

SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh:

**HAMRUL U
D011 19 1118**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

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

Disusun dan diajukan oleh

**HAMRUL U
D011 19 1118**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 5 Juni 2023 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. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Hamrul U
NIM : D011191118
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**{Perilaku Geser Balok Beton Bertulang yang di Perkuat dengan *Full U-Wrap*
Abaca Fiber Sheet Reinforced Polymer}**

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, 5 Juni 2023

Yang Menyatakan



Hamrul U

ABSTRAK

HAMRUL U. PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN FULL U-WRAP ABACA FIBER SHEET REINFORCED POLYMER (Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng dan Dr. Eng. Fakhruddin, ST, M.Eng)

Kerusakan yang terjadi pada balok beton bertulang biasanya ditandai dengan adanya retak, lubang dan *spalling* yang apabila tidak segera diatasi dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan struktur. Dalam dunia ketekniksipilan dikenal istilah perkuatan (*strengthening*) sebagai salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas elemen struktur dalam menahan beban. Seiring berkembangnya teknologi konstruksi terdapat beberapa jenis perkuatan yang umum digunakan antara lain perbesaran penampang, *external strengthening*, *Steel plate*, dan *fiber reinforced polymer* (FRP). Namun metode tersebut masing-masing memiliki kekurangan dalam hal biaya dan material yang harus didatangkan dari luar. Oleh karena itu diusulkan metode perkuatan yang ramah lingkungan dan biaya yang rendah serta mudah didapatkan yaitu *Natural Fiber* jenis abaca, dimana material ini sangat melimpah di daerah tropis dan sangat melimpah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku geser serta pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan *Abaca Fiber Reinforced Polymer* (AbFRP). Perilaku geser didiskusikan berdasarkan perilaku beban-lendutan, beban maksimum, beban-regangan baja, beban-regangan FRP dan beban-regangan beton. Tahapan pada penelitian ini terbagi atas dua yaitu pengujian karakteristik material dan pengujian geser balok beton bertulang. Pengujian karakteristik material AbFRP dilakukan menggunakan sampel 250 mm x 25 mm x 1.5 mm. Sebelum dilakukan pengujian tarik AbFRP terlebih dahulu serat Abaca diberi perlakuan NaOH 0,5%. Sementara itu, untuk pengujian geser balok menggunakan sebanyak 5 buah yang terdiri dari balok kontrol, balok yang diperkuat dengan AbFRP, serta balok yang diperkuat dengan *Glass Fiber*. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan perkuatan *Abaca Fiber Reinforced Polyme* (AbFRP) dapat meningkatkan beban maksimum dan kekakuan pada balok dan membuat balok lebih daktail. Dari mode kegagalan, balok yang diperkuat dengan AbFRP hampir sama dengan balok yang diperkuat dengan GFRP tetapi kinerja geser pada perkuatan jenis AbFRP lebih daktail dari pada GFRP. Dari mode kegagalan, balok yang diperkuat AbFRP maupun GFRP keduanya mengalami kegagalan lentur.

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

ABSTRACT

HAMRUL U. SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAM WITH FULL U-WRAP ABACA FIBER SHEET REINFORCED POLYMER (Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng dan Dr. Eng. Fakhruddin, ST, M.Eng)

The existence of fractures, holes, and spalling in reinforced concrete beams is a symptom of damage to the concrete. If not fixed immediately can cause structural collapse. The term reinforcement is acknowledged as a method to increase the capacity of structural elements to withstand loads in engineering. As construction technology develops, several types of reinforcement are often applied, including cross-sectional enlargement, external strengthening, steel plate, and fiber-reinforced polymer (FRP). However, each of these methods has issues in terms of costs as the materials need to be carried from outside. Natural Fiber of The Abaca Type, where this material is overflowing in the tropics, is proposed as the solution for strengthening environmentally friendly methods, low cost, and easy to obtain. This research intended to analyze the shear behavior, fracture patterns, and failure modes of reinforced concrete beams reinforced with Abaca Fiber Reinforced Polymer (AbFRP). Shear behavior is discussed based on load-deflection behavior, maximum load, steel load-strain, FRP load-strain, and concrete load-strain. The procedure in this research is divided into two tests. That is the characteristics of the material test and shear of reinforced concrete beams test. The characteristics of the AbFRP material test were researched using a 250 mm x 25 mm x 1,5 mm sample. The Abaca fiber is first treated with 5% NaOH before the AbFRP tensile test is examined. Meanwhile, for the beam shear test, a total of 5 beams were applied. There are control beams, beams reinforced with AbFRP, and beams reinforced with Glass Fiber. The results presented that the benefit of Abaca Fiber Reinforced Polymer (AbFRP) reinforcement can increase the maximum load and stiffness of the beam and make it more resilient. From the failure mode, the beam reinforced with AbFRP is almost the same as the beam reinforced with GFRP, but the shear performance of the reinforced AbFRP is more resilient than that of GFRP. From the failure mode, both AbFRP and GFRP reinforced beams experience flexural failure.

Keywords: Shear reinforcement, Abaca Fiber Reinforced Polymer, Glass Fiber Reinforced Polimer

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang.....	11
2.3 Perkuatan Geser dengan <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	14
2.4 Retakan Pada Balok Bertulang.....	19
2.5 Kegagalan Pada Balok Beton Bertulang.....	21
2.6 <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i>	22
2.7 Komposit.....	24
2.7.1 Bagian Utama Komposit.....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Bagan Alir Penelitian.....	28
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.3.1 Pengujian Karakteristik Mekanis Tulangan.....	29
3.3.2 Pengujian Karakteristik Mekanis Beton.....	30
3.3.3 Pengujian Karakteristik Mekanis <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i>	30
3.3.4 Pengujian Geser Balok.....	32
3.4 Benda Uji.....	34
3.4.1 <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i>	34
3.4.2 Benda Uji Balok.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Karakteristik Mekanis Tulangan.....	43
4.2 Karakteristik Mekanis Beton.....	44
4.3 Karakteristik Mekanis <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i>	45
4.4 Hubungan Beban dan Lentutan.....	47
4.5 Beban Maksimum.....	50
4.6 Perbandingan Analisis Teoritis dan Hasil Pengujian.....	51
4.7 Hubungan Beban-Regangan.....	54

4.7.1 Hubungan Beban-Regangan Tulangan Tarik.....	54
4.7.2 Hubungan Beban-Regangan Tulangan Sengkang.....	54
4.7.3 Hubungan Beban-Regangan FRP	56
4.7.4 Hubungan Beban-Regangan Beton	57
4.8 Pola Retak dan Mode Kegagalan	58
4.8.1 Pola Retak dan Mode Kegagalan CB.....	58
4.8.2 Pola Retak dan Mode Kegagalan SBA	60
4.8.3 Pola Retak dan Mode Kegagalan SBG	62
4.9 Perbandingan Hasil Teoritis dan Experimental.....	63
BAB V . KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pola retak (a) NC, (b) UHPFRC, (c) UHPFRC-CFRP.....	7
Gambar 2. Modulus kegagalan balok kontrol.....	7
Gambar 3. Modulus kegagalan balok diperkuat <i>Inggris</i>	7
Gambar 4. Modulus keruntuhan balok yang diperkuat UJ	8
Gambar 5. Modulus kegagalan balok yang diperkuat UJR	8
Gambar 6. Modulus kegagalan balok perkuatan TK	8
Gambar 7. Modulus kegagalan balok diperkuat TJ	8
Gambar 8. Modulus kegagalan balok diperkuat TJR.....	9
Gambar 9. Modulus kegagalan balok diperkuat pelat CFRP	9
Gambar 10. Pola retak (a) CB, (b) B-U60, (c) B-U60-45, (d) B-FW60, (e) B-U85, (f) B-U500, (g) G1-U500, (h) G2-U500, (i) PD1, (j) PD2	11
Gambar 11. Perlawanan terhadap geseran sebelum.....	12
Gambar 12. Diagram bidang geser.....	14
Gambar 13. Jenis retakan pada balok	20
Gambar 14. Diagram keruntuhan	22
Gambar 15 . Grafik hubungan <i>strain-tensile stress</i> dari beberapa komposit	27
Gambar 16. Diagram alir penelitian	29
Gambar 17. <i>Universal Testing Machine</i> (UTM)	30
Gambar 18. Dimensi benda uji.....	30
Gambar 19. Benda Uji Pengujian Karakteristik Mekanis AbFRP	31
Gambar 20 <i>Universal Testing Machine</i> (UTM)	31
Gambar 21 <i>Linear Variable Displacement Transducer</i> (LVDT).....	32
Gambar 22. <i>Strain gauge</i> baja dan CN <i>Adhesive</i>	32
Gambar 23. (a) PL-60-11-5 (<i>gauge factor</i> $2.10 \pm 1\%$), (b) <i>strain gauge</i>	33
Gambar 24. Alat <i>Load cell</i> dan <i>Data logger</i>	33
Gambar 25. Abaca dan CFRP	34
Gambar 26. Skema Uji Tarik <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i> (AbFRP).....	35
Gambar 27. Pabrikasi Benda Uji AbFRP	36
Gambar 28. Dimensi benda uji.....	38
Gambar 29. Pabrikasi benda uji balok beton bertulang	39
Gambar 30. Pemasangan AbFRP dan GFRP.....	40
Gambar 31. <i>Setup</i> benda uji	41
Gambar 32. Posisi <i>strain gauge</i>	41
Gambar 33. Pengujian tarik tulangan baja.....	44
Gambar 34. Pengujian tekan beton.....	45
Gambar 35. Pengujian tarik <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i> (AbFRP) menggunakan UTM	46
Gambar 36. Hubungan tegangan-regangan AbFRP <i>treated</i>	47
Gambar 37. Grafik hubungan beban dan lendutan Balok	48
Gambar 38. Balok SBA	49
Gambar 39. Grafik beban maksimum	50
Gambar 40. Kurva hubungan momen dan kurvatur.....	53
Gambar 41. Grafik hubungan beban-regangan tulangan tarik	54
Gambar 42. Grafik hubungan beban-regangan tulangan sengkang	55
Gambar 43. Grafik hubungan beban-regangan FRP.....	56
Gambar 44. Grafik hubungan beban-regangan beton	57
Gambar 45. Pola retak pada balok kontrol (CB)	58
Gambar 46. Retak awal balok kontrol (CB)	58
Gambar 47. Retak awal pada daerah geser	59

Gambar 48. Lebar retak diagonal	59
Gambar 49. Retak utama pada balok CB	59
Gambar 50. Pola Retak dan mode kegagalan pada balok SBA sebelum AbFRP dilepas .	60
Gambar 51. Pola Retak dan mode kegagalan pada balok SBA setelah perkuatan dilepas	60
Gambar 52. Retak awal pada balok <i>Abaca Fiber Reinforced Polymer</i> SBA	61
Gambar 53. Beton mengalami <i>Spalling</i>	61
Gambar 54. Pola retak dan mode kegagalan balok SBG	62
Gambar 55. Retak awal pada balok SBG	62
Gambar 56. Beton mengalami <i>Spalling</i>	63
Gambar 57. Penampang benda uji.....	64
Gambar 58. Perbandingan kapasitas geser AbFRP dan SBG	69

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi GFRP <i>Type</i> SHE051A dalam <i>dry sheet</i>	17
Tabel 2. Spesifikasi GFRP <i>Type</i> SEH51-A dalam bentuk komposit	17
Tabel 3. Lebar retak maksimum yang diizinkan (ACI Commite 224R-01, 2001).....	21
Tabel 4. Perbandingan sifat fisik serat abaca dengan serat alami lainnya.....	23
Tabel 5. Dimensi Benda Uji AbFRP	37
Tabel 6. Variasi benda uji kuat lentur	37
Tabel 7. <i>Mix Design</i> beton normal per m ³	38
Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	43
Tabel 9. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari	44
Tabel 10. Hasil Uji tarik AbFRP <i>Untreated</i> dan <i>Treated</i>	46
Tabel 11. Rekapitulasi Hubungan Beban-Lendutan	49
Tabel 12. Kontribusi kapasitas geser balok beton bertulang.....	51
Tabel 13. Perbandingan Kapasitas Beban dan Momen Berdasarkan Analisi dengan Hasil Pengujian	52
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teoritis dan Eksperimental	68

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
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)
S	Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok penampang (mm)
f_y	Kuat leleh tulangan geser (MPa)
Φ	Faktor reduksi kekuatan, $\Phi = 0.64$
Ψ	Faktor reduksi FRP, $\Psi = 0.95$ untuk komponen yang ditutup
A_{fv}	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 (dari ujung ke titik berat tulangan pokok) (mm)
t_f	Ketebalan FRP (mm)
w_f	Lebar FRP (mm)
ϵ_{fe}	Regangan efektif
E_{fe}	Modulus elastisitas GFRP (MPa)
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)
$P_{cr} (P_{crack})$	Beban saat retak awal
δ_{cr}	Lendutan saat retak awal
$P_y (P_{yield})$	Beban saat tulangan leleh
δ_y	Lendutan saat tulangan leleh
$P_u (P_{ultimate})$	Beban maksimum
δ_u	Lendutan saat beban maksimum
P_n	Kekuatan aksial nominal (kN)
M_n	Momen nominal (kN.m)
E_c	Modulus elastisitas beton (MPa)

C_c	Gaya tekan pada beton (kN)
T_s	Jumlah gaya total dari tulangan tarik (kN)
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)
f_{ju}	Kuat tarik ultimit (MPa)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Kapasitas Lentur dan Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang ..	74
Lampiran 2 Perhitungan Kapasitas Geser Balok SBG	77

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 shalawat serta salaam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir ini yang berjudul “**Perilaku Geser Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat dengan Full U-Wrap Abaca Fiber Sheet Reinforced Polymer**” 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. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Rudy Djamluddin, S.T., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing I dan **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, D.T., M.Eng** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabaran dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
5. **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, dan **Bapak Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, S.t., M.Eng.**, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
6. **Bapak Dr. Eng. Ir. Andi Arwin Aminuddin, 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.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. 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 mempersembahkan kepada:

1. Kepada orang tua tercinta yaitu ayahanda **Usman** dan **ibunda tercinta** atas doa dan kasih sayang selama ini, baik spritual maupun materil dan keluarga tercinta atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.

2. **Hairul, Diana, Anwar, Nia, Rusmin, Mila, dan Aldi**, sebagai saudara dan teman seumur hidup yang selalu memberikan banyak warna dan dukungan dalam hidup penulis.
3. **Wanda** selaku rekan kerja dalam penelitian ini, yang selalu membantu dan menjadi teman diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini
4. **Afdal, Ice, Wanda** sebagai sahabat penulis di dunia perkuliahan. Terima kasih untuk semua pengalaman baru paling menyenangkan yang diberikan selama penulis berkuliah di teknik sipil.
5. **Juna, Yana, Wanda, Ricky**, sebagai rekan kerja di Laboratorium Struktur dan Bahan. Terima kasih untuk semua pengalaman kerja yang sangat berkesan selama penulis berkuliah di teknik sipil.
6. **Kak Fahri, S.T** selaku senior dan partner selama proses penelitian.
7. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur**, terkhusus **Mei, Fikri, Yuni, dan Afdal**. Terima kasih karena telah menjadi teman diskusi yang baik dan telah menghidupkan suasana mukim perkuatan serta membuat penulis tugas akhir menjadi sangat menyenangkan.
8. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang memberikan banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga dari awal hingga akhir nanti.
9. **HMS FT-UH** dan **kanda-kanda senior** yang telah mewadahi dan banyak membantu penulis dalam kehidupan kemahasiswaan

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

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

Gowa, 5 Juli 2023

Penulis

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang adalah struktur yang digunakan dalam dunia konstruksi yang terdiri dari tulangan baja yang disusun dengan rasio yang direncanakan ke dalam beton yang berfungsi menahan gaya tarik pada struktur beton. Beton bertulang mempunyai sifat sesuai dengan material penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang dipikul oleh tulangan baja dan untuk beban tekan dipikul oleh beton.

Seiring pertambahan umur, struktur beton bertulang akan mengalami penurunan kekuatan dari kapasitas awal rencana struktur beton bertulang yang disebabkan adanya faktor perubahan fungsi bangunan, perubahan desain, kualitas pekerjaan yang kurang baik, bencana alam, maupun faktor-faktor lainnya.

Kerusakan yang terjadi pada balok beton bertulang biasanya ditandai dengan adanya retakan yang apabila tidak segera diatasi dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan struktur. Jika hal tersebut terjadi, ada dua hal yang dapat dilakukan yaitu membongkar struktur yang lama lalu menggantinya dengan struktur yang baru atau dengan melakukan perbaikan dan perkuatan struktur.

Perbaikan dan perkuatan struktur dilakukan dengan tujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kembali kapasitas atau kekuatan elemen struktur agar dapat menahan beban sesuai dengan yang direncanakan. Apabila terjadi penambahan beban atau perubahan fungsi struktur bangunan maka diperlukan perkuatan struktur.

Metode perbaikan dan perkuatan struktur yang biasanya dilakukan diantaranya perbesaran penampang (Hong & Lim, 2023), (Hung, Hsiao, Shao, & Yen, 2023), *external strengthening* (Darain, et al., 2016), (G. Ruiz-Pinilla, et al., 2022), *Steel plate* (Tian, et al., 2023), (Dong, et al., 2023), dan *fiber reinforced polymer* (FRP). Namun, belakangan ini FRP menjadi metode perbaikan dan perkuatan struktur yang populer digunakan. FRP adalah jenis material komposit berbentuk lembaran yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas lentur balok.

Penelitian tentang FRP telah banyak dikembangkan oleh peneliti-peneliti terdahulu seperti penelitian yang telah dilakukan oleh (Wang, et al., 2021), (Ajith & Nooh, 2021), (Al-Khafaji, et al., 2021), (Huang, et al., 2021), dan (Bhat, 2021), (Pan, et al., 2023), (Zhou, et al., 2023). FRP memiliki banyak jenis, antara lain adalah CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*), GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*), AFRP (*Aramid Fiber Reinforced Polymer*). FRP memiliki banyak kelebihan seperti bobot yang ringan, kekuatan tarik yang tinggi, tahan terhadap korosi, dan mudah diaplikasikan sehingga menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan dalam metode perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang. Oleh karena itu, dibutuhkan material penyusun FRP dengan karakteristik memiliki kuat tarik yang tinggi, ramah lingkungan, dan penggunaan biaya yang lebih murah.

Menurut Adeniyi, et al., (2019), berbagai serat alami yang berpotensi digunakan sebagai material penyusun FRP adalah sabut kelapa, kelapa sawit, pisang, bambu, sekam padi, dan bahan ramah lingkungan. Serat alam memberikan keunggulan lebih dibandingkan dengan serat sintetis karena biaya yang rendah, sifat mekanis yang cukup baik, kekuatan spesifik yang tinggi, dan ramah lingkungan (Ku, et al., 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Vijayalakshmi, et al., (2014), menunjukkan bahwa serat abaca tahan terhadap air asin dan memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat alam lainnya. Penggunaan *abaca fiber* sebagai material FRP juga telah banyak dikembangkan dimana penelitian tersebut digunakan sebagai material komposit otomotif. A. Simbana, et al., (2022) abaca memiliki ketahanan terhadap pembusukan, sinar UV serta degradasi air garam. Pengembangan serat abaca pada bahan nano dan bahan komposit pada industri otomotif, perkapalan, konstruksi, dan *furniture*. Dengan perkembangan tersebut *natural fiber* memiliki kuat tarik yang tinggi juga potensial digunakan sebagai konstruksi.

Pemanfaatan serat abaca pada bidang konstruksi hanya sebatas sebagai bahan tambah pada beton. Penelitian yang dilakukan Kumar & Roy (2017) melakukan penelitian tentang sifat lentur beton memadat sendiri yang diperkuat dengan serat abaca. Penelitian yang dilakukan Pranoto, et al., (2021), bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh serat abaca terhadap kuat lentur beton.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Tumengkol, et al., (2021) terbatas hanya pada penambahan serat abaca pada campuran beton, dimana penambahan dengan variasi panjang 50 mm dengan penambahan serat 0.15% terjadi peningkatan kuat lentur beton sebesar 40,19% dari beton normal.

Dengan melihat potensi abaca fiber yang memiliki propertis seperti yang telah dijelaskan diatas maka juga potensial digunakan sebagai material konstruksi, namun sejauh ini penggunaan saat ini masih sangat terbatas. Belum ditemukan menggunakan serat abaca sebagai perkuatan external

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan serat Abaca sebagai material penyusun *Natural Fiber Reinforced Polymer Sheet* sebagai material perkuatan geser balok beton bertulang yaitu **“PERILAKU GESER BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN *FULL U-WRAP ABACA FIBER SHEET REINFORCED POLYMER*”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku geser balok beton bertulang dengan perkuatan AbFRP *Full U-Wrap* dan GFRP *Full U-Wrap*?
2. Bagaimana pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan AbFRP *Full U-Wrap* dan GFRP *Full U-Wrap*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis perilaku geser balok beton bertulang yang diperkuat dengan *Natural Fiber* jenis *Abaca Fiber Reinforced Polymer* (AbFRP).
2. Untuk menganalisis pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan *Abaca Fiber Reinforced Polymer* (AbFRP).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. Beton bertulang yang diperkuat dengan *Abaca Fiber Reinforced Polymer* sebagai *Natural Fiber* dapat dimanfaatkan sebagai material perkuatan yang ramah lingkungan dengan kapasitas mendekati atau sama dengan bahan material konvensional yang biasa digunakan sebagai material perkuatan beton bertulang saat ini.
2. Menjadi bahan referensi bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan perkuatan beton bertulang dengan menggunakan *Natural Fiber* berupa *Abaca Fiber Reinforced Polymer*.

1.5 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian tentunya terdapat beberapa hal penting yang menjadi fokus utama. Fokus utama penelitian dapat diperoleh secara lebih tersistematis dan tidak meluas dengan cara memberikan batasan masalah terhadap hal-hal yang perlu ditinjau dalam melakukan penelitian. Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

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 350 mm dengan panjang 2300 mm, dengan tulangan pokok (*longitudinal*) menggunakan tulangan ulir 3D16 dan tulangan sengkang (*transversal*) menggunakan tulangan polos Ø8-350 dan Ø8-150.
3. Serat yang digunakan adalah *Abaca Fiber* yang dipabrikasi atau dianyam secara manual membentuk *Abaca Fiber Reinforced Polymer*.
4. Variasi benda uji menggunakan Balok Kontrol (BK), balok dengan perkuatan *Abaca Fiber Reinforced Polymer* (AbFRP) yang dipasang *full wrapping*, dan Balok dengan perkuatan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP).
5. 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 dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga Tugas Akhir yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan ini dapat diurutkan yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODE PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

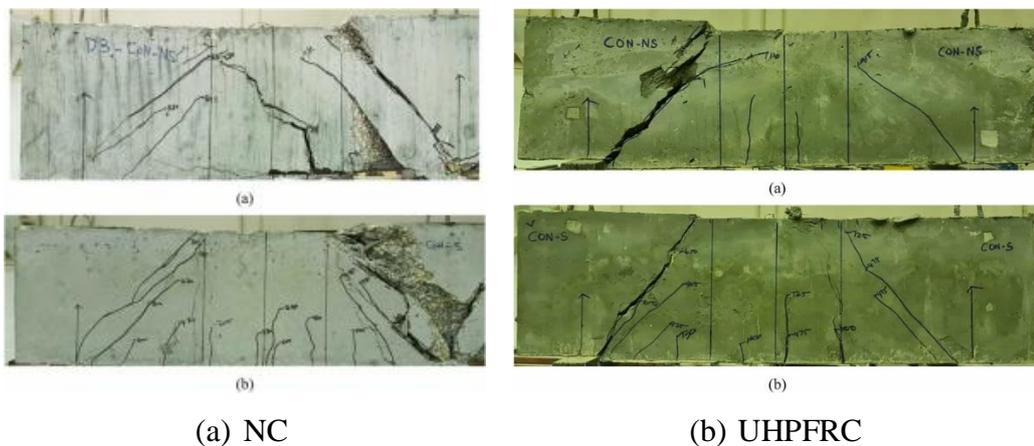
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

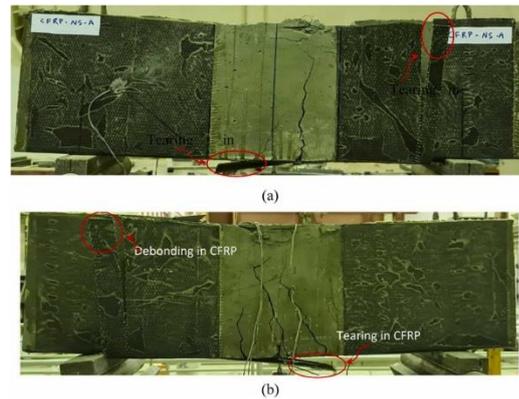
Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Cai, et al., (2016), menggunakan serat *abaca* yang memiliki kuat tarik 717 MPa dan modulus Young 18.6 GPa. Penelitian yang dilakukan oleh Abadel, et al., (2022), tentang perilaku geser CFRP sebagai perkuatan balok beton bertulang dalam meningkatkan kuat geser balok di dalam. Benda uji dikelompokkan menjadi 3 dengan masing-masing 2 spesimen. Kelompok pertama beton normal (NC). Kelompok kedua dengan menggunakan beton bertulang serta kinerja tinggi (UHPFRC). Kelompok ketiga dengan balok dalam UHPFRC diperkuat menggunakan *strip* CFRP. Setiap kelompok memiliki dua balok, satu tanpa sengkang geser dan satu dengan sengkang geser. Semua kelompok diuji di bawah pembebanan empat titik hingga runtuh. Hasil dari penelitian ini, sengkang secara efektif memberikan kontribusi untuk meningkatkan kekuatan geser, beban *ultimate*, dan kapasitas deformasi untuk balok dalam NC. Skema perkuatan yang diterapkan efektif dalam peningkatan kekuatan geser dan kapasitas deformasi balok dalam. Peningkatan kuat geser balok dalam UHPFRC bertulang sedang (16%), namun peningkatan yang cukup besar diamati pada kapasitas deformasi karena indeks perpindahan dan daktilitas energi ditingkatkan masing-masing sebesar 49% dan 185%.

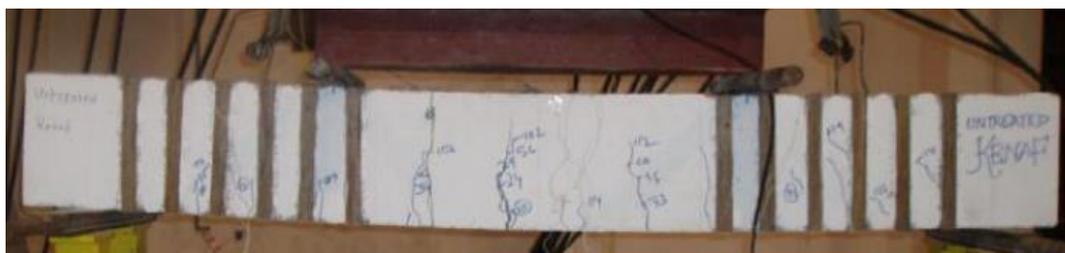


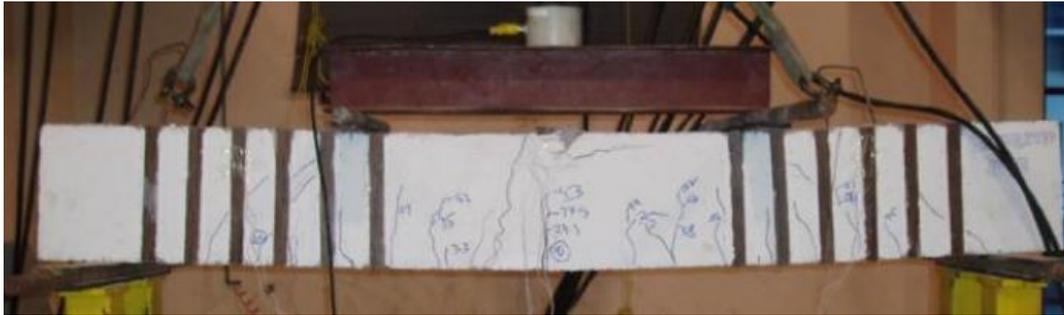


(c) UHPFRC-CFRP

Gambar 1. Pola retak (a) NC, (b) UHPFRC, (c) UHPFRC-CFRP

Alam & Riyami (2018) melakukan penelitian tentang perkuatan geser balok beton bertulang menggunakan laminasi polimer bertulang serat alami. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan pelat komposit berbasis serat alam kekuatan tinggi untuk kemudian diaplikasikan dalam perkuatan geser struktur beton bertulang. Pada penelitian ini, pelat dibuat menggunakan serat kenaf, rami, dan tali rami dalam kondisi yang terawat dan yang tidak terawat. Benda uji pada penelitian ini menggunakan delapan spesimen balok untuk menyelidiki perilaku struktur, balok diperkuat menggunakan pelat komposit serat alam dan yang tidak dirawat dan laminasi CFRP termasuk balok kontrol. Konektor tertanam digunakan untuk menghilangkan kegagalan *debonding* dari laminasi.

**Gambar 2.** Modulus kegagalan balok kontrol**Gambar 3.** Modulus kegagalan balok diperkuat *Inggris*



Gambar 4. Modul keruntuhan balok yang diperkuat UJ



Gambar 5. Modul kegagalan balok yang diperkuat UJR

Hasil dari penelitian ini menunjukkan beban balok yang diperkuat CB, Inggris, UJ, UJR didapatkan masing-masing sebesar 156 kN, 211 kN, 213 kN, dan 209 kN. Balok yang diperkuat dengan pelat komposit kenaf, goni, dan tali goni yang tidak diberi perlakuan masing-masing menunjukkan beban kegagalan 35%, 36%, dan 34%, lebih tinggi dibandingkan balok kontrol.



Gambar 6. Modul kegagalan balok perkuatan TK



Gambar 7. Modul kegagalan balok diperkuat TJ



Gambar 8. Modulus kegagalan balok diperkuat TJR

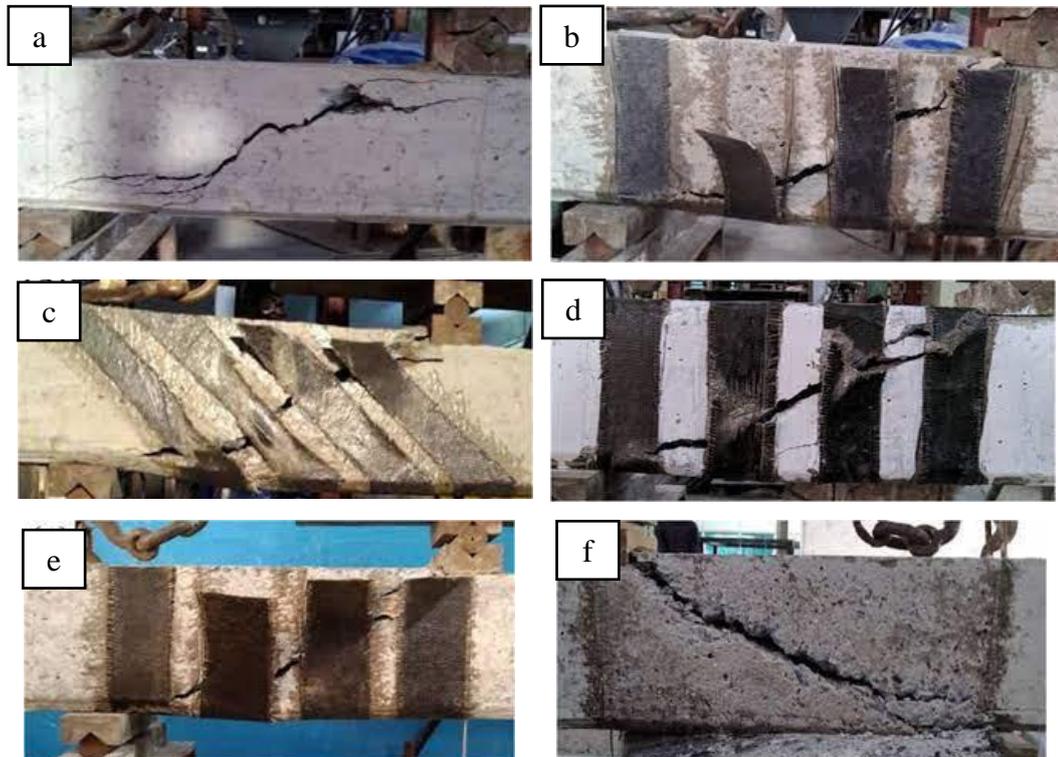


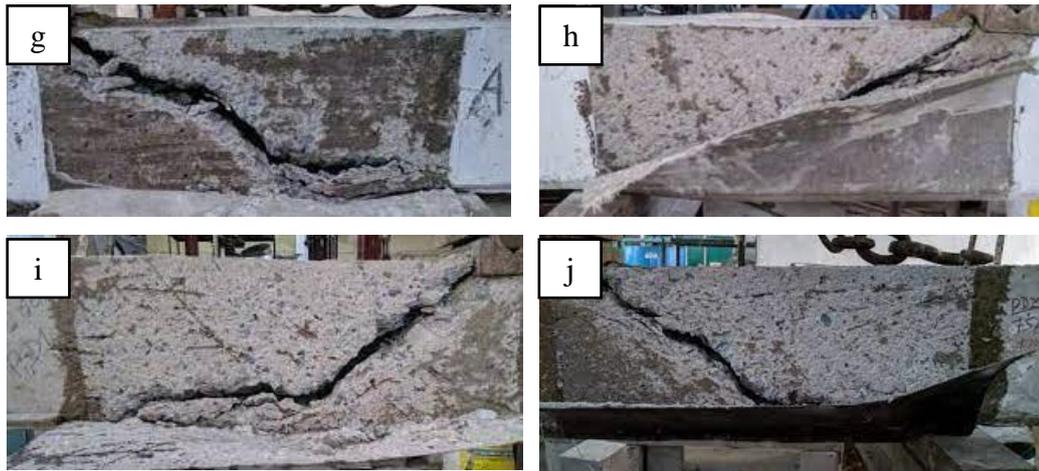
Gambar 9. Modulus kegagalan balok diperkuat pelat CFRP

Pada perkuatan geser balok dengan perkuatan serat alami yang dirawat, balok CB, TK, TJ, dan TRJ beban masing-masing didapatkan sebesar 156 kN, 171 kN, 192 kN, dan 204 kN. Balok yang diperkuat TK, TJ, dan TRJ memiliki beban kegagalan 10%, 23%, dan 31% lebih tinggi dibandingkan dengan balok kontrol. Pada balok yang diperkuat dengan laminasi CFRP didapatkan beban sebesar 182 kN, ini menunjukkan bahwa balok yang diperkuat dengan laminasi CFRP memiliki beban kegagalan 17% lebih tinggi dibandingkan dengan balok kontrol. Perilaku struktur balok yang diperkuat dengan pelat komposit yang dirawat ternyata sebanding dengan yang tidak dirawat. Balok dengan pelat komposit tali rami menunjukkan beban keruntuhan yang lebih rendah dibandingkan dengan serat karena patah pelat diikuti oleh kegagalan geser. Balok yang diperkuat dengan pelat komposit serat alam telah menunjukkan daktilitas yang lebih tinggi dan beban kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan laminasi CFRP. Beban keruntuhan, daktilitas, pola retak, dan karakteristik regangan dari balok yang diperkuat dengan laminasi komposit serat alam ditemukan sangat mirip dengan balok yang diperkuat dengan laminasi CFRP.

Kar & Biswal (2021), melakukan penelitian tentang perkuatan geser *external* balok beton bertulang dengan lembaran serat basal. Penelitian ini menggunakan

sepuluh balok beton bertulang yang terdiri dari balok tanpa perkuatan (CB), dan sembilan benda uji akan diperkuat dengan berbagai konfigurasi lembaran serat dengan variasi B-U500, B-U500-45, B-FW60, B-U85, B-U500, G1-U500, G2-U500, PD1, dan PD2. Dari sembilan balok yang diberi perkuatan, dua diantaranya akan dibebani sebelum dilakukan perkuatan *external*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pengaruh jenis serat yang dengan membandingkan balok B-U500, G1-U500, dan G2-U500, didapatkan beban *ultimate* masing-masing pada balok G1-U500 dan G2-U500 sebesar 106.84 kN dan 113.34 kN. Hal ini menunjukkan bahwa hasil beban kegagalan *ultimate* B-U500 adalah 28% dan 20.7% lebih besar dari G1-U500 dan G2-U500, sehingga hal ini menunjukkan bahwa lembaran serat basal lebih aktif dalam perkuatan geser daripada serat kaca. Pada balok PD1 dan PD2 memiliki beban *ultimate* masing-masing sebesar 119.11 kN dan 107,03 kN dengan peningkatan masing-masing sebesar 30.3 % dan 17.1 % dibandingkan dengan CB. Hal ini menunjukkan bahwa lembaran serat basal dapat meningkatkan kinerja RC yang rusak pada balok.





Gambar 10. Pola retak (a) CB, (b) B-U60, (c) B-U60-45, (d) B-FW60, (e) B-U85, (f) B-U500, (g) G1-U500, (h) G2-U500, (i) PD1, (j) PD2

Beban geser atau retak awal yang terjadi pada balok kontrol (CB), didapatkan beban sebesar 56 kN. Untuk benda uji yang diperkuat B-U60, B-U85, dan B-FW60 memiliki beban retak geser masing-masing sebesar 76 kN, 71 kN, 72 kN, dan 82 kN, dengan peningkatan masing-masing sebesar 36%, 27%, 29%, 46% dibandingkan dengan CB.

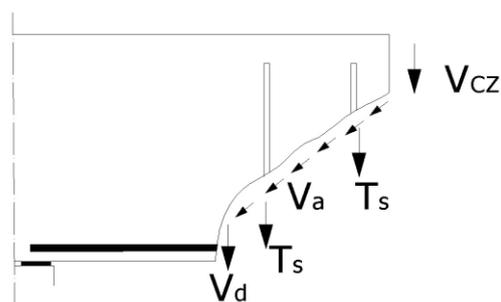
2.2 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang

Geser dalam beton bertulang selalu diikuti oleh desak dan tarik oleh lenturan. Pengaruh pergeseran yang ditimbulkan merupakan akibat dari torsi dan kombinasi torsi dengan lentur. 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 yang lebih pendek, kerusakan timbul akibat kombinasi dan 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 lentur 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 akibat lentur di sekitarnya, atau juga dapat sebagai kelanjutan retak lentur yang

telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya dinamakan sebagai retak geser lentur. Retak jenis terakhir ini dapat dijumpai pada balok beton bertulang biasa maupun prategang. Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung dimulai dari tepi masuk ke dalam balok dengan arah hampir tegak lurus. Proses tersebut telah berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai terjadinya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser diujung 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 & Kusuma (1993), pergeseran 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 11. Perlawanan terhadap geseran sebelum

Beton memiliki kemampuan untuk menahan kekuatan geser, apabila balok melampaui kemampuan untuk menahan kekuatan geser maka kerusakan geser.

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2019) perencanaan penampang terhadap geser didasarkan pada persamaan:

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

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_n = kekuatan geser nominal (kN),

Φ = faktor reduksi.

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

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

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

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

Dimana,

S = Jarak pusat pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok penampang (mm)

F_y = Kuat leleh tulangan geser (MPa).

Tetapi kuat geser V_s tidak boleh diambil lebih dari nilai

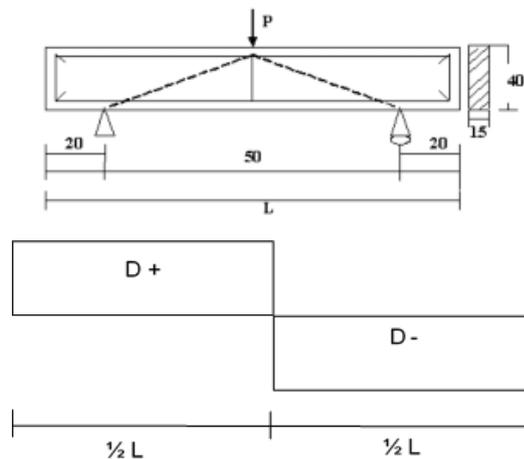
$$V_s = \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{f'c} bw. d \dots \dots \dots (4)$$

Untuk jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ untuk struktur 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 analisis diperlukan tulangan geser, maka luas tulangan geser minimum untuk komponen struktur nonprategang harus dihitung dengan persamaan berikut:

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

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 rol. Beban yang terjadi pada balok adalah terpusat ditengah bentang ($1/2L$).



Gambar 12. Diagram bidang geser

2.3 Perkuatan Geser dengan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

FRP adalah material yang terbuat dari *fiber* (serat) material sintetis seperti *glass*, *aramid*, atau *carbon* yang disatukan oleh zat matrik, seperti *epoxy* atau *polyester*. Pengembangan penggunaan FRP pada rekayasa sipil terdiri dari dua bagian, pertama untuk rehabilitasi dan perbaikan struktur dan kedua untuk pembuatan konstruksi baru yang sepenuhnya menggunakan FRP ataupun komposit dengan beton. Penggunaan FRP dalam perkuatan struktur antara lain pada balok, pelat, jembatan, dan kolom. Karakteristik mekanis material komposit sangat dipengaruhi oleh kekuatan beton dan pengeanganya. Perbandingan antara kekuatan beton dan serat merupakan faktor yang sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan.

Material FRP yang sangat laku di pasaran adalah dalam bentuk lembaran, dimana keuntungan yang diperoleh dari FRP lembaran adalah kemudahan dalam aplikasi karena lembaran FRP ini dapat ditempelkan dengan mudah pada bagian permukaan anggota struktur yang rusak dengan bantuan perekat (resin), biaya yang relatif murah dibandingkan FRP dengan bahan yang lain, kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan yang tinggi terhadap kimia, memiliki sifat isolasi yang baik. Adapun kekurangannya: berat jenis yang tinggi, memiliki sifat kekerasan yang tinggi, ketahanan kelelahan yang relatif rendah. Sebagai penguatan eksternal, FRP tipe lembaran digunakan untuk:

1. Perbaiki balok dan *slab* beton yang rusak, dengan asumsi bahwa *debonding* antara FRP dan beton tidak menyebabkan kegagalan elemen struktur
2. Mengatasi penambahan lebar retakan akibat beban layanan
3. Meningkatkan kekuatan lentur akibat peningkatan beban seperti beban gempa dan beban lalu lintas
4. Merencanakan beton baru yang memiliki daktilitas tinggi
5. Perbaiki struktur akibat kesalahan desain atau konstruksi
6. Meningkatkan kemampuan geser beton
7. Meningkatkan kemampuan pengekangan kolom beton
8. Perbaiki struktur lama dan bersejarah
9. Dalam penggunaannya, FRP digabungkan dengan suatu bahan perekat (*Epoxy Impregnation Resin*) yang akan merekatkan lembaran *fiber* pada balok beton. GFRP yang dipergunakan dalam penelitian adalah *Tyfo SEH-51A*.

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.

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.

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). Pada karakteristik material GFRP dilihat dalam keadaan lepas atau dalam kondisi kering. Serat-serat ini yang digunakan dalam membentuk lembaran GFRP dengan ketebalan tertentu. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik 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. Adapun spesifikasi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi GFRP Type SHE051A dalam *dry sheet*
Karakteristik Material *Fiber Lepas*

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

Sumber: Fyfo.Co.LLC

Pada Tabel 2 menunjukkan spesifikasi lembaran komposit GFRP *type SHE-51A*. Tebal lembaran GRFP yang digunakan yaitu 1.3 mm. GFRP memiliki nilai kuat tarik *ultimate* yang berbeda berdasarkan arah serat dimana pada arah serat utama, nilai kuat tarik GFRP sebesar 460 MPa sedangkan pada arah tegak lurus utama serat (90 terhadap arah utama serat, nilai kuat tariknya hanya sebesar 20.7 MPa). Adapun spesifikasi GFRP *Type SEH51-A* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spesifikasi GFRP *Type SEH51-A* dalam bentuk komposit
Sifat Lapisan Komposit (GFRP +*Epoxy*)

Uraian	Metode ASTM	Nilai <i>Test</i>	Nilai desain
Kekuatan tarik <i>ultimate</i> dalam arah utama <i>fiber</i>	D-3039	575 MPa	460 MPa
Regangan (<i>elongation</i>)	D-3039	2.20%	2.20%
Modulus Young's	D-3039	26100 N/mm ²	20900 N/mm ²

Kekuatan Tarik <i>ultimate</i> 90 dari arah utama <i>fiber</i>	D-3039	25.8 Mpa	20.7 MPa
Tebal <i>fiber</i>		1.3 mm	1.3 mm

Sumber: Fyfo.Co.LLC

Kuat geser nominal V_n merupakan gabungan kontribusi beton V_c dan tulangan geser V_s dan kuat geser FRP V_f (ACI 440.2R-17 Committee, 2017). Ketahanan geser masih dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Phi V_n = \Phi (V_c + V_s + \Psi V_f) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana,

Φ = Faktor reduksi kekuatan, $\Phi = 0.64$

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 berikut:

$$V_f = \frac{A_{fv} f_e (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} \dots\dots\dots(6)$$

$$V_f = 2nt_f w_f \dots\dots\dots(7)$$

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 ujuang 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 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:

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

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

2. 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:

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

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

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

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

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

Dimana,

ε_{fu} = Regangan *ultimate*,

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

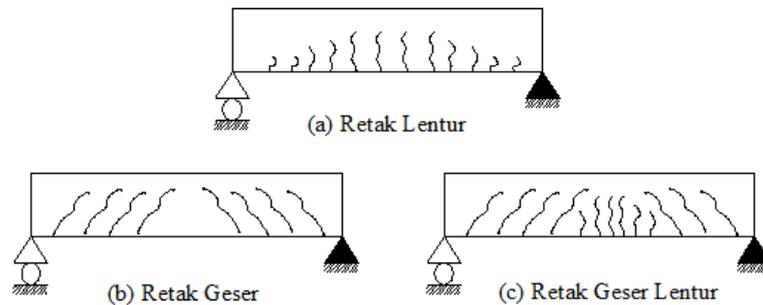
2.4 Retakan Pada Balok Bertulang

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert & Micklebrough, 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 (**Gambar 13(a)**). Retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik balok dan mengarah ke atas sumbu netralnya. Jika balok memiliki *web* yang sangat tinggi, jarak retak akan

sangat dekat, dengan sebagian retak terjadi bersamaan sampai di atas tulangan, dan sebagian lagi tidak sampai di tulangan. Retak ini akan lebih lebar di pertengahan balok daripada di bagian dasarnya.

2. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang yang mana gaya geser maksimum dan tegangan aksial akan sangat kecil (**Gambar 13(b)**). Retak miring dapat disebabkan karena gaya geser yang dapat terjadi pada bagian *web* balok beton bertulang baik sebagai retak bebas atau perpanjangan dari retak lentur. Retak geser kadang-kadang dapat terjadi pada *web-web* penampang prategang, terutama dapat terjadi pada penampang dengan *flens* yang besar dan *web* yang tipis.
3. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dan retak lentur yang terjadi sebelumnya (**Gambar 13(c)**).



Gambar 13. Jenis retakan pada balok

Ada tiga kasus yang dipertimbangkan dalam masalah retak yaitu:

- a. Ketika tegangan tarik $f_t < f_r$, maka penampang dipertimbangkan untuk terjadi retak. Untuk kasus ini $I_g = \frac{1}{12} b \cdot h^3$

- b. Ketika tegangan tarik $f_t = f_r$, maka retak mulai muncul. Momen yang timbul disebut momen retak dan dihitung sebagai berikut:

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

- 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.

(ACI Commite 224R-01, 2001), menjelaskan tentang retak perkiraan sejumlah lebar retak maksimum yang dapat diizinkan untuk beton bertulang dalam berbagai situasi dan kondisi yang terjadi pada beton bertulang dibawah beban layan.

Tabel 3. (ACI Commite 224R-01, 2001) menunjukkan lebar retak maksimum yang dapat diizinkan berdasarkan retak yang ditentukan Komite ACI 224 dan berbagai situasi diantaranya udara kering, udara lembab, air laut maupun percikan air laut dan lain-lain.

Tabel 3. Lebar retak maksimum yang diizinkan (ACI Commite 224R-01, 2001)

Kondisi Paparan Balok	Lebar Retak	
	in	mm
Udara kering atau membran pelindung	0.016	0.41
Kelembaban, udara lembab	0.012	0.30
Larutan bahan kimia	0.007	0.18
Air laut dan percikan air laut	0.006	0.15
Struktur penahan air	0.004	0.10

2.5 Kegagalan Pada Balok Beton Bertulang

Kegagalan pada balok beton bertulang pada dasarnya dipengaruhi oleh melelehnya tulangan baja dan hancurnya balok beton bertulang. Ada tiga kemungkinan yang biasa terjadi penyebab kegagalan balok beton bertulang (Eward G, 2010)

1. Kondisi *Balance Reinforced*

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

Kondisi regangan: $\epsilon_c = 0.003$ dan $\epsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$

Pada kondisi ini berlaku: $\rho = \rho_{balance}$ dan $\epsilon_s = \epsilon_c$

2. Kondisi *Over Reinforced*

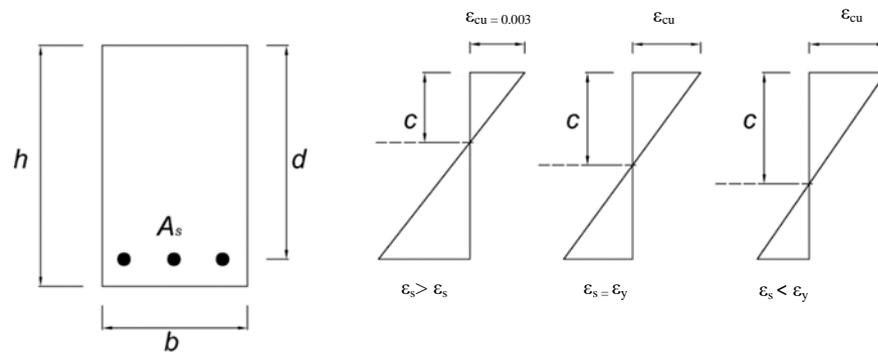
Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan

hancurnya penampang beton terlebih dahulu sebelum tulangan baja meleleh.

Pada kondisi ini berlaku: $\rho > \rho_{balance}$ dan $\epsilon_s < \epsilon_c$

3. Kondisi *Under-Reinforced*

Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balance*. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja terlebih dahulu dari betonnya. Pada kondisi ini berlaku: $\rho < 75\% \rho_{balance}$ dan $\epsilon_s > \epsilon_c$. Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi *under-reinforced*.



Gambar 14. Diagram keruntuhan

2.6 Abaca Fiber Reinforced Polymer

Abaca merupakan salah satu tumbuhan alami yang termasuk dalam tanaman pisang (*family musaceae*) yang berasal dari Filipina yang telah dikenal dan dikembangkan sejak tahun 1519. Abaca dikategorikan sebagai pisang jantan atau pisang yang tidak menghasilkan buah. Serat abaca merupakan serat alam yang didapatkan dalam bagian batang tanaman (*bast fiber*). Dengan cara dekortifikasi dapat diperoleh bundel serat abaca. Bundel serat abaca adalah unit terkecil serat yang didapatkan dengan pemisahan secara mekanis. Bundel serat ini terdiri dari serat tunggal (*single fiber*) yang tersusun dari serat mikro (mikrofibril) (Dawam, Onggo, & Judawisastra, 2009). 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)

Abaca merupakan serat unggulan dengan memiliki kuat tarik dan lipat yang tinggi, daya apung, porositas tinggi, ketahanan terhadap kesusakan air asin dan panjang serat hingga 3 m. **Tabel 4.** Menunjukkan perbandingan sifat fisik dari abaca dengan serat alam lainnya (Vijayalakshmi, C.Y.K, Kavitha, & Hayavadana, 2014)

Tabel 4. Perbandingan sifat fisik serat abaca dengan serat alami lainnya

Physical properties	Abaca	Hemp	Jute	Sisal	Line	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	3-3.5mtr	1 mtr	90 cm	10-65 cm
Fiber diameter (microns)	150-250	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

Sumber: (Vijayalakshmi, C.Y.K, Kavitha, & Hayavadana, 2014)

Ditinjau dari komposisi kimianya serat abaca mengandung: *cellulose* = 64,72%, *moisture* = 11,85%, *ash* = 1,02%, *aqueos extract* = 0,97%, *fat and wak* = 0,63%, dan *incrusting and pectic matter* = 21,83%. Sedangkan menurut Turner, serat abaca mengandung: *cellulose* = 63,20%, *moisture* = 10%, *aqueos extract* = 1,40%, *fat and wax* = 0.20%, dan *lignin* = 5,10 %, *hemicelullose* = 19.60%, dan *pectin* 0,50%. Seperti serat alam lainnya, serat abaca perlu diberi perlakuan sebelum digunakan sebagai material penguat komposit untuk meningkatkan kemampuan adhesi antarmuka (*interfacial adhesion*) dan kemampuan menyerap uap air. 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

2.7 Komposit

Komposit adalah salah satu material yang terbentuk dari dua atau lebih komponen bahan-bahan pembentuknya dan secara makroskopis dicampur dengan tetap memiliki batas fasa yang jelas dan teridentifikasi (Chawla, 1987). Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai pengisi dan matriks sebagai bahan pengikat serat. Sebagai bahan pengisi, serat digunakan untuk menahan gaya yang bekerja pada bahan komposit, dan matriks berfungsi melindungi serta mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik terhadap gaya-gaya yang terjadi. Oleh karena itu, untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat, kaku dan getas, sedangkan bahan matriks dipilih bahan-bahan yang liat, lunak dan tahan terhadap perlakuan kimia. 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). Jones (1975) berpendapat bahwa komposit merupakan gabungan antara dua atau lebih material dalam skala makroskopis untuk membentuk material baru yang lebih bernilai. Penggabungan kedua material yang berbeda sifat tersebut diharapkan mampu menghasilkan material yang lebih berkualitas dari material sebelumnya. Unsur komposit terdiri atas penguat dan matrik. Menurut Schwartz (1984) komposit merupakan sistem material yang terdiri dari dua atau lebih unsur yang berbeda dimana komposisinya tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

2.7.1 Bagian Utama Komposit

A. Reinforcement

Salah satu bagian utama komposit yaitu *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti contoh serat. Serat (*fiber*) merupakan suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat inilah yang terutama menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekuatan, kekakuan dan sifat – sifat mekanis lainnya. Orientasi dan kandungan serat dapat menentukan kekuatan mekanis dari komposit. Perbandingan antara serat dan matriks juga sangat menentukan dalam memberikan karakteristik mekanis produk yang dihasilkan. Serat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

- Serat alami contoh serat daun nanas, serat kabut kelapa, enceng gondok, pandan.
- Serat sintetis (serat buatan manusia) seperti contoh *fiber glass*, *carbon*, *nylon*, *graphite* dan aluminium.

Berbagai jenis serat banyak tersedia untuk kebutuhan komposit dan jumlahnya hampir meningkat. Kekakuan spesifik yang tinggi (kekakuan dibagi oleh berat jenisnya) dan kekuatan spesifik yang tinggi (kekuatan dibagi oleh berat jenisnya) serat – serat tersebut yang disebut advanced composit (Chawla, 1997).

B. Matriks

Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai bagaian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Mentransfer tegangan ke serat secara merata.
2. Melindungi serat dari gesekan mekanik.
3. Memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
4. Melindungi dari lingkungan yang merugikan.
5. Tetap stabil setelah proses manufaktur.
6. Sifat – sifat matrik (Ellyawan, 2008):
7. Sifat mekanis yang baik.
8. Kekuatan ikatan yang baik.
9. Ketangguhan yang baik.
10. Tahan terhadap temperature.

Gibson (1994) menjelaskan matrik dalam struktur komposit dapat dibedakan menjadi komposit matrik polimer (*Polymer Matrix Composites – PMC*). Material ini merupakan material komposit yang sering digunakan, biasa disebut polimer berpenguat serat (FRP – *Fibre Reinforced Polymer or Plastics*). Bahan ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriknya dan suatu jenis serat seperti kaca, karbon dan *aramid* (Kevlar) sebagai penguatnya. Komposit ini bersifat:

1. Biaya produksi lebih rendah.
2. Ketangguhan baik.
3. Dapat dibuat dengan produksi lebih maksimal.
4. Siklus pabrikan lebih efisien.
5. Tahan simpan.
6. Lebih ringan.
7. Kemampuan mengikuti bentuk.

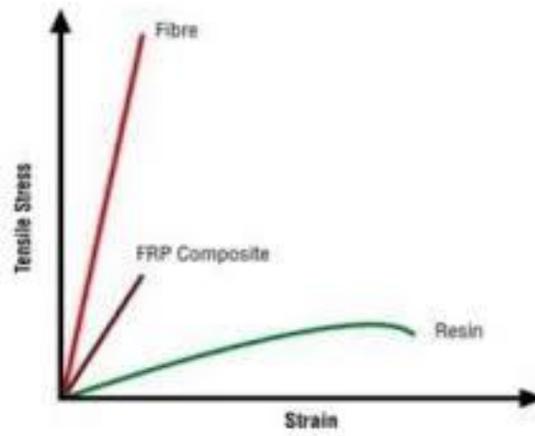
Hartanto,(2009)menjelaskan pada bahan komposit matrik mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut:

- a. Matrik memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
- b. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsure utamanya yaitu serat.
- c. Memberikan sifat tertentu misalnya ductility, toughness dan electrical insulation.

Pemilihan matrik sangat penting sebagai bahan pengikat serat dan matrik harus mampu menghasilkan ikatan mekanik dengan serbuk atau serat pengisinya sehingga reaksi tidak diinginkan tidak terjadi pada interface. Selain itu hal yang harus diperhatikan ialah berat jenis, viskositas, kemampuan membasahi serbuk, tekanan dan suhu serta penyusutan dan void saat curing (Ishlah, 2017)

Void adalah kekosongan yang terjadi pada saat fiber atau bahan pengisi tidak didukung oleh matrik, dimana *fiber* sebagai pengisinya selalu menransfer tegangan ke matrik, hal seperti ini yang menjadi penyebab terjadinya crack, sehingga komposit yang dibuat tidak akan maksimal dalam kegunaan yang diharapkan dalam pembuatan komposit itu sendiri. Komposit yang mempunyai

kelonggaran udara akan memiliki banyak kekurangan dalam hasil spesimen yang akan digunakan.



Gambar 15 . Grafik hubungan *strain-tensile stress* dari beberapa komposit