

Kekuatan Lentur dan Kekuatan Impak Komposit Matrik Epoxy Berpenguat Serat Sisal (*Agave Sisalana*) Menggunakan Metode Vacuum Bagging

Angga Asrian, Putri Nawangsari*, Warman Fatra, Dedy Masnur

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km. 12,5, Simpang Baru, Pekanbaru 28293
E-mail: putrinawangsari@lecturer.unri.ac.id*

Abstract

Agave Sisalana is widely grown in the Bukit Bulek area, West Sumatra Province. The Sisal leaf fiber is traditionally utilized by the Bukit Bulek community as a rope material. This indicates it has a great potential to be developed as a composite reinforcement material. This research aims to characterize the flexural and impact strength of Sisal leaf fiber as reinforcement in epoxy matrix composites by varying the fiber volume fractions, 30%, 35%, 40%, and 45% with a 0°/90° fiber orientation laminate. The 20 cm long of fibers and treated with 5% NaOH alkaline solution for 4 hours were employed. The composites were fabricated using the vacuum bagging method. Flexural and impact tests were conducted based on ASTM D-790 and ASTM D-6110 standards, respectively. The results show that the flexural strength increases from 45,20 to 49,67 MPa (maximum) as the fiber volume fraction increases from 30% to 35% fiber. Meanwhile, the impact strength increases as fiber volume fractions from 30% to 45% and reaches a maximum impact strength of 24.60 kJ/m².

Keywords: Sisal fiber, reinforced, flexural strength, impact strength, vacuum bagging

Abstrak

Agave Sisalana banyak tumbuh di daerah Bukit Bulek, Provinsi Sumatera Barat. Serat daun Sisal secara tradisional dimanfaatkan oleh masyarakat Bukit Bulek sebagai bahan tali. Hal ini mengindikasikan bahwa serat daun sisal memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai bahan penguat komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi kekuatan lentur dan dampak serat daun Sisal sebagai penguat pada komposit bermatriks epoxy dengan memvariasikan fraksi volume serat 30%, 35%, 40%, dan 45% dengan laminasi arah orientasi serat 0°/90°. Serat yang digunakan memiliki panjang 20 cm dan diperlakukan dengan larutan alkali NaOH 5% selama 4 jam. Komposit dibuat dengan menggunakan metode *vacuum bagging*. Uji lentur dan uji dampak dilakukan berdasarkan standar ASTM D-790 dan ASTM D-6110. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan lentur meningkat dari 45,20 menjadi 49,67 MPa (maksimum) seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat dari 30% menjadi 35%. Sementara itu, kekuatan dampak meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat dari 30% menjadi 45% dan mencapai kekuatan dampak maksimum sebesar 24,60 kJ/m².

Kata kunci: serat sisal, penguat, kekuatan lentur, kekuatan dampak, vacuum bagging

1. Pendahuluan

Sejak pertengahan abad ke-21, beberapa aplikasi industri memerlukan material yang ramah lingkungan. Peningkatan kesadaran terhadap isu lingkungan mendorong dilakukannya identifikasi material alternatif yang lebih berkelanjutan untuk dapat menggantikan serat sintetis pada komposit polimer Serat sintetis konvensional, seperti: aramid, karbon, nilon, dan kaca tidak dapat terurai secara alami dan memberikan pengaruh yang buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, serat alam berpotensi menggantikan serat sintetis pada komposit matriks polimer. Serat alam memiliki beberapa keunggulan antara lain: densitas rendah,

murah, ketersediaan melimpah, kuat, kaku, ramah lingkungan, tidak terkorosi, terbarukan, dan dapat terurai secara alami (*biodegradable*)[1]–[4]. Serat alam, seperti serat rami, kenaf, bambu, dan serat alam lainnya sudah dimanfaatkan sebagai penguat pada komposit berbasis matriks polimer.

Serat alam banyak ditemukan di Indonesia karena keanekaragaman hayati yang ditunjang dengan iklim tropis. Salah satu tanaman yang menghasilkan serat alam adalah tanaman *Agave Sisalana*. Tanaman ini banyak tumbuh di Kawasan Bukit Bulek, Provinsi Sumatera Barat dan dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan pengikat (tali). Serat sisal mempunyai potensi yang sangat baik untuk dikembangkan sebagai

penguat untuk komposit polymer. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa serat sisal mempunyai kekuatan tarik sekitar 60-885 MPa dan densitas $1,3 \text{ g/cm}^3$ [5] [6].

Penelitian pemanfaatan serat Sisal sebagai penguat komposit polimer sudah dilakukan untuk aplikasi papan komposit [7], panel mobil, sandaran kursi, dan bantalan rem [8]. Surata dkk (2016) [9] melakukan penelitian pengaruh fraksi volume serat sisal dengan orientasi serat acak terhadap kekuatan tarik dan kekuatan lentur pada komposit matriks *epoxy*. Variasi fraksi volume serat sisal 15%, 20%, dan 25%. Serat Sisal diberi perlakuan alkalisasi NaOH 5% selama 2 jam. Metode pembuatan komposit menggunakan metode *hand-layup*. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit meningkat dengan peningkatan fraksi volume serat Sisal. Kekuatan tarik dan kekuatan lentur tertinggi pada serat Sisal 25% vol dengan nilai masing-masing sebesar 19,77 MPa dan 88,48 MPa. Prasad dkk (2017) [10] melakukan penelitian memanfaatkan serat Sisal yang diberi perlakuan alkalisasi (NaOH 5%) dan tanpa perlakuan sebagai penguat pada komposit matriks *polyester*. Fraksi volume serat Sisal adalah 10%, 15%, 20%, dan 30%. Pembuatan komposit menggunakan metode *hot compression moulding*. Pengujian mekanis yang dilakukan adalah uji dampak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dampak meningkat dengan meningkatnya fraksi volume serat Sisal, baik untuk serat tanpa perlakuan alkalisasi maupun dengan perlakuan alkalisasi. Kekuatan dampak tertinggi sebesar 1,962 Nm diperoleh pada fraksi volume serat sisal sebesar 30% dengan perlakuan alkalisasi. Dress dkk (2021) [11] melakukan penelitian pengaruh orientasi arah serat Sisal sebagai penguat pada komposit matriks *polyester* terhadap kekuatan dampak. Serat sisal dianyam dengan arah orientasi $30^\circ/60^\circ$, $0^\circ/90^\circ$, $30^\circ/45^\circ$, dan $45^\circ/45^\circ$. Fraksi berat serat Sisal dan matriks *polyester* masing-masing sebesar 40% dan 60%. Komposit dibuat menggunakan metode *hand-layup*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dampak komposit *polyester* berpenguat serat sisal orientasi arah $0^\circ/90^\circ$ dan $45^\circ/45^\circ$ lebih baik dibandingkan arah orientasi serat $30^\circ/60^\circ$ dan $30^\circ/45^\circ$. Rata-rata kekuatan dampak tertinggi terjadi pada arah orientasi serat $45^\circ/45^\circ$ sebesar 342,67 J/m. Sinuhaji dkk (2022)[12] melakukan penelitian pengaruh arah orientasi serat Sisal sebagai penguat pada komposit matriks resin *epoxy* terhadap kekuatan tarik dan lentur. Komposisi serat Sisal terhadap matriks resin *epoxy* 10 % berat dan 90 % berat. Arah orientasi serat 0° , 30° , 45° , 60° , dan 90° . Hasilnya memperlihatkan bahwa kekuatan tarik dan

kekuatan lentur komposit menurun secara linear terhadap perubahan pertambahan besar arah orientasi serat. Kekuatan tarik dan lentur yang optimal terjadi pada arah orientasi serat 0° .

Berdasarkan kajian pustaka yang dijelaskan di atas, terlihat bahwa komposisi dan arah orientasi serat Sisal pada komposit memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik komposit. Metode pembuatan komposit berpenguat serat Sisal dengan menggunakan metode *vacuum bagging* masih terbatas dilakukan. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi fraksi volume serat Sisal yang berasal dari Sumatera Barat terhadap kekuatan lentur dan kekuatan dampak pada komposit matriks resin *epoxy* menggunakan metode *vacuum bagging*. Hasil sifat mekanik yang terbaik diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap kemajuan perkembangan komposit yang ramah lingkungan.

2. Metodologi

2.1 Alat dan Bahan

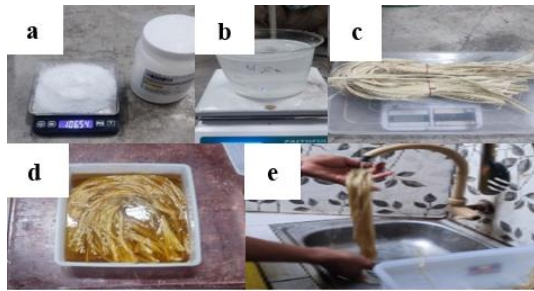
Bahan yang digunakan pada penelitian ini, antara lain: serat daun Sisal, NaOH, akuades, *mirror glaze*, epoxy (*Eposchon type Bisphenol A-Epichlorohydrin EPH 555A*), dan *hardener* EPH 555B. Peralatan yang digunakan, antara lain: timbangan digital, gelas ukur, pH meter, pompa *vacuum* daya $\frac{1}{2}$ HP, *Universal testing machine* kapasitas 20 kN dan mesin uji dampak kapasitas 5 J.

2.2 Ekstraksi Serat dan Perlakuan Alkalisasi

Daun sisal dibersihkan dengan air dan direndam selama 14 hari supaya lapisan luar serat membusuk. Daun Sisal diserut untuk memisahkan lapisan luar dan serat. Serat selanjutnya dicuci dan dikeringkan dibawah sinar matahari ± 72 jam. Serat setelah kering diberi perlakuan alkalisasi dengan larutan NaOH 5% selama 4 jam. Serat selanjutnya dibilas dengan akuades. Proses ekstraksi serat dan alkalisasi, masing-masing disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Proses ekstraksi serat Sisal, (a) perendaman daun sisal, (b) pemisahan lapisan luar dengan serat, dan (c) serat sisal setelah diekstraksi



Gambar 2. Proses alkalisasi serat : (a) menimbang massa NaOH, (b) menimbang kebutuhan serat, (d) perlakuan alkalisasi serat, dan (e) mencuci serat

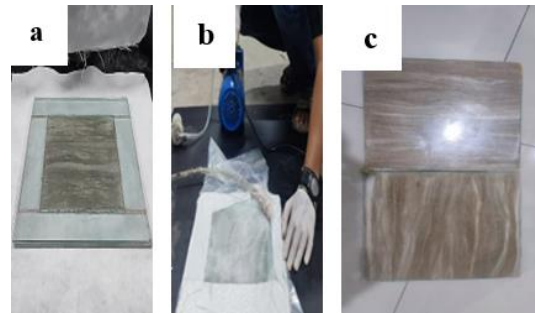
Setelah perlakuan alkalisasi, serat selanjutnya dikeringkan menggunakan *oven* pada temperatur 100 °C selama 1 jam, seperti disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pengeringan serat Sisal

2.3 Pembuatan Komposit

Penelitian ini serat Sisal divariasikan berdasarkan fraksi volume 30%, 35%, 40%, dan 45%. Pembuatan komposit dilakukan dengan menggunakan metode *vacuum bagging*. Selanjutnya, kebutuhan serat dan matriks dihitung berdasarkan fraksi volume terhadap cetakan dengan ukuran cetakan 200 x 200 x 3 mm. Serat ditimbang sesuai dengan kebutuhan. Cetakan dilapisi *wax (mirror glaze)* untuk mencegah komposit menempel pada cetakan. *Epoxy* selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan secara perlahan. Serat disusun ke dalam cetakan dengan arah orientasi 0°/90°. Cetakan yang berisi sampel komposit dimasukkan ke dalam plastik *vacuum* untuk dilakukan proses *vacuum* menggunakan pompa *vacuum*. Cetakan berisi komposit dibiarkan sampai mengering sebelum dilepas dari cetakan. Komposit selanjutnya dipotong sesuai dengan standard pengujian. Pengujian lentur mengacu pada standar ASTM D-790 dan pengujian impact mengacu pada ASTM D-6610. Proses pembuatan komposit disajikan pada Gambar 4. Sedangkan, spesimen uji lentur dan uji impact disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Proses pembuatan komposit, (a) penyusunan serat, (b) *vacuum bagging*, dan (c) komposit setelah dicetak

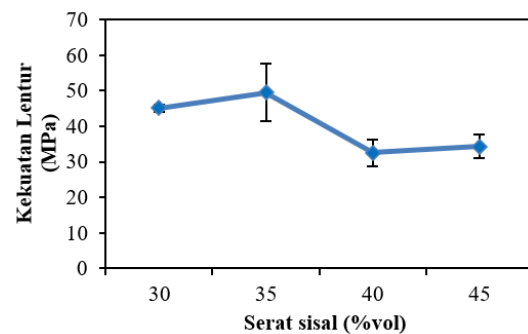


Gambar 5. Spesimen (a) uji lentur, dan (b) uji impact

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Lentur

Nilai rata-rata kekuatan lentur komposit dengan variasi fraksi volume serat sisal disajikan pada Gambar 6.



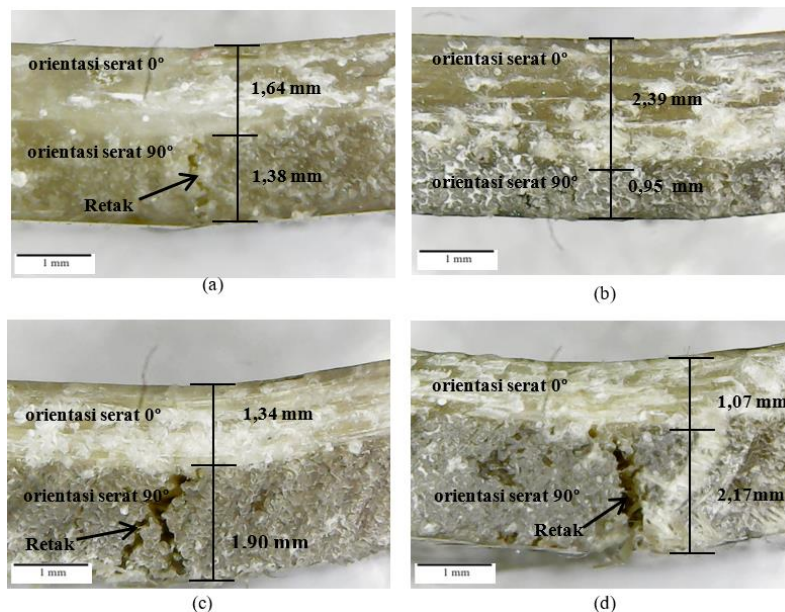
Gambar 6. Nilai rata-rata kekuatan lentur komposit

Berdasarkan Gambar 6, kekuatan lentur komposit dengan penguat serat Sisal 30% vol, 35% vol, 40% vol, dan 45% vol masing-masing sebesar 45,20 MPa; 49,67 MPa; 32,62 MPa, dan 34,34 MPa. Kekuatan lentur meningkat dengan penambahan fraksi volume serat Sisal 30% ke 35%. Namun, komposit dengan fraksi volume serat Sisal 35% ke 45% mengalami penurunan kekuatan lentur sebesar 34%. Penurunan kekuatan lentur pada komposit penguat serat Sisal 40% vol

dan 45% vol disebabkan karena susunan serat pada arah orientasi 0° dan 90° terjadi perbedaan ketebalan seperti yang disajikan pada Gambar 7c dan 7d. Selain itu, penampang patahan uji lentur komposit penguat serat sisal 40% vol dan 45% vol dengan arah orientasi serat 90° terjadi kegagalan berupa retakan. Hasil ini menunjukkan bahwa arah orientasi serat Sisal 90° tidak cukup mampu menahan beban lentur yang bekerja pada sampel karena beban lentur tidak ditahan oleh serat panjang melainkan oleh matriks atau ikatan antar serat sehingga terjadi kegagalan. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [13][14] bahwa

arah orientasi serat 90° tegak lurus terhadap beban lentur sehingga komposit tidak mampu menahan beban lentur sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan.

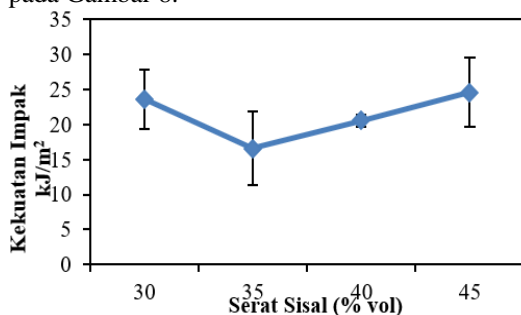
Gambar 7a memperlihatkan penampang patahan uji lentur komposit dengan penguat serat Sisal 30% vol. Penampang patahan terlihat adanya retak pada arah orientasi serat 90° . Sedangkan pada Gambar 7b penampang patahan pada komposit dengan penguat serat Sisal 35% vol tidak terlihat terjadinya retak sehingga menghasilkan kekuatan lentur yang paling tinggi.



Gambar 7. Penampang Patahan Uji Lentur (a) Serat Sisal 30% vol, (b) Serat Sisal 35% vol, (c) Serat Sisal 40% vol, dan (d) Serat Sisal 45% vol

3.2 Hasil Pengujian Impak

Nilai rata-rata kekuatan impak komposit dengan variasi fraksi volume serat Sisal disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai rata-rata kekuatan impak komposit

Kekuatan impak komposit dengan penguat serat Sisal 30% vol, 35% vol, 40% vol, dan 45% vol masing-masing sebesar 23,58 kJ/mm²; 16,58 kJ/mm²; 20,53 kJ/mm²; dan 24,6 kJ/mm².

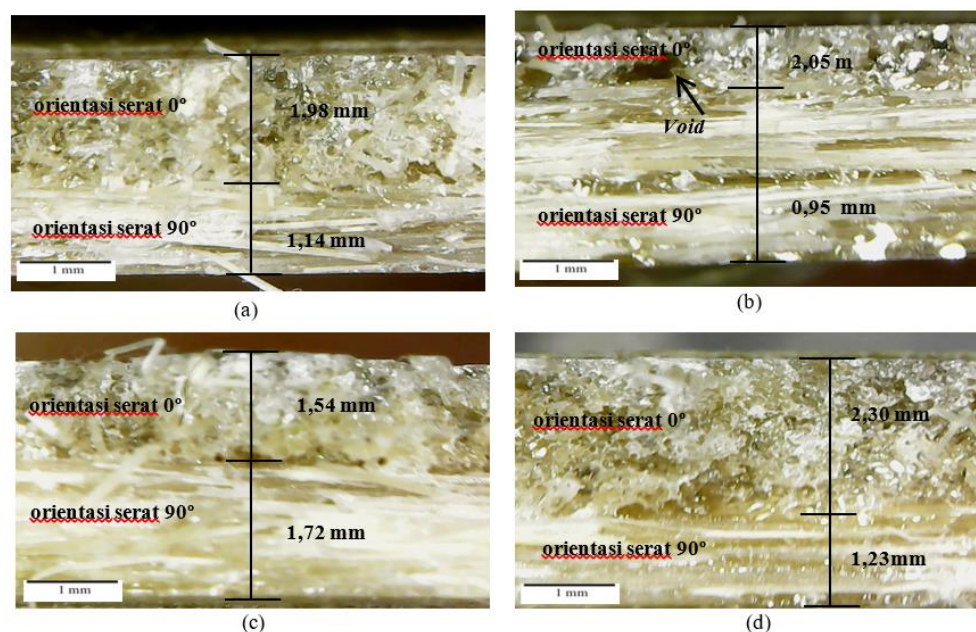
Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kekuatan impak komposit dengan penguat serat Sisal 30% vol ke 35% vol mengalami penurunan kekuatan impak sebesar 29,6%. Selanjutnya, komposit dengan penguat serat Sisal 40% vol dan 45% vol mengalami peningkatan. Kekuatan impak tertinggi terlihat pada komposit dengan kandungan serat sisal 45% vol.

Penurunan kekuatan impak pada komposit penguat serat Sisal dari 30% vol ke 35% vol kemungkinan disebabkan oleh distribusi serat yang tidak merata pada arah orientasi 0° dan 90° , seperti yang disajikan pada Gambar 9b. Laminasi arah orientasi serat 90° lebih tebal dibandingkan laminasi arah orientasi 0° . Kondisi tersebut kemungkinan disebabkan lapisan arah orientasi serat 90° kurang terkompresi pada saat proses *vacuum*. Selain itu, penampang patahan sampel terlihat terdapat porositas (*void*) yang cukup besar. *Void* yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh ikatan

antara serat dan matriks kurang baik maupun terperangkapnya zat volatile dalam matriks pada saat proses *curing*. *Void* dapat menurunkan kekuatan kekuatan impact pada komposit [15]. *Void* yang terdapat pada komposit merupakan daerah yang lemah sehingga pada saat sampel komposit terkena beban impact maka area pada *void* tidak dapat mendistribusikan energi benturan secara merata [16]. Hal ini menyebabkan konsentrasi tegangan pada area *void* dan memicu timbulnya keretakan dan kegagalan komposit. Oleh karena itu, kekuatan impact komposit dengan penguat serat sisal 35% vol menjadi rendah.

Gambar 9c dan 9d menunjukkan penampang patahan komposit setelah uji impact masing-masing untuk komposit dengan penguat serat sisal

40% vol dan 45% vol. Berdasarkan Gambar 9c dan 9d menunjukkan bahwa ketebalan lapisan dengan arah orientasi serat 0° pada komposit penguat serat sisal 40% vol lebih tebal dibandingkan pada komposit penguat serat sisal 45% vol. Komposit dengan arah orientasi serat 0° yang lebih tebal memiliki distribusi beban impact lebih baik sehingga berkontribusi secara optimal dalam menerima dan menahan energi yang diberikan sehingga menghasilkan kekuatan impact yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel komposit yang lain pada penelitian ini. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [17] bahwa arah orientasi serat 0° menghasilkan kekuatan impact yang lebih tinggi dibandingkan komposit dengan arah orientasi serat 90° .



Gambar 9. Penampang patahan uji impact (a) serat Sisal 35% vol, (b) serat Sisal 35% vol (c) serat Sisal 40% vol, (d) serat Sisal 45% vol

4. Simpulan

Fraksi volume serat Sisal pada komposit matrik *epoxy* menggunakan metode *vacuum bagging* mempengaruhi kekuatan lentur dan kekuatan impact. Fraksi volume serat Sisal 30% ke 35% meningkatkan kekuatan lentur sebesar 49,46 MPa, sedangkan kekuatan impact komposit meningkat dengan bertambahnya fraksi volume serat Sisal 30% ke 45%, dengan kekuatan impact maksimum 24,60 kJ/mm² pada komposit dengan penguat serat Sisal 45% vol. Ketebalan laminasi arah orientasi serat juga memberikan pengaruh terhadap kekuatan lentur dan harga impact komposit.

Daftar Pustaka

- [1] Siengchin SMR, Parameswaranpillai J, Jawaaid M, Pruncu CI, Khan A. A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization. *Carbohydr Polym.* 2019;207(2):108–121.
- [2] Khalid MY, Al Rashid A, Arif ZU, Ahmed W, Arshad H, Zaidi AA. Natural fiber reinforced composites: Sustainable materials for emerging applications. *Results Eng.* 2021;11:100263. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100263>

- [3] Kamarudin SH, Basri MSM, Rayung M, Abu F, Ahmad S, Norizan MN. A review on natural fiber reinforced polymer composites (NFRPC) for sustainable industrial applications. *Polymers (Basel)*. 2022;14(3698):1–36.
- [4] Nawangsari P, Fatra W, Kusuma A, Badri M, Cupu DRP, Masnur D. Microcellulose from pineapple leaf fiber as a potential sustainable material: Extraction and characterization. *J Polimesin*. 2024;22(1):83–87.
- [5] Joseph K, Tolêdo Filho RD, James B, Thomas S, de Carvalho LH. A review on sisal fiber reinforced polymer composites. *Rev Bras Eng Agrícola Ambient*. 1999;3(3):367–379. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n3p367-379>
- [6] Kassegn E, Sirhabizu B, Berhanu T, Buffel B, Desplentere F. Experimental study on single fiber tensile properties of sisal fibers using a digital image correlation method as a strain measurement. *J Nat Fibers*. 2024;21(1):1–17. <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2325557>
- [7] Hisyam M, Widyawati F. Analisis pengaruh massa serat terhadap sifat fisis dan mekanik papan komposit gipsum berpenguat sisal (*Agave sisalana*). *Hexag J Tek dan Sains*. 2021;2(1):16–21. <https://doi.org/10.36761/hexagon.v2i1.872>
- [8] Santoso B. Peluang pengembangan agave sebagai sumber serat alam. *Perspektif*. 2009;8(2):84–95.
- [9] Surata IW, Lokantara IP, Arimbawa AP. Studi sifat mekanis komposit epoxy berpenguat serat sisal orientasi acak yang dicetak dengan hand-lay up. *J Energi dan Manufaktur*. 2016;9(2):143–146.
- [10] Prasad GLE, Gowda BSK, Velmurugan R. Comparative study of impact strength characteristics of treated and untreated sisal polyester composites. *Procedia Eng*. 2017;173:778–785. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.12.096>
- [11] Dress GA, Woldemariam MH, Redda DT. Influence of fiber orientation on impact resistance behavior of woven sisal fiber reinforced polyester composite. *Adv Mater Sci Eng*. 2021;2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6669600>
- [12] Sinuhaji P, Maghfirah A, Dinanti P, Arti W. Effect of sisal fiber direction angle on physical and mechanical properties of composites. *Proc 1st Int MIPAnet Conf Math*. 2022;1(2):86–89. <https://doi.org/10.5220/0010136700002775>
- [13] Kumar N, Singh A. Study the effect of fiber orientation on mechanical properties of bidirectional basalt fiber reinforced epoxy composites. *Mater Today Proc*. 2020;39:1581–1587. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.707>
- [14] Istana B, Alfredo F, Sunaryo. Characterization of the mechanical properties of fiberglass/epoxy prepreg composite as horizontal axis wind turbine blade material: Influence of fiber orientation on impact and bending strength. *Polimesin*. 2024;22(4):457–461.
- [15] Akbar F, Sulardjaka S, Iskandar N. Plasticizer gliserol dan pati jagung pada matriks gondorukem terhadap kekuatan impak komposit berpenguat serat rami. *J Tek Mesin*. 2023;11(3):482–487.
- [16] Mehdikhani M, Gorbatikh L, Verpoest I, Lomov SV. Voids in fiber-reinforced polymer composites: A review on their formation, characteristics, and effects on mechanical performance. *J Compos Mater*. 2019;53(12):1579–1669.
- [17] Sachudhanandan S, Lakshmanaswamy N. Effect of fiber orientation on tensile and flexural properties of ramie fiber composite. *Int J Eng Adv Technol*. 2019;9(1):1728–1732. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F8982.109119>