

Pengaruh Variasi Fraksi Massa Komposit Hibrid Serat Goni/*E-Glass* Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan *Bending*

Indra Maulana^{*1}, Hendrix Noviyanto Firmansyah², Shafira Nur Permata³, Muhammad Irfa Nurul Islam⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang 50229, Indonesia

e-mail: ^{*1}indramaul58@students.unnes.ac.id, ²hendrix@mail.unnes.ac.id,

³Shafira7272@students.unnes.ac.id, ⁴nmuhammadirfa@students.unnes.ac.id

Abstrak

Material komposit menjadi pilihan utama dalam berbagai sektor industri karena keunggulannya yang ringan, tahan korosi, dan memiliki kekuatan mekanik tinggi dibanding logam konvensional. Salah satu pengembangan komposit adalah pemanfaatan serat alami dan serat sintesis dalam pembuatan komposit hibrid. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi massa komposit hibrid serat goni/e-glass terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending. Spesimen dibuat menggunakan metode hand lay up dengan variasi fraksi massa serat goni/e-glass yaitu A (19%:11%), B (12%:18%), C (15%:15%), dan D (23%:7%). Uji tarik dan bending dilakukan masing-masing sesuai standar ASTM D638 dan D790. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa spesimen B memiliki nilai tegangan tarik dan modulus elastisitas tertinggi sebesar 117,199 MPa dan 3881,312 MPa, namun memiliki regangan tarik yang lebih rendah yang menandakan sifat material tersebut lebih getas. Sementara itu, hasil uji bending menunjukkan bahwa spesimen A menghasilkan tegangan bending dan modulus elastisitas bending tertinggi sebesar 41,106 MPa dan 689,987 MPa. Analisis makro mengungkapkan adanya kegagalan delaminasi, fiber breaking, void, dan deformasi pada patahan spesimen. Semua spesimen telah memenuhi standar minimal kekuatan tarik untuk bahan outer helm SNI. Secara keseluruhan, komposisi fraksi massa serat dan penempatan susunan serat berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit hibrid ini.

Kata kunci— kekuatan bending, e-glass, fraksi massa, goni, kekuatan tarik

Abstract

Composite materials are the main choice in various industrial sectors because of their lightweight, corrosion-resistant, and high mechanical strength compared to conventional metals. One of the developments in composites is the use of natural and synthetic fibers in creating hybrid composites. This study investigates the influence of varying mass fractions of hybrid jute/e-glass fibers on tensile and bending properties. The specimens were fabricated using the hand lay-up method with variations in jute/e-glass fiber mass fractions A (19%:11%), B (12%:18%), C (15%:15%), and D (23%:7%). Tensile and bending tests were conducted according to ASTM D638 and D790 standards, respectively. The tensile test results showed that specimen B had the highest tensile stress and elastic modulus values of 117,199 MPa and 3881,312 MPa, respectively, but exhibited lower tensile strain, indicating a more brittle material behavior. Meanwhile, the bending test results revealed that specimen A achieved the highest bending stress and bending elastic modulus of 41,106 MPa and 689,987 MPa, respectively. Macro analysis revealed the presence of delamination failure, fiber breaking, void,

and deformation in the specimen fracture. All specimens have met the minimum tensile strength standards for SNI outer helmet materials. Overall, the fiber mass fraction composition and fiber arrangement significantly influenced the mechanical properties of this hybrid composite.

Keywords— *bending strength, e-glass, mass fraction, jute, tensile strength*

1. PENDAHULUAN

Material logam banyak digunakan di sektor industri, tetapi kini mulai ditinggalkan karena mudah korosi dan rusak. Sebagai alternatif, berbagai industri kini beralih ke material komposit [1]. Perpaduan dua atau lebih material berbeda yang dikombinasikan untuk meningkatkan sifat mekanisnya biasa disebut dengan material komposit [2]. Material komposit menjadi pilihan utama dalam berbagai sektor industri karena keunggulannya yang ringan, tahan korosi, dan memiliki kekuatan mekanik tinggi dibanding logam konvensional [3].

Salah satu pengembangan komposit adalah pemanfaatan serat alami seperti serat goni yang ramah lingkungan, meski sifat mekaniknya masih di bawah serat sintesis [4]. Serat goni ini memiliki densitas sebesar $1,35 \text{ g/cm}^3$ dan kekuatan tarik sebesar 470 MPa [5]. Untuk meningkatkan performa, digunakan serat *e-glass* yang memiliki massa jenis sebesar $2.55 - 2.6 \text{ g/cm}^3$ dan kekuatan tarik sebesar 1900 – 2050 Mpa [6]. Perbedaan massa jenis yang relatif kecil tersebut memungkinkan keduanya dikombinasikan dalam bentuk komposit hibrid [4].

Fraksi volume, orientasi arah, dan urutan penumpukan serat merupakan faktor penting dalam optimasi sifat mekanik komposit hibrid dan berpengaruh pada kekuatan mekanik dalam proses pembuatan material komposit [7]. Salah satu metode pembuatan komposit yang sering digunakan yaitu metode *hand lay up* dengan cara mengaplikasikan resin dan tekanan berulang hingga mencapai ketebalan yang diinginkan [8].

Perkembangan penelitian pada komposit hibrid serat goni/*e-glass* masih terbatas. Pada penelitian Sayed Hasan Mahmud ditahun 2024, menunjukkan bahwa variasi susunan laminasi dan fraksi volume *jute/e-glass* (30-60%) menghasilkan kekuatan tarik 30-140 MPa dan kekuatan *bending* 40–185 MPa. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi susunan laminasi dan fraksi volume berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan lentur [9]. Penelitian Fatimah Zahra ditahun 2024 dan Fajar Paundra pada tahun 2022, menegaskan bahwa pentingnya optimalisasi fraksi volume serat untuk meningkatkan kekuatan tarik yang lebih maksimal [8], [10]. Sedangkan pada penelitian Thaís da Costa Dias tahun 2022 dan Suhas Yeshwant Nayak tahun 2020, menunjukkan bahwa susunan serat *e-glass* di bagian luar laminat mampu meningkatkan kekuatan tarik dan *bending* [11], [12]. Sebagian besar penelitian tersebut menggunakan pendekatan fraksi volume, yaitu perbandingan volume serat terhadap volume total komposit. Belum ada penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh variasi fraksi massa serat goni/*e-glass* terhadap kekuatan tarik dan *bending*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memberikan data empiris tentang pengaruh variasi fraksi massa terhadap sifat mekanik komposit, sebagai referensi pengembangan material hibrid yang efisien dan berkelanjutan, khususnya untuk material helm sesuai standar SNI.

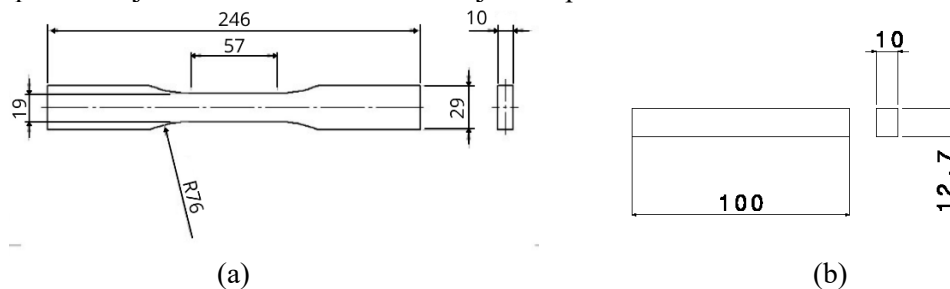
2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini spesimen komposit hibrid dibuat dari serat goni dan *e-glass* dengan matriks resin epoksi dan *hardener* (rasio 2:1). Fraksi massa yang digunakan yaitu 70% matriks dan 30% serat. Variasi fraksi massa dalam pembuatan spesimen yaitu spesimen A (19% serat goni : 11% serat *e-glass*), B (12% serat goni : 18% serat *e-glass*), C (15% serat goni : 15% serat

e-glass), dan D (23% serat goni : 7% serat *e-glass*). Masing-masing variasi akan diuji sebanyak 3 kali sehingga untuk mendapatkan data hasil uji tarik dan *bending* memerlukan sebanyak 24 spesimen dengan dimensi sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 1.

2.1 Persiapan Spesimen

Sebelum digunakan, serat goni direndam dalam larutan NaOH 5% selama 6 jam, dibilas, dan dikeringkan selama 2 hari. Dimensi spesimen ditentukan sesuai dengan standar ASTM. Salah satu standar ASTM yaitu ASTM D638 *type III* dan ASTM D790 [13], [14]. Desain spesimen uji sesuai standar ASTM ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 (a) Spesimen uji tarik ASTM D638 *type III* (b) Spesimen uji *bending* ASTM D790

2.2 Proses Pembuatan Spesimen

Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay up*. Tahapan proses pembuatan spesimen komposit adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan matriks, mencampurkan resin epoksi dengan katalis dengan perbandingan 2 : 1.
 2. Melapisi alas kaca menggunakan wax epoksi.
 3. Mengolesi kaca dengan matriks.
 4. Penumpukan serat dengan orientasi $0^\circ/90^\circ$ dan $45^\circ/45^\circ$, dilapisi resin secara berulang.
 5. Menunggu komposit kering di suhu ruangan.
 6. Setelah komposit kering sempurna lepaskan komposit dari cetakan, kemudian lakukan pemotongan spesimen sesuai standar ASTM menggunakan gerinda.
- Proses pembuatan spesimen komposit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Proses pembuatan spesimen komposit

2.3 Pengujian Spesimen

Pengujian dilakukan dengan uji *tensile* dan uji *bending* yang masing-masing variasi spesimen akan diuji sebanyak 3 kali. Kemudian setelah dilakukan pengujian, masing-masing spesimen memiliki hasil nilai uji yang berbeda dan akan diambil rata-rata nilai dari masing-masing spesimen tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kekuatan Tarik

Hasil gaya tarik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [15].

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \times 100\% \quad (2)$$

Modulus elastisitas :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Keterangan :

- σ = Tegangan (Mpa)
- F = Beban (N)
- A = Luas penampang (cm²)
- ε = Regangan (%)
- Δl = Perubahan panjang spesimen (cm)
- l = Panjang spesimen (cm)
- E = Modulus elastisitas (Mpa)

Tabel 1 menunjukkan data hasil pengujian tarik, sedangkan komposisi spesimen uji tarik dan *bending* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Tarik

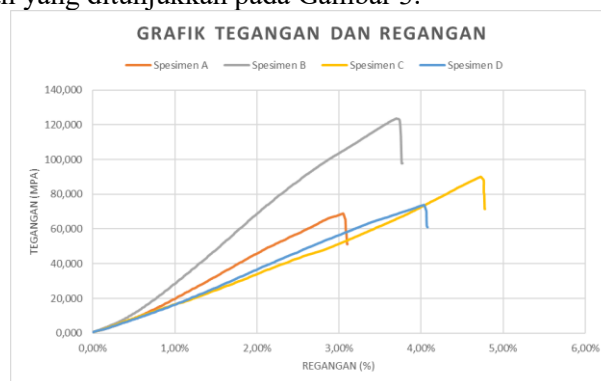
Spesimen	Uji	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
A	1	63,135	3,02%	2091,750
	2	68,755	3,05%	2251,415
	3	68,308	2,98%	2290,124
Rata-Rata		66,733	3,02%	2211,096
B	1	119,513	4,51%	3959,608
	2	123,758	3,69%	4052,507
	3	108,327	4,00%	3631,821
Rata-Rata		117,199	4,07%	3881,312
C	1	70,202	4,26%	2325,869
	2	90,043	4,73%	2948,486
	3	69,481	4,82%	2329,437
Rata-Rata		76,575	4,60%	2534,597

Spesimen	Uji	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
D	1	64,850	5,12%	2148,562
	2	73,726	4,04%	2414,175
	3	31,113	2,98%	1043,098
Rata-Rata		56,563	4,04%	1868,611

Tabel 2 Komposisi Spesimen Uji Tarik dan *Bending*

Spesimen	Urutan Penumpukan	
	Uji Tarik	Uji <i>Bending</i>
A	E/G/G/G/E/G/G/E	E/G/G/E/G/E
B	E/G/E/G/E/G/E/G/E	E/E/G//E/E/G/E
C	E/G/G/E/G/G/E/G/E	E/E/G/G/E/E
D	E/G/G/G/G/G/G/E	E/G/G/G/G/E

Dari data hasil pengujian tarik yang ditunjukkan pada Tabel 1, didapatkan grafik tegangan dan regangan yang ditunjukkan pada Gambar 3.

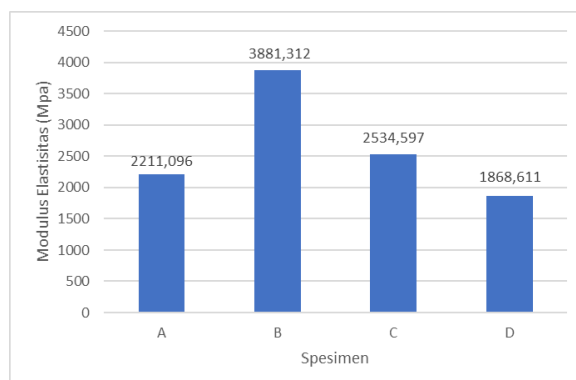


Gambar 3 Grafik tegangan dan regangan

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, terlihat bahwa semua spesimen mengalami fase elastis hingga mencapai tegangan maksimum, sebelum akhirnya mengalami kegagalan. Selanjutnya, untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbandingan antar spesimen, disajikan grafik rata-rata tegangan tarik dan rata-rata regangan tarik pada Gambar 4, serta rata-rata modulus elastisitas pada Gambar 5.



Gambar 4 (a) Hasil rata-rata tegangan tarik (b) Hasil rata-rata regangan tarik



Gambar 5 Hasil rata-rata nilai modulus elastisitas

Terlihat pada Gambar 4a dan Gambar 5, rata-rata tegangan tarik dan modulus elastisitas paling tinggi diperoleh pada spesimen B sebesar 117,199 Mpa dan 3881,312 Mpa, diikuti oleh spesimen C (76,575 dan 2534,597 Mpa), spesimen A (66,733 dan 2211,096 Mpa), dan spesimen D (56,563 dan 1868,611 Mpa). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi massa serat *e-glass* dalam komposit hibrid serat goni/*e-glass* dapat meningkatkan kekuatan tarik dan nilai modulus elastisitasnya. Peningkatan kekuatan ini terjadi karena adanya peningkatan ikatan antarmuka antara serat *e-glass* dan matriks epoksi, yang memfasilitasi transfer tegangan lebih efisien selama pembebanan. Hal ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Astrit Kirana pada tahun 2016 dan S. Rahman pada tahun 2024. Dalam penelitian tersebut hasilnya menunjukkan bahwa dengan penambahan serat *e-glass* pada komposit hibrid mampu meningkatkan tegangan tarik dan modulus elastisitasnya [16], [17].

Sedangkan pada Gambar 4b, dapat dilihat bahwa rata-rata regangan tarik paling tinggi diperoleh pada spesimen C sebesar 4,60%, diikuti oleh spesimen B (4,07%), spesimen D (4,04%), dan spesimen A (3,02%). Dari hasil data regangan tarik yang didapat, dapat disimpulkan bahwa dengan peningkatan fraksi massa serat *e-glass* dalam komposit serat goni/*e-glass* maka material komposit tersebut semakin getas. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Faisal Febry Nurdiansyah pada tahun 2021. Dalam penelitian tersebut nilai regangan tarik komposit berpenguat serat rami dengan matriks gondorukem mengalami penurunan rata-rata nilai regangan tarik yang disebabkan oleh bertambahnya fraksi massa serat [18]. Hasil penelitian ini relevan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa susunan serat *e-glass* di bagian luar laminat mampu meningkatkan kekuatan tarik komposit [11], [12]. Hasil pengujian tarik juga menunjukkan bahwa semua variasi spesimen komposit hibrid serat goni/*e-glass* telah memenuhi kriteria sebagai bahan *outer* helm yang hanya memiliki nilai standar minimal pengujian tarik yaitu sebesar 33,93 Mpa [5].

3.2 Kekuatan Bending

Hasil uji *bending* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [19].

Tegangan :

$$\sigma = \frac{3 FL}{2 b d^2} \quad (4)$$

Modulus elastisitas :

$$E = \frac{L^3 m}{4 b d^3} \quad (5)$$

Keterangan :

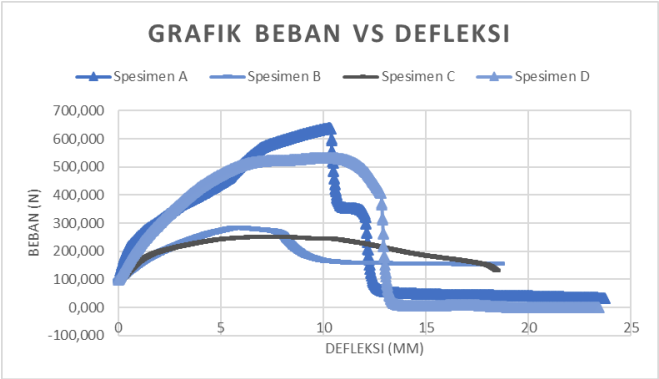
- σ = Tegangan (Mpa)
- F = Beban (N)
- L = Panjang bentang antar tumpuan (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)
- d = Ketebalan spesimen (mm)
- E = Modulus elastisitas (Mpa)
- m = Laju perubahan beban terhadap defleksi (N/mm)

Data hasil pengujian *bending* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Hasil Pengujian *Bending*

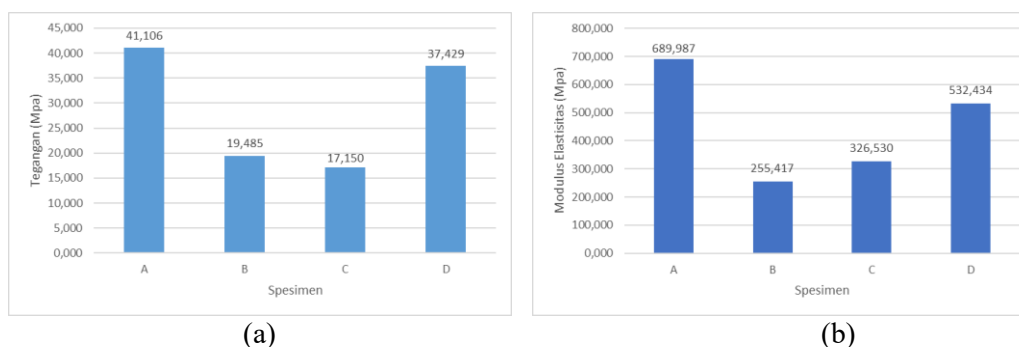
Spesimen	Uji	Tegangan (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)
A	1	45,181	1033,856
	2	39,026	572,615
	3	39,110	463,492
	Rata-Rata	41,106	689,987
B	1	20,239	240,049
	2	19,972	246,303
	3	18,245	279,899
	Rata-Rata	19,485	255,417
C	1	16,638	338,984
	2	17,955	324,484
	3	16,856	316,121
	Rata-Rata	17,150	326,530
D	1	36,872	503,879
	2	37,713	504,511
	3	37,702	588,912
	Rata-Rata	37,429	532,434

Dari data hasil pengujian *bending* yang didapat, didapatkan grafik beban dan *defleksi* yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik Beban Dan Defleksi

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, terlihat bahwa setiap spesimen menunjukkan perilaku *deformasi* yang berbeda selama pengujian *bending*. Spesimen A memiliki nilai beban maksimum tertinggi, sehingga menunjukkan material tersebut bersifat kaku dan kuat. Sebaliknya, Spesimen C menunjukkan beban maksimum paling rendah, mengindikasikan bahwa material ini memiliki kekuatan yang rendah. Selanjutnya, untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbandingan antar spesimen, disajikan grafik rata-rata tegangan *bending* dan rata-rata modulus elastisitas *bending* pada Gambar 7.



Gambar 7 (a) Hasil rata-rata tegangan *bending* (b) Hasil rata-rata nilai modulus elastisitas

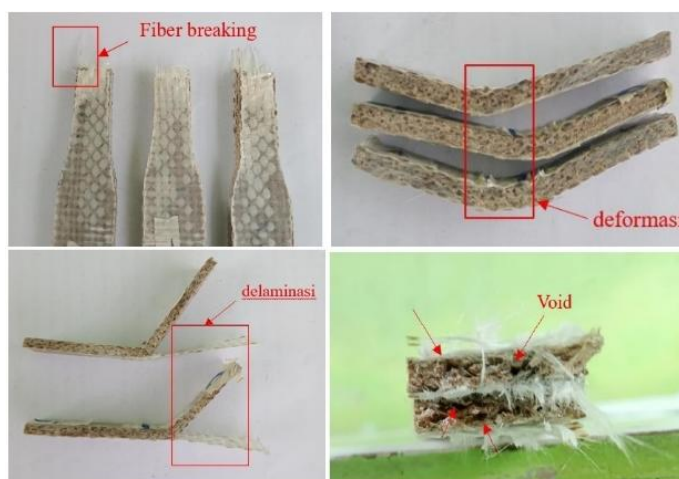
Terlihat pada Gambar 7a, rata-rata tegangan *bending* paling tinggi diperoleh pada spesimen A sebesar 41,106 Mpa, diikuti oleh spesimen D (37,429 Mpa), spesimen B (19,485 Mpa), dan spesimen C (17,150 Mpa). Hasil ini menunjukkan bahwa komposisi serat dalam pembuatan komposit hibrid serat goni/*e-glass* lebih berpengaruh daripada meningkatkan fraksi massa serat *e-glass*. Penempatan serat *e-glass* pada bagian luar laminasi dapat meningkatkan kekuatan *bending* karena serat *e-glass* memiliki densitas yang lebih besar daripada serat goni. Serat *e-glass* yang ditempatkan di lapisan luar berkontribusi besar terhadap peningkatan momen inersia penampang dan kekakuan lokal, sehingga mampu menahan tegangan lentur maksimum dengan lebih efektif. Hal ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Suhas Yeshwant Nayak pada tahun 2020, Maysam A. Altaee pada tahun 2023 dan Kaushlendra Kumar pada tahun 2024. Dalam penelitian tersebut, hasilnya menunjukkan bahwa susunan serat *e-glass* di bagian luar laminat mampu meningkatkan tegangan *bending* komposit daripada meningkatkan fraksi massa serat *e-glass* [12], [20], [21].

Sedangkan pada Gambar 7b, dapat dilihat bahwa rata-rata nilai modulus elastisitas uji *bending* paling tinggi diperoleh pada spesimen A sebesar 689,987 Mpa, diikuti oleh spesimen D (532,434 Mpa), spesimen C (326,530 Mpa), dan spesimen B (255,417 Mpa). Dari hasil data nilai modulus elastisitas yang didapat, spesimen B memiliki nilai modulus elastisitas paling rendah dibandingkan variasi lainnya, yang menunjukkan bahwa material ini relatif lebih lentur dibandingkan spesimen lainnya. Hasil uji cenderung menunjukkan hal yang sama dengan hasil rata-rata tegangan *bending*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Weili Wu pada tahun 2018, Sachidanand Singh pada tahun 2020, dan Getahun Tefera pada tahun 2022. Dalam penelitian tersebut, hasilnya menunjukkan bahwa susunan serat *e-glass* di bagian luar laminat mampu meningkatkan modulus elastisitas *bending* komposit [22], [23], [24].

3.2 Foto Makro

Setelah dilakukan analisa secara visual dan menggunakan kamera digital, diketahui beberapa spesimen komposit mengalami kegagalan diantaranya yaitu *delaminasi*, *fiber breaking*, dan *void*. Patahan atau sering juga disebut dengan *fiber breaking*, dialami pada semua spesimen setelah dilakukan pengujian tarik. Sedangkan hasil spesimen komposit setelah dilakukan pengujian *bending* cukup beragam, diantaranya ada yang mengalami *deformasi* dan

delaminasi. Spesimen komposit yang mengalami *deformasi* menandakan bahwa spesimen tersebut memiliki ketangguhan dan kelenturan yang baik. Sementara kegagalan *delaminasi* disebabkan karena ikatan antara penguat dan matriks yang homogen [25]. Kegagalan komposit lainnya yaitu terdapat rongga udara yang tertahan dalam matriks selama proses pembuatan komposit berlangsung. Kegagalan ini biasa disebut dengan *void*. *Void* dapat terjadi karena pencampuran, penekanan atau teknik manufaktur komposit yang kurang tepat [25]. Beberapa kegagalan yang terjadi pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Kegagalan spesimen

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, spesimen B (12% serat goni : 18% serat *e-glass*) menunjukkan nilai tegangan tarik dan modulus elastisitas tertinggi, yaitu sebesar 117,199 MPa dan 3881,312 MPa, namun memiliki regangan tarik yang lebih rendah yang menandakan sifat material tersebut lebih getas. Sedangkan untuk kekuatan *bending*, spesimen A (19% serat goni : 11% serat *e-glass*) menghasilkan nilai tegangan dan modulus elastisitas *bending* tertinggi, yaitu sebesar 41,106 Mpa dan 689,987 Mpa. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan fraksi massa serat *e-glass* mampu meningkatkan kekuatan tarik, sedangkan penempatan serat *e-glass* di lapisan luar laminasi efektif dalam meningkatkan kekuatan *bending*. Semua variasi spesimen komposit dalam penelitian ini telah memenuhi standar kekuatan tarik minimal untuk bahan *outer helm* sesuai SNI. Namun, hasil analisa makro menunjukkan terjadinya beberapa kegagalan pada spesimen seperti *delaminasi*, *fiber breaking*, *void*, dan *deformasi*, yang dapat mempengaruhi performa mekanik material.

5. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan agar dapat mengeksplorasi lebih lanjut variasi ketebalan spesimen, fraksi volume serat, serta perlakuan kimia lanjutan pada serat alami untuk memperbaiki ikatan antara serat dan matriks. Selain itu, penerapan metode manufaktur lain seperti *vacuum infusion* atau *compression molding* dapat dipertimbangkan guna meminimalisasi cacat *void* dalam komposit. Pengujian sifat mekanik lainnya juga perlu dilakukan agar dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap performa komposit dalam aplikasi nyata seperti material helm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Fauzi, V. Ariandha, M. S. B. Alamsyah, R. A. Fauzi, H. D. Alisyifa, and A. Choliq, "Analisis Material Komposit dengan Penguat Serat Alam dan Limbah Plastik Menggunakan Alat Uji Lendutan Batang Adi," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 3, pp. 375–384, 2024.
- [2] F. Jayadi, J. Supardi, Masykur, Adib, and B. Tripoli, "Analisa Kekuatan Tarik Pada Komposit Serat Abaka Berdasarkan Variasi Fraksi Volume," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 10, no. 2, pp. 538–545, 2024.
- [3] A. Nayan and T. Hafli, "Analisa Stuktur Mikro Material Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang," *Malikussaleh J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 15–24, 2022, doi: 10.29103/mjmst.v6i1.8184.
- [4] R. F. Septiyanto and A. H. D. Abdullah, "Perbandingan komposit serat alam dan serat sintetis melalui uji tarik dengan bahan serat jute dan e-glass," *Gravity J. Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Fis.*, vol. 2, no. 1, 2016, doi: <https://dx.doi.org/10.30870/gravity.v2i1.912>.
- [5] V. Yudha, F. Yudhanto, and J. Waluyo, "Analisa Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Hibrid Serat Jute/Karbon Yang Dibuak Dengan Metode Vacuum Infusion Sebagai Alternatif Bahan Helm," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 8, no. 1, pp. 25–35, 2023, doi: 10.20527/sjmekinematika.v8i1.248.
- [6] A. P. Irawan *et al.*, "An Experimental Investigation into Mechanical and Thermal Properties of Hybrid Woven Rattan/Glass-Fiber-Reinforced Epoxy Composites," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 24, p. 5562, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/polym14245562>.
- [7] W. Tanoto, "Pengaruh Orientasi Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan kekuatan Bending Komposit Berpenguat Serat E-Glass Dengan Matrik Epoxy," *JTM*, vol. 9, no. 3, pp. 53–58, 2021.
- [8] F. Zahra, F. Safriwardy, M. Habibi, and M. N. Rizki, "Analisis Kekuatan Tarik Komposit Serat Daun Nanas Dengan Variasi Fraksi Volume Menggunakan Resin Polyester Bening," *Malikussaleh J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 201–208, 2024.
- [9] S. H. Mahmud *et al.*, "Fabrication and mechanical performance investigation of jute/glass fiber hybridized polymer composites: Effect of stacking sequences," *Next Mater.*, vol. 5, p. 100236, 2024, doi: 10.1016/j.nxmte.2024.100236.
- [10] F. Paundra, Z. Z. Muttaqin, F. P. Nurullah, E. Pujiyulianto, and F. B. Darsono, "Pengaruh Variasi Fraksi Volum Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Berpenguat Serat Pelepah Pisang Dan Serat," *J. Sci. Technol. Virtual Cult.*, vol. 2, no. 2, pp. 6–8, 2022.
- [11] T. da C. Dias, A. A. X. da Silva, M. L. P. Tonatto, and S. C. Amico, "Experimental Investigation on the Mechanical and Physical Properties of Glass/Jute Hybrid Laminates," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 21, 2022, doi: 10.3390/polym14214742.
- [12] S. Y. Nayak *et al.*, "Influence of stacking sequence on the mechanical properties of 3D E-glass/bamboo non-woven hybrid epoxy composites," *Mater. Today Proc.*, vol. 38, pp. 2431–2438, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.385.
- [13] A. D638-22, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," 2022, doi: 10.1520/D0638-22.1.
- [14] A. D790-00, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials," vol. 08, no. Reapproved 1989, pp. 3–4, 2000, doi: 10.1520/C1709-18.
- [15] Y. R. Hanovatias and A. Mahyudin, "Karakterisasi Sifat Mekanik dan Biodegradable

- Komposit Hibrid Polipropilena dengan Pati Singkong Menggunakan Serat Pinang dan Serat Eceng Gondok,” *J. Fis. Unand*, vol. 12, no. 3, pp. 459–465, 2023, doi: 10.25077/jfu.12.3.458-464.2023.
- [16] A. Kirana, M. Farid, and V. M. Pratiwi, “Efek Penambahan Serat Gelas pada Komposit Polyurethane Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Komposit Doorpanel,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 538–540, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.18560.
- [17] S. Rahman, S. C. Das, J. Saha, and M. A. Khan, “Fabrication and Physico-mechanical Characterization of Short Natural/Synthetic Fiber-Reinforced Hybrid Composites: Effects of Biodegradation and Chemical Aging,” *Mater. Circ. Econ.*, vol. 6, pp. 1–13, 2024, doi: 10.1007/s42824-024-00105-0.
- [18] F. F. Nurdiansyah, Sulardjaka, and N. Iskandar, “Pengaruh Fraksi Massa Dan Arah Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 81–90, 2021.
- [19] H. N. Beliu, Y. M. Pellle, and J. U. Jarson, “Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit widuri - polyester,” *J. Tek. Mesin UNDANA - Lontar*, vol. 03, no. 02, pp. 11–20, 2016.
- [20] M. A. Altaee and N. H. Mostafa, “Mechanical properties of interply and intraply hybrid laminates based on jute-glass/epoxy composites,” *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 70, pp. 1–30, 2023, doi: 10.1186/s44147-023-00293-7.
- [21] K. Kumar *et al.*, “Exploration of stacking effects of carbon/glass fabric in polymer hybrid composites: analysis of mechanical properties,” *Discov. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 12, 2024, doi: 10.1007/s42452-024-06348-5.
- [22] W. Wu, Q. Wang, A. Ichenihi, Y. Shen, and W. Li, “The effects of hybridization on the flexural performances of Carbon/Glass interlayer and intralayer composites,” *Polymers (Basel)*, vol. 10, no. 5, 2018, doi: 10.3390/polym10050549.
- [23] S. Singh, H. G. Hanumantharaju, S. R. T. Yadla, S. H. R. Yadav, and S. Srivatsa, “Investigation of bending properties of E-Glass fiber reinforced polymer matrix composites for applications in micro wind turbine blades,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1473, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1473/1/012047.
- [24] G. Tefera, S. Adali, and G. Bright, “Flexural and Viscoelastic Properties of FRP Composite Laminates under Higher Temperatures: Experiments and Model Assessment,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 11, 2022, doi: 10.3390/polym14112296.
- [25] V. P. Aesha, Sulardjaka, and Norman Iskandar, “Analisis Kekuatan Lentur Komposit Berpenguat Serat Rami Dengan Matriks Gondorukem Pada Fraksi Massa 15% Dan 30%,” *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 22–31, 2023.
-