

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi Spesimen

Proses fabrikasi spesimen komposit serat batang pisang berbasis resin epoxy dilakukan menggunakan metode *Hand Lay-Up*. Pada penelitian ini, spesimen dibuat dengan tiga variasi orientasi serat, yaitu orientasi horizontal, diagonal, dan vertikal. Tujuan dari variasi orientasi serat tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh arah serat terhadap sifat tarik komposit yang dihasilkan. Pembuatan spesimen dilakukan mengacu pada standar pengujian uji tarik komposisi ASTM D3039 yang digunakan sebagai acuan dimensi spesimen dan prosedur pengujian tarik material komposit.

4.1.1 Deskripsi Variasi Komposit

Variasi yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada perbedaan orientasi serat batang pisang terhadap arah pembebanan tarik. Variasi tersebut terdiri dari tiga jenis, yaitu:

Tabel 4. 1 Variasi Serat

Variasi	Arah Serat
A	Diagonal
B	Horizontal
C	Vertikal

4.1.2 Dimensi Spesimen

Spesimen uji tarik pada penelitian ini dibuat mengacu pada standar ASTM D3039/D3039M yang digunakan untuk pengujian sifat tarik material komposit bermatriks polimer. Setelah proses fabrikasi panel komposit selesai dan material mengalami proses *curing* secara sempurna, panel dipotong menjadi beberapa spesimen uji dengan ukuran yang telah ditentukan.

Tabel 4. 2 Dimensi Spesimen

Spesimen	Panjang(mm)	Lebar(mm)	Tebal(mm)
A1	250	25	5
A2	250	25	5
A3	250	25	5

Spesimen	Panjang(mm)	Lebar(mm)	Tebal(mm)
B1	250	25	5
B2	250	25	5
B3	250	25	5

Spesimen	Panjang(mm)	Lebar(mm)	Tebal(mm)
C1	250	25	5
C2	250	25	5
C3	250	25	5

Dari hasil pengukuran seluruh spesimen semuanya telah memenuhi dimensi standar selanjutnya digunakan untuk pengujian tarik menggunakan Universal Testing Machine (UTM). Dimensi yang seragam diharapkan dapat menghasilkan data pengujian yang lebih akurat sehingga pengaruh variasi orientasi serat terhadap kekuatan tarik komposit dapat dianalisis secara objektif.

4.1.3 Hasil Laminasi

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium yang dilakukan untuk memperoleh data kuantitatif mengenai sifat mekanik komposit serat batang pisang bermatriks resin epoxy. Penelitian difokuskan pada analisis pengaruh variasi orientasi serat terhadap hasil pengujian tarik berdasarkan standar ASTM D3039. Parameter yang diamati meliputi kekuatan tarik maksimum, regangan, modulus elastisitas, serta pola kerusakan spesimen setelah pengujian. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai orientasi serat yang paling optimal untuk diaplikasikan sebagai material alternatif pada konstruksi kapal ikan.

Tabel 4. 3 Hasil Laminasi

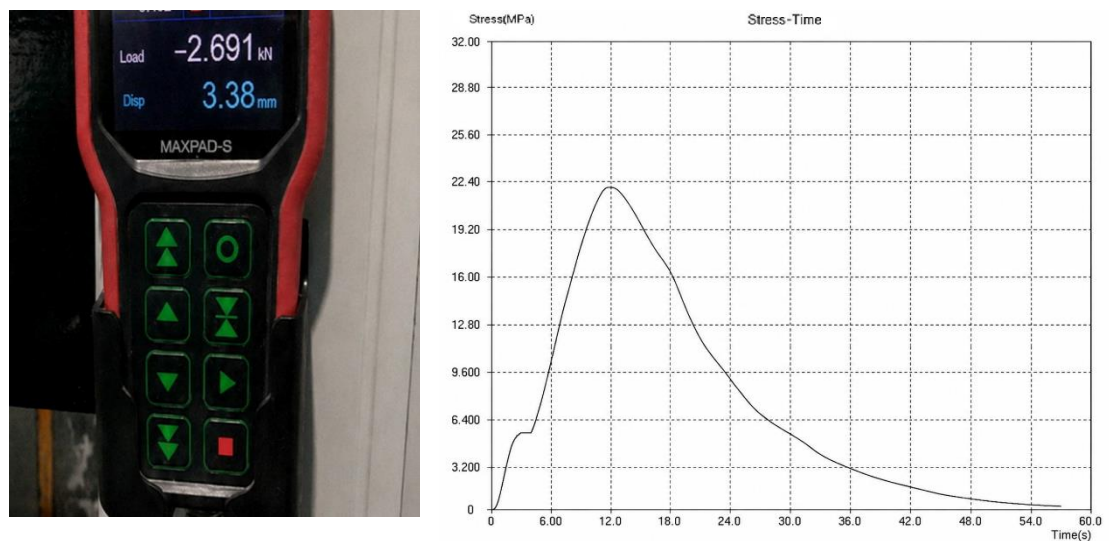
Spesimen A	Spesimen B	Spesimen C
		

4.2 Hasil Pegujian Tarik Komposit

Pengujian tarik pada seluruh spesimen komposit serat batang pisang berbasis resin epoxy dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai standar ASTM D3039/D3039M mengenai penentuan sifat tarik material komposit bermatriks polimer yang diperkuat serat. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data karakteristik mekanik komposit berupa kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength/UTS), regangan (strain), modulus elastisitas (Young's Modulus), serta perilaku kegagalan material di bawah pembebanan tarik yang terkontrol.

4.2.1 Hasil Pengujian Variabel A (Diagonal)

Pengujian tarik pada variabel A menggunakan variasi arah serat diagonal, dimana serat disusun secara menyilang atau berbentuk huruf x, Pengujian tarik pada Variabel A dilakukan terhadap spesimen komposit serat batang pisang dengan orientasi serat diagonal menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai standar ASTM D3039/D3039M. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mekanik komposit dalam menerima beban tarik serta menganalisis pengaruh orientasi serat diagonal terhadap kekuatan material.

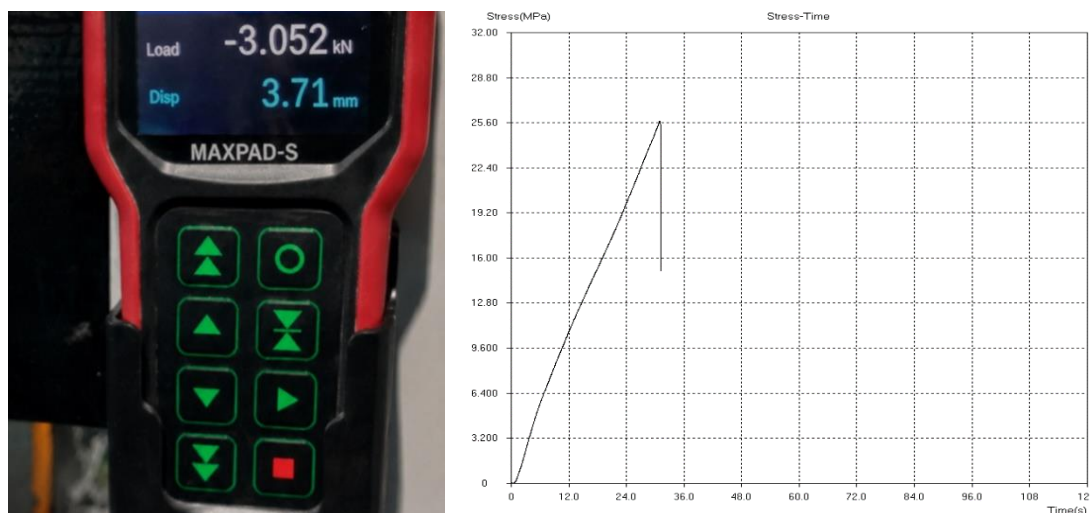


Gambar 4. 1 Hasil Uji A1

Tabel 4. 4 Hasil Uji A1

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (MPa)	Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
2,691	3,38	22,18	2,25%	0,93

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen 1A, komposit serat batang pisang yang diuji menunjukkan kemampuan menahan tegangan tarik hingga 22,18 MPa, regangan 2,25%, dan modulus elastisitas 0,93 GPa.

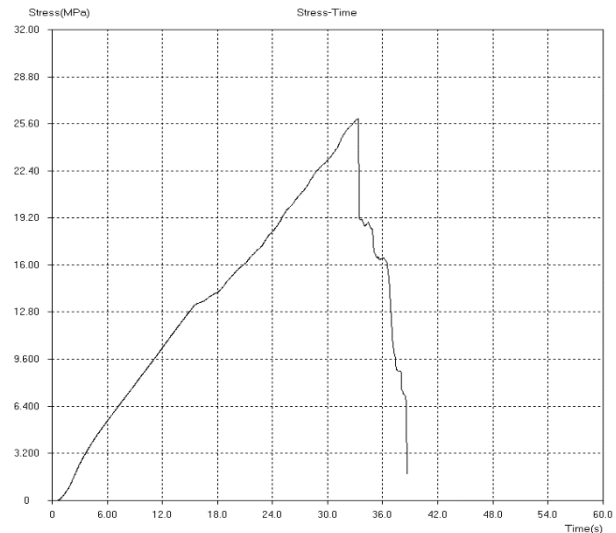


Gambar 4. 2 Hasil Uji A2

Tabel 4. 5 Hasil Uji A2

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (Mpa)	Strain (%)	Young's Modulus (Gpa)
3,052	3,71	25,62	2,47%	1,04

Berdasarkan hasil pengujian tarik, spesimen A2 menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan spesimen A1. Hal ini terlihat dari nilai load maksimum yaitu 3,052kN, sehingga menghasilkan UTS yang lebih tinggi, yaitu 25,62 MPa. Selain itu, nilai regangan spesimen A2 sebesar 2,47%. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen A2 mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan. Dengan kata lain, A2 memiliki sifat yang sedikit lebih ulet dibandingkan A1, dan modulus dari A2 lebih besar dari A1 yaitu, 1,04 GPa.



Gambar 4. 3 Hasil Uji A3

Tabel 4. 6 Hasil Uji A3

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (Mpa)	Strain (%)	Young's Modulus (Gpa)
3,194	2,87	25,96	1,91 %	1,36

Berdasarkan hasil pengujian tarik spesimen A3, menghasilkan UTS sebesar 29,06 MPa, regangan 1,91%, dan modulus elastisitas 1,36 GPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa spesimen memiliki kemampuan menahan beban tarik hingga 25,96 MPa sebelum mengalami kegagalan. Grafik stress–time memperlihatkan peningkatan tegangan yang stabil hingga mencapai puncak, kemudian diikuti penurunan yang tajam. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme kegagalan didominasi oleh kerusakan serat dan matriks secara cepat setelah beban maksimum tercapai.

Tabel 4. 7 Hasil Rata-Rata Spesimen A

Spesimen	Load (kN)	UTS (MPa)	Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
A1	2,691	22,18	2,25	0,93
A2	3,052	25,62	2,47	1,04
A3	3,194	25,96	1,91	1,36
Rata Rata	2,979	24,59	2,21	1,11

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen A1, A2, dan A3, diperoleh rata-rata beban maksimum (load) sebesar 4,061 kN, kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength/UTS) sebesar 24,59 MPa, regangan (strain) sebesar 2,21%, dan modulus elastisitas (Young's Modulus) sebesar 1,11 GPa. Di antara ketiga spesimen, A2 merupakan spesimen yang paling layak dijadikan acuan karena mampu menahan beban maksimum tertinggi sebesar 4,378 kN dengan nilai UTS sebesar 25,62 MPa serta memiliki regangan 2,47% dan modulus elastisitas 1,04 GPa, sehingga menunjukkan keseimbangan yang baik antara kekuatan tarik, kemampuan mengalami deformasi, dan

kekakuan material. Meskipun spesimen A3 memiliki nilai UTS (25,96 MPa) dan modulus elastisitas (1,36 GPa) yang sedikit lebih tinggi, beban maksimum yang mampu ditahannya lebih rendah (3,632 kN), sehingga secara keseluruhan performanya kurang konsisten dibandingkan A2. Sementara itu, A1 menunjukkan nilai UTS dan modulus elastisitas yang paling rendah, sehingga memiliki performa mekanik yang relatif lebih rendah dibandingkan kedua spesimen lainnya. Perbedaan nilai pada setiap spesimen menunjukkan adanya variasi karakteristik mekanik yang kemungkinan dipengaruhi oleh distribusi serat, ikatan antara serat dan matriks, serta proses fabrikasi komposit.

4.2.2 Hasil Pengujian Variabel B (Horizontal)

Pengujian tarik pada Variabel B menggunakan variasi arah serat horizontal, dimana serat disusun sejajar secara mendatar (horizontal) terhadap permukaan spesimen. Pengujian tarik pada Variabel B dilakukan terhadap spesimen komposit serat batang pisang dengan orientasi serat horizontal menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai standar ASTM D3039/D3039M. Orientasi serat horizontal memberikan distribusi beban yang berbeda dibandingkan orientasi serat lainnya karena arah serat tidak sepenuhnya mengikuti arah pembebanan Tarik.



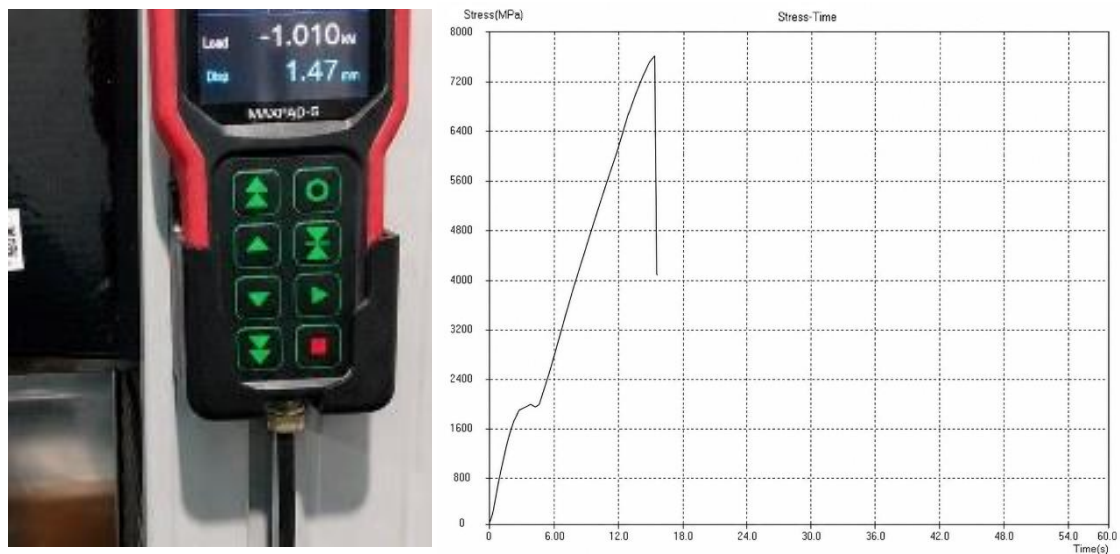
Gambar 4. 4 Hasil Uji B1

Tabel 4. 8 Hasil Uji B1

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (Mpa)	Strain (%)	Young's Modulus (Gpa)
0,962	1.30	7,09	0,867 %	0,81

Berdasarkan hasil pengujian tarik spesimen variabel B1, dengan orientasi serat horizontal mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 0,962 kN (962 N) dengan perpindahan (displacement) sebesar 1,30 mm sebelum mengalami kegagalan. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 7,09 MPa, strain sebesar 0,867%, dan modulus elastisitas sebesar 0,81 Gpa. Grafik hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan meningkat secara bertahap seiring bertambahnya waktu

pembebanan hingga mencapai titik maksimum. Setelah mencapai beban puncak, terjadi penurunan beban yang sangat tajam yang menandakan terjadinya kegagalan material.

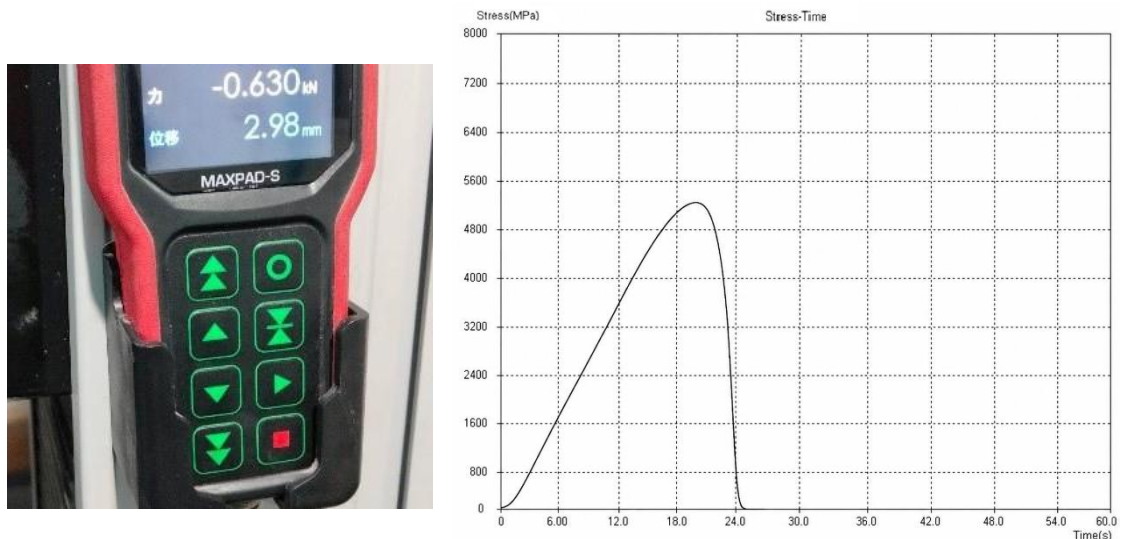


Gambar 4. 5 Hasil Uji B2

Tabel 4. 9 Hasil Uji B2

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (Mpa)	Strain (%)	Young's Modulus (Gpa)
1,010	1.47	7,56	2,94 %	0,25

Berdasarkan hasil pengujian tarik, spesimen Variabel B2 dengan orientasi serat horizontal mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 1,010 kN (1010 N) dengan perpindahan/displacement sebesar 1,47 mm sebelum mengalami kegagalan. Berdasarkan perhitungan menggunakan dimensi spesimen yang digunakan, diperoleh nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 7,56 MPa, strain sebesar 2,94%, dan modulus elastisitas sebesar 0,25 GPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat horizontal mampu memberikan ketahanan terhadap beban tarik, namun kegagalan material terjadi setelah mencapai beban maksimum akibat putusya ikatan antara serat dan matriks serta kerusakan pada struktur komposit.



Gambar 4. 6 Hasil Uji B3

Tabel 4. 10 Hasil Uji B3

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (Mpa)	Strain (%)	Young's Modulus (Gpa)
630	2,98	5,32	1,99 %	0,26

Berdasarkan hasil pengujian tarik variable B3, spesimen mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 0,630 kN (630 N) dengan perpindahan/displacement sebesar 2,98 mm sebelum mengalami kegagalan. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 5,32 MPa, strain sebesar 1,99%, dan modulus elastisitas sebesar 0,26 GPa. Nilai regangan yang relatif lebih tinggi dibandingkan spesimen lainnya menunjukkan bahwa material mengalami deformasi yang lebih besar sebelum patah. Namun demikian, nilai kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang lebih rendah mengindikasikan bahwa kemampuan material dalam menahan beban tarik masih terbatas. Kegagalan spesimen diduga terjadi akibat putusnya ikatan antara serat dan matriks serta kerusakan struktur komposit setelah mencapai beban maksimum. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen memiliki sifat yang lebih ulet namun dengan kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan spesimen dengan beban maksimum yang lebih tinggi.

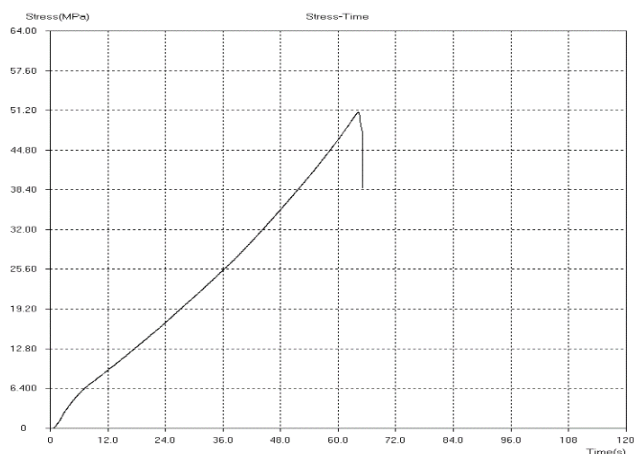
Tabel 4. 11 Hasil Rata-Rata Spesimen B

Spesimen	Load (kN)	UTS (MPa)	Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
B1	0,962	7,09	0,86	0,81
B2	1,010	7,56	2,94	0,25
B3	0,630	5,32	1,99	0,26
Rata Rata	0,867	6,66	1,93	0,44

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada tiga spesimen Variabel B dengan orientasi serat horizontal, diperoleh rata-rata beban tarik maksimum sebesar 0,867 kN, Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 6,66 MPa, regangan (strain) sebesar 1,93%, dan Modulus Elastisitas (Young's Modulus) sebesar 0,44 GPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komposit dengan orientasi serat horizontal memiliki kemampuan menahan beban tarik yang relatif rendah dibandingkan orientasi serat yang sejajar dengan arah pembebanan. Hal ini disebabkan karena sebagian besar gaya tarik diterima oleh matriks resin, sedangkan serat yang tersusun tegak lurus terhadap arah pembebanan tidak mampu menyalurkan beban secara efektif. Akibatnya, ikatan antara serat dan matriks lebih mudah mengalami kerusakan berupa debonding dan retak matriks sebelum serat mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekuatan tarik material. Meskipun demikian, nilai regangan rata-rata sebesar 1,93% menunjukkan bahwa spesimen masih mengalami deformasi sebelum mengalami patah, sedangkan nilai Young's Modulus sebesar 0,44 GPa mengindikasikan tingkat kekakuan material yang relatif rendah. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa orientasi serat horizontal kurang efektif dalam meningkatkan sifat mekanik komposit terhadap beban tarik.

4.2.3 Hasil Pengujian Variabel C (Vertikal)

Pengujian tarik pada Variabel C menggunakan variasi arah serat vertikal, dimana serat disusun sejajar dengan arah pembebanan tarik yang diberikan pada spesimen. Pengujian dilakukan terhadap spesimen komposit serat batang pisang dengan orientasi serat vertikal menggunakan Universal Testing Machine (UTM) sesuai standar ASTM D3039/D3039. Orientasi serat vertikal memungkinkan beban tarik diteruskan secara langsung sepanjang arah serat, sehingga serat dapat berperan lebih efektif sebagai penguat utama material komposit.

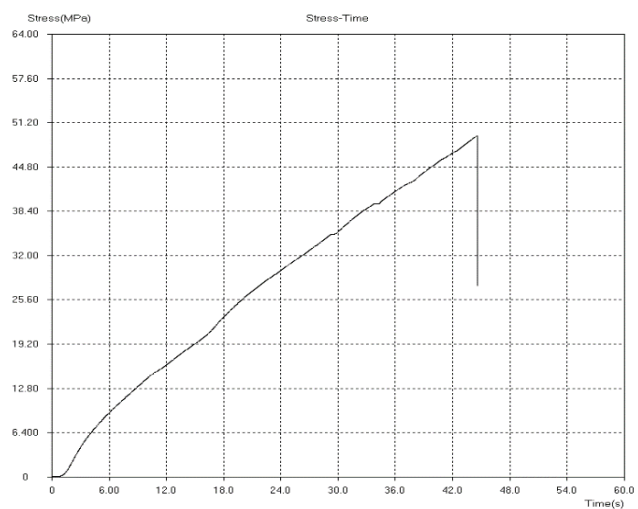


Gambar 4. 7 Hasil Uji C1

Tabel 4. 12 Hasil Uji C1

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	Kekuatan Tarik Maksimum (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Tarik (Gpa)
6,187	5,44	50,92	3,63	1,40

Berdasarkan hasil pengujian tarik variabel C1, spesimen mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 6,187kN (6187 N) dengan perpindahan (*displacement*) sebesar 5,44 mm sebelum mengalami kegagalan. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 50,92MPa, strain sebesar 3,63%, dan modulus elastisitas sebesar 1,40GPa. Nilai UTS yang relatif tinggi menunjukkan bahwa spesimen memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban tarik sebelum mengalami kerusakan. Selain itu, nilai modulus elastisitas yang cukup besar mengindikasikan bahwa material memiliki tingkat kekakuan yang baik sehingga tidak mudah mengalami deformasi saat menerima pembebanan. Nilai regangan yang diperoleh menunjukkan bahwa spesimen masih mampu mengalami deformasi elastis dan plastis dalam batas tertentu sebelum patah. Kegagalan spesimen diduga terjadi akibat putusannya serat penguat, terlepasnya ikatan antara serat dan matriks (*debonding*), serta propagasi retak pada struktur komposit setelah mencapai beban maksimum.



Gambar 4. 8 Hasil Uji C2

Tabel 4. 13 Hasil Uji C2

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (Mpa)	Strain (%)	Young's Modulus (Gpa)
5,971	8,43	49,36	5,62	0,88

Berdasarkan hasil pengujian tarik spesimen C2, material mampu menahan beban tarik maksimum sebesar 5,971kN (5971 N) dengan perpindahan (*displacement*) sebesar 8,43mm sebelum mengalami kegagalan. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 49,36MPa, strain sebesar 5,62%, dan modulus elastisitas sebesar 0,88GPa. Nilai UTS tersebut menunjukkan bahwa spesimen memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menahan beban tarik hingga mencapai kondisi patah. Nilai modulus elastisitas yang relatif tinggi mengindikasikan bahwa material memiliki tingkat kekakuan yang baik sehingga mampu menahan deformasi selama proses pembebanan. Kegagalan spesimen diduga terjadi akibat putusya serat penguat dan melemahnya ikatan antara serat dan matriks setelah mencapai beban maksimum.



Gambar 4. 9 Hasil Uji C3

Tabel 4. 14 Hasil Uji C3

Load Maksimum (kN)	Displacement (mm)	UTS (Mpa)	Strain (%)	Young's Modulus (Gpa)
5,276	4,13	44,81	2,75	1,63

. Berdasarkan hasil pengujian tarik C3, spesimen mampu menahan beban maksimum sebesar 5,276 kN dengan perpindahan (*displacement*) sebesar 4,13 mm sebelum mengalami kegagalan. Beban tersebut menghasilkan kekuatan tarik maksimum UTS sebesar 44,81 MPa, yang menunjukkan kemampuan komposit dalam menahan tegangan tarik hingga mencapai batas kekuatan tertingginya. Selama proses pembebanan, spesimen mengalami regangan (*strain*) sebesar 2,75%, yang menunjukkan bahwa material masih mampu mengalami deformasi sebelum patah. Selain itu, diperoleh modulus elastisitas (*Young's Modulus*) sebesar 1,63 GPa, yang menunjukkan tingkat kekakuan material terhadap pembebanan tarik. Nilai modulus elastisitas tersebut mengindikasikan bahwa komposit memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menahan deformasi elastis, sehingga material masih mampu mempertahankan kekakuannya sebelum mengalami kerusakan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit serat batang pisang memiliki karakteristik mekanik yang baik, ditunjukkan oleh kombinasi nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas

yang mencerminkan keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, dan kemampuan deformasi sebelum terjadi kegagalan.

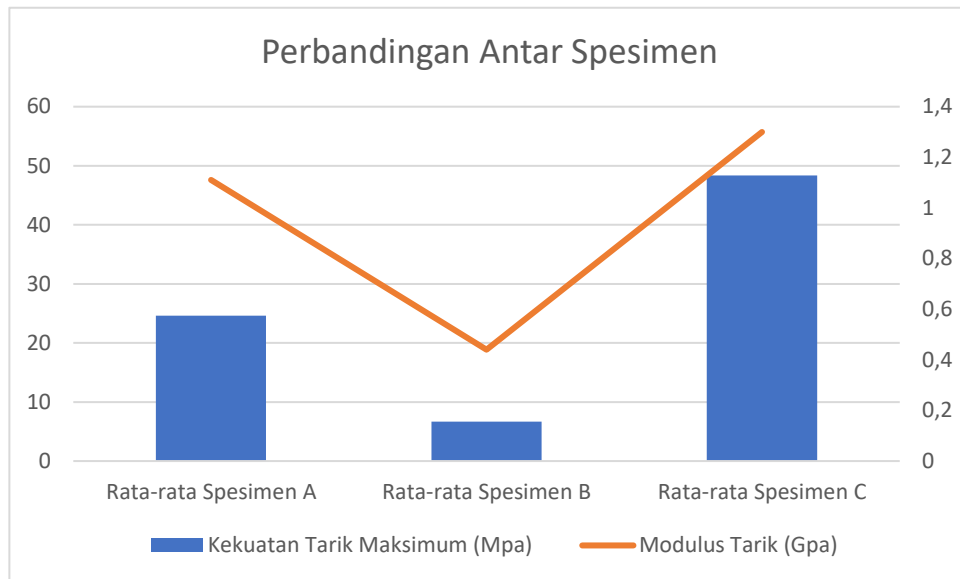
Tabel 4. 15 Hasil Rata-Rata Spesimen C

Spesimen	Load (kN)	UTS (MPa)	Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
C1	6,187	50,92	3,63	1,40
C2	5,971	49,36	5,62	0,87
C3	5,276	44,81	2,75	1,63
Rata Rata	5,811	48,36	4,00	1,30

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada spesimen C1, C2, dan C3, diperoleh rata-rata beban maksimum (*load*) sebesar 5,811 kN, kekuatan tarik maksimum (*Ultimate Tensile Strength/UTS*) sebesar 48,36 MPa, regangan (*strain*) sebesar 4,00%, dan modulus elastisitas (*Young's Modulus*) sebesar 1,30 GPa. Di antara ketiga spesimen, C1 merupakan spesimen yang paling layak dijadikan acuan karena mampu menahan beban maksimum tertinggi sebesar 6,187 kN dengan nilai UTS sebesar 50,92 MPa, serta memiliki regangan sebesar 3,63% dan modulus elastisitas sebesar 1,40 GPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa C1 memiliki kombinasi yang baik antara kekuatan tarik, kemampuan mengalami deformasi, dan kekakuan material. Sementara itu, spesimen C2 memiliki nilai UTS yang relatif tinggi sebesar 49,36 MPa, namun menunjukkan regangan paling besar, yaitu 5,62%, serta modulus elastisitas paling rendah sebesar 0,87 GPa, sehingga material cenderung lebih ulet tetapi kurang kaku. Spesimen C3 memiliki modulus elastisitas tertinggi sebesar 1,63 GPa dan regangan terendah sebesar 2,75%, yang menunjukkan tingkat kekakuan material paling tinggi. Akan tetapi, beban maksimum sebesar 5,276 kN dan UTS sebesar 44,81 MPa merupakan yang terendah di antara ketiga spesimen, sehingga kemampuan menahan beban tariknya lebih rendah dibandingkan C1 dan C2. Perbedaan nilai pada setiap spesimen menunjukkan adanya variasi karakteristik mekanik yang kemungkinan dipengaruhi oleh distribusi serat, kualitas ikatan antara serat dan matriks, keberadaan rongga (*void*), serta konsistensi proses fabrikasi komposit.

4.2.4 Analisis Perbandingan Antar Variasi

Berdasarkan keseluruhan data hasil pengujian tarik pada ketiga variasi arah serat, terdapat beberapa pola yang secara konsisten menunjukkan bahwa orientasi serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit serat batang pisang berpenguat resin epoksi. Perbedaan orientasi serat menyebabkan perubahan pada kemampuan material dalam menahan beban tarik.



Gambar 4. 10 Perbandingan Antar Spesimen

Berdasarkan grafik perbandingan antar spesimen, terlihat bahwa orientasi serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit serat batang pisang. Variabel C (Vertikal) menunjukkan performa terbaik dengan rata-rata kekuatan tarik maksimum (UTS) sebesar 48,36 MPa dan modulus tarik sebesar 1,30 GPa, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa orientasi serat vertikal mampu menahan beban tarik secara lebih efektif karena arah serat sejajar dengan arah pembebanan, sehingga tegangan dapat diteruskan secara optimal melalui serat. Sebaliknya, Variabel A menghasilkan rata-rata UTS sebesar 24,59 MPa dengan modulus tarik 1,11 GPa, sedangkan Variabel B memiliki nilai terendah, yaitu UTS sebesar 6,81 MPa dan modulus tarik sebesar 0,44 GPa.

Perbedaan nilai kekuatan tarik dan modulus tarik pada ketiga variasi menunjukkan bahwa orientasi serat sangat memengaruhi kemampuan komposit dalam menerima dan mendistribusikan beban tarik. Semakin sejajar arah serat terhadap arah pembebanan, semakin tinggi kemampuan material dalam menahan tegangan dan semakin baik tingkat kekakuannya. Sebaliknya, orientasi serat yang tidak searah dengan pembebanan menyebabkan transfer beban menjadi kurang efektif sehingga kekuatan tarik dan modulus elastisitas menurun.

4.2.5 Rekapitulasi Data

Rekapitulasi data disusun untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai hasil pengujian tarik seluruh spesimen komposit serat batang pisang pada ketiga variasi orientasi serat (A, B, dan C) secara komparatif. Data yang disajikan meliputi beban maksimum (maximum load), kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength/UTS), regangan (strain), dan modulus elastisitas (Young's Modulus) dari masing-masing spesimen, beserta nilai rata-rata setiap variasi. Rekapitulasi ini bertujuan untuk memudahkan perbandingan hasil pengujian sehingga pengaruh orientasi serat terhadap sifat mekanik komposit dapat dianalisis secara sistematis.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Data

REKAPITULASI DATA UJI TARIK KOMPOSIT SERAT BATANG PISANG					
Spesimen	Arah Serat	Load (N)	UTS (MPa)	Strain (%)	Modulus Tarik (Gpa)
A1	Diagonal	2,691	22,18	2,25%	0,93
A2	Diagonal	3,052	25,62	2,47%	1,04
A3	Diagonal	3,194	25,96	1,91	1,36
B1	Horizontal	0,962	7,09	0,86	0,81
B2	Horizontal	1,010	7,56	2,94	0,25
B3	Horizontal	0,630	5,32	1,99	0,26
C1	Vertikal	6,187	50,92	3,63	1,40
C2	Vertikal	5,971	49,36	5,62	0,87
C3	Vertikal	5,276	44,81	2,75	1,63
($\bar{x}$) Spesimen A		2,979	24,59	2,21	1,11
($\bar{x}$) Spesimen B		0,867	6,66	1,93	0,44
($\bar{x}$) Spesimen C		5,811	48,36	4,00	1,30

Berdasarkan Tabel rekapitulasi hasil pengujian tarik komposit serat batang pisang, terlihat pola yang konsisten bahwa variasi C (orientasi serat vertikal) menunjukkan sifat mekanik yang paling baik dibandingkan variasi A (orientasi serat diagonal) dan variasi B (orientasi serat horizontal). Hal ini ditunjukkan oleh rata-rata beban maksimum sebesar 5,811 kN dan kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength/UTS) sebesar 48,36 MPa, yang jauh lebih tinggi dibandingkan variasi A dengan rata-rata beban maksimum 2,979 kN dan UTS 24,59 MPa, serta variasi B dengan rata-rata beban maksimum 0,867 kN dan UTS 6,66 MPa. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat yang sejajar dengan arah pembebanan mampu mentransfer tegangan secara lebih efektif dari matriks ke serat, sehingga komposit memiliki kemampuan yang lebih tinggi dalam menahan beban tarik sebelum mengalami kegagalan. Sebaliknya, pada orientasi horizontal, arah serat tegak lurus terhadap pembebanan sehingga transfer beban menjadi kurang optimal dan menyebabkan nilai beban maksimum maupun UTS menjadi paling rendah.

Pada parameter regangan (strain), variasi C juga memiliki rata-rata regangan tertinggi, yaitu sebesar 4,00%, diikuti variasi A sebesar 2,21% dan variasi B sebesar 1,93%. Nilai regangan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa komposit mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum patah. Sementara itu, pada parameter

modulus tarik (Young's Modulus), variasi C memperoleh rata-rata sebesar 1,30 GPa, lebih tinggi dibandingkan variasi A sebesar 1,11 GPa dan variasi B sebesar 0,44 GPa. Nilai modulus tarik yang tinggi menunjukkan bahwa material memiliki tingkat kekakuan yang lebih baik terhadap pembebanan tarik. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa orientasi serat vertikal memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan tarik maksimum, kemampuan deformasi, dan kekakuan material.

Tabel 4. 17 Variasi Spesimen Terbaik

Variasi	Spesimen Terbaik	Load (N)	UTS (MPa)	Strain (%)	Modulus Tarik (Gpa)
A	A2	3,052	25,62	2,47%	1,04
B	B2	1,010	7,56	2,94	0,25
C	C1	6,187	50,92	3,63	1,40

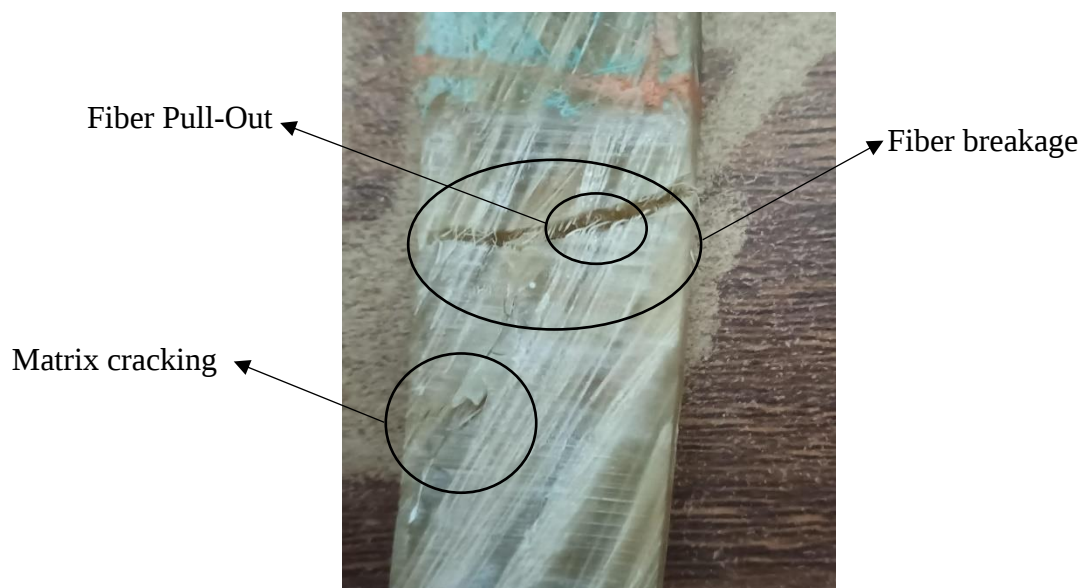
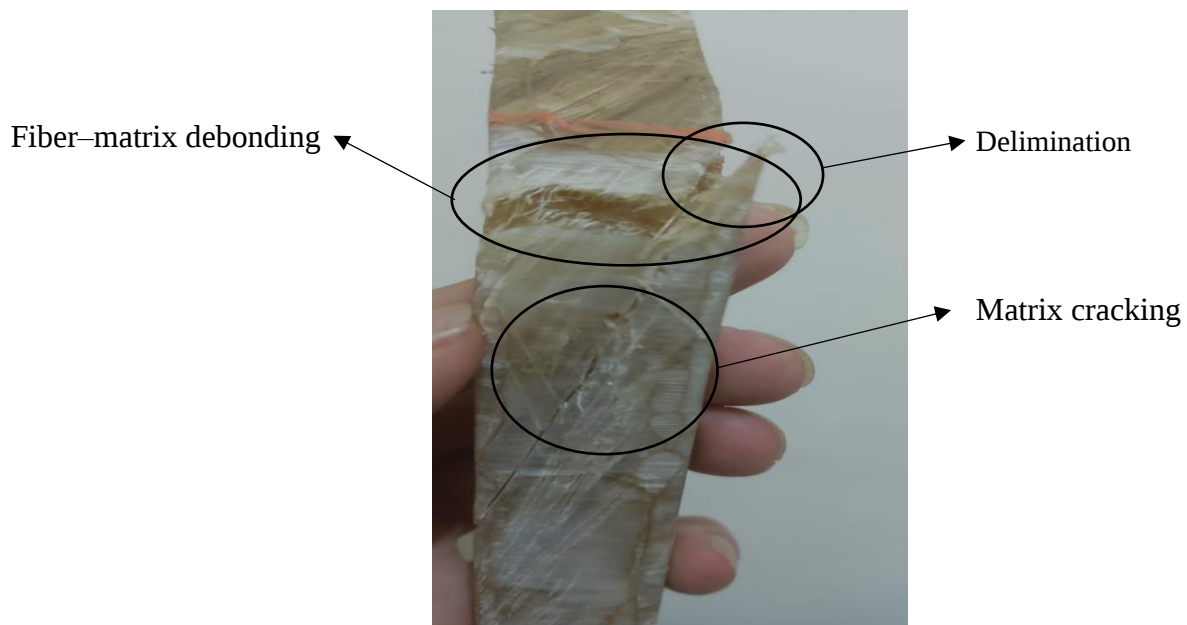
Tabel tersebut menyajikan spesimen dengan performa terbaik pada setiap variasi orientasi serat berdasarkan hasil pengujian tarik. Pada variasi A, spesimen A2 menunjukkan performa terbaik dengan beban maksimum sebesar 3.052 N, nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 25,62 MPa, dan modulus tarik sebesar 1,04 GPa. Pada variasi B, spesimen B2 memperoleh hasil terbaik dengan beban maksimum 1.010 N dan UTS 7,56 MPa, sedangkan pada variasi C, spesimen C1 memberikan performa paling unggul dengan beban maksimum 6.187 N, UTS 50,92 MPa, dan modulus tarik 1,40 GPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa orientasi serat vertikal pada variasi C menghasilkan kemampuan menahan beban tarik yang paling baik dibandingkan orientasi diagonal maupun horizontal. Perbedaan performa antarspesimen pada setiap variasi mengindikasikan bahwa orientasi serat, kualitas ikatan antara serat dan matriks, distribusi serat yang tidak seragam, serta kemungkinan terbentuknya rongga (void) selama proses fabrikasi hand lay-up turut memengaruhi sifat mekanik komposit yang dihasilkan.

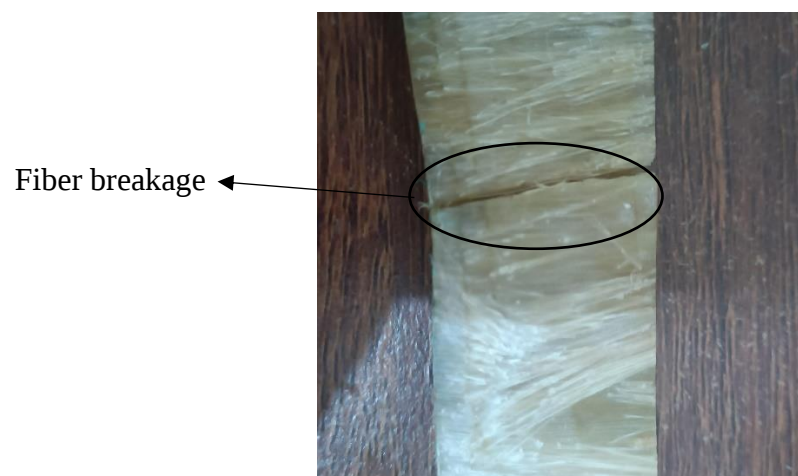
4.2.6 Identifikasi dan Dokumentasi Kegagalan

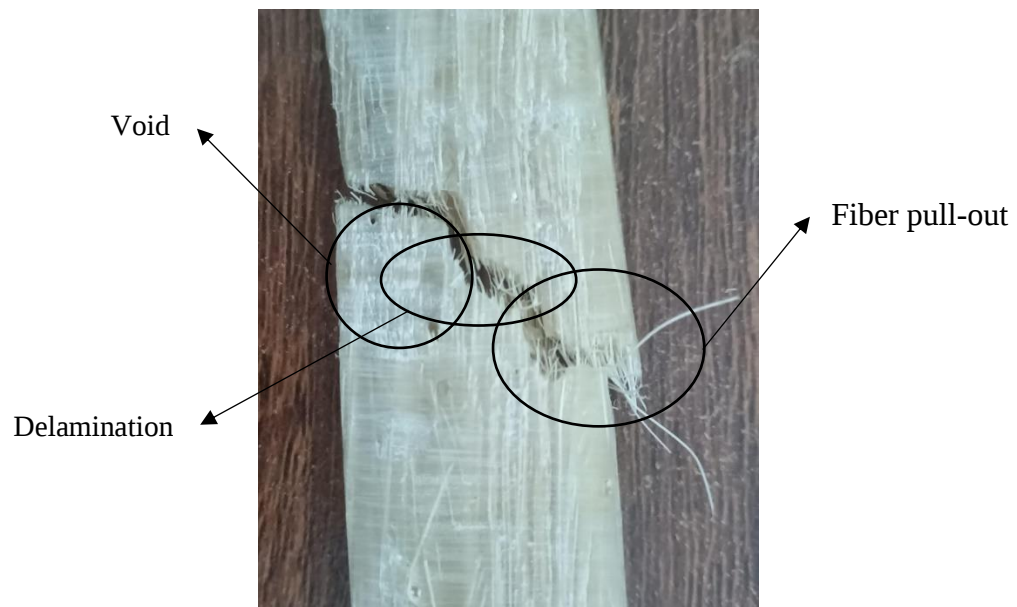
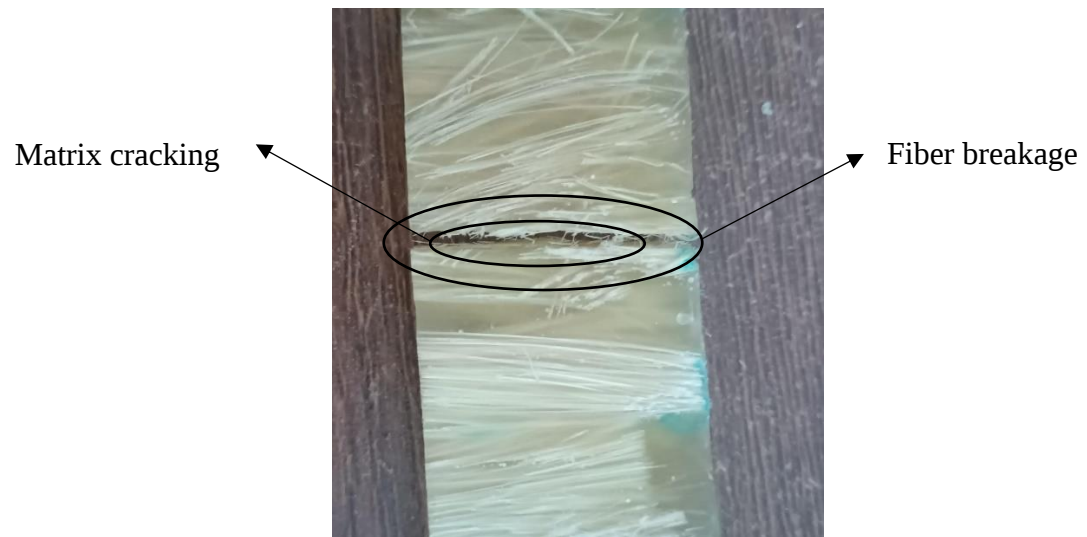
Setelah seluruh spesimen menyelesaikan pengujian tarik berdasarkan standar ASTM D3039, dilakukan pengamatan terhadap pola kerusakan yang terjadi akibat pembebanan tarik. Pengamatan dilakukan secara visual makroskopik untuk mengidentifikasi karakteristik kegagalan pada spesimen setelah mengalami patah. Area yang diamati meliputi permukaan spesimen, penampang samping, serta bidang patahan untuk mengetahui mekanisme kerusakan yang terjadi selama proses pengujian.

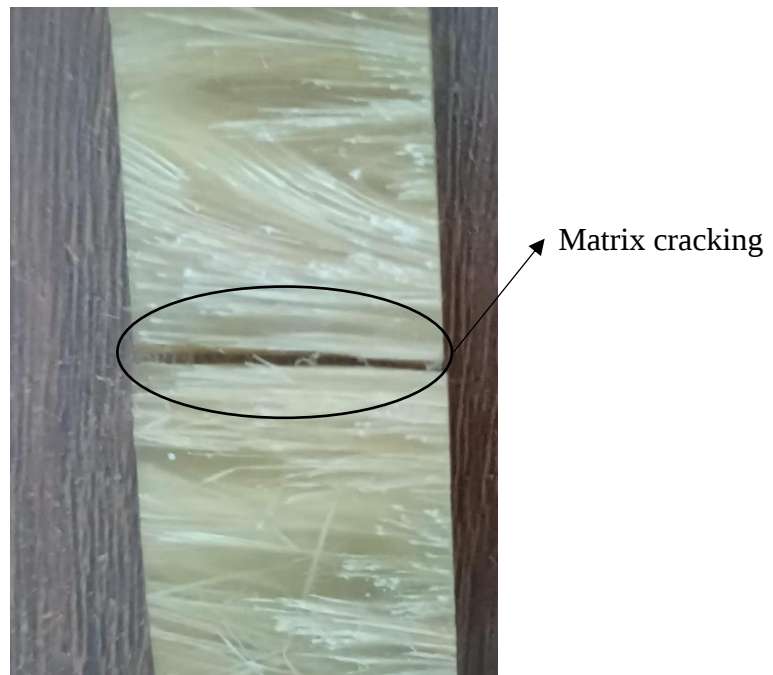
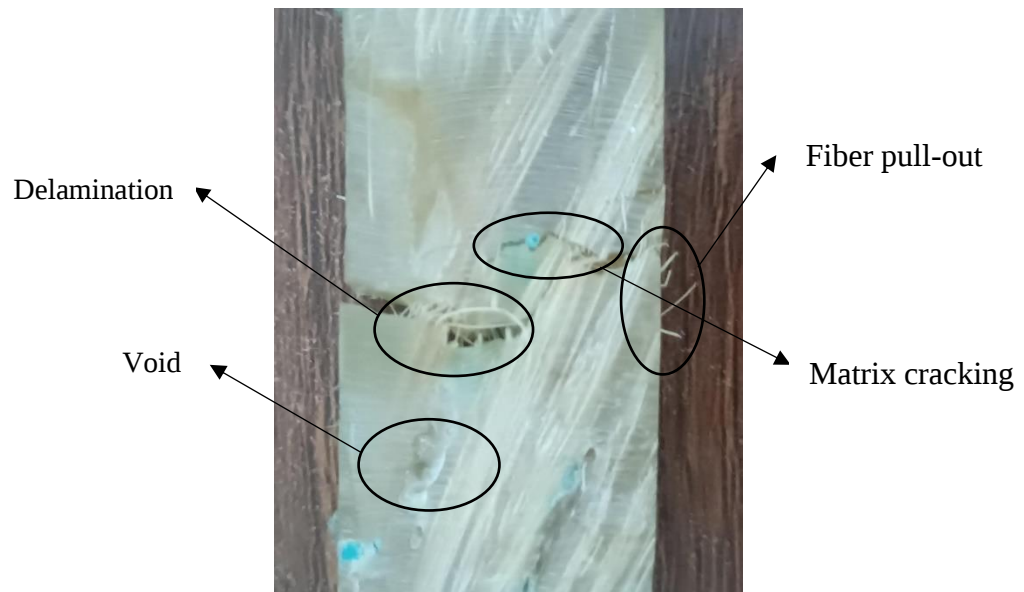
Mode kegagalan yang menjadi objek pengamatan dalam penelitian ini meliputi patahnya serat (*fiber fracture*), terlepasnya serat dari matriks (*fiber pull-out*), retak pada matriks (*matrix cracking*), lepasnya ikatan antara serat dan matriks (*fiber-matrix debonding*), delaminasi (*delamination*), patah serat (*Fiber breakage*), serta keberadaan rongga (*void*) apabila terlihat pada bidang patahan. Fiber fracture ditandai dengan putusya serat pada daerah patahan, sedangkan fiber pull-out ditunjukkan oleh serat

yang tercabut atau menonjol keluar dari matriks. Matrix cracking terlihat sebagai retakan pada matriks resin, sementara fiber-matrix debonding ditandai dengan terlepasnya serat dari matriks akibat lemahnya ikatan antarmuka. Delaminasi ditunjukkan oleh terpisahnya lapisan-lapisan komposit, sedangkan void tampak sebagai rongga atau pori yang terbentuk akibat proses impregnasi resin yang kurang sempurna. Hasil pengamatan ini digunakan untuk menganalisis hubungan antara pola kegagalan dengan sifat mekanik komposit pada masing-masing variasi orientasi serat.









4.2.7 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Bagian ini menyajikan perbandingan secara sistematis antara hasil pengujian tarik komposit serat batang pisang yang diperoleh dalam penelitian ini dengan hasil beberapa penelitian terdahulu yang relevan. Perbandingan dilakukan terhadap parameter sifat mekanik, seperti kekuatan tarik (Ultimate Tensile Strength) serta pola kegagalan yang terjadi setelah pengujian.

Serat batang pisang merupakan salah satu serat alam yang memiliki potensi sebagai material penguat komposit karena memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi, densitas rendah, serta sifat mekanik yang baik sehingga berpotensi digunakan sebagai material alternatif yang ramah lingkungan. Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan serat batang pisang sebagai penguat komposit dengan berbagai variasi orientasi serat, fraksi volume, maupun jenis matriks untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu yang memiliki karakteristik material dan metode pengujian yang serupa guna memberikan gambaran mengenai posisi dan kontribusi penelitian ini terhadap pengembangan material komposit serat alam. Ringkasan perbandingan hasil penelitian tersebut disajikan pada tabel berikut.

No	Peneliti (Tahun)	Jenis Serat / Matriks	Variasi Terbaik	Metode Fabrikasi	Tegangan Tarik (MPa)
1	Prosiding BKSTM (2018)	Batang pisang Kepok / Jantan / Raja / Raja Sereh	Varietas Kepok	Hand lay-up	25,46 (Kepok); 22,96 (Jantan); 19,88 (Raja); 15,02 (Raja Sereh)
2	Endriatno (2015)	Serat batang pisang / resin epoxy	Fraksi volume 40%	Hand lay-up	~42
3	Kunarto & Ernawan (2018)	Serat batang pisang / resin	Fraksi volume terbaik	Hand lay-up	~21–24
4	Hung, Parman & Jamaludin (2023)	Serat batang pisang / Poly-epoxide	Orientasi 0° longitudinal	Hand lay-up	51,6 (0°); 30,7 (anyaman); 26,3 (acak)
5	Angelia, SENATIK ITD (2020)	Serat pelepah pisang / VARI	Pengeringan 7 hari	Vacuum Assisted Resin Infusion	17,90 (7 hari); 16,72 (1 hari)
6	Penelitian Ini (2026)	Serat batang pisang / Epoxy	Orientasi 0°/45°/90°	Hand lay-up	50,92 (0°); 25,62 (45°); 7,56 (90°)

Berdasarkan Tabel 4.20, penelitian mengenai komposit serat batang pisang sebagai material penguat telah banyak dilakukan dengan berbagai variasi jenis serat, orientasi serat, fraksi volume, dan metode fabrikasi. Nilai kekuatan tarik yang dilaporkan berkisar antara 15,02 MPa hingga 51,60 MPa, bergantung pada parameter yang digunakan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit serat batang pisang dengan orientasi serat 0° menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 50,92 MPa, nilai yang sebanding dengan penelitian Hung, Parman, dan Jamaludin (2023) yang memperoleh 51,60 MPa pada orientasi serat longitudinal (0°). Sebaliknya, orientasi serat 45° dan 90° menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah, yaitu masing-masing 25,62 MPa dan 7,56 MPa, menunjukkan bahwa orientasi serat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan komposit dalam menahan beban tarik. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa orientasi serat sejajar dengan arah pembebanan memberikan performa mekanik yang lebih baik dibandingkan orientasi miring maupun tegak lurus, serta memiliki daya saing terhadap hasil penelitian terdahulu yang menggunakan material dan metode fabrikasi serupa.

4.2.8 Potensi sebagai Material Alternatif Gading Kapal Ikan

Hasil pengujian tarik komposit serat pelepah pisang (*Musa paradisiaca*) dengan matriks resin epoxy menunjukkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 50,92 MPa pada variasi orientasi serat 0°. Nilai ini belum memenuhi standar minimum kekuatan tarik laminat FRP yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sebesar 98 MPa untuk komponen struktural kapal berbahan FRP. Namun demikian, penilaian kelayakan material tidak dapat dilakukan secara terpisah dari konteks aplikasi yang dituju.

Kapal ikan tradisional yang menjadi objek kajian dalam penelitian ini memiliki panjang 3 meter, lebar 0,9 meter, dan sarat air 0,3 meter. Berdasarkan ketentuan BKI, kapal dengan ukuran tersebut tidak termasuk dalam lingkup wajib klasifikasi kapal FRP, sehingga persyaratan kekuatan tarik minimum 98 MPa tidak berlaku secara regulatif untuk kapal ini. Dengan demikian, penilaian kelayakan material dilakukan berdasarkan pendekatan tegangan kerja aktual dan angka keamanan (*safety factor*).

Berikut perhitungan untuk mendapatkan *safety factor*:

Langkah 1 — Perhitungan Volume Displasemen (V)

$$V = L \times B \times T \times C_b$$

$$V = 3 \times 0,9 \times 0,3 \times 0,6$$

$$V = 0,81 \times 0,6$$

$$V = 0,486 \text{ m}^3$$

Jadi, volume displasemen kapal adalah 0,486 m³.

Langkah 2 — Perhitungan Massa Displasemen (Δ)

$$\Delta = \rho \times V$$

Diketahui:

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3 \text{ (massa jenis air laut)}$$

$$V = 0,486 \text{ m}^3$$

$$\Delta = 1025 \times 0,486$$

$$\Delta = 498,15 \text{ kg}$$

Jadi, displasemen kapal adalah 498,15 kg.

Langkah 3 – Perhitungan Gaya Berat (W)

$$W = \Delta \times g$$

Diketahui:

$$\Delta = 498,15 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$W = 498,15 \times 10$$

$$W = 4.981,5 \text{ N}$$

Jadi, gaya berat kapal adalah 4.981,5 N.

Langkah 4 – Perhitungan Luas Permukaan Basah (A)

$$A = L \times (B + 2T)$$

Diketahui:

$$L = 3 \text{ m}$$

$$B = 0,9 \text{ m}$$

$$T = 0,3 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$A = 3 \times (0,9 + 2 \times 0,3)$$

$$A = 3 \times (0,9 + 0,6)$$

$$A = 3 \times 1,5$$

$$A = 4,5 \text{ m}^2$$

Jadi, luas permukaan basah kapal adalah 4,5 m².

Langkah 5 – Perhitungan Tegangan Kerja Aktual (σ)

$$\sigma = W / A$$

Diketahui:

$$W = 4.981,5 \text{ N}$$

$$A = 4,5 \text{ m}^2$$

Perhitungan:

$$\sigma = 4.981,5 / 4,5$$

$$\sigma = 1.107 \text{ N/m}^2$$

Jadi, tegangan kerja aktual adalah 1.107 N/m².

Langkah 6 – Perhitungan Tegangan Desain (σ_{desain})

Tegangan desain diperoleh dengan mengalikan tegangan kerja aktual dengan faktor keamanan (SF = 2).

$$\sigma_{\text{desain}} = \sigma \times \text{SF}$$

Diketahui:

$$\sigma = 1.107 \text{ N/m}^2$$

$$SF = 2$$

Perhitungan:

$$\sigma_{\text{desain}} = 1.107 \times 2$$

$$\sigma_{\text{desain}} = 2.214 \text{ N/m}^2$$

Konversi ke MPa:

$$\sigma_{\text{desain}} = 2.214 / 1.000.000$$

$$\sigma_{\text{desain}} = 0,002214 \text{ MPa}$$

Dibulatkan:

$$\sigma_{\text{desain}} = 0,00221 \text{ MPa}$$

Jadi, tegangan desain yang digunakan adalah 0,00221 MPa.

Perhitungan tegangan hidrostatik dilakukan dengan menghitung volume displasemen kapal menggunakan koefisien blok (C_b) sebesar 0,6 yang umum digunakan untuk kapal ikan kecil, sehingga diperoleh volume displasemen sebesar $0,486 \text{ m}^3$, massa displasemen sebesar 498,15 kg, dan gaya berat sebesar 4.981,5 N. Luas permukaan basah lambung dihitung sebesar $4,5 \text{ m}^2$, sehingga tegangan kerja aktual yang diperoleh adalah sebesar 1.107 N/m^2 . Dengan menerapkan faktor keamanan sebesar 2 untuk pembebanan statik sesuai acuan regulasi BKI, tegangan desain yang diperoleh adalah sebesar 0,00221 MPa. Nilai tegangan desain tersebut kemudian dibandingkan dengan kekuatan tarik komposit hasil pengujian ASTM D3039, sehingga diperoleh angka keamanan aktual sebesar:

$$SF_{\text{faktual}} = \sigma_{\text{material}} / \sigma_{\text{desain}}$$

Diketahui:

$$\sigma_{\text{material}} = 50,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{desain}} = 0,00221 \text{ MPa}$$

Perhitungan:

$$SF_{\text{faktual}} = 50,92 / 0,00221$$

$$SF_{\text{faktual}} \approx 23.040$$

Untuk memvalidasi pendekatan perhitungan yang digunakan, dilakukan perhitungan pembandingan menggunakan data kapal wisata sungai Kalimas yang dikaji oleh Budianto (2015), yaitu kapal berbahan FRP dengan panjang 8 meter, lebar 2,20 meter, dan sarat air 0,40 meter yang beroperasi di perairan sungai. Dengan metode perhitungan yang sama, diperoleh volume displasemen sebesar $4,224 \text{ m}^3$, gaya berat sebesar 42.240 N, luas permukaan basah sebesar 24 m^2 , dan tegangan desain sebesar 0,00352 MPa. Sehingga angka keamanan aktual kapal Kalimas dengan material FRP WR 600 V-5M berkekuatan tarik 84,73 MPa adalah:

$$SF_{\text{faktual}}(\text{Kalimas}) = \sigma_{\text{material}} / \sigma_{\text{desain}}$$

Diketahui:

$$\sigma_{\text{material}} = 84,73 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{desain}} = 0,00352 \text{ MPa}$$

Perhitungan:

$$SF_{\text{faktual}}(\text{Kalimas}) = 84,73 / 0,00352$$

$$SF_{\text{faktual}}(\text{Kalimas}) \approx 24.071$$

Perbandingan hasil perhitungan kedua kapal tersebut ditampilkan pada tabel:

Parameter	Kapal Kalimas (8m)	Kapal Penelitian Ini (3m)
Kuat tarik material	84,73 MPa	50,92 MPa
Tegangan desain	0,00352 MPa	0,00221 MPa
SF aktual	~24.071	~23.040

Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa angka keamanan aktual komposit serat pelepah pisang–resin epoxy pada kapal ikan 3 meter sebesar ± 23.040 adalah sebanding dengan angka keamanan aktual material FRP konvensional pada kapal wisata sungai Kalimas sebesar ± 24.071 yang telah dinyatakan aman secara struktural oleh Budianto(2015). Konsistensi nilai SF pada kedua kapal tersebut memvalidasi bahwa pendekatan perhitungan tegangan hidrostatik yang digunakan dalam penelitian ini adalah sah dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Dengan mempertimbangkan konteks aplikasi, skala kapal, dan angka keamanan aktual yang sebanding dengan kapal referensi yang telah teruji, komposit serat pelepah pisang–resin epoxy berpotensi diaplikasikan sebagai material alternatif gading pada kapal ikan tradisional sepanjang 3 meter. Pemanfaatan material ini sejalan dengan upaya pengembangan material ramah lingkungan berbasis sumber daya alam lokal yang berkelanjutan, sekaligus memberikan nilai tambah terhadap limbah pelepah pisang yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal di lingkungan masyarakat nelayan Indonesia.