP ini juga tidak tahan terhadap sinar ultra violet. Maka untuk mengatasi kelemahan ini perlu dilakukan proteksi, misalnya pelapisan atau penutupan dengan mortar. FRP terdiri atas tiga macam berdasarkan bahan seratnya yaitu *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* yang terbuat dari serat gelas, *Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP)* yang terbuat dari aramid, dan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* yang terbuat dari karbon.

2.7.2 *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastic diperkuat oleh serat halus dari kaca. GFRP merupakan jenis perkuatan yang memiliki kekuatan yang sangat besar dan merupakan bahan yang ringan. Meskipun memiliki sifat kekuatan yang sedikit lebih rendah dan kurang kaku dari serat karbon.



Gambar 12. *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Penggunaan GFRP biasanya digunakan untuk perkuatan balok, kolom dan struktur bangunan lainnya karena GFRP merupakan bahan yang tahan akan segala jenis cuaca, tahan terhadap larutan yang bersifat garam seperti air laut (korosi) dan lainnya. Pada penelitian ini GFRP yang digunakan adalah *type* SEH51A. Adapun spesifikasi karakteristik material GFRP-S dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Karakteristik *Glass Fiber Reinforced Polymer* Tyfo SHE-51A

SIFAT MATERIAL GFRP			
KEADAAN LEPAS		KEADAAN KOMPOSIT DENGAN EPOXY RESIN	
SIFAT MATERIAL	NILAI TEST	SIFAT MATERIAL	NILAI TEST
Tegangan Tarik	3, 24 GPa	Tegangan Tarik ultimate	460 MPa
Modulus Tarik	72,4 GPa	Modulus Tarik	20,9 GPa
Regangan maks	4,50%	Regangan	2,20%
Kerapatan	2,55 g/cm ²	-	-
Berat per luasan	915 g/m ²	-	-
Tebal Fiber	0,36 mm	Tebal Komposit	1,3 mm

(Sumber: Fyfe.Co.LLC)

Tabel 1 menunjukkan data karakteristik material GFRP dalam keadaan lepas atau dalam kondisi kering. Serat-serat inilah yang digunakan dalam membentuk lembaran GFRP dengan ketebalan tertentu, dan menunjukkan spesifikasi lembaran komposit GFRP tipe SEH-51A. Tebal lembaran GFRP yang digunakan yaitu 1,3 mm. GFRP memiliki nilai kuat tarik ultimit yang berbeda berdasarkan arah serat di mana pada arah utama serat, nilai kuat tarik GFRP sebesar 460 MPa sedangkan pada arah tegak lurus arah utama serat (90° terhadap arah utama serat), nilai kuat tariknya hanya sebesar 20,7 MPa.

2.7.3 *Abaca Fiber Sheet (AFS)*

Abaca (Musa textillis nee), merupakan tumbuhan alami yang termasuk family *musacease* (tanaman pisang), tanaman ini mulai dipakai tahun 1519 di negara Filipina. Tumbuhan pisang abaca ini merupakan tanaman pisang yang tidak menghasilkan buah atau disebut pisang jantan (tidak menghasilkan buah). Serat tanaman pisang tahan terhadap air garam, sehingga banyak juga digunakan untuk produksi tali kapal (Sudjendro, 1999).

Dengan perkembangan teknologi dibidang rekayasa material saat ini, maka berbagai terobosan untuk menciptakan material-material yang berkualitas tinggi serta ramah lingkungan. Penambahan bahan tambah serat di dalam adukan beton disebut beton serat (*fiber reinforced concrete*). Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*poly-propylene*), serat kaca (*glass*), serat kawat baja, serat tumbuh-tumbuhan seperti: abaca, rami, sabut kelapa, bambu, ijuk. Serat abaca adalah serat yang terkuat dari semua serat alami lainnya dengan kekuatan tarik yang tinggi dan kekuatan lipat, daya apung, porositas tinggi, ketahanan terhadap kerusakan air asin, dan panjang serat 2 - 4 meter. Pada Tabel 2, dapat dilihat tentang perbandingan sifat fisik dari abaca dengan serat alam lainnya (Vijayalakshmi, 2014).

Tabel 2. Perbandingan sifat fisik serat abaca dengan serat lainnya

Physical properties	Abaca	Hemp	Jute	Sisal	Linen	Cotton
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/m 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

(Sumber: Vijayalakshmi, 2014)

Serat abaca juga merupakan salah satu jenis serat alam yang potensial dikembangkan untuk material penguat komposit, khususnya komposit berharga murah dan ramah lingkungan. Ditinjau dari komposisi kimianya serat abaca mengandung: cellulose = 64,72%, moisture = 11,85%, ash = 1,02%, aqueous extract = 0,97%, fat and wax = 0,63%, dan incrusting and pectic matter = 21,83% (Mueller, D. H. and Krobjilowski, A., 2003). Sedangkan menurut Turner, serat abaca mengandung: cellulose = 63,20%, moisture = 10%, aqueous extract = 1,40%, fat and wax = 0,20%, dan lignin = 5,10%, hemi celulloses = 19,60%, dan pectin = 0,50%. Seperti serat alam yang lain, serat abaca perlu diberi perlakuan sebelum digunakan sebagai material penguat komposit untuk meningkatkan kemampuan adhesi antarmuka (interfacial adhesion) dan kemampuan menyerap uap air. Pada umumnya, alkali (NaOH) digunakan sebagai medium perlakuan serat alam. Perlakuan alkali (alkali treatment) dapat menyebabkan permukaan serat alam menjadi kasar akibat pengikisan lemak yang ada pada permukaan serat. Permukaan serat yang kasar akan memperkuat ikatan mekanik material matriks sehingga dapat meningkatkan adhesi serat-matriks. Selain alkali, silane, dan isocyanate dapat digunakan sebagai medium perlakuan serat alam (Turner, J., B. Mather dan M. Lock. 2002).

2.7.4 Epoxy Resin

Epoxy Resin adalah larutan yang digunakan untuk merekatkan serat *fiber* pada beton atau objek yang ingin diperkuat. Campuran *resin epoxi* terdiri dari bahan padat dan cair yang saling larut. Campuran dengan *resin epoxi* yang lain dapat digunakan untuk mencapai kinerja tertentu dengan sifat yang diinginkan. *Resin epoxy* dikeringkan dengan menambahkan anhidrida atau pengeras amina. Setiap

pengeras menghasilkan profil larutan yang berbeda dan sifat yang diinginkan untuk produk jadinya. Beberapa keuntungan *resin epoxy* 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
- e. Memiliki sifat adhesi yang baik terhadap berbagai macam pengisi, serat dan substrat lainnya

Tabel 3. Karakteristik material Epoxy Resin

SIFAT MATERIAL EPOXI		
Waktu pengeringan : 72 Jam (Suhu ruang 60°C)		
SIFAT MATERIAL	METODE ASTM	NILAI TEST
Kekuatan Tarik	ASTM D-638	72.4 MPa
Modulus Tarik	-	3.18 GPa
Persen Regangan	ASTM D-638	5%
Kekuatan Lentur	ASTM D-790	123.4 MPa
Modulus Lentur	ASTM D-790	3.12 GPa

Sumber: Fyfe.Co LLC

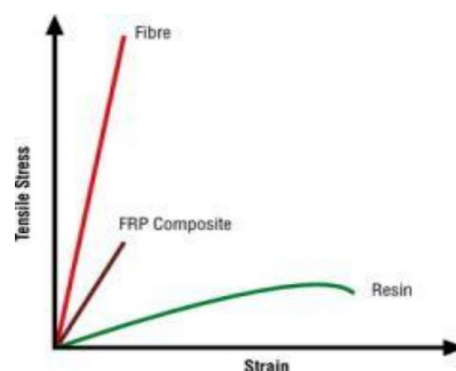
FRP direkatkan pada permukaan elemen struktur secara kimiawi dengan perekat. Perekatan secara kimiawi sangat praktis karena tidak menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan, lebih mudah dilaksanakan dibandingkan dengan perekat mekanis dan tidak menyebabkan kerusakan pada material dasar atau material kompositnya. Perekat yang paling cocok digunakan pada material komposit adalah perekat yang mempunyai bahan dasar *epoxy resin*.

Perekat ini dibuat dari campuran 2 komponen. Komponen utamanya adalah cairan organik yang diisikan ke dalam kelompok *epoxy*. Permukaan yang akan dilekatkan harus dipersiapkan untuk mendapatkan lekatan yang efektif. Permukaan harus bersih dan kering, bebas dari oksida, oli, minyak dan debu. Bahan perekat yang digunakan dalam penelitian ini juga merupakan produk dari Fyfe Co.

2.7.5 Komposit

Komposit adalah suatu material yang dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda dimana satu material sebagai pengisi (matrix) dan lainnya sebagai fasa penguat (Reinforcement). Komposit biasanya tersusun dari dua bahan dasar yaitu serat dan matrik. Serat biasanya bersifat lentur, mempunyai kekuatan tarik yang baik, namun tidak dapat digunakan pada temperatur yang tinggi sedangkan matrik biasanya bersifat ulet, lunak, elastis dan bersifat mengikat jika sudah mencapai titik bekunya. Kedua bahan yang berbeda sifat ini digabungkan untuk mendapatkan satu bahan baru (komposit) yang mempunyai sifat yang berbeda dari sifat partikel penyusunnya (Gibson, 1994). Salah satu komposit yang banyak digunakan ialah *fiber composites* atau komposit serat. Komposit serat merupakan komposit yang penyusunnya adalah serat. Serat dalam komposit jenis ini berfungsi sebagai penopang kekuatan komposit, sehingga tinggi dan rendahnya kekuatan komposit bergantung dari serat yang digunakan. Tegangan yang didapat oleh komposit awalnya diterima matrik dan kemudian diteruskan oleh serat.

Semakin berkembangnya teknologi memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan dan kaku. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan teknologi tinggi di bidang industri, transportasi dan konstruksi bangunan. Karena komposit adalah kombinasi sistem resin dan serat penguat, maka sifat-sifat yang dimiliki komposit adalah kombinasi dari sifat sistem resin dan serat penguatnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik hubungan *strain-tensile stress* dari beberapa komposit