

ANALISIS KEKUATAN IMPAK KOMPOSIT SERAT SISAL DENGAN VARIASI WAKTU PERENDAMAN DAN FRAKSI VOLUME SERAT

Fina Andika Frida Astuti¹, Arif Rochman Fachrudin^{2*}, Faradilla Fauziyah
Risnawati³, Septyana Riskitasari⁴, Umi Anis Ro'isatin⁵, Muh Syamsul Arifin⁶
^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang
Corresponding author*: arifrochman.f@polinema.ac.id

ABSTRACT

Natural fiber-reinforced composites have emerged as promising alternative materials due to their low density, environmental friendliness, and favorable mechanical properties. Sisal fiber (Agave sisalana) is one of the most widely used natural fibers as a composite reinforcement because of its excellent mechanical performance. However, its hydrophilic nature results in poor interfacial bonding with polymer matrices, which adversely affects the mechanical performance of the composite. Alkali treatment using a 5% sodium hydroxide (NaOH) solution can improve the fiber surface characteristics, while the fiber volume fraction plays a significant role in determining load transfer efficiency and the composite's ability to absorb impact energy. This study aims to investigate the effects of sisal fiber soaking time in a 5% NaOH solution (120, 180, and 240 minutes) and fiber volume fractions of 35%, 50%, and 65% on the impact strength of polyester-based composites. The composites were fabricated using the hand lay-up method with a vertical fiber orientation. The results showed that the highest impact strength of 0.22409 J/mm² was obtained for the composite treated with a 240-minute soaking time and a 35% sisal fiber volume fraction with 65% polyester matrix. This improvement in impact strength indicates that the selected combination of immersion time and fiber volume fraction enhanced the interfacial bonding between the fiber and the matrix, thereby improving load transfer efficiency and impact energy absorption.

Keywords: sisal fiber, alkali treatment, fiber volume fraction, impact strength

ABSTRAK

Komposit berpenguat serat alam menjadi salah satu alternatif material yang banyak dikembangkan karena memiliki densitas rendah, ramah lingkungan, serta sifat mekanik yang baik. Serat sisal (*Agave sisalana*) merupakan salah satu serat alam yang berpotensi digunakan sebagai material penguat komposit, namun sifat hidrofiliknya menyebabkan ikatan antarmuka dengan matriks polimer kurang optimal sehingga memengaruhi performa mekanik komposit. Perlakuan alkali menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) dapat meningkatkan kualitas permukaan serat, sedangkan fraksi volume serat berperan dalam menentukan efektivitas transfer beban dan kemampuan komposit dalam menyerap energi tumbukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu

perendaman serat sisal dalam larutan NaOH 5% selama 120, 180, dan 240 menit serta variasi fraksi volume serat sebesar 35%, 50%, dan 65% terhadap kekuatan impak komposit berbasis resin poliester. Komposit dibuat menggunakan metode hand lay-up dengan orientasi serat vertikal. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekuatan impak tertinggi sebesar 0,22409 J/mm² diperoleh pada komposit dengan waktu perendaman 240 menit serta fraksi volume serat sisal 35% dan 65% matriks. Peningkatan kekuatan impak tersebut menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut mampu menghasilkan ikatan antarmuka serat dan matriks yang lebih baik sehingga proses transfer beban dan penyerapan energi tumbukan menjadi lebih efektif.

Kata Kunci: serat sisal, perlakuan alkali, fraksi volume serat, kekuatan impak

A. Pendahuluan

Serat alam telah menjadi alternatif yang menjanjikan sebagai bahan penguat komposit karena memiliki densitas rendah, biaya produksi yang relatif murah, bersifat terbarukan, ramah lingkungan, serta memiliki kekuatan yang tinggi (Vigneshwaran et al., 2020). Di antara berbagai jenis serat alam, serat sisal (*Agave sisalana*) banyak digunakan sebagai material penguat komposit karena mempunyai kekuatan tarik yang baik, modulus elastisitas yang tinggi, serta ketersediaannya yang melimpah (Senthilkumar et al., 2018).

Komposit yang diperkuat serat sisal menarik banyak perhatian di sektor transportasi, barang olahraga, pengemasan, arsitektur, kelautan, penerbangan, dan kereta api karena keseimbangan yang sangat baik

antara kinerja mekanik dan keberlanjutan lingkungan (Islam et al., 2026). Selain kekuatan tarik dan lentur, ketahanan impak merupakan salah satu parameter mekanik yang sangat penting karena menunjukkan kemampuan material dalam menyerap energi akibat beban kejut atau tumbukan tanpa mengalami kegagalan secara tiba-tiba (Muneer Ahmed et al., 2021).

Namun, serat sisal memiliki sifat hidrofilik akibat kandungan hemiselulosa, lignin, pektin, dan lilin pada permukaannya sehingga menyebabkan daya ikat (*interfacial bonding*) dengan matriks polimer menjadi kurang optimal. Kondisi tersebut dapat menurunkan kemampuan transfer beban dari matriks ke serat sehingga sifat mekanik termasuk kekuatan impak

komposit belum mencapai performa yang maksimal (Islam et al., 2026).

Metode yang banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas permukaan serat sisal adalah perlakuan alkali menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Perlakuan alkali mampu menghilangkan sebagian hemiselulosa, lignin, pektin, minyak, dan lapisan lilin yang menutupi permukaan serat sisal. Penggunaan konsentrasi NaOH harus sesuai. Konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi atau perlakuan yang terlalu lama dapat menyebabkan penurunan struktur selulosa sehingga menurunkan sifat mekanik serat dan komposit (Amsalu Fode et al., 2024).

Parameter selain konsentrasi larutan alkali adalah waktu perendaman serat. Waktu perendaman juga menentukan efektivitas modifikasi permukaan serat. Waktu perendaman yang terlalu singkat belum mampu menghilangkan pengotor dan komponen non-selulosa secara optimal sehingga ikatan antarmuka serat dan matriks masih rendah. Sebaliknya, waktu perendaman yang terlalu lama dapat menyebabkan kerusakan fibril selulosa sehingga menurunkan kekuatan serat (Castoldi et al., 2022).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan larutan NaOH 5% menghasilkan sifat antarmuka dan kekuatan mekanik komposit yang lebih baik dibandingkan tanpa perlakuan (Bekele et al., 2022). Perendaman serat dengan larutan NaOH 5% juga meningkatkan kekuatan impak komposit (Fachrudin et al., 2025).

Faktor lain yang mempengaruhi kekuatan komposit adalah fraksi volume serat. Peningkatan fraksi volume serat akan meningkatkan kekuatan tarik, kekakuan, serta modulus elastisitas karena jumlah material penguat semakin besar (Pickering et al., 2016). Akan tetapi, apabila fraksi volume terlalu tinggi, jumlah matriks menjadi tidak mencukupi untuk membasahi seluruh permukaan serat sehingga dapat menyebabkan terbentuknya rongga (*void*), serta penurunan kualitas ikatan antarmuka. Kondisi tersebut akhirnya menyebabkan penurunan sifat mekanik komposit meskipun jumlah serat yang digunakan lebih banyak. Oleh karena itu, diperlukan penentuan fraksi volume optimum agar diperoleh keseimbangan antara jumlah serat sebagai penguat dan matriks sebagai media transfer beban.

Berdasarkan uraian tersebut, perlakuan NaOH 5%, waktu perendaman serat, dan fraksi volume serat merupakan parameter yang saling berkaitan dalam menentukan kualitas komposit berbasis serat sisal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu perendaman serat sisal dalam larutan NaOH 5% serta variasi fraksi volume serat terhadap kekuatan impak komposit serat sisal.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental untuk mengetahui kekuatan impak komposit serat sisal. Metode pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *hand lay-up*.



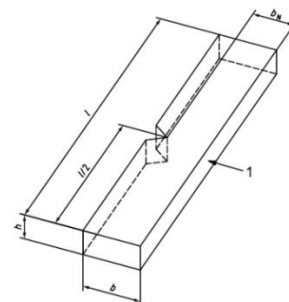
Gambar 1 Serat Sisal

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan komposit mencakup larutan NaOH, *aquades*, *mirror glaze*, resin *polyester* dan

katalis, serta serat sisal. Serat sisal ditunjukkan pada Gambar 1.

Serat sisal direndam kedalam larutan NaOH 5% sesuai variasi dalam penelitian ini yaitu 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Serat yang sudah direndam dibilas menggunakan larutan aquadest kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari sampai serat kering.

Sebelum proses pencetakan spesimen, terlebih dahulu dihitung nilai fraksi volume serat yang digunakan, yaitu sebesar 35%, 50%, dan 65%. Perhitungan fraksi volume ini bertujuan untuk memastikan komposisi serat dan matriks sesuai dengan variasi spesimen yang direncanakan. Tahap selanjutnya serat disusun dengan orientasi vertikal kedalam cetakan agar distribusi dan arah penguatan serat pada komposit dapat terkontrol secara konsisten.



Gambar 2 Standar ISO 179-1

Setelah serat dan matriks dimasukkan ke dalam cetakan,

cetakan ditutup untuk meratakan permukaan serat. Komposit yang sudah jadi kemudian dipotong sesuai standar ISO 179-1 untuk pengujian impak dengan metode Charpy. Standar ISO 179-1 ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengujian impak dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan impak komposit. Kekuatan impak komposit serat sisal dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$E_0 = m \cdot g \cdot h_0 \quad (1)$$

$$E_1 = m \cdot g \cdot h_1 \quad (2)$$

$$h_0 = L - (L \cdot \cos \alpha) \quad (3)$$

$$h_1 = L - (L \cdot \cos \beta) \quad (4)$$

$$E_{serap} = E_0 - E_1 \quad (5)$$

$$Kekuatan_{impak} = \frac{E_{serap}}{Luas\ penampang} \quad (6)$$

$$Luas\ penampang = \text{tinggi section} \cdot \text{tebal sampel} \quad (7)$$

Dimana:

E_0 : energi awal (joule)

E_1 : energi akhir (joule)

m : massa pendulum (kg)

h_0 : ketinggian pendulum sebelum dilepas (m)

h_1 : ketinggian pendulum setelah dilepas (m)

L : panjang lengan pendulum (m)

E_{serap} : energi serap (joule)

$Kekuatan_{impak}$: kekuatan impak (joule/mm²)

α : Sudut awal pendulum (°)

β : Sudut akhir pendulum (°)

C.Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil pengujian impak spesimen komposit dengan arah waktu perendaman serat 120 menit (a), 180 menit (b), dan 240 menit (c) dengan variasi fraksi volume serat ditunjukkan pada Tabel 1.

Data menunjukkan kekuatan impak dari komposit serat sisal mengalami variasi signifikan yang dipengaruhi oleh waktu perendaman serta fraksi volume serat yang digunakan. Hasil ini menegaskan bahwa waktu perendaman dan proporsi volume serat menentukan performa mekanik komposit, khususnya dalam hal ketahanan terhadap benturan.

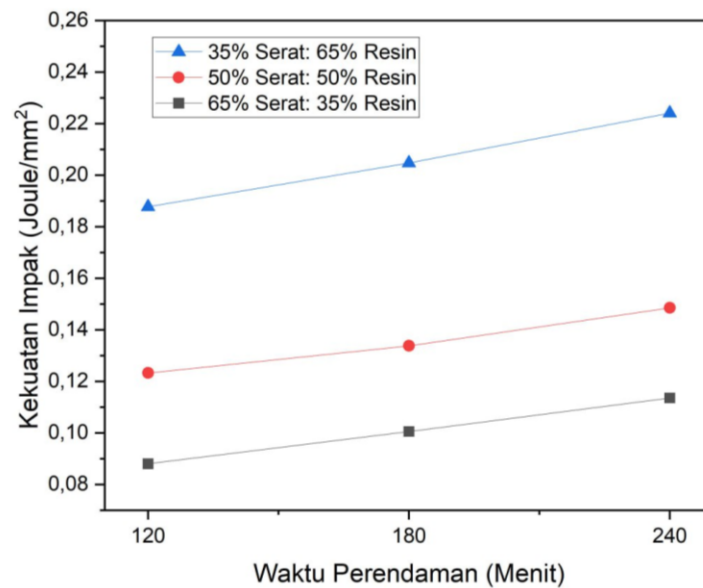
Hubungan Antara Waktu Perendaman Serat Terhadap Kekuatan Impak

Waktu perendaman serat adalah salah satu parameter yang berpengaruh pada kualitas ikatan serat dan matriks. Proses perendaman serat memiliki tujuan memodifikasi permukaan serat sehingga dapat meningkatkan kompatibilitas dengan matriks. Hal ini mampu meningkatkan performa

mekanik komposit khususnya
 kekuatan impak.

Tabel 1 Hasil rata-rata kekuatan impak komposit serat sisal

Waktu Perendaman Serat	Fraksi volume Serat	Fraksi volume Matriks	Rata-Rata Kekuatan Impak (j/mm ²)
120 menit	35%	65%	0.08799
	50%	50%	0,12325
	65%	35%	0.18769
180 menit	35%	65%	0.10052
	50%	50%	0,13376
	65%	35%	0.20468
240 menit	35%	65%	0.11357
	50%	50%	0,14850
	65%	35%	0.22409



Gambar 3 Waktu perendaman serat terhadap kekuatan impak

Grafik pengaruh waktu perendaman serat terhadap kekuatan impak ditampilkan pada Gambar 3.

Variasi waktu perendaman 120 menit memiliki kekuatan impak sebesar 0.08799 J/mm², 0,12325 J/mm², dan

0.18769 J/mm², selanjutnya variasi waktu perendaman 180 menit memiliki kekuatan impak sebesar 0.10052 J/mm², 0,13376 J/mm², dan 0.20468 J/mm². Variasi waktu perendaman 240 menit dengan nilai kekuatan impak sebesar 0.11357 J/mm², 0,14850 J/mm², dan 0.22409 J/mm²

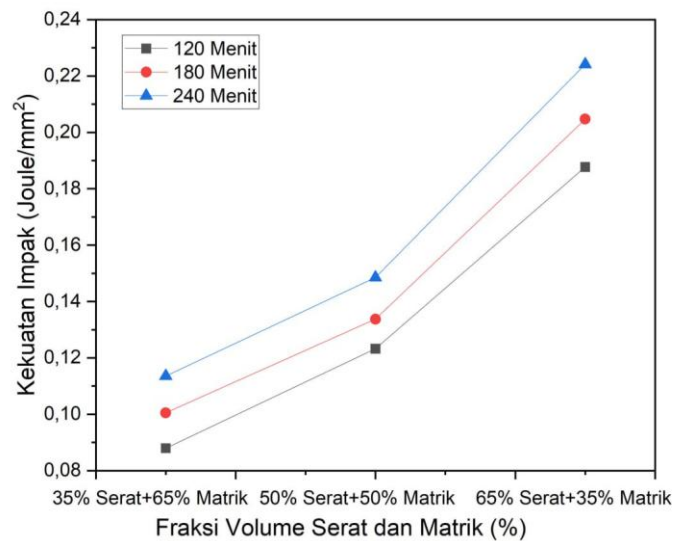
Dari hasil pengujian waktu perendaman serat sisal dengan larutan NaOH 5% dari waktu 120 menit sampai 240 menit menunjukan peningkatan nilai kekuatan impak komposit serat sisal. Peningkatan kekuatan impak tersebut menunjukan bahwa perlakuan alkali yang lebih lama dapat memperbaiki kualitas antarmuka (*interfacial bonding*) antara serat sisal dan matriks poliester. Terlihat dengan nilai kekuatan impak tertinggi sebesar 0,22409 J/mm² pada spesimen dengan waktu perendaman 240 menit dan fraksi volume serat 35%.

Selama proses perendaman, larutan NaOH dapat menghilangkan sebagian hemiselulosa, lignin, pektin, serta lapisan lilin yang menutupi permukaan serat sisal, sehingga permukaan serat menjadi lebih kasar dan memiliki luas kontak yang lebih besar dengan matriks.

Selain itu, waktu perendaman yang lebih lama memungkinkan proses modifikasi permukaan serat berlangsung lebih optimal tanpa menyebabkan degradasi struktur selulosa. Hasil ini menunjukkan bahwa waktu perendaman hingga 240 menit pada konsentrasi NaOH 5% masih berada pada kondisi optimum sehingga mampu meningkatkan kualitas ikatan antarmuka dan menghasilkan nilai kekuatan impak yang lebih tinggi dibandingkan waktu perendaman 120 dan 180 menit.

Hubungan Antara Fraksi Volume Serat dan Matrik Terhadap Kekuatan Impak

Fraksi volume 35% serat sisal dan 65% matrik memiliki kekuatan impak 0.08799 J/mm², 0.10052 J/mm², dan 0.11357 J/mm². Variasi fraksi volume serat 50% dan 50% matrik memiliki kekuatan impak sebesar 0,12325 J/mm², 0,13376 J/mm², dan 0,14850 J/mm². Variasi fraksi volume serat sisal 65% dan 35% matrik menghasilkan nilai kekuatan impak sebesar 0.18769 J/mm², 0.20468 J/mm², dan 0.22409 J/mm². Grafik hubungan fraksi volume serat sisal dan matrik terhadap kekuatan impak komposit ditunjukan pada Gambar 4.



Gambar 4 Fraksi volume serat dan matrik terhadap kekuatan impact

Hasil pengujian kekuatan impact komposit serat sisal menunjukkan variasi fraksi volume serat sisal dan matriks berpengaruh terhadap nilai kekuatan impact komposit. Nilai kekuatan impact komposit terendah diperoleh pada komposit dengan fraksi volume 35% serat sisal dan 65% matriks, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada fraksi volume 65% serat sisal dan 35% matriks. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serat dalam rentang penelitian mampu meningkatkan kemampuan komposit dalam menyerap energi tumbukan (Thomason & Rudeiros-Fernández, 2018).

Peningkatan kekuatan impact komposit terjadi karena bertambahnya

jumlah serat yang berfungsi sebagai material penguat sehingga semakin besar energi yang dapat diserap selama pembebanan impact. Ketika komposit menerima beban tumbukan, serat sisal berperan sebagai elemen utama yang menahan propagasi retak dan mendistribusikan tegangan ke seluruh struktur komposit. Semakin tinggi fraksi volume serat, semakin banyak serat yang berkontribusi dalam mekanisme penyerapan energi melalui deformasi serat.

Fraksi volume 65% serat sisal dan 35% matriks masih mampu menghasilkan pembasahan serat yang baik selama proses manufaktur, sehingga peningkatan jumlah serat memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kekuatan

impak. Peningkatan jumlah serat sisal mampu meningkatkan kemampuan komposit dalam menahan pembebanan selama distribusi matriks tetap berlangsung secara efektif dan ikatan antarmuka antara serat dan matriks terjaga dengan baik (Seid & Adimass, 2024). Kombinasi serat dan matriks yang tercampur dengan baik menghasilkan komposit dengan kekuatan impact yang tinggi (Astuti et al., 2025). Serat sisal dengan perlakuan alkali, waktu perendaman dan fraksi volume serat yang tepat dapat menjadi alternatif yang memadai untuk penguat komposit.

D. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut:

- 1) Waktu perendaman serat berpengaruh terhadap kekuatan impact. Kekuatan impact terendah berada pada waktu perendaman 120 menit sebesar 0.08799 J/mm². Kekuatan impact tertinggi berada pada waktu perendaman 240 menit sebesar 0.22409 J/mm².

- 2) Fraksi volume serat dan matrik berpengaruh terhadap kekuatan impact komposit. Kekuatan impact terkecil adalah pada fraksi volume 35% serat sisal dan 65% matrik. Kekuatan impact tertinggi adalah pada fraksi volume 65% serat sisal dan 35% matrik

DAFTAR PUSTAKA

- Amsalu Fode, T., Chande Jande, Y. A., Kivevele, T., & Rahbar, N. (2024). A Review on Degradation Improvement of Sisal Fiber by Alkali and Pozzolana for Cement Composite Materials. *Journal of Natural Fibers*, 21(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2335327>
- Astuti, F. A. F., Fachrudin, A. R., & Martawati, M. E. (2025). Pengaruh Fraksi Volume dan Arah Serat Rami Terhadap kekuatan Impact Material Komposit Untuk Aplikasi Bumper. *Pendas : Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(4), 709–718.
- Bekele, A. E., Lemu, H. G., & Jiru, M. G. (2022). Experimental study of physical, chemical and mechanical properties of enset and sisal fibers. *Polymer Testing*, 106(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107453>
- Castoldi, R. de S., de Souza, L. M. S.,

- Souto, F., Liebscher, M., Mechtcherine, V., & de Andrade Silva, F. (2022). Effect of alkali treatment on physical–chemical properties of sisal fibers and adhesion towards cement-based matrices. *Construction and Building Materials*, 345(May). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128363>
- Fachrudin, A. R., Astuti, F. A., Dani, A., & Firdaus, A. H. (2025). Analisis Komposit Hybrid Serat Kelapa Dan Kulit Jagung Terhadap Kekuatan Impak Sebagai Material Bumper. *Pendas : Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(4), 276–286.
- Islam, S., Jalil, A., Kodric, M., Erakovic, Z., & Hasan, B. (2026). *A Systematic Review of Sisal Fiber-Reinforced Polymer Composites : Sustainable Innovations , Industrial Applications , and Future Prospects*. May, 1–54.
- Muneer Ahmed, M., Dhakal, H. N., Zhang, Z. Y., Barouni, A., & Zahari, R. (2021). Enhancement of impact toughness and damage behaviour of natural fibre reinforced composites and their hybrids through novel improvement techniques: A critical review. *Composite Structures*, 259(December 2020), 113496. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113496>
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- Seid, A. M., & Adimass, S. A. (2024). Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites. *Heliyon*, 10(20), e39116. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39116>
- Senthilkumar, K., Saba, N., Rajini, N., Chandrasekar, M., Jawaid, M., Siengchin, S., & Alotman, O. Y. (2018). Mechanical properties evaluation of sisal fibre reinforced polymer composites: A review. *Construction and Building Materials*, 174, 713–729. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.143>
- Thomason, J. L., & Rudeiros-Fernández, J. L. (2018). A review of the impact performance of natural fiber thermoplastic composites. *Frontiers in Materials*, 5(September), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmats.2018.00060>
- Vigneshwaran, S., Sundarakannan, R., John, K. M., Joel Johnson, R. D., Prasath, K. A., Ajith, S., Arumugaprabu, V., & Uthayakumar, M. (2020). Recent

advancement in the natural fiber
polymer composites: A
comprehensive review. *Journal of
Cleaner Production*, 277, 124109.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124109>