

Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Impak Material Komposit Berpenguat Serat Lidah Mertua (*Sansevieria Clyndirica*) Untuk Aplikasi Spakbor Sepeda Motor

Zuldesmi Mansjur^{1*)}, Amos Sinaga²⁾, Yohanis Rampo³⁾.

^{1) 2) 3)} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado

*E-mail: zuldesmi@unima.ac.id¹, yohanisrampo@unima.ac.id³

Abstrak

Penggunaan material komposit yang terbuat dari serat alami semakin populer sebagai alternatif untuk serat sintetis yang tidak ramah lingkungan. Salah satu jenis serat alami dengan potensi besar adalah serat lidah mertua (*Sansevieria cylindrica*), yang memiliki karakteristik mekanik superior dan dapat berperan sebagai penguat dalam komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak variasi panjang serat lidah mertua terhadap kekuatan impak komposit yang direncanakan untuk digunakan sebagai bahan pengganti spakbor depan sepeda motor matic. Komposit dibuat dengan perbandingan volume 30% serat dan 70% resin polyester, dengan variasi panjang serat 30 mm, 50 mm, dan 70 mm. Uji impak dilakukan dengan metode Charpy ASTM E23, dan analisis struktur mikronya dilakukan untuk memahami mekanisme kegagalan. Temuan penelitian menunjukkan bahwa komposit dengan serat berukuran 30 mm memberikan performa impak terbaik dengan energi impak mencapai 4,22 Joule dan nilai impak 0,0531 J/mm². Peningkatan panjang serat menjadi 50 mm dan 70 mm justru menurunkan ketahanan impak, masing-masing hingga 2,84 Joule dan 1,53 Joule. Dibandingkan dengan material spakbor konvensional, komposit dari serat lidah mertua menunjukkan nilai impak yang jauh lebih tinggi. Struktur mikro memperlihatkan distribusi serat yang lebih seragam pada panjang 30 mm, sementara serat yang lebih panjang cenderung menyebabkan cacat seperti debonding, penarikan serat, dan void. Dengan demikian, panjang serat 30 mm dipandang sebagai kondisi terbaik.

Kata kunci: komposit serat alami, *Sansevieria cylindrica*, uji impak Charpy, panjang serat, spakbor sepeda motor

Abstract

The use of composite materials made from natural fibers is increasingly popular as an alternative to synthetic fibers that are not environmentally friendly. One type of natural fiber with great potential is snake plant fiber (*Sansevieria cylindrica*), which has superior mechanical characteristics and can act as a reinforcement in composites. This study aims to evaluate the impact of variations in snake plant fiber length on the impact strength of composites planned to be used as a replacement material for automatic motorcycle front fenders. The composite was made with a volume ratio of 30% fiber and 70% polyester resin, with fiber length variations of 30 mm, 50 mm, and 70 mm. Impact tests were conducted using the ASTM E23 Charpy method, and microstructural analysis was performed to understand the failure mechanism. The research findings showed that composites with 30 mm fibers provided the best impact performance with an impact energy reaching 4.22 Joules

and an impact value of 0.0531 J/mm². Increasing the fiber length to 50 mm and 70 mm actually decreased the impact resistance, up to 2.84 Joules and 1.53 Joules, respectively. Compared to conventional fender material, the snake plant fiber composite exhibits significantly higher impact values. The microstructure exhibits a more uniform fiber distribution at a length of 30 mm, while longer fibers tend to cause defects such as debonding, fiber pullout, and voids. Therefore, a fiber length of 30 mm is considered optimal.

Keywords: Natural Fiber Composite, *Sansevieria Cylindrica*, Charpy Impact Test, Fiber Length, Motorcycle Fender.

1. PENDAHULUAN

Material komposit semakin sering dipakai di berbagai jenis industri, baik yang kecil maupun yang besar. Fiberglass adalah salah satu jenis material komposit yang paling sering dipakai, karena dikenal kuat, enteng, dan mudah dibentuk [1]. Fiberglass memang tidak sekuat atau sekaku karbon fiber, tetapi banyak orang tetap memilihnya karena lebih lentur, harganya lebih murah, dan lebih mudah didapatkan [2]. Material ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya untuk membuat pesawat, kapal, badan kendaraan, pipa, panel bangunan, dan berbagai macam produk industri lainnya [3]. Akan tetapi, fiberglass punya kekurangan yang berkaitan dengan kesehatan dan lingkungan. Jika terkena kulit, seratnya bisa menyebabkan iritasi dan masalah kesehatan jika dialami dalam jangka waktu yang lama [4], selain itu resin sintetis yang menjadi matriksnya sulit terurai dan bisa merusak lingkungan.

Untuk menyelesaikan masalah ini, penelitian tentang komposit berbasis serat alami mengalami perkembangan yang pesat. Berbagai serat alami, seperti bambu, rami, kenaf, dan pisang, telah dimanfaatkan sebagai penguat komposit di banyak sektor, termasuk otomotif, terutama dalam bagian interior seperti panel pintu dan dasbor [5]. Serat alami menawarkan berbagai keuntungan, di antaranya adalah sifat yang ramah lingkungan, dapat diperbarui, memiliki kepadatan rendah, ringan, serta biaya produksi yang lebih terjangkau jika dibandingkan dengan serat sintetis [6]. Salah satu sumber serat alami yang menjanjikan adalah tanaman lidah mertua (*Sansevieria cylindrica*). Tanaman ini telah lama digunakan sebagai bahan serat untuk berbagai keperluan anyaman dan tali. Penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa serat dari lidah mertua memiliki karakteristik mekanik yang baik, dengan

kekuatan tekan mencapai 128,63 MPa dan kekuatan tarik 39,4 MPa pada ketebalan serat sebesar 2 mm [7][8]. Di samping itu, serat ini juga dipakai dalam industri tradisional sebagai bahan anyaman di beberapa negara, termasuk Indonesia.

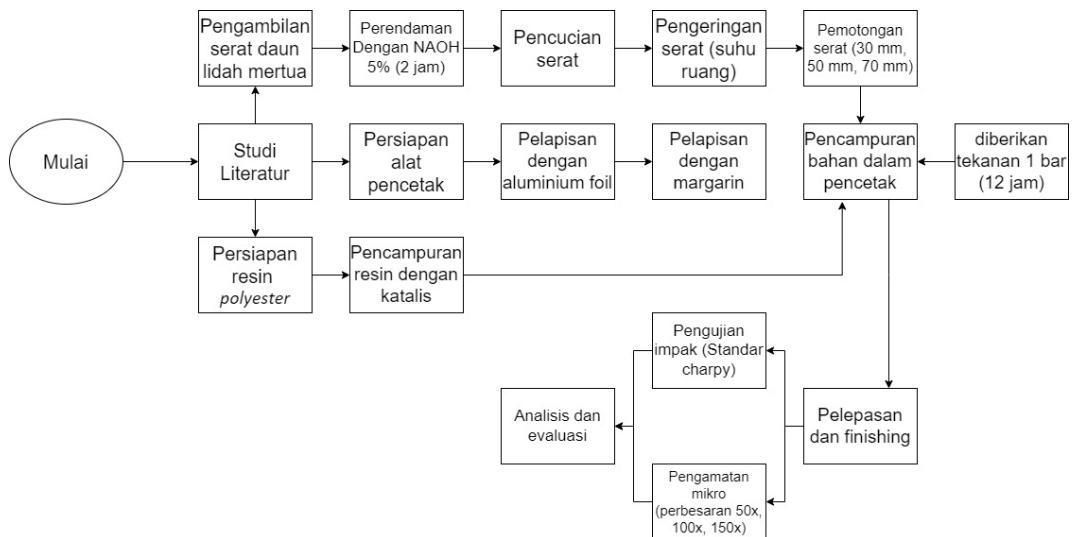
Salah satu hal krusial yang berdampak pada kinerja mekanik komposit serat alami adalah ukuran serat. Ukuran serat memengaruhi seberapa efisien beban dapat dialihkan dari matriks ke serat, yang selanjutnya dapat memengaruhi daya tahan, kekakuan, dan ketahanan komposit terhadap beban kejut [9]. Namun, menurut tinjauan pustaka, studi tentang pengaruh perbedaan ukuran serat terhadap sifat impak komposit masih sangat minim, khususnya dalam konteks penerapan yang sesungguhnya.

Berdasarkan masalah yang ada, penelitian ini dilaksanakan untuk melihat pengaruh variasi panjang serat lidah mertua terhadap daya tahan impak komposit yang diaplikasikan pada spakbor depan sepeda motor matic. Pemilihan elemen ini didasarkan pada kebutuhan akan material yang ringan, kokoh, dan mampu menahan beban impuls akibat tabrakan selama pemakaian. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap pengembangan biokomposit yang ramah lingkungan serta menjadi acuan bagi kemajuan komponen otomotif alternatif. Sasaran utama dari penelitian ini adalah menentukan panjang serat paling optimal yang mampu memberikan performa impak terbaik, sehingga memiliki potensi untuk dijadikan sebagai pengganti material spakbor yang umum digunakan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memanfaatkan serat dari daun lidah mertua (*Sansevieria cylindrica*) sebagai bahan penguat, resin polyester berfungsi sebagai matriks, larutan NaOH 5% untuk pengolahan kimia, katalis MEKPO (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) untuk mempercepat proses *curing*, margarin sebagai agen pelepas, dan aluminium foil untuk menghindari kebocoran campuran. Alat yang digunakan mencakup gunting, timbangan digital, gelas ukur, kuas, penggaris, gerinda, amplas, dan *hydraulic press* yang memainkan peran penting dalam tahap pencetakan dan pengeringan spesimen. Pengujian mekanik dilakukan menggunakan metode impak Charpy sesuai dengan standar ASTM E23, disertai dengan pengamatan struktur

mikro menggunakan mikroskop optik HIROX HR untuk mengeksplorasi morfologi patahan dan distribusi serat.

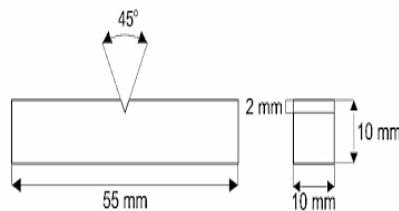


Gambar 1. Diagram alir pengambilan data

Pembuatan komposit dimulai dengan pengambilan serat dari daun melalui teknik menggaruk, kemudian dilanjutkan dengan merendam serat dalam larutan NaOH 5% selama dua jam untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa. Setelah itu, serat dibersihkan, dikeringkan pada suhu ruangan, dan dipotong sesuai dengan variasi panjang yang diteliti. Serat kemudian disusun secara acak dalam cetakan. Sebelum resin dituangkan, cetakan dilapisi dengan aluminium foil dan diolesi margarin untuk mencegah agar spesimen tidak menempel. Resin *polyester* dicampurkan dengan katalis hingga merata, lalu dituangkan perlahan sambil menyusun serat dalam tiga lapisan. Cetakan tersebut kemudian diberi tekanan 1 bar menggunakan *hydraulic press* selama 12 jam untuk memastikan resin menyerap dengan baik dan mengurangi kemungkinan *void*.

Setelah proses pengepresan, sampel dikeluarkan dari cetakan dan diselesaikan sampai memenuhi ukuran standar charpy, yaitu panjang 55 mm, lebar 10 mm, dan ketebalan 10 mm, lengkap dengan takik 45° sedalam 2 mm. Uji impak dilaksanakan dengan menggunakan mesin charpy yang dilengkapi dengan pendulum seberat 1,2 kg. Jumlah energi yang diserap saat terjadinya patah dicatat untuk menilai ketahanan material. Analisis mikroskopis dilakukan dengan pembesaran 50×, 100×,

dan 500× untuk mengenali mekanisme kerusakan, mutu ikatan antara serat dan matriks, serta distribusi serat dalam komposit.



Gambar 2. Dimensi specimen uji impak metode *charpy* komposit serat lidah mertua



Gambar 3. menunjukkan bentuk dan dimensi yang digunakan pada uji impak metode *charpy*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Pengujian Impak

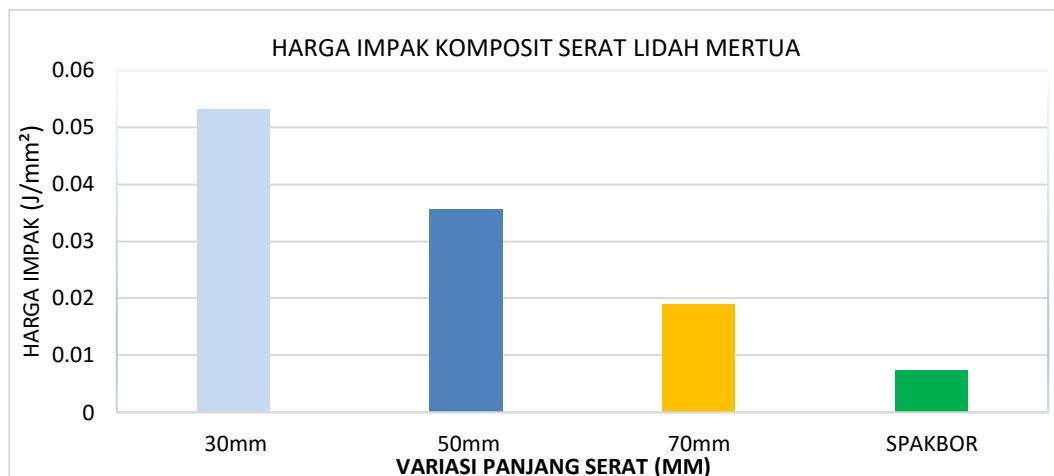
Pengujian dampak dilaksanakan pada contoh komposit serat lidah mertua dengan perbandingan volume 30% serat dan 70% matriks, serta variasi panjang serat yang terdiri dari 30 mm, 50 mm, dan 70 mm. Di samping itu, dilakukan juga pengujian pada contoh spakbor sepeda motor sebagai bahan pembanding. Hasil energi dampak yang diperoleh lalu ditampilkan dalam bentuk grafik di Gambar 4.



Gambar 4. Grafik energi impak komposit serat lidah mertua.

Gambar 4 mengilustrasikan bahwa komposit dengan panjang serat 30 mm menunjukkan energi impak tertinggi, mencapai 4,22 Joule. Sementara variasi pada 50 mm dan 70 mm hanya mendapatkan 2,84 Joule dan 1,53 Joule masing-masing. Material dari spakbor memiliki nilai yang jauh lebih kecil, yaitu 0,16 Joule.

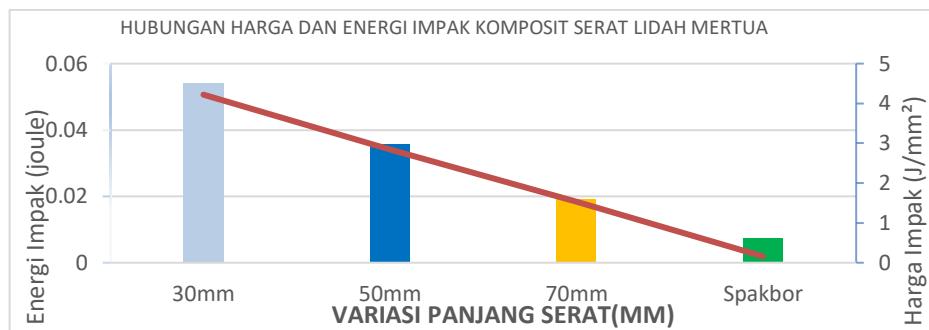
Informasi ini menunjukkan bahwa panjang serat memiliki dampak yang signifikan terhadap kemampuan material dalam menyerap energi kejut. Peningkatan energi impak mengindikasikan bahwa material mampu menahan benturan lebih baik sebelum mengalami kerusakan. Hasil ini konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Yuliyanto & Masdani pada komposit *polyester*-serat gaharu serta temuan Surya & Gusnawan pada komposit ampas tebu, yang keduanya menunjukkan bahwa nilai impak meningkat seiring bertambahnya panjang serat [10], [11]. Dengan demikian, komposit serat lidah mertua dengan panjang 30 mm



menunjukkan performa terbaik dibandingkan variasi lainnya dan juga material spakbor.

Gambar 5. Grafik harga impak komposit serat lidah mertua

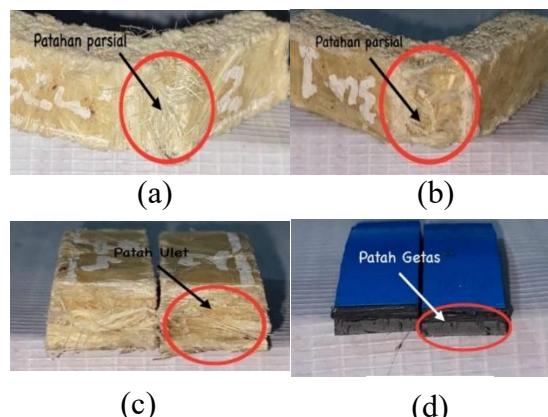
Nilai harga impak dihitung berdasarkan area penampang dari spesimen, dan hasilnya dapat ditemukan pada Gambar 5. Komposit yang menggunakan serat sepanjang 30 mm menunjukkan harga impak tertinggi di angka 0,0531 J/mm², lebih tinggi jika dibandingkan dengan varian serat 50 mm yang menghasilkan 0,0356 J/mm² dan 70 mm yang hanya 0,0190 J/mm². Material spakbor mencatat nilai terendah dengan 0,0073 J/mm². Data ini mengindikasikan bahwa semakin besar harga impak yang dimiliki, semakin besar ketahanan material tersebut [12], [13]. Oleh karena itu, komposit yang berbahan dasar serat lidah mertua—terutama dengan panjang serat 30 mm—menunjukkan ketahanan yang lebih unggul dibandingkan dengan material spakbor untuk sepeda motor.



Gambar 6. Grafik hubungan hasil pengujian antara energi impak dan harga impak komposit serat lidah metua

Hubungan antara energi impak dan harga impak yang ditunjukkan pada Gambar 6 memperlihatkan keselarasan, di mana kenaikan energi impak disertai dengan kenaikan harga impak. Komposit dengan panjang serat 30 mm menghasilkan nilai tertinggi, diikuti oleh 50 mm dan 70 mm, sementara material spakbor mencatatkan nilai terendah. Penurunan performa pada serat yang lebih panjang diakibatkan oleh penggumpalan, distribusi yang tidak merata, dan kehadiran *void*, yang mengakibatkan penurunan efektivitas penyaluran tegangan. Fenomena penggumpalan dan *void* internal sesuai dengan hasil penelitian Leiwakabessy & Sarwuna yang mencatat adanya cacat pada antarmuka pada fraksi volume tinggi [14]. Sementara itu, Asrian dan rekan-rekan menunjukkan bahwa cacat tersebut dapat diminimalkan melalui teknik manufaktur seperti *vacuum bagging* [15]. Hastuti dan tim menekankan bahwa perlakuan alkali (NaOH) dapat meningkatkan adhesi antara serat dan matriks sekaligus mengurangi keberadaan *void* [10]. Untuk panjang serat 30 mm, distribusi serat lebih merata dan ikatan antara serat dan matriks menjadi lebih optimal, sehingga menambah kemampuan material dalam menyerap energi benturan. Secara keseluruhan, variasi dengan panjang serat 30 mm menunjukkan ketahanan yang terbaik.

b. Bentuk Struktur Makro Patahan Uji Impak Spesimen Komposit Serat Lidah Mertua



Gambar 7. (a) Patahan parsial pada komposit dengan variasi panjang serat 30mm (b) Patahan parsial pada komposit dengan variasi panjang serat 50mm (c) Patahan ulet pada komposit dengan variasi panjang 70mm (d) Patahan getas pada spakbor sepeda motor

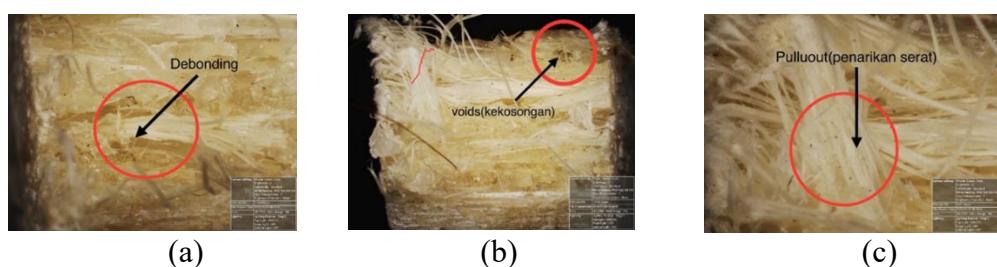
Hasil dari analisa mikroskopik pada permukaan patahan komposit serat lidah mertua dan bahan spakbor (Gambar 7) menunjukkan adanya perbedaan dalam karakteristik pola patahan yang berhubungan dengan nilai energi dan harga impak yang dihasilkan. Pada Gambar 7 (a) dan (b), terlihat adanya patahan parsial, yang merupakan kondisi di mana energi impak yang diterima belum memadai untuk mengakibatkan kerusakan total pada material komposit [16]. Patahan tersebut masih mempertahankan sebagian besar integritas strukturnya dan ditandai dengan munculnya retakan yang tidak merata, pengelupasan antar lapisan, serta fenomena *fiber pull-out* di beberapa tempat. Permukaan patahan yang tidak rata ini mengindikasikan bahwa material masih memiliki kemampuan untuk menyerap sebagian energi benturan.

Di Gambar 7(c), terdeteksi adanya patahan ulet, yang ditandai dengan permukaan patahan yang kasar dan adanya deformasi plastis yang signifikan [17]. Ini menunjukkan bahwa material memiliki kapasitas untuk menyerap energi besar sebelum mengalami kegagalan, yang mencerminkan ikatan yang baik antara serat dan matriks serta ketangguhan yang lebih tinggi, terutama pada panjang serat 30 mm.

Sebaliknya, bahan spakbor yang ditampilkan pada Gambar 7(d) menunjukkan patahan getas yang terjadi dengan cepat dan ditandai oleh permukaan patahan yang

cenderung rata dan tegak lurus terhadap arah beban. Karakteristik ini menunjukkan kemampuan penyerapan energi yang rendah dan kegagalan yang lebih berisiko. Dengan demikian, komposit serat lidah mertua terbukti menunjukkan pola patahan yang lebih ulet dan tangguh jika dibandingkan dengan material spakbor, menjadikannya sebagai kandidat material alternatif yang lebih baik dalam menahan beban kejut [18].

c. Struktur Mikro Spesimen Uji Impak Komposit Serat Lidah Mertua



Gambar 8. (a) *debonding* pada komposit serat lidah mertua, (b) terdapat *void* pada komposit serat lidah mertua dan (c) terdapat *pullout* pada komposit serat lidah mertua

Hasil studi mikrostruktur di sepanjang pemotongan patahan komposit yang terbuat dari serat lidah mertua mengungkapkan berbagai cacat internal yang berdampak pada sifat mekaniknya, yaitu fenomena *debonding*, penarikan serat, dan rongga. Pada Gambar 8(a), terlihat proses *debonding*, di mana terjadi pemisahan antara serat penguat dan matriks, yang menyebabkan transfer tegangan dari matriks ke serat tidak berjalan dengan baik. Umumnya, masalah ini timbul karena distribusi serat yang tidak merata serta aspek-aspek dalam proses pembuatan yang tidak ideal, seperti pencampuran resin yang tidak merata, suhu curing yang tidak mencukupi, dan tekanan saat pengepresan yang terlalu rendah [19].

Pada Gambar 8(b), tampak pula fenomena penarikan serat atau *fiber pull-out*, di mana serat terlepas dari matriks akibat perikatan antarmuka yang lemah. Keberadaan rongga dan partikel non-ideal semakin memperburuk keadaan dengan menimbulkan ketidakteraturan, yang pada gilirannya mengurangi efisiensi dalam transfer beban serta karakteristik mekanik komposit itu sendiri.

Gambar 8(c) menunjukkan kehadiran rongga atau *voids* yang muncul karena proses pencampuran, penghilangan gas, atau pelapisan yang tidak optimal. *Voids* ini mengurangi luas penampang yang efektif, meningkatkan konsentrasi tegangan,

dan memfasilitasi timbulnya retakan ketika komposit menghadapi beban dampak [20]. Meskipun komposit yang memiliki panjang serat 30 mm menunjukkan ketahanan tertinggi, cacat internal tetap terdeteksi meskipun dalam jumlah yang kecil. Oleh sebab itu, optimasi dalam proses pembuatan diperlukan, seperti meningkatkan homogenitas resin, menerapkan teknik *vacuum bagging*, serta mengontrol tekanan dan suhu curing untuk memperbaiki kualitas serta performa mekanik dari komposit tersebut.

d. Pembahasan Umum Mekanisme Kerusakan dan Hubungannya terhadap Ketangguhan Impak

Hasil pengujian impak dan analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa panjang serat secara signifikan memengaruhi mekanisme penyerapan energi dan pola kegagalan komposit serat salak. Serat dengan panjang 30 mm menghasilkan energi impak dan nilai impak tertinggi, disertai dengan pola patah yang lebih duktial dan distribusi serat yang lebih homogen. Kondisi ini memungkinkan perambatan retak yang lebih lambat, deformasi plastis lokal, dan transfer tegangan yang lebih efektif dari matriks ke serat [21]. Sebaliknya, pada panjang serat 50 mm dan 70 mm, sifat impak menurun secara signifikan karena pembentukan aglomerasi serat, rongga, dan ikatan antarmuka serat-matriks yang kurang optimal. Serat yang lebih panjang lebih sulit untuk diimpregnasi sepenuhnya, membentuk diskontinuitas yang berfungsi sebagai konsentrator tegangan dan mempercepat inisiasi retak di bawah beban kejut [22][23].

Pengamatan mikrostruktur menunjukkan pelepasan ikatan dan penarikan serat, yang menunjukkan adhesi antarmuka yang lemah dan kurangnya efektivitas serat sebagai penguat. Meskipun penarikan serat dapat menyerap sebagian energi, mekanisme ini tidak seefektif fraktur serat dalam meningkatkan ketangguhan material secara keseluruhan [24]. Selain itu, keberadaan rongga mengurangi luas penampang efektif dan mempercepat perambatan retak, sehingga memperburuk kinerja mekanis [25]. Dibandingkan dengan spakbor yang menunjukkan fraktur getas dan energi impak rendah, komposit serat tanaman ular (terutama 30 mm) menunjukkan ketangguhan yang lebih baik. Dengan demikian, panjang serat

optimum 30 mm memberikan keseimbangan terbaik antara distribusi serat, ikatan antarmuka, dan minimalisasi cacat internal, sehingga berpotensi untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap beban kejut, seperti komponen otomotif.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian impak dan analisis mikrostruktur pada komposit yang diperkuat dengan serat lidah mertua (*Sansevieria cylindrica*) dengan proporsi 30% serat dan 70% matriks, ditemukan bahwa panjang serat memiliki dampak yang signifikan terhadap ketangguhan komposit. Komposit yang menggunakan serat sepanjang 30 mm memberikan nilai energi impak tertinggi yaitu 4,22 Joule, serta harga impak sebesar 0,0531 J/mm². Di sisi lain, ketika panjang serat ditingkatkan menjadi 50 mm dan 70 mm, ketangguhan justru menurun, dengan masing-masing energi impak sebesar 2,84 Joule dan 1,53 Joule, serta harga impak 0,0356 J/mm² dan 0,0190 J/mm², yang mengindikasikan adanya panjang serat yang optimal. Pengamatan terhadap mikrostruktur menunjukkan bahwa serat sepanjang 30 mm memiliki distribusi yang lebih seimbang dan ikatan serat-matriks yang lebih baik, sementara pada serat yang lebih panjang ditemukan lebih banyak kerusakan seperti debonding, penarikan serat, dan *voids*. Material spakbor yang menjadi perbandingan menunjukkan sifat patah yang rapuh dengan ketangguhan yang jauh lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa komposit serat lidah mertua memiliki potensi sebagai alternatif material spakbor yang lebih tahan lama dan ramah lingkungan.

b. Saran

Penelitian selanjutnya dianjurkan untuk memperdalam variasi fraksi volume serat serta mengeksplorasi penggunaan jenis matriks yang berbeda untuk mencapai sifat mekanik yang lebih baik. Penggunaan teknik manufaktur seperti *vacuum bagging* atau *vacuum infusion* seharusnya dipikirkan untuk meminimalkan *void* dan meningkatkan kualitas hubungan serat-matriks. Selain pengujian impak, penting juga untuk melakukan pengujian mekanik lainnya seperti uji tarik, lentur, dan pengukuran kekerasan agar karakterisasi yang didapat lebih menyeluruh. Penilaian

terhadap ketahanan lingkungan juga harus dilaksanakan untuk memahami kinerja dalam jangka panjang. Dalam konteks aplikasi spakbor sepeda motor, analisis desain dan optimasi ketebalan material perlu diselidiki lebih jauh agar dapat memenuhi aspek kekuatan, keselamatan, dan penampilan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nurdin *et al.*, “Pengaruh Alkali dan Fraksi Volume terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Akar Wangi – Epoxy,” vol. 21, no. 1, pp. 30–35, 2019.
- [2] P. B. Sinosa, “Pengaruh Perpaduan Komposit Serat Bambu, Serabut Kelapa, dan Serat Fiber Glass Pada Point Panjet Dinding Terhadap Kekuatan Impact,” Ponorogo, 2021.
- [3] M. H. Fansuri, “Analisis Uji Tarik Komposit Sandwich yang Digabungkan Dengan 3D Printing,” Yogyakarta, 2019.
- [4] Z. Millennio, F. Paundra, H. T. Yudistira, and E. P. I. Prabowo, “Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Serat Rumput Teki,” *J. Appl. Mech. Technol.*, vol. 1, no. 5, pp. 10–15, 2022.
- [5] P. A. Rohmawati, Yushardi, and A. A. Gani, “Karakterisasi Sifat Mekanik Bahan Komposit Ramah Lingkungan Hasil Sintesis Dari Serat Lidah Mertua (*Sansevieria Trifasciata*) dan Selulosa Bakteri,” *J. Pembelajaran Fis.*, vol. 6, no. 4, pp. 364–370, 2017.
- [6] R. K. Wardhana, H. H. D. Kharisma, A. Mardiah, and E. Siswoyo, “Sintesis Biosemikonduktor Menggunakan Serat Nata De Cassava Dari Limbah Cair Tapioka,” *J. Sains dan Teknol. Lingkung.*, vol. 11, no. 2, 2019.
- [7] K. Sari, “Fabrikasi Dan Karakterisasi Sifat Mekanik Serat Daun Lidah Mertua Dengan Matrik Epoksi Resin Sebagai Fiberglass,” in *Seminar Nasional Fisika*, 2012, pp. 58–61.
- [8] P. A. Rohmawati, “Karakterisasi sifat mekanik bahan komposit ramah lingkungan hasil sintesis dari serat lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) dan selulosa bakteri,” Jember, Indonesia, 2017. [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/82375>
- [9] A. E. P. Winarko, “Analisis Lentur Pada Komposit Serat Rumput Payung (*Cyperus Alternifolius*) Matriks Epoxy Di Bawah Kondisi,” Universitas Katolik Widya Karya Malang, 2024.
- [10] S. Hastuti, H. S. Budiono, D. I. Ivadiyanto, and M. N. Nahar, “Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Serat Alam Limbah Sabut Kelapa (Cocofiber) yang Biodegradable,” *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 6, no. 1, pp. 30–37, 2021.

- [11] Yuliyanto and Masdani, "Analisis Pengaruh Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Impak dan Model Patahan Komposit Polyester Berpenguat Serat Gaharu," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 15–20, 2018.
- [12] A. E. Purkuncoro, "ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN NaOH 5 % PADA SERAT PELEPAH PISANG DENGAN FRAKSI VOLUME 40 %, 50 % DAN 60 % TERHADAP KEKUATAN MEKANIS," *J. Tek. Mesin UNISKA*, vol. 03, no. 02, pp. 46–57, 2018.
- [13] N. Atiqoh, D. Wulandari, D. Ryandadari, A. Nataria, and F. Ganda, "Pengaruh Variasi Arah Serat Bambu terhadap Kekuatan Impak Komposit sebagai Material Bumper Mobil," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 08, no. 02, pp. 114–119, 2023.
- [14] A. Y. Leiwakabessy and S. J. E. Sarwuna, "Kaji Sifat Mekanis Komposit Polyester Berpenguat Serat Alam Dengan Variasi Fraksi Volume," in *Seminar Nasional ARCHIPELAGO ENGINEERING*, 2023, vol. 3995, pp. 9–14.
- [15] A. Asrian, P. Nawangsari, W. Fatra, and D. Masnur, "Kekuatan Lentur dan Kekuatan Impak Komposit Matrik Epoxy Berpenguat Serat Sisal (Agave Sisalana) Menggunakan Metode Vacuum Bagging," vol. 12, no. 1, pp. 31–36, 2025.
- [16] P. H. Tjahjanti, *Pengetahuan Bahan Teknik*. Sidoarjo: UMSIDA PRESS, 2019.
- [17] A. Nurhafid, S. Jokosisworo, and U. Budiarto, "Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan Friction Stir Welding," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, pp. 473–481, 2017.
- [18] K. Ravikumar, K. Kiran, and V. S. Sreebalaji, "Characterization of Mechanical Properties Of Aluminium / Tungsten Carbide Composites," *Measurement*, vol. 102, pp. 142–149, 2017, doi: 10.1016/j.measurement.2017.01.045.
- [19] T. P. Soemardi, W. Kusumaningsih, and A. P. Irawan, "Karakteristik Mekanik Komposit Lamina Serat Rami Epoksi Sebagai Bahan Alternatif Soket Prostesis," *Makara Journnal of Terchnology*, vol. 13, no. 2, pp. 96–101, 2009.
- [20] S. A. Rahmawaty, A. W. Y. P. Parmita, and A. D. Laksono, "Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Komposit Fiberglas-Polyester Berpenguat Serat Gelas dengan Variasi Fraksi Volume Serat," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 3, pp. 146–155, 2021.
- [21] J. B. Sajin, P. Babu Aurtherson, J. S. Binoj, N. Manikandan, M. S. Senthil Saravanan, and T. M. Haarison, "Influence of fiber length on mechanical properties and microstructural analysis of jute fiber reinforced polymer composites," *Mater. Today Proc.*, vol. 39, pp. 398–402, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.623>.

- [22] A. M. Seid and S. A. Adimass, "Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites," *Heliyon*, vol. 10, no. 20, p. e39116, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e39116.
- [23] A. Gani, M. Ibrahim, F. Ulmi, and A. Farhan, "Results in Materials The influence of different fiber sizes on the flexural strength of natural fiber-reinforced polymer composites," *Results Mater.*, vol. 21, no. 7, p. 100534, 2024, doi: 10.1016/j.rinma.2024.100534.
- [24] K. R. Sumesh, "Influence of natural fiber addition and fiber length in determining the wear resistance of epoxy-based composites," no. October 2023, pp. 3029–3042, 2024, doi: 10.1002/pc.27968.
- [25] D. G. Seong, C. Kang, S. Y. Pak, C. H. Kim, and Y. S. Song, "Influence of fiber length and its distribution in three phase poly (propylene) composites," *Compos. Part B Eng.*, vol. 168, pp. 218–225, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.086>.