

Perilaku Penyerapan Air Terhadap Sifat Mekanik Biokomposit Serat Kenaf/Rami

Haniel^{1,2}, Baju Bawono¹, Paulus Wisnu Anggoro^{1*}

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

²Mahasiswa Pascasarjana Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta, Indonesia, 55281

*E-mail: pauluswisnuanggoro@gmail.com

Diajukan: 01-11-2022; Diterima: 14-04-2023; Diterbitkan: 20-04-2023

Abstrak

Penggunaan komposit yang diperkuat serat alam berkembang pesat di industri otomotif. Biokomposit adalah material komposit yang terdiri dari matriks polimer dan penguat serat alami. Serat alam dapat menggantikan bahan tradisional yang tidak terbarukan. Namun serat alam memiliki perilaku menyerap air, hal ini berdampak pada sifat mekanik biokomposit. Maka perlu dilakukan pemeriksaan lebih lanjut tentang pengaruh perilaku penyerapan air pada biokomposit yang dibuat menggunakan komposisi manufaktur yang optimum. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pada nilai kekuatan dampak dari 0.24 menjadi 0.27 (J/mm²), begitu juga dengan nilai kekuatan lentur dari 94.86 menjadi 96.74 (MPa). Peningkatan sifat mekanik ini menunjukkan bahwa produk biokomposit ini memiliki ketahanan terhadap kelembaban sehingga dapat juga diaplikasikan pada komponen kendaraan pada bagian eksterior.

Kata kunci: industri otomotif; material komposit; penyerapan air; serat alam; sifat mekanik

Abstract

The use of natural fiber reinforced composites is growing rapidly in the automotive industry. Biocomposites are composite materials consisting of a polymer matrix and natural fiber reinforcement. Natural fibers can replace non-renewable traditional materials. However, natural fibers have the property of absorbing water which affects the mechanical properties of the biocomposite. Therefore it is necessary to further investigate the effect of water absorption behavior on biocomposites made using optimal manufacturing compositions. The results of this study indicated that there was an increase in the value of the impact strength from 0.24 to 0.27 (J/mm²), and the value of the flexural strength from 94.86 to 96.74 (MPa). This increase in mechanical properties shows that this biocomposite product has resistance to moisture so that it can also be applied to vehicle components on the exterior.

Keywords: automotive industry; composite materials; mechanical properties; natural fiber; water absorption

1. Pendahuluan

Pengembangan dan pembaruan tentang ilmu biokomposit terus dilakukan oleh para peneliti. Hal ini disebabkan karena biokomposit memiliki nilai yang ekonomis dan ramah lingkungan. Potensi yang dimiliki biokomposit menarik perhatian peneliti untuk diaplikasikan di berbagai bidang, salah satu contoh di bidang otomotif. Fakta bahwa serat ini diperoleh dari sumber daya alam membuatnya lebih menarik dalam hal kelestarian dan kesadaran lingkungan [1]. Selain itu, biokomposit juga telah banyak digunakan untuk aplikasi luar ruangan saat ini. Namun biokomposit memiliki daya serap air yang lebih tinggi karena sifat hidrofiliknya [2]. Pada penelitian sebelumnya oleh Yorseng dkk [3] tentang pengaruh penyerapan air telah dilakukan, dalam penelitiannya serat kenaf/sisal berhasil diperkuat dengan resin epoksi dan diuji untuk mempercepat pelapukan. Pelapukan yang dipercepat menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja komposit bioepoksi karena degradasi matriks bioepoksi. Selain itu, serat kenaf/sisal yang diperkuat komposit bioepoksi menghadirkan mekanik yang konstan. Namun, penyerapan air sedikit lebih tinggi untuk komposit yang diperkuat serat kenaf/sisal bila dibandingkan dengan komposit bioepoksi yang dikaitkan dengan sifat hidrofilik dari serat. Singkatnya, bioepoksi dapat digunakan sebagai bahan matriks untuk membuat biokomposit bernilai tambah dari limbah pertanian dan juga di masa depan, komposit ini dapat digunakan untuk membuat komponen semi struktural.

Bachchan dkk [4] dalam penelitiannya menyatakan ketika komposit yang dikembangkan bersentuhan dengan kelembaban apa pun, serat yang diperkuat menyerap partikel kelembaban karena sifat hidrofiliknya. Penyerapan air

menurunkan kekuatan serat. Kapasitas penyerapan air meningkat dengan meningkatnya kandungan serat. Karena penyerapan air, mikro retakan dimulai pada serat. Kapasitas penyerapan air meningkat seiring waktu, tetapi menjadi jenuh setelah mencapai titik jenuh, setelah itu menjadi konstan. Serat alami menyerap lebih banyak air daripada serat sintesis karena penggunaan epoksi. Unsaturated polymer resin gel, AESO sebagai pelapis dapat membantu mencegah delaminasi dan mengurangi penyerapan air. Karena kemajuan teknologi, pengolahan kimia dapat dilakukan untuk mengurangi daya serap air.

Namun berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Muñoz dkk [5] yang menyimpulkan bahwa hasil penelitian menunjukkan bahwa pembengkakan serat rami pada material komposit akibat penyerapan air dapat memiliki efek positif pada sifat mekanik. Kekuatan tarik semua benda uji terendam air lebih tinggi dibandingkan dengan sampel kering karena ikatan antarmuka yang lebih kuat antara serat dan matriks. Sifat lentur menurun seiring dengan meningkatnya kadar penyerapan air. Modulus tarik ditemukan menurun dengan penyerapan air sebagai properti sensitif dari serat. Modulus lentur menurun pada spesimen dengan kandungan serat yang lebih tinggi setelah penyerapan air.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [3-5] dapat diketahui bahwa perilaku biokomposit dengan daya serap air yang tinggi dapat mempengaruhi sifat mekanis, dengan memberi dampak positif atau dampak negatif terhadap sifat mekanis biokomposit. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan optimalisasi biokomposit untuk mendapatkan komposisi manufaktur optimal yang dapat diaplikasikan di bidang otomotif, namun penelitian tersebut belum melakukan analisis penyerapan air terhadap komposisi manufaktur optimal [6]. Maka melalui penelitian ini analisa lebih lanjut dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh perilaku penyerapan air terhadap biokomposit dengan komposisi manufaktur optimal tersebut. Penelitian dilakukan dengan menggunakan simulasi perendaman air dengan periode waktu 24 jam untuk mengetahui pengaruh penyerapan air (*Water absorption*) terhadap biokomposit. Persentase penambahan berat pada biokomposit dicatat dan dihitung untuk mengetahui perilaku penyerapan air.

2. Material dan metodologi

Dalam penelitian ini biokomposit dicetak menggunakan komposisi manufaktur dari penelitian sebelumnya oleh Haniel dkk [6]. Komposisi manufaktur menggunakan kombinasi $A_1B_1C_2$ (konsentrasi NaOH 4%; suhu post-curing 80°C; jenis serat rami) untuk pengujian impak dan komposisi pada kombinasi $A_1B_3C_1$ (konsentrasi NaOH 4%; suhu post-curing 120°C; jenis serat kenaf) untuk pengujian lentur. Acuan dalam menerjemahkan kombinasi komposisi manufaktur tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Kombinasi manufaktur optimal tersebut diadopsi menjadi parameter yang digunakan untuk manufaktur biokomposit dalam penelitian ini.

Tabel 1. Parameter manufaktur optimal

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Konsentrasi NaOH (A)	4%	6%	8%
Suhu Post-Curing (B)	80°C	100°C	120°C
Jenis Serat (C)	Kenaf	Rami	Kenaf-Rami

2.1. Resin epoksi

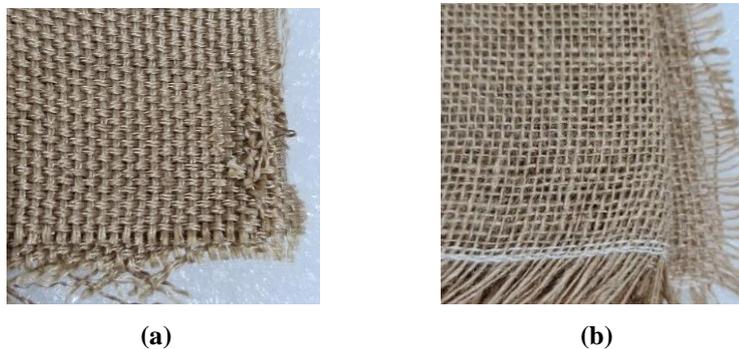
Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah Resin Epoksi Bisphenol-A seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Resin epoksi dan pengeras merupakan bahan utama dalam pembuatan material komposit. Rasio jenis resin ini adalah 1:1 (berdasarkan fraksi berat) saat mencampur bahan.



Gambar 1. Resin Epoksi Bisphenol A

2.2. Serat alam

Serat kenaf dan rami yang berbentuk anyaman digunakan dalam penelitian ini. Serat dipotong sesuai kebutuhan dan jumlah spesimen yang akan di bentuk. Untuk uji impak serat dipotong (10×12 cm) sedangkan untuk uji lentur serat dipotong (13×15 cm), 5 spesimen untuk masing-masing pengujian sesuai prosedur pengujian. Serat alam yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Serat alam: (a) serat kenaf; (b) serat rami

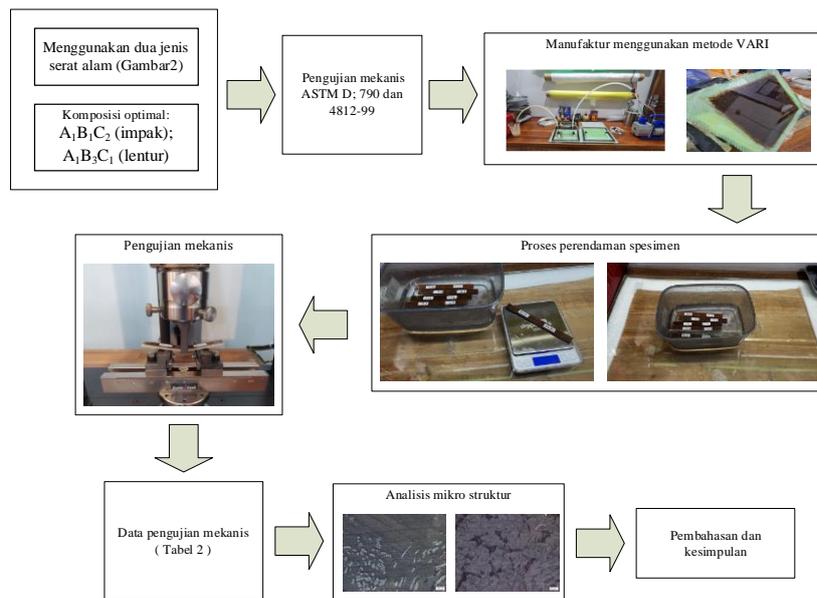
2.3. Teknik manufaktur VARI

Diantara proses manufaktur industri yang digunakan, VARI telah muncul sebagai alternatif yang paling ekonomis untuk menghasilkan produk dengan kinerja mekanik yang tinggi dan kandungan serat yang tinggi [7] yang memiliki fraksi volume serat hingga 60% [8]. Proses manufaktur untuk komposit VARI telah berkembang selama bertahun-tahun untuk memberikan solusi yang lebih hemat biaya. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan komposit yang diadopsi dari penelitian sebelumnya [9]:

1. Membersihkan permukaan cetakan
2. Pembuatan matriks: Epoksi dan hardener dengan perbandingan 1:1 dicampur dalam satu wadah
3. Persiapan proses pencetakan:
 - a. Pelapisan permukaan cetakan menggunakan *mirror glaze*;
 - b. Menyusun lapisan serat di atas permukaan cetakan;
 - c. *Peel ply* dan *media flow* dipotong seukuran serat;
 - d. *Peel ply* diletakkan tepat di atas lapisan serat, kemudian *media flow* diletakkan di atas keduanya;
 - e. Selang spiral dipotong untuk diatur di sekitar tumpukan serat, *peel ply*, *media flow* dan dihubungkan dengan T-konektor;
 - f. *Bagging film* dilubangi untuk akses T- konektor dan selang spiral;
 - g. Semua komponen dibungkus menggunakan *bagging film*. Spesimen harus dibungkus dengan sempurna karena bagging film bertindak sebagai lapisan pemisah antara area luar dan area pencetakan yang mengalami kondisi vakum selama proses pencetakan. *Sealant tape* digunakan untuk menutup celah yang ada melalui *bagging film*.

4. Persiapan untuk proses VARI: T-connector yang berfungsi sebagai outlet dihubungkan ke tangki reservoir resin, sedangkan T-konektor lain yang bertindak sebagai inlet dihubungkan ke wadah matriks. Lalu hubungkan tangki reservoir ke mesin vakum.
5. Proses infus vakum:
 - a. Mesin vakum dioperasikan. Saat kompresor vakum dioperasikan, matriks secara bertahap akan bergerak dari wadah ke ruang cetakan;
 - b. Setelah proses pencetakan selesai, hentikan mesin vakum;
 - c. Spesimen akan dibiarkan untuk proses pengeringan yang berlangsung selama 24 jam. Setelah itu dapat dilepas dari *peel ply*, *flow media*, dan *bagging film*.

Terdapat tiga langkah utama dalam penelitian ini, langkah pertama adalah tahapan identifikasi masalah. Pada tahapan ini studi literatur pada penelitian sebelumnya, melalui tahapan ini didapatkan pokok permasalahan yaitu belum ada analisis perilaku penyerapan air pada biokomposit yang telah diteliti oleh peneliti sebelumnya. Langkah kedua adalah tahapan eksperimen, biokomposit diperkuat serat alam dibuat menggunakan teknik manufaktur VARI, lalu spesimen kering yang sudah dipotong sesuai dimensi standar pengujian lalu direndam dalam air dan tinjau pertambahan berat setiap 6 jam selama 24 jam. Pengujian mekanik dilakukan pada spesimen basah untuk mendapatkan data kekuatan mekanik. Data kekuatan mekanik dianalisa dan ditinjau perbedaan dengan data penelitian sebelumnya untuk mengetahui pengaruh penyerapan air terhadap sifat mekanik biokomposit. Langkah terakhir adalah tahapan analisa hasil dan kesimpulan dari penelitian. Ringkasan tentang penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematis penelitian

2.4. Manufaktur biokomposit

Serat yang telah di potong dan direndam dalam larutan NaOH kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari. Serat yang sudah kering lalu dipersiapkan untuk dicetak bersama resin menggunakan metode VARI. Percampuran resin dan hardener didalam wadah menggunakan rasio 1:1. Proses pengeringan cetakan berlangsung selama 24 jam hingga spesimen dapat dilepas dari cetakan. Proses manufaktur dapat dilihat pada Gambar 4.

Spesimen dipotong menggunakan mesin potong (*water jet*) dengan menyesuaikan dimensi standar pengujian yang digunakan. Spesimen selanjutnya memasuki tahapan perlakuan *post-curing* untuk mengurangi kandungan air [10].



Gambar 4. Proses manufaktur biokomposit

2.5. Proses penyerapan air (*Water absorption*)

Terdapat tiga mekanisme utama penyerapan air pada biokomposit yaitu difusi, kapiler, dan transportasi molekul air. Difusi adalah proses acak dimana air bergerak dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah. Perilaku difusi komposit polimer mengikuti model difusi Fickian dan non-Fickian. Di sisi lain, mekanisme transportasi kapiler terjadi pada celah antarmuka, antara serat dan matriks [11]. Proses perendaman air dilakukan selama 24 jam seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan dihitung persentase pertambahan berat setiap 6 jam menggunakan persamaan (1) [9].

$$\text{Penyerapan Air (\%)} = \frac{(\text{massa akhir} - \text{massa awal})}{\text{massa awal}} \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 5. Proses perendaman spesimen

2.6. Pengujian mekanik

Spesimen basah diuji sesuai standar pengujian yang digunakan yaitu ASTM D4812-99 untuk pengujian impak [12] dan ASTM D790 untuk pengujian lentur [13]. Hasil pengujian mekanik ditunjukkan pada Tabel 2.

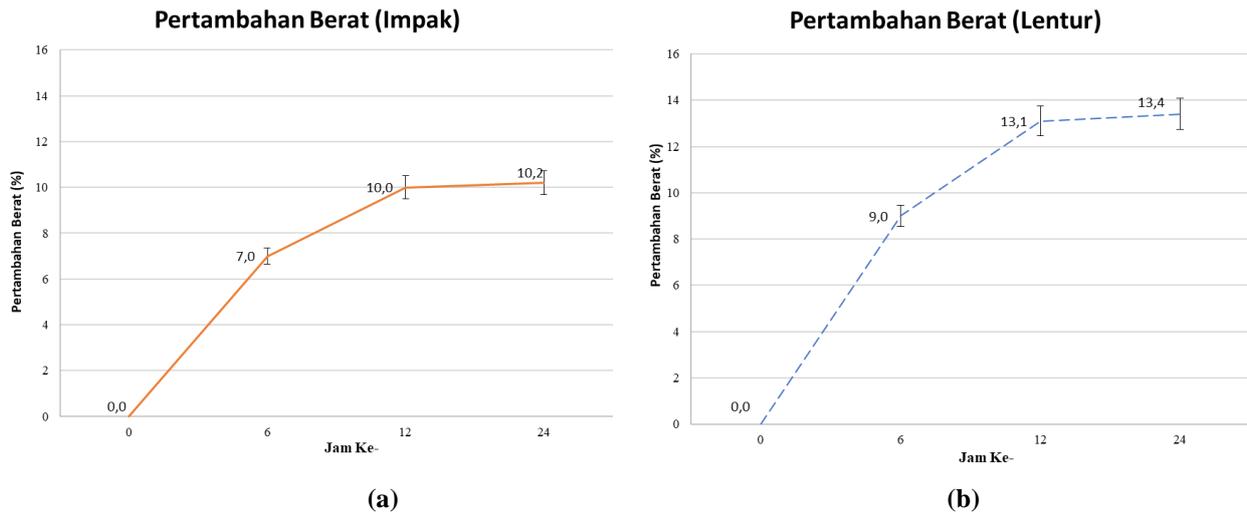
Tabel 2. Data pengujian mekanik

Spesimen No.	Kekuatan impak (J/mm ²)	Kekuatan lentur (MPa)
1	0.25	96.45
2	0.27	96.00
3	0.27	96.31
4	0.26	96.74
5	0.26	96.74

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Perilaku penyerapan air

Penyerapan air terhadap spesimen biokomposit ditentukan oleh pertambahan berat relatif terhadap berat kering spesimen menggunakan persamaan (1). Hasil dari perhitungan perilaku penyerapan air ditunjukkan pada grafik Gambar 6. Tidak banyak perbedaan tren yang ditunjukkan pada grafik kedua jenis spesimen.

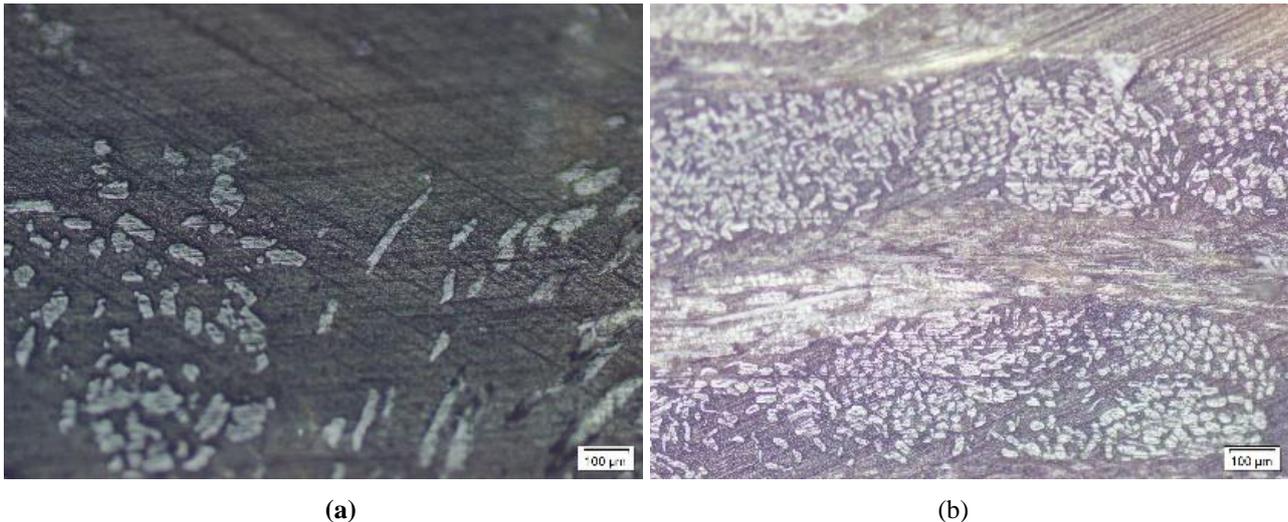


Gambar 6. Grafik pertambahan berat: (a) grafik spesimen impak; (b) grafik spesimen lentur

Gambar 6 menunjukkan kedua jenis spesimen mengalami pertambahan berat yang cukup signifikan (0-7% untuk spesimen impak dan 0-9% untuk spesimen lentur) pada kondisi awal spesimen kering lalu direndam pada 6 jam pertama, hal ini menunjukkan kadar air yang diserap meningkat dengan bertambahnya waktu perendaman karena serat alami bersifat berongga sehingga lebih banyak air yang berdifusi ke dalam komposit [14-16]. Ditinjau dari grafik pada jam ke 12 dan ke 24 pertambahan berat tidak signifikan yang menunjukkan kadar air dalam spesimen sudah berada di titik jenuh [3,4]. Peningkatan kadar air pada biokomposit ini mengindikasikan terjadinya cacat atau retak mikro dalam matriks [1]. Sifat serat alami yang hidrofilik dapat melemahkan serat akibat pelapukan yang bersumber dari penyerapan air yang terjadi terus menerus [14]. Perilaku penyerapan air pada biokomposit ini perlu dihindari untuk risiko jangka panjang. Penggunaan pelapis seperti resin polimer tak jenuh, AESO dan sebagainya, membantu mencegah delaminasi dan mengurangi penyerapan air. Kemajuan teknologi memungkinkan perlakuan kimia untuk mengurangi penyerapan air [4].

3.2 Pengaruh penyerapan air terhadap sifat mekanik biokomposit

Pada penelitian ini data kekuatan material pada masing-masing pengujian ditunjukkan pada Tabel 2. Dibandingkan dengan nilai kekuatan material pada penelitian sebelumnya [6], spesimen basah pada penelitian ini mengalami peningkatan kekuatan material. Spesimen basah dengan kekuatan impak tertinggi adalah 0.27 J/mm^2 , nilai ini lebih tinggi daripada spesimen kering yang hanya sebesar 0.241 J/mm^2 . Begitu juga dengan kekuatan lentur tertinggi pada spesimen basah sebesar 96.74 MPa dibandingkan dengan spesimen kering sebesar 94.86 MPa . Peningkatan nilai kekuatan material tersebut menunjukkan bahwa pengaruh penyerapan air berdampak positif terhadap sifat mekanis biokomposit berpenguat serat kenaf/rami pada penelitian ini. Hal ini dapat terjadi karena air menyebabkan pembengkakan serat sehingga mengisi celah antara serat dan matriks, celah yang terbentuk selama proses manufaktur karena penyusutan termal dari proses pengeringan resin. Secara khusus efek pengisian celah ini meningkatkan sifat mekanik komposit. Pembengkakan serat yang terjadi dapat menghilangkan ruang kosong didalam struktur mikro dan serat memberikan tekanan pada matriks, yang menghasilkan adhesi yang sempurna. Hal ini sejalan dengan temuan yang dilaporkan dalam literatur sebelumnya [2,5,15-17]. Pengaruh positif terhadap sifat mekanik ini didukung oleh foto mikro yang menunjukkan ikatan serat dan resin tanpa ada ruang kosong seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



(a)

(b)

Gambar 7. Foto mikro: (a) serat rami; (b) serat kenaf

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa perilaku penyerapan air berpengaruh positif terhadap sifat mekanik material biokomposit. Terjadi peningkatan nilai kekuatan impak dari 0.24 menjadi 0.27 (J/mm²), begitu juga dengan nilai kekuatan lentur dari 94.86 menjadi 96.74 (MPa). Temuan yang didapat dalam penelitian ini melengkapi analisis pada penelitian sebelumnya, biokomposit cocok digunakan dalam aplikasi luar ruangan seperti komponen pada kendaraan. Penelitian selanjutnya akan lebih fokus pada penerapan penggunaan material ini, proses perancangan dan pembuatan komponen eksterior otomotif.

Ucapan terima kasih

Makalah ini didukung oleh PUTP ATMI Politeknik Surakarta, laboratorium fenomena mesin dasar di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, yang sangat kami hargai.

Pendanaan

Karya ini juga merupakan bagian dari penelitian yang didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi dalam Program Pendanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2022, Hibah Nomor: 1989.4/LL5-INT/PG. 02.00/2022.165/LPPM-Pen /Eks.

Daftar Pustaka

- [1] Pérez-Fonseca, A. A., Arellano, M., Rodrigue, D., González-Núñez, R., & Robledo-Ortíz, J. R. (2016). Effect of coupling agent content and water absorption on the mechanical properties of coir-agave fibers reinforced polyethylene hybrid composites. *Polymer Composites*, 37(10), 3015-3024.
- [2] Gupta, M. K., Water absorption and its effect on mechanical properties of sisal composite. *Journal of the Chinese Advanced Materials Society*, (2018). 6(4), 561-572.
- [3] Yorseng, K., Rangappa, S. M., Pulikkalparambil, H., Siengchin, S., & Parameswaranpillai, J., Accelerated weathering studies of kenaf/sisal fiber fabric reinforced fully biobased hybrid bioepoxy composites for semi-structural applications: Morphology, thermo-mechanical, water absorption behavior and surface hydrophobicity. *Construction and Building Materials*, (2020). 235, 117464.

- [4] Bachchan, A. A., Das, P. P., & Chaudhary, V., Effect of moisture absorption on the properties of natural fiber reinforced polymer composites: A review. *Materials Today: Proceedings*, (2021).
- [5] Muñoz, E., & García-Manrique, J. A., Water absorption behaviour and its effect on the mechanical properties of flax fibre reinforced bioepoxy composites. *International journal of polymer science*, 2015.
- [6] Haniel H., B. Bawono., P.W Anggoro., Optimization Of Characteristics Polymer Composite Reinforced Kenaf Fiber and Jute Fiber Using Taguchi-Response Surface Methodology Approach, (2022).
- [7] Malheiro, J. M., & Nunes, J. P., Simulation of Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) process for the production of composite material parts. In *Advances in Evolutionary and Deterministic Methods for Design, Optimization and Control in Engineering and Sciences*, (2021). (pp. 319-340). Springer, Cham.
- [8] Feiler, M., Chatzigeorgiou, L., Aoki, R., Dudenhausen, W., & Drechsler, K., New Approach in Process Monitoring of Vacuum Assisted Resin Infusion Process (VARI), (2004).
- [9] Sudarisman, S., Hidayat, A., Haniel, H., Tiopan, M., Himarosa, R. A., & Muflikhun, M. A., The Characteristic of CFRP Laminates Related to Water Absorption Subjected to Tensile, Bending, and Compression, (2022).
- [10] Zahari, W. Z. W., Badri, R. N. R. L., Ardyananta, H., Kurniawan, D., & Nor, F. M., Mechanical properties and water absorption behavior of polypropylene/ijuk fiber composite by using silane treatment. *Procedia Manufacturing*, (2015). 2, 573-578.
- [11] Abd Halip, J., Hua, L. S., Ashaari, Z., Tahir, P. M., Chen, L. W., & Uyup, M. K. A., Effect of treatment on water absorption behavior of natural fiber–Reinforced polymer composites. In *Mechanical and physical testing of biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites*, (2019). (pp. 141-156). Woodhead Publishing.
- [12] Annual Book of ASTM Standards Test Method for Unnotched Cantilever Beam Impact Resistance of Plastics D 4812 – 99.
- [13] Annual Book of ASTM Standards Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials D 790 – 03.
- [14] Maslinda, A. B., Majid, M. A., Ridzuan, M. J. M., Afendi, M., & Gibson, A. G., Effect of water absorption on the mechanical properties of hybrid interwoven cellulosic-cellulosic fibre reinforced epoxy composites. *Composite Structures*, (2017).167, 227-237.
- [15] Ashori, A., & Sheshmani, S., Hybrid composites made from recycled materials: moisture absorption and thickness swelling behavior. *Bioresource technology*, (2010). 101(12), 4717-4720.
- [16] Alamri, H., & Low, I. M., Mechanical properties and water absorption behaviour of recycled cellulose fibre reinforced epoxy composites. *Polymer testing*, (2012). 31(5), 620-628.
- [17] Karmaker, A. C., Hoffmann, A., & Hinrichsen, G., Influence of water uptake on the mechanical properties of jute fiber-reinforced polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, (1994). 54(12), 1803-1807.