

Analisis Kekuatan Bending Material Komposit *Fiber Metal Laminate* Serat Kulit Jagung Bermatriks *Polyester*

Mirza Pramudia^{1*}, Teguh Prasetyo², Mustafa^{3*}

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Trunojoyo Madura

^{1, 2, 3, 4} Jl. Raya Telang., PO.BOX 02, Kamal, Madura, 69162

E-mail: pramudiamirza@trunojoyo.ac.id¹, teguh.prasetyo@trunojoyo.ac.id², mustafafebrian12@gmail.com³

Info Naskah:

Naskah masuk: 1 Juni 2024

Direvisi: 4 Juli 2024

Diterima: 17 Juli 2024

Abstrak

Kulit jagung mengandung unsur selulosa yang cukup tinggi sehingga mampu memberikan kontribusi pada peningkatan sifat mekanik sebagai material penguat pada material komposit salah satunya adalah jenis komposit FML (*Fiber Metal Laminate*). Beberapa penelitian terkait komposit, serat kulit jagung mampu meningkatkan kekuatan bending secara signifikan dikarenakan selulosa memiliki struktur mikrofibril yang kuat yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan material. Pada penelitian ini, serat kulit jagung digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat terhadap kekuatan bending komposit FML bermatriks *polyester*. Metode yang digunakan yakni *hand lay-up* dengan komposisi struktur komposit yang terdiri dari *skin* aluminium 1100, serat *fiberglass woven roving*, serta serat alam kulit jagung. Variasi fraksi volume yang digunakan sebesar 5 %, 15 %, 25 %, dan 35 %. Hasil pengujian menunjukkan bahwasanya kekuatan bending meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volume serat kulit jagung, namun mengalami penurunan pada fraksi volume 35 %. Kekuatan bending tertinggi dicapai pada fraksi volume serat kulit jagung 25 % sebesar 108,84 MPa.

Keywords:

fiber metal laminates;
Corn husk fiber;
fraction volume;
bending strength.

Abstract

Corn husks contain a significant amount of cellulose, which contributes to enhancing mechanical properties as a reinforcing material in composites, including FML composites. Several studies on composites have shown that corn husk fibers can significantly improve bending strength due to cellulose's strong microfibril structure, which enhances the material's strength and rigidity. In this study, corn husk fibers are used as reinforcement to investigate the effect of varying fiber volume fractions on the bending strength of polyester matrix FML composites. The method employed is hand lay-up, with the composite structure consisting of 1100 aluminum skin, woven roving fiberglass fibers, and natural corn husk fibers. The volume fraction variations used are 5%, 15%, 25%, and 35%. Test results show that bending strength increases with the increase in corn husk fiber volume fraction but decreases at a 35% volume fraction. The highest bending strength is achieved at a 25% corn husk fiber volume fraction, with a value of 108.84 MPa.

*Penulis korespondensi:

Mirza Pramudia

E-mail: pramudia.mirza@trunojoyo.ac.id

1. Pendahuluan

Kulit jagung adalah produk sampingan yang dihasilkan dalam jumlah besar dari industri pertanian, khususnya dari proses pengolahan jagung. Ketersediaan yang melimpah ini menjadikannya sumber bahan baku yang berkelanjutan dan ekonomis [1]. Kulit jagung memiliki kandungan selulosa tinggi yang merupakan polimer alami dengan keunggulan karakteristik kekuatan dan kekakuannya. Kandungan selulosa yang tinggi ini menjadikan kulit jagung menjadi material penguat yang baik dalam komposit yang dapat meningkatkan sifat mekanik material tersebut [2]. Hal ini terjadi karena struktur mikrofibril yang kuat dari selulosa dalam kulit jagung, yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan performa material khususnya material komposit. Serat kulit jagung dapat meningkatkan kekakuan komposit FML. Hal ini menunjukkan bahwasanya material komposit akan memiliki ketahanan yang baik terhadap deformasi pada kondisi pembebanan sehingga menjadikannya lebih stabil dalam penggunaan dalam berbagai aplikasi [3].

FML merupakan bagian dari struktur komposit hibrida yang dibentuk dari kombinasi lapisan logam dan lapisan plastik yang diperkuat serat. FML terdiri dari lapisan-lapisan logam dan komposit yang diperkuat serat yang disusun secara bergantian membentuk struktur *sandwich*. Komposit *hybrid fiber metal laminate* memiliki struktur yang terdiri dari lapisan luar (*skin*) dan lapisan *filler* sebagai penguat. Lapisan *skin* umumnya terdiri dari bahan logam meliputi aluminium, magnesium, atau titanium, sedangkan lapisan serat penguat merupakan bahan yang berasal dari serat alam maupun serat buatan meliputi serat kaca, serat karbon, dan serat aramid [4], [5]. Struktur FML dapat berupa struktur tunggal maupun dua atau lebih jenis serat penguat yang digunakan yang ditempatkan dalam satu matriks polimer. Struktur dengan dua atau lebih serat penguat dirancang untuk mengoptimalkan sifat mekanis dan memberikan keunggulan dibandingkan dengan komposit yang hanya menggunakan satu jenis serat penguat [6].

Dalam proses pembuatan material FML, faktor fraksi volume serat sangat signifikan dalam menentukan sifat mekanis dan kinerja keseluruhan material. Fraksi volume serat mengacu pada persentase volume serat sebagai penguat, dan nilai fraksi volume ini dapat mempengaruhi nilai modulus elastisitas, kekuatan fisik serta mekanik material FML [7]. Pada beberapa penelitian menunjukkan bahwasanya semakin tinggi persentase fraksi volume, maka akan memiliki lebih banyak serat yang menahan beban sehingga meningkatkan kekuatan tarik maupun tekan, serta lebih tahan terhadap benturan dan beban impact. Meningkatnya fraksi volume akan berdampak pada penambahan jumlah serat sebagai penguat sehingga akan mengakibatkan lebih banyak kontak/ikatan antara serat dan matriks. Fenomena ini memungkinkan transfer beban yang lebih efisien dari matriks ke serat, menghambat terjadinya deformasi plastis dan *slip*, serta memungkinkan komposit untuk menahan beban yang lebih besar tanpa mengalami deformasi permanen [8], [9], [10].

Beberapa penelitian terkait dengan fraksi volume pada material FML telah dilakukan sebelumnya antara lain pengaruh fraksi volume terhadap kekuatan tarik dan bending

pada komposit FML hibrid. Penelitian ini menggunakan fraksi volume sebesar 40% dan 60% pada serat alam (serat rami) sebagai serat penguat yang dikombinasikan dengan arah orientasi 0° dan 90° . Serat buatan yang digunakan berupa serat *fiberglass* dengan *skin* berupa material logam Al6061. Hasil menunjukkan bahwasanya fraksi volume 60% mendapatkan hasil yang lebih besar daripada fraksi volume 40% yakni dengan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 96,52 MPa dan kekuatan bending rata-rata 148,81 MPa pada orientasi yang sama. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyak jumlah serat, maka serat bertindak sebagai penguat yang menopang beban paling besar yang diterima oleh material, sedangkan matriks sebagai pendistribusi tegangannya [11].

Penelitian berikutnya merupakan pengembangan *fiber metal laminated* serat *hybrid* yakni kombinasi dari serat sintesis (serat karbon) dan serat alam (serat rami) yang dilakukan proses laminasi menggunakan logam sheet metal *aluminium* Al6061 dengan fraksi volume serat 35% dan 45% pada setiap arah orientasi serat rami 90° , 45° , dan 0° . Hasil spesimen komposit FML selanjutnya diuji menggunakan pengujian impact untuk mengetahui nilai ketangguhan dari material tersebut. Berdasarkan data pengujian disimpulkan bahwasanya persentase fraksi volume berpengaruh terhadap ketangguhan material. Kekuatan impact tertinggi sebesar 0,068592 J/mm² dicapai fraksi volume serat 45% sedangkan arah orientasi serat rami berpengaruh terhadap kekuatan impact material dengan nilai tertinggi sebesar 0,072819 J/mm² pada orientasi serat 0° [12].

Kebaruan pada penelitian ini menggunakan serat kulit jagung yang dipadukan dengan serat kaca (*fiberglass woven roving*) sebagai material *hybrid* serat penguat komposit. Serat kulit jagung dipilih sebagai serat alam karena memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai serat penguat untuk komposit polimer dengan keunggulan densitas yang ringan, memiliki struktur berpori, kekuatan bending, dan ketahanan termal yang baik. Kombinasi serat *fiberglass woven roving* dengan kekuatan tinggi dan serat kulit jagung yang memiliki sifat mekanik yang baik dapat memberikan komposit dengan rasio kekuatan terhadap berat yang optimal. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh variasi fraksi volume serat kulit jagung terhadap kekuatan bending spesimen komposit FML bermatriks *polyester* menggunakan metode *hand lay-up*.

2. Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa jenis bahan dan peralatan yang digunakan dalam pembuatan spesimen komposit *hybrid* FML yang terlampir pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Peralatan dan Bahan Penelitian

No.	Peralatan Penelitian	Spesifikasi
1.	<i>Universal testing machine</i> sebagai alat uji bending	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tarno Grocki Type UPH ▪ Maximum load 100 kN
2.	Kamera digital sebagai alat uji foto makro spesimen komposit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nikon type D5300 kit VR ▪ Max. Rasio 24 MP : 6000 x 4000 ▪ Aspect rasio 3 : 2

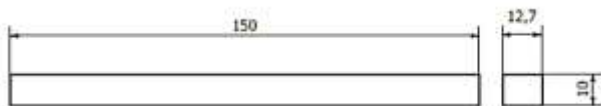
3.	Timbangan digital	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Max. Load 5 Kg ▪ Dimensi 18 x 14 x 1.5 cm
4.	Jangka sorong	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Material : <i>Stainless Steel</i> ▪ Type : 0.02 mm ▪ Accuracy : +/- 0.05 mm ▪ Resolution : 0.05 mm ▪ Dimension_unit : 33.5 x 14.3 x 3.7 cm
5.	Mikroskop USB <i>Digital Zoom Magnifier</i> Monokuler Kamera sebaga alat uji foto mikro	<p>Main Specifications:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Image Sensor: <i>CMOS Sensor</i> ▪ Video Capture Resolution: 640 x 480 ▪ Focus Range : Manual Focus from 15~40mm ▪ Frame Rate: Max. 30fps ▪ Magnification: 1600x

Tabel 2. Bahan Penelitian

No.	Bahan Penelitian	Spesifikasi
1.	Gelas ukur <i>pyrex</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Max. Volume : 500 ml
2.	Alumunium	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jenis Al 1100 ▪ Ketebalan 0,5 mm
3.	Serat kulit jagung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Panjang serat 150 mm
4.	Serat <i>fiberglass woven roving</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Panjang serat 150 mm
5.	Larutan alkalisasi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NaOH 8 %
6.	Resin dan <i>hardener</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resin <i>polyester</i>

2.2. Prosedur Penelitian

Dimensi spesimen uji bending mengikuti standar ASTM D790 dengan dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Model Spesimen Uji Bending Standar ASTM D790; (b) Foto spesimen hasil proses *hand lay-up*

Pengujian bending dilakukan dengan menggunakan metode *three point bending* dengan persamaan (1) kekuatan bending sebagai berikut [13]:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

Keterangan:

σ_b = Tegangan bending (Kg/mm²)

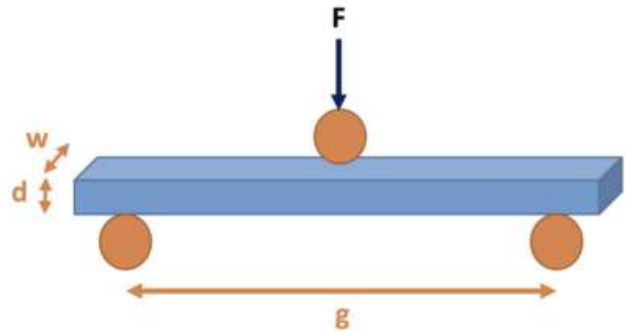
P = Beban (Kg)

L = Jarak tumpuan (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

h = Ketebalan spesimen (mm)

Pengujian kekuatan bending menggunakan metode *three point bending* seperti yang dijelaskan pada skema sesuai dengan Gambar 2.



Gambar 2. Skema Pengujian *Three Point-Bending* [14]

Keterangan:

F = Beban (N)

w = Lebar spesimen (mm)

d = Tebal spesimen (mm)

g = jaran antara tumpuan (mm)

ASTM D790 merupakan standar pengujian yang ditetapkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) untuk menentukan sifat lentur (*flexural properties*) dari bahan plastik dan komposit [15]. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dalam proses pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Universitas Trunojoyo Madura dan proses pengujian bending dilaksanakan di Laboratorium Uji dan Perlakuan Bahan, Politeknik Negeri Malang (Gambar 3). Penelitian dilakukan sesuai dengan skema *flowchart* pada Gambar 4.



(a)



(b)

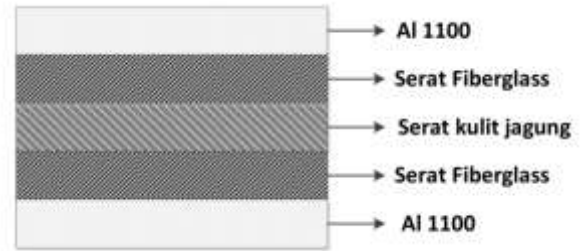
Gambar 3. (a) Proses pengujian bending spesimen (b) Proses kalibrasi peralatan



Gambar 4. Flowchart Penelitian

Penelitian diawali dengan mempersiapkan serat alam berupa serat kulit jagung yang akan digunakan sebagai bahan penguat pada komposit FML. Kulit jagung terlebih dahulu dibersihkan kemudian direndam dalam air selama 14 hari dan diikuti dengan proses pengeringan menggunakan pemanasan sinar matahari selama 7 hari. Kulit jagung selanjutnya dibersihkan dan dibentuk menjadi serat dengan panjang sebesar 150 mm. Serat kulit jagung selanjutnya diberi perlakuan alkalisasi dengan merendam serat kulit jagung pada larutan alkali NaOH 8% selama 2 jam, dibersihkan menggunakan aliran air bersih, serta pengeringan secara manual dengan bantuan sinar matahari dalam kurun waktu 3 hari.

Tahapan berikutnya mempersiapkan cetakan spesimen uji bending sesuai standar ASTM D790 dengan dimensi yang telah ditentukan pada Gambar 1. Serat kulit jagung sebelum diletakkan pada cetakan, terlebih dahulu dihitung nilai fraksi volume serat sebesar 5%, 15%, 25%, dan 35%. Bentuk susunan dari komposit FML meliputi logam Al 1100 yang disusun pada bagian *skin* bawah dan atas spesimen pengujian, serat sintesis *fiberglass woven roving*, dan bagian tengah spesimen berupa serat kulit jagung yang diletakkan dengan orientasi sebesar 45°. Urutan perletakan logam dan serat pada spesimen uji FML dijelaskan pada Gambar 4. Proses penyusunan serat dan logam pada struktur FML direkatkan menggunakan metode penekanan secara manual dengan campuran cairan *polyester* dan *hardener*. Spesimen yang telah dibuat selanjutnya dilakukan uji bending untuk mengetahui kekuatan material terhadap pembebanan yang telah ditentukan. Skema susunan komposit FML ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Susunan Komposit FML

2.3. Hasil dan Pembahasan

2.3.1. Pengaruh Fraksi Volume Serat Kulit Jagung Terhadap Kekuatan Bending Komposit FML

Pengujian kekuatan bending material komposit FML dilakukan dengan 3 kali pengulangan dengan tujuan untuk mendapatkan validitas data yang diambil. Data pengujian bending ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Bending

No	Fraksi Volume	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Beban Maks (N)	Defleksi (mm)	Kekuatan Bending (MPa)
1.	5 %	10	12,7	580,55	10,54	61,03
2.	5 %	10	12,7	517,79	5,05	54,43
3.	5 %	10	12,7	706,7	7,25	74,29
4.	15 %	10	12,7	686,46	8,35	72,16
5.	15 %	10	12,7	708,04	5,71	74,43
6.	15 %	10	12,7	823,5	3,95	86,56
7.	25 %	10	12,7	1017,3	5,93	106,94
8.	25 %	10	12,7	1153,26	7,46	121,23
9.	25 %	10	12,7	935,55	9	98,34
10.	35 %	10	12,7	796,29	10,76	83,70
11.	35 %	10	12,7	917,9	8,57	96,49
12.	35 %	10	12,7	1072,84	7,24	112,77

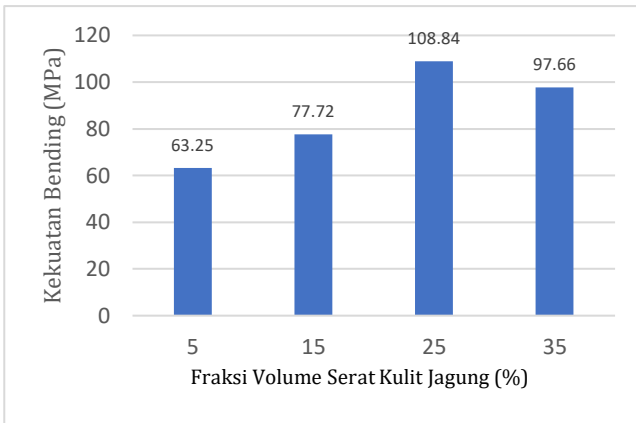
Perhitungan kekuatan bending pada Tabel 3 dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan (1). Diketahui jarak tumpuan (L) sebesar 89 mm pada spesimen komposit dengan fraksi volume serat kulit jagung sebesar 5 %, maka nilai kekuatan bending yang didapatkan, menggunakan persamaan (2).

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2)$$

$$\sigma_b = \frac{(3)(580,55)(89)}{2(12,7)(10)^2} \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_b = 61,03 \text{ MPa.}$$

Data hasil pengujian bending selanjutnya digambarkan dalam sebuah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 :



Gambar 6. Distribusi Kekuatan Bending dengan Variasi Fraksi Volume Serat Kulit Jagung

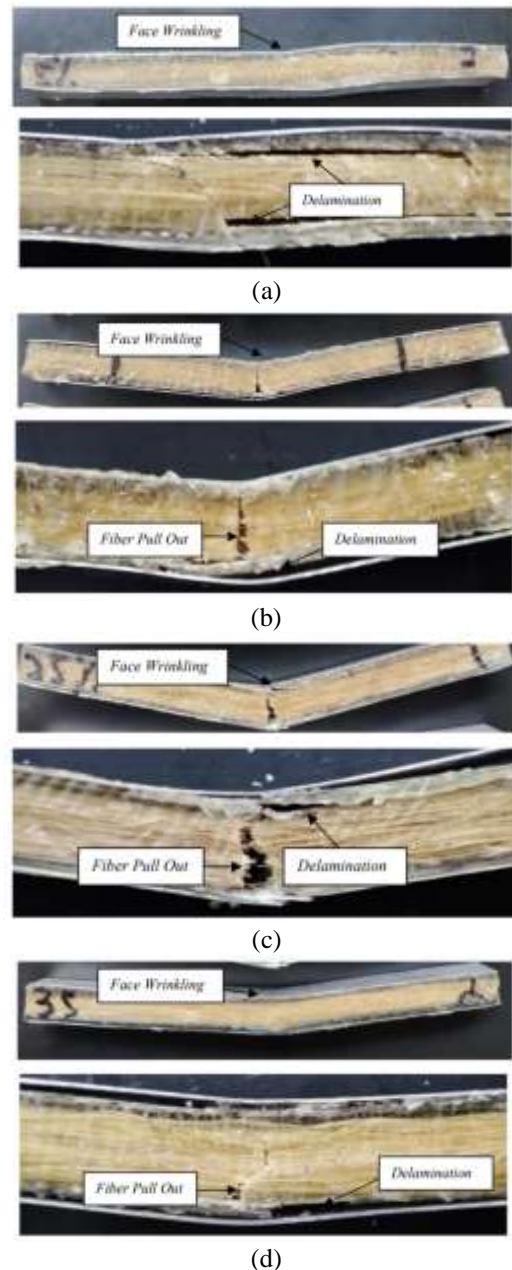
Gambar 6. menunjukkan hubungan fraksi volume serat kulit jagung terhadap kekuatan bending material komposit FML. Grafik menunjukkan bahwa hasil perhitungan nilai kekuatan bending maksimum terjadi pada fraksi volume serat kulit jagung sebesar 25% dengan nilai kekuatan sebesar 108,84 MPa, sedangkan kekuatan bending minimum/terendah berada pada fraksi volume 5% dengan nilai sebesar 63,25 MPa. Grafik menunjukkan kekuatan bending material komposit FML meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat kulit jagung, namun mengalami penurunan pada fraksi volume serat 25%. Hal ini disebabkan karena fraksi volume sebesar 5 % hingga 25 % memungkinkan terjadinya ikatan antara matriks dan serat secara merata sehingga komposit akan mampu menahan beban hingga batas maksimum. Namun ketika fraksi volume sebesar 35 %, terjadi penurunan kekuatan yang disebabkan karena jumlah matriks yang mengikat serat menjadi semakin sedikit sehingga mengurangi kemampuan komposit untuk menahan gaya. Semakin banyaknya penambahan serat yang digunakan pada spesimen maka nilai kekuatan akan semakin meningkat namun, ketika terlalu besar fraksi volume maka dapat menyebabkan matriks pada spesimen tidak dapat mentransfer beban pada serat sehingga kekuatan bending akan menurun [16], [17].

2.3.2. Analisis Pola Patahan Material Komposit FML Hasil Uji Bending

Hasil patahan pada spesimen uji bending yang telah diuji selanjutnya dianalisis morfologinya menggunakan foto makro dan mikro untuk mengidentifikasi jenis kegagalan yang terjadi pada spesimen komposit FML. Hasil analisa foto makro dan mikro ditunjukkan Pada Gambar 7.

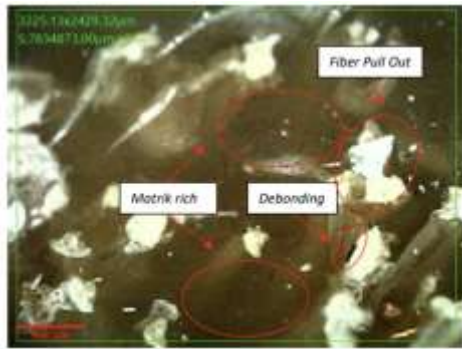
Berdasarkan hasil uji foto makro menunjukkan jenis-jenis kegagalan yang teridentifikasi meliputi *face wrinkling*, *fiber pull out*, dan *delaminasi*. *Face wrinkling* pada komposit terjadi karena kurangnya dukungan atau kekakuan dari inti material, sehingga tidak mampu menahan beban yang diterima selama proses pengujian. Akibatnya, lapisan permukaan (*skin*) mengalami deformasi atau kerutan ketika material dikenakan beban. *Fiber pull out* terjadi karena serat tidak mampu menahan beban lentur, sedangkan delaminasi merupakan suatu bentuk kerusakan pada material komposit yang ditunjukkan dengan adanya fenomena lapisan yang menyusun material tersebut terlepas atau terpisah satu sama

lain. Hal ini terjadi ketika ikatan antar lapisan tidak mampu menahan tegangan atau beban yang diterapkan pada material, sehingga menyebabkan kegagalan pada antarmuka antar lapisan [18], [19].

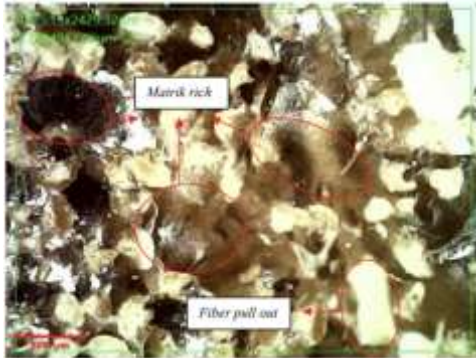


Gambar 7. Foto Makro Komposit FML dengan Perlakuan (a) Fraksi Volume 5 %, (b) Fraksi Volume 15 %, (c) Fraksi Volume 25 %, (d) Fraksi Volume 35 %.

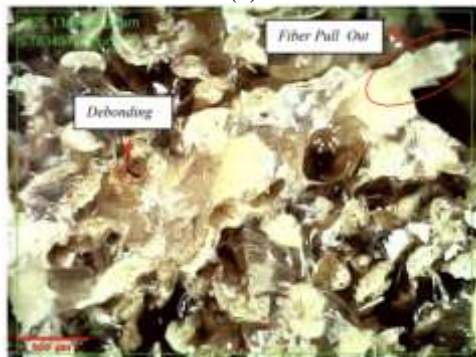
Hasil uji foto mikro material komposit FML ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan hasil analisis pola patahan uji bending dengan variasi fraksi volume serat. Pada beberapa foto di atas terlihat beberapa fenomena yang terjadi meliputi *fiber pull out*, *matrix rich*, *void*, serta *debonding*.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8. Foto Mikro Komposit FML dengan Perlakuan (a) Fraksi Volume 5 %, (b) Fraksi Volume 15 %, (c) Fraksi Volume 25 %, (d) Fraksi Volume 35 %.

Fenomena *fiber pull out* terjadi karena serat yang tertanam dalam matriks terlepas atau tertarik keluar dari matriks ketika material dikenakan beban. Mekanisme ini terjadi ketika ikatan antara serat dan matriks tidak cukup kuat untuk menahan beban yang diterapkan, sehingga serat keluar

dari matriks. *Matrix-rich* merupakan suatu daerah atau area dalam komposit di mana terdapat kelebihan matriks (resin) dibandingkan dengan jumlah serat penguat. Dalam area *matrix-rich*, fraksi volume matriks lebih tinggi daripada fraksi volume serat sehingga dapat mempengaruhi sifat mekanik keseluruhan material komposit. *Void* merupakan ruang kosong atau lubang yang terjadi di dalam matriks atau antara serat penguat yang terbentuk selama proses pembuatan komposit [20], [21], [22], [23].

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya parameter fraksi volume serta kulit jagung berpengaruh terhadap kekuatan bending material komposit *hybrid* FML. Semakin tinggi fraksi volume, maka kekuatan bending akan semakin meningkat hingga mencapai kekuatan maksimum sebesar 108, 84 MPa pada fraksi volume 25%, namun kekuatan bending mengalami penurunan pada saat fraksi volume lebih dari 25%. Peningkatan kekuatan mekanik bending diakibatkan karena peningkatan jumlah serat akan menghasilkan ikatan antar matriks dan serat sehingga akan meningkatkan efisiensi transfer beban dari matriks menuju serat sedangkan penurunan kekuatan bending pada fraksi volume serat lebih dari 25% disebabkan karena jumlah matriks yang mengikat serat sebagai penguat akan menjadi semakin sedikit sehingga berdampak pada berkurangnya kemampuan komposit untuk menahan gaya.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kepada LPPM Universitas Trunojoyo Madura atas dukungan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] L. Rahmidar, I. Nurilah, and T. Sudiarty, "Karakterisasi Metil Selulosa Yang Disintesis Dari Kulit Jagung (*Zea Mays*)," *PENDIPA J. Sci. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 117–122, 2018, doi: 10.33369/pendipa.2.1.117-122.
- [2] S. Pokhrel, M. Shrestha, M. Slouf, J. Sirc, and R. Adhikari, "Eco-Friendly Urea-Formaldehyde Composites Based on Corn Husk Cellulose Fiber," *Int. J. Compos. Mater.*, vol. 2020, no. 2, pp. 29–36, 2020, doi: 10.5923/j.comaterials.20201002.01.
- [3] W. He *et al.*, "On impact behavior of fiber metal laminate (FML) structures: A state-of-the-art review," *Thin-Walled Struct.*, vol. 167, no. July, p. 108026, 2021, doi: 10.1016/j.tws.2021.108026.
- [4] B. Yelamanchi, E. Macdonald, N. G. Gonzalez-Canche, J. G. Carrillo, and P. Cortes, "The mechanical properties of fiber metal laminates based on 3d printed composites," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 22, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/ma13225264.
- [5] H. El Etri, M. E. Korkmaz, M. K. Gupta, M. Gunay, and J. Xu, "A state-of-the-art review on mechanical characteristics of different fiber metal laminates for aerospace and structural applications," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 123, no. 9–10, pp. 2965–2991, 2022, doi: 10.1007/s00170-022-10277-1.
- [6] X. Hao, H. Nie, Z. Ye, Y. Luo, L. Zheng, and W. Liang, "Mechanical properties of a novel fiber metal laminate based on a carbon fiber reinforced Zn-Al alloy composite," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 740–741, no. October 2018, pp. 218–225, 2019, doi: 10.1016/j.msea.2018.10.050.
- [7] M. Y. Zaghoul, M. M. Y. Zaghoul, and M. M. Y. Zaghoul,

- “Influence of Stress Level and Fibre Volume Fraction on Fatigue Performance of Glass Fibre-Reinforced Polyester Composites,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 13, pp. 1–20, 2022, doi: 10.3390/polym14132662.
- [8] M. K. Egbo, “A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering,” *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 33, no. 8, pp. 557–568, 2021, doi: 10.1016/j.jksues.2020.07.007.
- [9] K. Sakthi Vadivel and P. Govindasamy, “Mechanical and water absorption properties of Acacia Arabica bark fiber/polyester composites: Effect of alkali treatment and fiber volume fraction,” *Mater. Today Proc.*, vol. 46, no. xxxx, pp. 2281–2287, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.04.057.
- [10] F. Rahman *et al.*, “Effect of Fiber Loading and Orientation on Mechanical and Thermal Properties of Jute-Polyester Laminated Composite,” *J. Nat. Fibers*, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1080/15440478.2020.1788485.
- [11] M. S. Faiz and N. S. Drastiawati, “Pengaruh Fraksi Volume Dan Arah Serat Komposit Hibrid Fibre Metal Laminate (Fml) Bermatrik Polyester 157 Bqtn-Ex Terhadap ...,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 37–46, 2021.
- [12] S. W. E. Utomo and M. A. Irfai, “Pengaruh Fraksi Volume dan Arah Orientasi Serat Rami Komposit Hibrid Sandwich Fibre Metal Laminate (FML) Berpenguat Serat Carbon Terhadap Kekuatan Impak,” *J. Tek. Mesin*, vol. 08, no. 2, pp. 73–80, 2020.
- [13] X. Wei, Q. Wu, Y. Gao, and J. Xiong, “Bending characteristics of all-composite hexagon honeycomb sandwich beams: experimental tests and a three-dimensional failure mechanism map,” *Mech. Mater.*, vol. 148, no. May, p. 103401, 2020, doi: 10.1016/j.mechmat.2020.103401.
- [14] C. Wang and C. C. Sun, “A critical examination of three-point bending for determining Young’s modulus,” *Int. J. Pharm.*, vol. 629, no. November, p. 122409, 2022, doi: 10.1016/j.ijpharm.2022.122409.
- [15] S. K. Dhinesh, S. Arun Prakash, K. L. Senthil Kumar, and A. Megalingam, “Study on flexural and tensile behavior of PLA, ABS and PLA-ABS materials,” *Mater. Today Proc.*, vol. 45, no. xxxx, pp. 1175–1180, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.546.
- [16] B. S. Keerthi Gowda, K. Naresh, S. Ilangovan, M. R. Sanjay, and S. Siengchin, “Effect of Fiber Volume Fraction on Mechanical and Fire Resistance Properties of Basalt/Polyester and Pineapple/Polyester Composites,” *J. Nat. Fibers*, vol. 19, no. 13, pp. 6074–6088, 2022, doi: 10.1080/15440478.2021.1904479.
- [17] Z. Djafar, I. Renreng, and M. Jannah, “Tensile and Bending Strength Analysis of Ramie Fiber and Woven Ramie Reinforced Epoxy Composite,” *J. Nat. Fibers*, vol. 18, no. 12, pp. 2315–2326, 2021, doi: 10.1080/15440478.2020.1726242.
- [18] S. Wickramasinghe, T. Do, and P. Tran, “FDM-Based 3D printing of polymer and associated composite: A review on mechanical properties, defects and treatments,” *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 7, pp. 1–42, 2020, doi: 10.3390/polym12071529.
- [19] P. Zhang, W. Yao, X. Hu, and T. Q. Bui, “3D micromechanical progressive failure simulation for fiber-reinforced composites,” *Compos. Struct.*, vol. 249, no. July, 2020, doi: 10.1016/j.compstruct.2020.112534.
- [20] A. Gholampour and T. Ozbakkaloglu, *A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications*, vol. 55, no. 3. Springer US, 2020. doi: 10.1007/s10853-019-03990-y.
- [21] A. Lotfi, H. Li, D. V. Dao, and G. Prusty, “Natural fiber-reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability,” *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 34, no. 2, pp. 238–284, 2021, doi: 10.1177/0892705719844546.
- [22] S. Alsubari, M. Y. M. Zuhri, S. M. Sapuan, M. R. Ishak, R. A. Ilyas, and M. R. M. Asyraf, “Potential of natural fiber reinforced polymer composites in sandwich structures: A review on its mechanical properties,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 3, pp. 1–20, 2021, doi: 10.3390/polym13030423.
- [23] E. Le Bourhis, F. Touchard, E. Le Bourhis, F. Touchard, M. Properties, and F. Composites, “Mechanical Properties of Natural Fiber Composites To cite this version : HAL Id : hal-03153829 Encyclopedia of Materials : Composites,” *Arch. Ouvert.*, pp. 0–27, 2021.