PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN MEKANISME PATAHAN PADA MATERIAL KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT DAUN PANDAN DURI (*PANDANUS TECTORIUS*)

I Komang Pande Sinarbawa[1], Ni Made Novia Kusumayani[2], Ida Bagus Putu Purwadnyana[3], I Nyoman Pasek Nugraha[4], Edi Elisa[5]

[1,2,3,4,5]*Universitas Pendidikan Ganesha, Indonesia*
E-mail : [1]pande.sinarbawa@student.undikhsa.ac.id, [2]novia.k@undiksha.ac.id, [3]ipurwadnyana@undiksha.ac.id, [4]paseknugraha@undiksha.ac.id, [5]edi.elisa@undiksha.ac.id

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of volume fraction variations of screw pine fiber (Pandanus tectorius) on the tensile strength and fracture mechanism of epoxy resin matrix composite materials. An experimental method was employed with fiber volume fractions of 5%, 7.5%, and 10%. Specimen fabrication was carried out via the hand lay-up technique, while tensile testing was executed according to the ASTM D638 standard. Each volume fraction consisted of five specimens, yielding a total of 15 tested samples. The fracture mechanism was examined microscopically to identify failure characteristics across each volume fraction. The results indicated that variations in fiber volume fraction significantly affect the tensile strength of the composite. A 5% volume fraction achieved an average tensile strength of 24.551 MPa, which dropped to 22.132 MPa at 7.5%, and subsequently rose to 25.348 MPa at 10%. The 10% volume fraction also recorded an elastic modulus of 25.850 GPa with an elongation of 1.303%. Microscopic observations revealed that the 5% and 7.5% volume fractions were predominantly characterized by fiber pull-out and debonding. In contrast, the 10% volume fraction exhibited more frequent fiber breakage, indicating enhanced capacity of the fibers to transfer and sustain loads. In conclusion, fiber volume fraction variations influence the tensile strength and fracture mechanism of screw pine fiber-reinforced epoxy composites, with the highest tensile strength achieved at a 10% fiber volume fraction (25.348 MPa).

Keywords : *Screw Pine Fiber, Epoxy Composite, Volume Fraction, Tensile Strength, Fracture Mechanism.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) terhadap kekuatan tarik dan mekanisme patahan material komposit bermatriks resin epoksi. Penelitian ini menerapkan metode eksperimen dengan variasi fraksi volume serat 5%, 7,5%, dan 10%. Proses pembuatan spesimen komposit menggunakan teknik hand lay-up, sedangkan pengujian kekuatan tarik dilakukan sesuai standar ASTM D638. Setiap variasi fraksi volume menggunakan lima spesimen, sehingga total spesimen yang diuji mencakup 15 unit. Mekanisme patahan dianalisis secara mikroskopis untuk melihat karakteristik kegagalan pada setiap variasi fraksi volume. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa variasi fraksi volume serat berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik material komposit. Pada fraksi volume 5%, mencapai rata-rata kekuatan tarik 24,551 MPa, lalu turun pada fraksi volume 7,5% menjadi 22,132 MPa, dan naik kembali pada fraksi volume 10% menjadi 25,348 MPa. Fraksi volume 10% juga mencatat modulus elastisitas sebesar 25,850 GPa dengan regangan 1,303%. Hasil pengamatan mekanisme patahan memperlihatkan bahwa pada fraksi volume 5% dan 7,5% masih didominasi oleh fiber pull-out dan debonding. Sementara itu, pada fraksi volume 10% lebih banyak ditemukan fiber breakage, yang mencerminkan peningkatan kemampuan serat dalam menerima serta menyalurkan beban. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi fraksi volume serat memengaruhi kekuatan tarik dan mekanisme patahan komposit epoksi diperkuat serat daun pandan duri, dengan kekuatan tarik maksimum diperoleh pada fraksi volume serat 10% yaitu 25,348 MPa.

Kata Kunci : *Pandan Duri, Komposit Epoksi, Fraksi Volume, Kekuatan Tarik, Mekanisme Patahan.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan industri manufaktur akan material yang ringan, kuat, dan tahan korosi mendorong pesatnya pengembangan material komposit. Saat ini, fokus penelitian mulai beralih dari serat sintetis seperti fiberglass dan karbon yang berpotensi merusak lingkungan menuju komposit serat alam (*natural composites*) yang ramah lingkungan dan dapat didaur ulang. Indonesia, khususnya wilayah pesisir seperti Bali, memiliki ketersediaan serat alam yang sangat melimpah. Pemanfaatan sumber daya lokal ini tidak hanya memberikan solusi material terbarukan yang berkelanjutan, tetapi juga berpotensi meningkatkan nilai tambah ekonomi masyarakat pesisir melalui diversifikasi produk berbasis teknologi material.

Salah satu bahan alam yang sangat berpotensi adalah daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) karena mengandung selulosa cukup tinggi (umumnya >60%) yang berperan penting dalam memberikan kekuatan mekanis. Namun, pemanfaatannya masih terbatas pada produk kerajinan tradisional dan menghadapi tantangan karakteristik serat alam, seperti penyerapan air yang tinggi, ketidakseragaman kualitas akibat faktor lingkungan, serta lemahnya ikatan adhesi antara serat dan matriks polimer. Meski demikian, beberapa riset seperti studi Edi Syafri (2023) membuktikan bahwa perlakuan kimia seperti alkalisasi, pemutihan, dan hidrolisis asam mampu mendegradasi hemiselulosa dan lignin, meningkatkan kristalinitas dari 39,5% menjadi 67,7%, serta menaikkan stabilitas termal serat.

Berbagai penelitian terdahulu menguatkan potensi serat pandan sebagai material struktural. Sulaiman et al. (2018) menemukan bahwa komposit serat pandan duri bermatriks poliester mencapai kuat tarik maksimum 0,45 kgf/mm² pada komposisi 60% berat serat. Selanjutnya, Mekar Bisono et al. (2023) pada serat pandan samak mencatat kekuatan tarik tertinggi sebesar 9,49 MPa pada fraksi volume 40%. Studi Hidayat dan Catur (2022) juga mengonfirmasi via uji ANOVA bahwa variasi fraksi volume serat berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik, di mana fraksi volume 25% menghasilkan kekuatan tarik maksimum sebesar 25,52 MPa dan kuat lentur 33,16 MPa.

Meskipun potensi ekonomis dan ekologisnya besar, kajian mendalam mengenai pengaruh fraksi volume serat daun pandan duri terhadap respon tarik dan karakteristik kegagalannya masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) terhadap kekuatan tarik dan mekanisme patahan material komposit. Pengujian kekuatan tarik akan dilaksanakan mengacu pada standar ASTM D638, dan seluruh data hasil pengujian akan disajikan melalui tabel, grafik, serta analisis deskriptif secara mikroskopis guna memberikan pemahaman menyeluruh mengenai performa material tersebut.

METODE

Penelitian eksperimental ini dilaksanakan di Laboratorium Manufaktur Universitas Pendidikan Ganesha untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) terhadap kekuatan tarik dan mekanisme patahan material komposit. Objek penelitian ini melibatkan pembuatan spesimen komposit bermatriks resin epoksi dengan penguat serat pandan duri yang telah melalui proses perendaman air (*water retting*) selama 30 hari serta perlakuan pemanasan konstan pada suhu 80°C selama 30 menit. Variabel bebas yang diteliti terdiri dari tiga tingkat fraksi volume serat, yaitu 5%, 7,5%, dan 10%, sedangkan variabel terikatnya

mencakup nilai kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas, dan karakteristik mekanisme patahan. Variabel kontrol seperti metode pengerasan (*curing*) selama 7 hari dijaga tetap seragam guna menjamin kestabilan dan konsistensi seluruh sampel.

Proses fabrikasi spesimen komposit menggunakan metode penuangan manual (*hand lay-up*) pada cetakan khusus. Serat dipotong menyesuaikan ukuran cetakan, kemudian dicampur dan diimpregnasi secara merata bersama resin epoksi sesuai rasio fraksi volume yang direncanakan. Pengujian sifat mekanik fokus pada uji kekuatan tarik yang mengacu pada standar ASTM D638 menggunakan mesin uji tarik TENSILON RTI-1310. Pengujian dilakukan pada 5 spesimen untuk setiap variasi fraksi volume sehingga total sampel yang diuji berjumlah 15 spesimen. Selama pengujian tarik, grafik hubungan beban-regangan, beban maksimum, serta tingkat deformasi direkam secara otomatis oleh sistem mesin uji.

Untuk analisis mekanisme patahan, permukaan patahan spesimen setelah uji tarik diamati menggunakan mikroskop digital yang terhubung dengan perangkat lunak ImageJ. Pengamatan kuantitatif dilakukan pada lima area pengamatan (*region of interest*) di setiap permukaan spesimen guna mengidentifikasi fenomena *fiber breakage*, *fiber pull-out*, *interfacial debonding*, *matrix cracking*, *delamination*, dan *void*. Data kuantitatif hasil uji tarik dan pengukuran densitas serta persentase area kegagalan mikro selanjutnya diolah secara deskriptif analitis melalui perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi untuk mendeskripsikan hubungan antara fraksi volume serat dengan performa mekanik serta pola patahan komposit.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian Uji Kekuatan Tarik

Untuk mengetahui seberapa besar gaya tarik yang dapat ditahan oleh spesimen maka perlu dilakukan pengujian tarik. Dalam pengujian tarik terhadap spesimen terdapat 3 fraksi volume serat yang digunakan yaitu 5%, 7,5% dan 10% setiap fraksi volume memiliki jumlah 5 buah spesimen, sehingga total jumlah spesimen yang diuji tarik sebanyak 15 buah spesimen.



Gambar 1. Spesimen Pengujian Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Uji Tarik

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, Doc.2026)

Data hasil pengujian tarik pada material komposit polyester diperkuat serat daun pandan duri *(pandanus tectorius)* yang ditunjukan pada tabel 4.1.

Tabel 1. Data Hasil Uji Tarik

(Sumber: Pengujian Spesimen di Lab Manufaktur Undiksha, Dok.4, 2026)

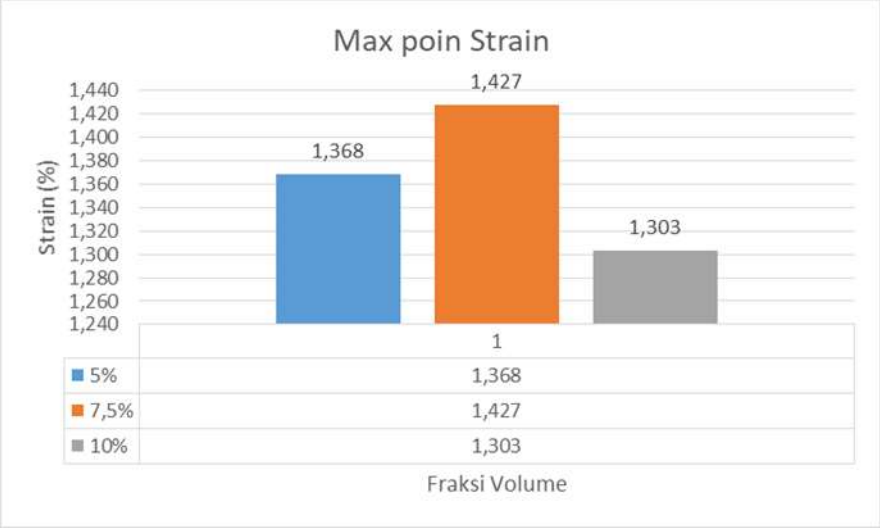
Variasi fraksi volume	Jumlah Spesimen	*Maximum Poin Stress (MPa)*	*Maximum Point Strain (%)*	*Modulus Elastisitas (GPa)*
5%	1	24,838	1,508	21,773
	2	26,397	1,476	21,640
	3	24,928	1,546	18,728
	4	23,074	1,162	25,802
	5	23,520	1,148	26,267
Rata-rata		24,551	1,368	22,842

Variasi fraksi volume	Jumlah Spesimen	*Maximum Poin Stress (MPa)*	*Maximum Point Strain (%)*	*Modulus Elastisitas (GPa)*
7,5%	1	19,315	1,758	15,757
	2	20,288	1,110	22,585
	3	24,301	1,489	20,613
	4	25,207	1,477	22,738
	5	21,551	1,302	23,257
Rata-rata		22,132	1,427	20,990

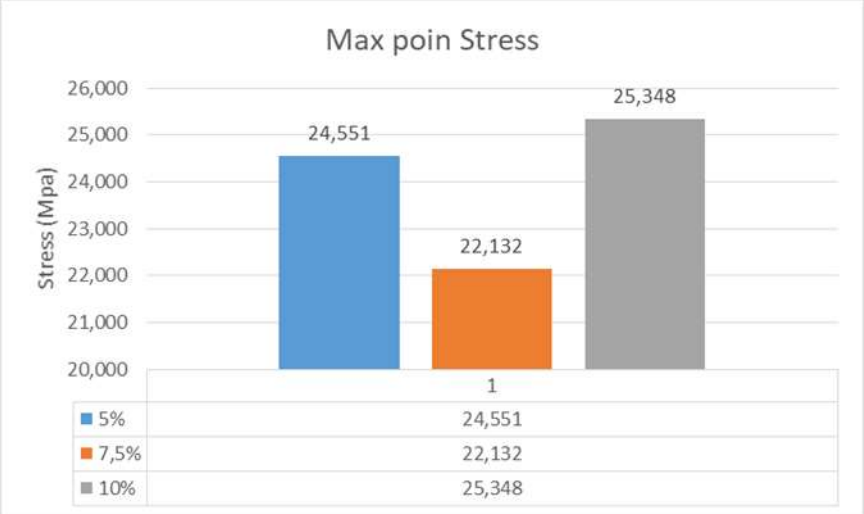
Variasi fraksi volume	Jumlah Spesimen	*Maximum Poin Stress (MPa)*	*Maximum Point Strain (%)*	*Modulus Elastisitas (GPa)*
10%	1	24,772	1,308	25,075
	2	25,506	1,385	23,918
	3	26,677	1,339	26,242
	4	26,222	1,385	25,651
	5	23,565	1,098	28,365
Rata-rata		25,348	1,303	25,850

Tabel 4.2 Nilai Rata-rata Hasil Uji Tarik
(Sumber: Pengujian Spesimen di Lab Manufaktur Undiksha, Dok.4, 2026)

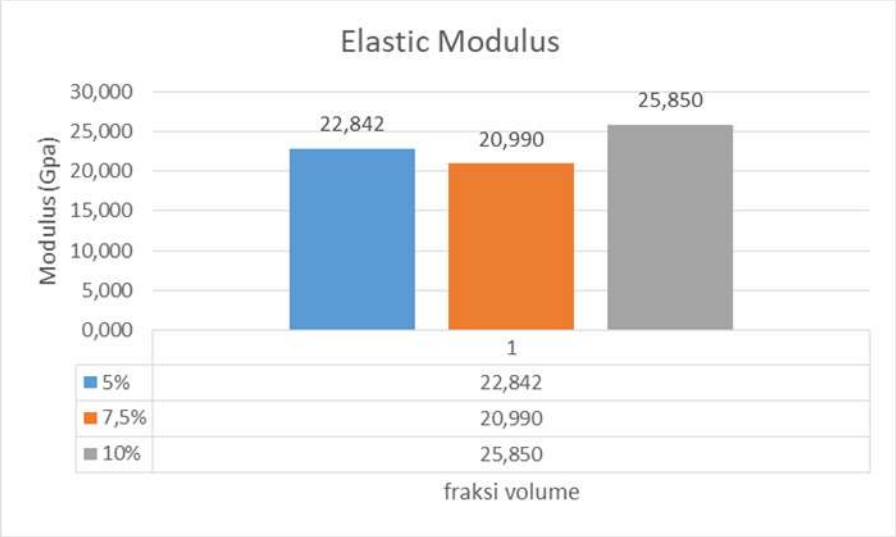
Variasi fraksi volume	Rata-rata *Maximum Point Stress (MPa)*	Rata-rata *Maximum Point Strain (%)*	Rata-rata *Modulus Elastisitas (GPa)*
5%	24,551	1,368	22,842
7,5%	22,132	1,427	20,990
10%	25,348	1,303	25,850



Gambar 2. Diagram *Maximum Point Strain*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, Doc.2026)



Gambar 3. Diagram *Maximum Point Stress*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, Doc.2026)



Gambar 4. Diagram Modulus Elastisitas

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, Doc.2026)

Data tersebut menyajikan hasil uji tarik komposit dengan variasi fraksi volume serat 5%, 7,5%, dan 10%, di mana masing-masing komposisi terdiri atas lima spesimen. Secara keseluruhan, rerata hasil pengujian berbasis ASTM D638 mengindikasikan bahwa rasio fraksi volume berpengaruh nyata terhadap sifat mekanik komposit, khususnya tegangan maksimum (*max point stress*), regangan maksimum (*max point strain*), serta modulus elastisitas.

Pada komposisi serat 5%, diperoleh tegangan maksimum sebesar 24,551 MPa, regangan maksimum 1,368%, dan modulus elastisitas 22,842 GPa, yang menandakan tingkat kekakuan awal yang cukup baik saat menerima beban tarik. Namun, saat fraksi volume dinaikkan menjadi 7,5%, kekuatan tarik mengalami penurunan hingga 22,132 MPa dan modulus elastisitas turun menjadi 20,990 GPa, sementara regangan maksimum meningkat ke angka 1,427%. Penurunan performa pada titik 7,5% ini dipicu oleh keberadaan rongga udara (*void*) serta distribusi beban yang belum merata.

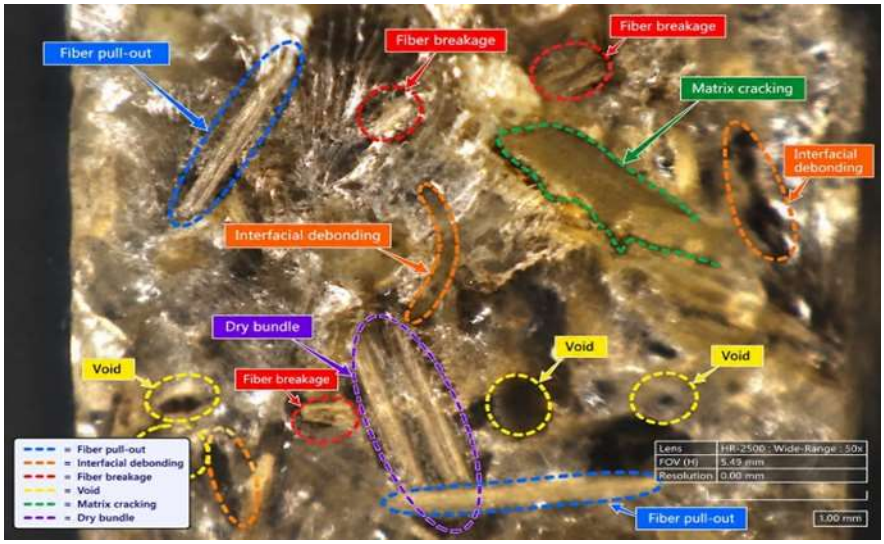
Kondisi berbeda terlihat pada fraksi volume 10%, di mana tegangan maksimum melonjak signifikan hingga titik tertinggi sebesar 25,348 MPa dengan modulus elastisitas mencapai 25,850 GPa. Di sisi lain, nilai regangan maksimum pada fraksi 10% justru menyusut hingga angka terendah, yaitu 1,303%, yang menegaskan bahwa penambahan serat hingga 10% membuat karakteristik material komposit menjadi kian kaku.

Hasil Pengujian Gambar Mikroskopik Pola Patahan

Pengamatan struktur mikroskopis bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan pola patahan spesimen setelah menjalani pengujian tarik. Secara umum, pola patahan pada material dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu patahan ulet (*ductile*) dan patahan getas (*brittle*). Pada tampilan makroskopis, patahan ulet ditandai oleh tepi patahan yang membentuk sudut sekitar 45° terhadap arah pembebanan serta area tengah bertekstur menyerupai serat yang tertarik. Sebaliknya, patahan getas memiliki permukaan yang tegak lurus (90°) terhadap garis gaya dan bertekstur kasar tanpa diiringi deformasi plastis (Muhajir et al., 2016).

Pada analisis mikroskopis ini, pengamatan dilakukan pada spesimen komposit epoksi berpenguat serat daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) dengan tiga variasi fraksi volume, yakni 5%, 7,5%, dan 10%. Masing-masing variasi diwakili oleh satu spesimen terpilih yang paling jelas

dalam merepresentasikan fenomena patahan akibat pembebanan tarik. Hasil pengamatan mikroskopis dengan pembesaran 50x menunjukkan bahwa tiap variasi spesimen memiliki pola dan karakteristik patahan yang beragam.



Gambar 5. Struktur *macro* pada fraksi volume 5%

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, Doc.2026)

Hasil analisis mikroskopis pada permukaan patahan komposit dengan fraksi volume 5% (pembesaran 50x) menunjukkan kontur permukaan yang tidak rata serta dipenuhi beragam jenis kegagalan struktural. Kerusakan yang teridentifikasi mencakup terlepasnya serat dari matriks (*fiber pull-out*), terpisahnya ikatan antarmuka (*interfacial debonding*), putusnya serat (*fiber breakage*), retakan matriks (*matrix cracking*), kemunculan rongga (*void*), hingga keberadaan kumpulan serat yang tidak terbasahi resin secara sempurna (*dry bundle*).

Karakteristik patahan pada fraksi 5% didominasi oleh fenomena fiber *pull-out* dan interfacial debonding, yang mengindikasikan bahwa ikatan adhesi antarmuka antara serat pandan duri dan matriks epoksi belum terbentuk secara optimal. Walau demikian, kemunculan fiber breakage menandakan bahwa serat masih mampu menerima serta menahan sebagian transfer gaya sebelum mengalami kegagalan. Di sisi lain, cacat mikro seperti *void*, *matrix cracking*, dan *dry bundle* berperan sebagai titik konsentrasi tegangan (*stress concentration*) yang memicu permulaan retakan sekaligus mempercepat proses patahnya spesimen.



Gambar 6. Struktur *macro* pada fraksi volume 7,5%

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, Doc.2026)

Pengamatan mikroskopis pada permukaan patahan komposit variasi fraksi volume 7,5% (pembesaran 50x) memperlihatkan karakteristik patahan yang cukup kompleks dengan kontur permukaan kasar. Kerusakan spesimen pada komposisi ini diakibatkan oleh kombinasi beberapa mekanisme kegagalan, seperti putusnya serat (*fiber breakage*), terlepasnya serat (*fiber pull-out*), terpisahnya ikatan antarmuka (*interfacial debonding*), serta ditemukannya sejumlah rongga (*void*).

Berbeda dari fraksi yang lebih rendah, fenomena *fiber breakage* pada fraksi 7,5% tampak lebih mendominasi di berbagai titik. Kondisi ini mengindikasikan bahwa persebaran serat pandan duri sudah lebih merata, sehingga mampu menahan dan menyalurkan beban tarik secara optimal sebelum menyentuh batas maksimum dan akhirnya patah. Meski demikian, keberadaan *fiber pull-out* dan *interfacial debonding* menunjukkan bahwa ikatan adhesi antarmuka antara serat dan matriks epoksi belum terbentuk secara sempurna. Selain itu, sebaran cacat berupa *void* pada matriks turut menjadi area konsentrasi tegangan yang memicu inisiasi retakan dan mempercepat kegagalan material.



Gambar 7. Struktur *macro* pada fraksi volume 10%

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, Doc.2026)

Hasil pengamatan mikroskopis pada permukaan patahan komposit variasi fraksi volume 10% (pembesaran 50x) menunjukkan kontur permukaan yang sangat kasar dan heterogen dengan tingkat cacat struktural yang terbilang tinggi. Kerusakan spesimen pada komposisi ini disebabkan oleh kombinasi beberapa fenomena, seperti terlepasnya serat (*fiber pull-out*), terpisahnya ikatan antarmuka (*interfacial debonding*), putusnya serat (*fiber breakage*), serta ditemukannya sebaran rongga (*void*) yang tergolong padat.

Fenomena *fiber pull-out* dan *interfacial debonding* teridentifikasi secara jelas, baik di area tengah maupun tepi spesimen. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tingginya porsi serat pada fraksi 10% menyulitkan matriks poliester dalam membasahi seluruh permukaan serat secara sempurna, sehingga menurunkan kualitas adhesi antarmuka. Walau demikian, keberadaan *fiber*

breakage membuktikan bahwa sebagian serat masih mampu menahan dan menyalurkan beban tarik sebelum akhirnya mengalami kegagalan.

Faktor krusial lain pada variasi ini adalah tingginya akumulasi *void* di dalam matriks. Lonjakan jumlah rongga udara tersebut dipicu oleh meningkatnya kekentalan (*viskositas*) adonan resin akibat penambahan jumlah serat, sehingga udara lebih mudah terperangkap. Kerapatan *void* yang tinggi ini bertindak sebagai titik konsentrasi tegangan lokal yang mempercepat laju perambatan retak dan memicu timbulnya kegagalan dini pada komposit.

Pembahasan

Pengujian sifat mekanik komposit epoksi berperekat serat daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) mengonfirmasi bahwa proporsi serat memegang peranan penting dalam menahan beban tarik. Mengacu pada standar ASTM D638, spesimen dengan fraksi volume serat 5% mencatatkan kekuatan tarik rata-rata 24,551 MPa. Nilai tersebut mengalami penurunan menjadi 22,132 MPa pada variasi 7,5% akibat terbentuknya rongga udara (*void*) serta penyebaran beban yang kurang merata. Namun, performa material kembali meningkat dan mencapai tingkat paling maksimal pada variasi 10%, dengan rerata kekuatan tarik sebesar 25,348 MPa serta modulus elastisitas 25,850 GPa. Sebaliknya, tingkat regangan spesimen 10% berada di angka paling rendah (1,303%), yang mengindikasikan sifat material yang kian kaku.

Pengamatan struktur patahan menggunakan mikroskop optik memberikan gambaran lebih jelas terkait perbedaan hasil mekanik tersebut. Patahan pada fraksi volume 5% dan 7,5% masih ditandai oleh lepasnya serat dari matriks resin (*fiber pull-out* dan *debonding*), yang mencerminkan ikatan antarmuka yang belum optimal. Di lain pihak, pada variasi 10%, kegagalan struktur didominasi oleh serat yang putus secara langsung (*fiber breakage*). Fenomena ini menunjukkan bahwa transfer beban dari matriks resin ke serat pandan berjalan sangat efektif sebelum material akhirnya mengalami patahan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pengamatan pada penelitian kekuatan tarik komposit epoksi berpenguat serat daun pandan duri (Pandanus tectorius), dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi fraksi volume serat epoksi berpenguat serat daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) berpengaruh terhadap kekuatan tarik material. Nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada spesimen dengan variasi fraksi volume 10%, yaitu mencapai rata-rata 25,348 MPa.
2. Ditemukan pola patahan ulet, semi-ulet, dan getas pada material komposit berpenguat serat daun pandan duri (*Pandanus tectorius*) untuk variasi fraksi volume 5%, 7,5%, dan 10%.

Secara umum, penambahan fraksi volume serat dalam komposit cenderung menaikkan kekuatan tarik (tegangan maksimum) dan kekakuan (modulus elastisitas) material. Peningkatan performa paling optimal diperoleh pada fraksi volume 10% dengan kekuatan tarik maksimum 25,348 MPa dan modulus elastisitas 25,850 GPa, yang didukung oleh mekanisme patahan berupa fiber breakage serta ikatan antarmuka yang baik. Akan tetapi, kenaikan kekakuan ini berdampak pada berkurangnya kelenturan material, yang terlihat dari menurunnya kemampuan deformasi (regangan maksimum) hingga angka terendah 1,303% pada fraksi volume 10%. Maka dari itu, penentuan fraksi volume serat perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi khusus, baik yang menitikberatkan pada kekuatan dan kekakuan struktur maupun fleksibilitas material.

DAFTAR PUSTAKA

Akil, H. M., dkk. 2011. "Kenaf Fiber Reinforced Composites: A Review". *Materials & Design*, Volume 32, Nomor 8–9 (hlm. 4107–4121).

Aminur, dkk. 2024. "Analisa Kekuatan Tarik dan Lentur Komposit Berpenguat Serat Daun Nanas (*Ananas comosus*) dengan Konfigurasi *Cross-Ply Laminate*". *Jurnal Teknologi Terapan*, Volume 10, Nomor 2 (hlm. 70–79).

Bisono, R. M., dkk. 2023. "Analysis of Tensile and Bending Properties of Epoxy Resin Matrix Composites Using Variations of *Pandanus tectorius* Leaf Fibers". *International Journal of Science, Engineering, and Information Technology*, Volume 8, Nomor 1 (hlm. 433–436).

Bledzki, A. K. dan J. Gassan. 1999. "Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres". *Progress in Polymer Science*, Volume 24, Nomor 2 (hlm. 221–274).

Callister, W. D. Jr. dan D. G. Rethwisch. 2018. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Edisi Ke-10. Hoboken: John Wiley & Sons.

Elfaleh, I., dkk. 2023. "A Comprehensive Review of Natural Fibers and Their Composites: An Eco-Friendly Alternative to Conventional Materials". *Results in Engineering*, Volume 19, 101271.

Faruk, O., dkk. 2012. "Biocomposites Reinforced with Natural Fibers: 2000–2010". *Progress in Polymer Science*, Volume 37, Nomor 11 (hlm. 1552–1596).

Friedrich, K., dkk. 2005. *Polymer Composites: From Nano- to Macro-Scale*. New York: Springer.

Gibson, R. F. 2016. *Principles of Composite Material Mechanics*. Edisi Ke-4. Boca Raton: CRC Press.

Hartini, D., dkk. 2022. "Tensile Strength Analysis of Sea Pandan Leaves (*Pandanus tectorius*) Fiber Reinforced Epoxy Composite". *Vortex*, Volume 3, Nomor 2 (hlm. 108–115).

Hartini, D., dkk. 2024. "The Mechanical Properties of the Sea Pandan Leaves (*Pandanus tectorius*) Fiber-Reinforced Epoxy Composite Were Assessed Using Bending Tests". Dalam *Proceedings of the 5th Annual Advanced Technology, Applied Science, and Engineering Conference (ATASEC 2023)* (hlm. 185–194). Atlantis Press.

Hidayat, R. dan A. Catur. 2022. "Pengaruh Fraksi Volume Serat Pandan Laut terhadap Kekuatan Bending dan Tarik Komposit Polyester". *Effect of Volume Fraction Pandanus tectorius Fibers Against Bending and Tensile Strength of Polyester Composites*.

Hull, D. dan T. W. Clyne. 1996. *An Introduction to Composite Materials*. Edisi Ke-2. Cambridge: Cambridge University Press.

Imon, I. H. 2024. "Sustainable Natural Fiber Based Composites Materials: A Review". Tersedia pada https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2024-4tcbv.

John, M. J. dan S. Thomas. 2008. "Biofibres and Biocomposites". *Carbohydrate Polymers*, Volume 71, Nomor 3 (hlm. 343–364).

Mahmud, M. Z. A., dkk. 2025. "Synthesis and Applications of Natural Fiber-Reinforced Epoxy Composites: A Comprehensive Review". *SPE Polymers*, Volume 6, Nomor 1.

Mark, J. E. (Ed). 2007. *Physical Properties of Polymers Handbook*. Edisi Ke-2. New York: Springer.

Marpaung, R. A. K. 2018. "Hubungan Kekerabatan 8 Spesies Marga *Pandanus* Berdasarkan Karakter Morfologi dan Anatomi". *Jurnal Education and Development*, Volume 6, Nomor 1.

Mohanty, A. K., dkk. 2000. "Biofibres, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview". *Macromolecular Materials and Engineering*, Volume 276–277, Nomor 1 (hlm. 1–24).

Mohanty, A. K., dkk. 2001. "Surface Modifications of Natural Fibers and Performance of the Resulting Biocomposites: An Overview". *Composite Interfaces*, Volume 8, Nomor 5 (hlm. 313–343).

Mohanty, A. K., dkk. (Eds). 2005. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. Boca Raton: CRC Press.

Muhajir, M. 2016. *Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Berbagai Varian Tata Letak*. Skripsi. Malang: Universitas Negeri Malang.

Mukhtar, D. 2016. "Analisa Kekuatan Tarik Komposit dengan Penguat Serat Pelepah Kelapa Sawit". *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 3, Nomor 2 (hlm. 7–12).

Mutmainnah, A. F., dkk. 2025. "Sea Pandan Leaf Fiber as an Alternative Material for Upper Limb Orthosis". *JPOST Journal of Prosthetics Orthotics and Science Technology*, Volume 4, Nomor 1 (hlm. 37–43).

Pickering, K. L., dkk. 2016. "A Review of Recent Developments in Natural Fibre Composites and Their Mechanical Performance". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 83 (hlm. 98–112).

Purnomo, M. J., dkk. 2025. "Study on Mechanical Properties of Pandan Duri (*Pandanus tectorius*) Fiber-Reinforced Biocomposites Materials for Aerospace Application". Dalam *Proceedings of the Adisutjipto Aerospace, Science and Engineering International Conference (AASEIC 2024)* (hlm. 95–101). Atlantis Press.

Ramful, R. 2024. "Mechanical Performance and Durability Attributes of Biodegradable Natural Fibre-Reinforced Composites—A Review". *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, Volume 19.

Rong, M. Z., dkk. 2001. "The Effect of Fiber Treatment on the Mechanical Properties of Unidirectional Sisal-Reinforced Epoxy Composites". *Composites Science and Technology*, Volume 61, Nomor 10 (hlm. 1437–1447).

Satyanarayana, K. G., dkk. 2009. "Biodegradable Composites Based on Lignocellulosic Fibers—An Overview". *Progress in Polymer Science*, Volume 34, Nomor 9 (hlm. 982–1021).

Sgriccia, N., dkk. 2008. "Characterization of Natural Fiber Surfaces and Natural Fiber Composites". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 39, Nomor 10 (hlm. 1632–1637).

Stone, B. C. 1982. "*Pandanus tectorius* Parkins. in Australia: A Conservative View". *Botanical Journal of the Linnean Society*, Volume 85, Nomor 2 (hlm. 133–146).

Sulaiman, M. dan M. H. Rahmat. 2018. "Kajian Potensi Pengembangan Material Komposit Polimer dengan Serat Alam untuk Produk Otomotif". Dalam *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Jember (SISTEM) 2018*.

Syafri, E., dkk. 2022. "Isolation and Characterization of New Cellulosic Microfibers from Pandan Duri (*Pandanus tectorius*) for Sustainable Environment". *Journal of Natural Fibers*, Volume 19.

Yan, L., dkk. 2014. "Flax Fibre and Its Composites A Review". *Composites Part B: Engineering*, Volume 56 (hlm. 296–317).