

ANALISIS MORFOLOGI SERAT DAN KEKUATAN IMPAK BAHAN KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT PINANG (*ARECA CATECHU*) YANG TELAH DILAKUKAN PERBAIKAN SIFAT FISIK

Iqbal Tanjung

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Affandi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Riadini Wanti Lubis *

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Abstract

Today's modern technology requires materials with high mechanical properties that are not produced in conventional materials such as metals, ceramics, and polymers. One of the materials that has the potential to meet several criteria of mechanical properties can be found in composite materials. Composite material is a combination of two or more materials through an inhomogeneous mixing process, the results of this mixing produce the mechanical properties and characteristics of each of its constituent materials. In general, there are two categories of composite materials, namely matrix and reinforcement. In general, the reinforcement that is often used is fiber. These fiber reinforcement materials are divided into several types, namely synthetic fibers and natural fibers. Since 1970 synthetic fibers such as glass fiber and carbon fiber are more widely used because they have good mechanical properties. However, synthetic fibers are not environmentally friendly. Based on these problems, the use of natural fibers as reinforcement for composite materials is a prospective solution in the future. One of the natural fibers that have the potential to replace synthetic fibers is Pinang fiber (*Areca catechu*). Areca nut is very common in plantations in Indonesia, especially in North Sumatra. Although its availability is abundant in nature and renewable, its potential is still underutilized compared to other natural fibers. So that the development of betel nut natural fiber-reinforced composite materials is one of the promising research topics. The purpose of this research is to develop areca fiber-reinforced composite materials and to study the characteristics of areca-fiber-reinforced composite materials with an experimental approach. Based on the results obtained, the alkali repair succeeded in improving the surface of the areca fiber. Alkali treatment succeeded in making the surface roughness of the areca fiber and become cleaner. Furthermore, the improvement of physical properties using alkaline NaOH treatment succeeded in increasing the impact strength of the areca fiber-reinforced composite material by 40%. The impact strength of composite materials with alkali treatment of 3 and 5 hours duration had the highest impact strength values of 7.561 KJ/m. The composite has good interfacial compatibility, the impact load received by the epoxy matrix can be transferred to the fiber. Therefore, fiber plays a major role as matrix reinforcement.

Keywords:

Composite, Areca Fiber, Alkali Treatment, Impact dan Scanning Electron Microscopy (SEM).

Abstrak

Teknologi modern saat ini membutuhkan material dengan sifat mekanik tinggi yang tidak dihasilkan pada material konvensional seperti logam, keramik, dan polimer. Salah satu material yang berpotensi dapat memenuhi beberapa kriteria dari sifat mekanik tersebut dapat ditemui pada material komposit. Material komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih material melalui sebuah proses pencampuran yang tidak homogen, hasil pencampuran ini menghasilkan sifat mekanik dan karakteristik dari masing-masing material pembentuknya. Secara umum terdapat dua kategori material penyusun komposit yaitu matriks dan reinforcement (penguat). Secara umum penguat yang sering digunakan adalah serat (fiber). Bahan penguat serat ini terbagi menjadi beberapa jenis yaitu serat sintetis dan serat alam. Sejak tahun 1970 serat sintetis seperti serat kaca dan serat karbon lebih banyak dipakai karena memiliki sifat mekanik yang bagus. Namun, serat sintetis memiliki sifatnya tidak ramah lingkungan. Berdasarkan permasalahan tersebut penggunaan serat alam sebagai penguat bahan komposit merupakan solusi prospektif dimasa mendatang. Salah satu serat alam yang berpotensi untuk menggantikan serat sintesis adalah serat Pinang (*areca catechu*). Pinang sangat banyak dijumpai pada perkebunan di Indonesia terutama di Sumatera Utara. Meskipun ketersediannya melimpah di alam dan terbarukan, namun potensinya masih kurang dimanfaatkan dibandingkan dengan serat-serat alam lainnya. Sehingga pengembangan bahan komposit berpenguat serat alam buah pinang menjadi salah satu topik

Citation in APA Style: Tanjung, I., Affandi., & Lubis, R. W. (2022). Analisis Morfologi Serat dan Kekuatan Impak Bahan Komposit Berpenguat Serat Pinang (*Areca Catechu*) yang Telah Dilakukan Perbaikan Sifat Fisik. *VOCATECH : Vocational Education and Technology Journal*, Vol. 4, 1 (2022), 1-7

penelitian yang menjanjikan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan bahan komposit berpenguat serat pinang dan mempelajari karakteristik bahan komposit berpenguat serat pinang dengan pendekatan eksperimental. Berdasarkan hasil yang didapat perbaikan alkali berhasil memperbaiki permukaan serat pinang. Perlakuan alkali berhasil membuat kekasaran permukaan pada serat pinang dan menjadi lebih bersih. Selanjutnya perbaikan sifat fisik menggunakan perlakuan alkali NaOH berhasil meningkatkan kekuatan impact bahan komposit berpenguat serat pinang sebesar 40%. Kekuatan impact material komposit dengan Perlakuan alkali durasi 3 dan 5 jam memiliki nilai kekuatan impact tertinggi sebesar 7,561 KJ/m² dan 8,225 KJ/m². Komposit memiliki kompatibilitas antarmuka yang baik, beban impact yang diterima oleh matriks epoksi dapat ditransfer ke serat. Oleh karena itu, serat memainkan peran utama sebagai penguat matriks.

Kata Kunci:

Komposit, Serat Pinang, Perlakuan Alkali (NaOH), Impact dan Scanning Electron Microscopy (SEM).

DOI: <http://dx.doi.org/10.38038/vocatech.v4i1.108>

Received: 06 Oktober 2022 ; Accepted: 29 Oktober 2022 ; Published: 31 Oktober 2022

***Corresponding author:**

Riadiniwanti Lubis, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl Kapten Muchtar Basri No.3

Email: riadiniwanti@umsu.ac.id

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era modern ini membutuhkan material dengan kombinasi sifat mekanis tinggi yang tidak ditemukan pada material seperti metal, keramik dan lainnya. Untuk menjawab tantangan ini material komposit merupakan solusi yang tepat. Material komposit memiliki karakteristik kaku, kemampuan benturan yang baik, kuat dan tahan terhadap lingkungan korosi. Material komposit merupakan perpaduan antar bahan dengan karakteristik yang berbeda sehingga memiliki sifat yang superior. Sifat ini tidak akan didapatkan apabila bahan tersebut berdiri sendiri. Bahan-bahan ini digabungkan dengan material pengikat akan tetapi masih mempertahankan sifat dan identitas dari masing-masing penyusunnya. Secara umum terdapat dua kategori material penyusun komposit yaitu matriks dan penguat (reinforcement). Bahan penguat yang banyak digunakan adalah serat (fiber). Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan. Serat yang memperkuat komposit terbagi atas jenis serat sintetis dan serat alam (Gay & Hoa, 2007; Jauhari, Mishra, & Thakur, 2015).

Sejak tahun 1970 kebanyakan serat yang dipakai pada komposit adalah serat sintetis seperti serat kaca, aramid, dan serat karbon karena serat sintetis tersebut memiliki sifat mekanik yang baik. Namun, serat sintetis memiliki sifatnya tidak ramah lingkungan karena sukar terdegradasi secara alami, serat sintetis merupakan bahan yang tidak terdekomposisi oleh mikro organisme pengurai, sehingga penumpukannya di alam dikhawatirkan akan menimbulkan masalah lingkungan, oleh karena itu pengembangan terhadap komposit yang ramah lingkungan terus dilakukan. Serat alam merupakan solusi dari permasalahan tersebut karena serat alam dapat terurai dan dapat diperbaharui. Pengembangan dan aplikasi dari beberapa komposit serat alam telah dikaji oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti serat rami, kenaf, kelapa, sisal, hemp, dan serat jute (Caprino, Carrino, Durante, Langella, & Lopresto, 2015; Dedeepya, Raju, & Kumar, 2012; Dong et al., 2014). Dalam penggunaannya komposit serat alam telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi seperti komponen otomotif, komponen pesawat terbang dan peralatan olah raga (Gu, Tan, Yang, & Zhang, 2014).

Penggunaan serat alam pada material komposit berhasil menghemat biaya dan memiliki bobot yang ringan, lebih dari itu penggunaan serat alam

pada material komposit memiliki sifat mekanik yang cukup tangguh dan tidak kalah dengan material komposit berpenguat serat sintetis (Jarukumjorn & Suppakarn, 2009; Jauhari et al., 2015). Salah satu serat alam yang sangat mudah dijumpai, memiliki ketersediaan melimpah di Indonesia terutama di Sumatera Utara adalah tumbuhan Pinang. Serat alam ini sangat berpotensi sebagai salah satu serat yang dapat menggantikan serat sintetis. Berdasarkan uraian tersebut pengembangan bahan komposit berpenguat serat pinang merupakan topik yang sangat menjanjikan.

II. STUDI PUSTAKA

1. Material Komposit

Material komposit diklasifikasikan berdasarkan jenis matriks yang digunakan seperti komposit bermatrik polimer yang disebut sebagai (Polimer Matrix Composites/PMCs), komposit bermatrik logam (Metal Matrix Composites/MMCs) dan komposit bermatrik keramik disebut (Ceramic Matrix Composites/CMCs). Pada material komposit matriks berfungsi sebagai pengikat terhadap bagian penguatnya (reinforcement) dan sebagai pelindung dari beberapa perubahan eksternal. secara umum matriks pada material komposit merupakan fasa dominan dengan bagian volume yang paling besar. Oleh sebab itu matriks harus mengikat serat secara optimal agar beban yang diterima dapat diteruskan oleh serat secara maksimal sehingga diperoleh kekuatan yang tinggi (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012).

Pada material komposit berpenguat serat alam umumnya para ahli menggunakan matriks berjenis polimer. Matriks jenis ini diklasifikasikan menjadi dua yaitu termoset dan termoplastik. Contoh dari matriks termoset yang sering digunakan adalah epoxy dan polyester resin sedangkan untuk matriks polimer termoplastik adalah polyethylene (PP), polyethylene, dan poly vinyl chloride (PVC). Perkembangan material komposit berpenguat serat alam berkembang pesat dalam beberapa tahun belakangan ini. Hal ini bertujuan untuk melakukan pengembangan terhadap material komposit yang mudah terurai. Kondisi ini mengakibatkan material komposit polimer berpenguat serat alam dapat bersaing dengan material komposit berpenguat serat sintetis seperti serat kaca dan serat karbon karna memiliki keunggulan dalam hal kelenturan dan kekakuan (Agarwal & Broutman, 1990; Faruk et al., 2012; Orue et al., 2016). Disamping itu keunggulan lain dari serat alam yang tidak

diperoleh pada serat sintetis adalah densitas rendah, ramah lingkungan, dapat mengurangi pemakaian energi, memiliki biaya yang relative rendah, mudah terurai dan diperbaharui (Ouajai & Shanks, 2005). Serat alam diklasifikasikan dalam beberapa bentuk yaitu pohon, daun, biji buah, kayu dan rerumputan yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi serat (Rizal, Thalib, & Huzni, 2018).

2. Tanaman Pinang

Tanaman Pinang (*Areca Catechu*) merupakan tanaman family palmae yang tumbuh subur di Indonesia. Tanaman pinang merupakan tanaman serba guna yang memiliki ukuran mencapai 15-20 m dengan batang tegak lurus bergaris tengah 15 cm. Buahnya berkecambah setelah 1,5 bulan dan 4 bulan kemudian mempunyai jambul daun- daun kecil yang belum terbuka. Biji buah pinang berwarna kecoklatan sampai coklat kemerahan, agak berlekuk-lekuk dengan warna yang lebih muda (Chakrabarty, Hassan, & Khan, 2012). Bentuk tanaman pinang ditunjukkan pada Gambar 2.



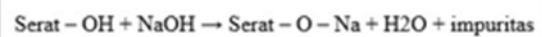
Gambar 2. Pohon Pinang dan Buah Pinang.

3. Modifikasi Serat Alam Menggunakan Perlakuan Alkali (NaOH)

Perlakuan kimia komposit serat alam telah banyak dilakukan dan dilaporkan oleh para peneliti. Perlakuan alkali adalah salah satu metode kimia yang paling banyak digunakan untuk

memodifikasi struktur molekuler selulosa pada serat alam ketika digunakan untuk memperkuat termoplastik dan termoset. Perlakuan alkali biasanya dilakukan dengan larutan larutan NaOH.

Modifikasi penting yang terjadi terjadi ketika serat diberi perlakuan alkali adalah terjadinya gangguan ikatan hidrogen pada struktur jaringan serat. Selama perlakuan, gugus hidroksil (OH) dipecah dan kemudian bereaksi dengan air (H-OH) meninggalkan molekul reaktif terionisasi untuk membentuk alkoksida dengan NaOH sebagaimana digambarkan pada Skema 1.



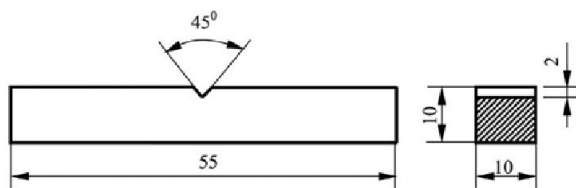
Gambar 3. Perlakuan Alkali Pada Serat Alam

Akibatnya, gugus OH hidrofilik berkurang dan kekasaran permukaan serat meningkat. Ini juga menghilangkan bagian tertentu dari hemiselulosa, lignin, lilin, dan minyak yang menutupi permukaan luar dinding sel serat dan mendepolimerisasi selulosa. Oleh karena itu, ketika serat alam yang diberi perlakuan alkali digunakan untuk memperkuat komposit polimer, dibandingkan dengan komposit yang diisi dengan serat tanaman yang tidak diolah, peningkatan kekasaran permukaan dan peningkatan situs reaktif yang terpapar pada permukaan akan mengarah pada saling pengikatan dan adhesi mekanis yang lebih baik dengan matriks, keduanya bertanggung jawab atas kekuatan antarmuka komposit. Akan tetapi, harus diperhatikan bahwa konsentrasi alkali yang sangat tinggi akan menghasilkan delignifikasi serat alam yang berlebihan, sehingga melemahkan atau merusak serat yang diberi perlakuan (Chakrabarty et al., 2012; Hu, Battampara, Guna, & Reddy, 2021; Lazim, Salit, Zainudin, Mustapha, & Jawaid, 2014).

III. METODE

Proses perbaikan sifat fisik serat pinang dilakukan menggunakan NaOH dengan presentasi 5%. NaOH dicampur dengan aquades dengan cara diaduk pada wadah. Selanjutnya serat pinang yang telah dibersihkan direndam didalam larutan yang telah tercampur dengan variasi waktu perendaman 1, 3, 5, 7 dan 9 jam. Setelah direndam selanjutnya serat dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 5 jam. Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini merujuk kepada standar ASTM D256 (Bardiya, Jerald, & Satheeshkumar, 2021). Proses pencetakan spesimen dilakukan menggunakan

metode handlay up dengan jumlah spesimen yang dipersiapkan sebanyak 15 sampel. Dimensi spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 4.

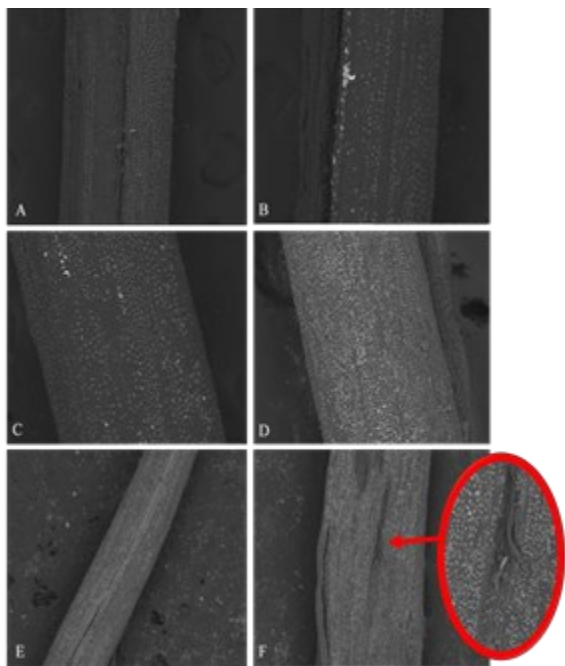


Gambar 4. Dimensi bahan pengujian impact ASTM D256

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Morfologi Serat Pinang

Langkah awal dari penelitian ini adalah mengamati morfologi terhadap serat yang telah dilakukan perbaikan sifat fisik menggunakan NaOH. Pengamatan ini meliputi kondisi permukaan dan kerusakan serat sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan sifat fisik. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium terpatu Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara menggunakan Scanning Electron Microscopy. Pada pengujian ini disiapkan 6 sampel pengujian dengan variasi yang berbeda pada perbaikan sifat fisik. Berdasarkan hasil pengujian didapat terjadi perubahan terhadap permukaan serat setelah dilakukan perbaikan sifat fisik dan pada beberapa variasi terjadi kerusakan pada serat yang dapat diamati pada Gambar 5 dibawah ini.

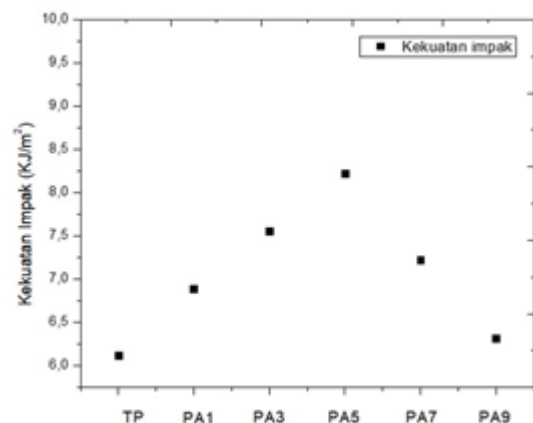


Gambar 5. Hasil Pengamatan Permukaan Serat Pinang

Hasil pengamatan permukaan menunjukkan serat pinang yang belum dilakukan perbaikan sifat fisik memiliki lebih banyak kotoran dan tidak memiliki permukaan yang kasar hal ini berbeda dengan serat pinang yang telah dilakukan perbaikan sifat fisik dengan proses perendaman alkali. Perlakuan alkali selama 3 jam dan 5 jam terlihat terjadi peningkatan kekasaran permukaan pada serat pinang dan terlihat lebih bersih yang dapat dilihat pada Gambar 1C dan 1D. Oleh karena itu, peningkatan kekasaran permukaan akan menghasilkan peningkatan adhesi ke antarmuka serat dan matriks pada material komposit. Kerusakan permukaan serat terjadi ketika durasi perlakuan yang dilakukan semakin lama ini dapat dilihat pada Gambar 1E dan 1F. Terlihat permukaan serat mengalami kerekatan dan koyak. Hal ini menunjukkan penurunan sifat mekanik terhadap serat pinang dan menurunkan peningkatan adhesi ke antar muka serat dan matrik.

B. Hasil Pengujian Impak

Hasil pengujian menunjukkan material komposit yang diberi perbaikan sifat fisik menggunakan perlakuan alkali memiliki kekuatan impak yang meningkat dari pada yang tidak dilakukan perbaikan sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Nilai Impak Bahan Komposit Berpenguat Serat Pinang

Berdasarkan hasil ini menunjukkan material komposit berpenguat serat pinang yang telah dilakukan perbaikan fisik selama 3 dan 5 jam memiliki nilai tertinggi dengan nilai kekuatan impak sebesar 7,561 KJ/m² dan 8,225 KJ/m². Namun ketika pada perbaikan sifat fisik selama 7 dan 9 kekuatan impak material komposit mengalami penurunan dengan nilai 7,223 KJ/m²

dan 6,323 KJ/m². Penurunan kekuatan impact ini diakibatkan lamanya perendaman yang mengakibatkan terjadinya degradasi molukel sehingga terjadi kerusakan pada permukaan serat. Kinerja kekuatan impact dari komposit yang berpenguat serat alam dipengaruhi oleh beberapa faktor utama seperti sifat serat, sifat matriks, dan sifat antarmuka serat dan matriks. Komposit dengan kompatibilitas antar muka yang lemah dapat menghasilkan sifat mekanik yang buruk pada komposit, yang disebabkan oleh perambatan retak pada antarmuka matriks dan serat. Kompatibilitas antar muka yang lemah dalam komposit dapat mempercepat perambatan retak matriks dengan demikian menghasilkan debonding serat dari matriks. Kondisi antarmuka serat dan matriks juga mempengaruhi penyerapan energi pada komposit. Jika komposit memiliki kompatibilitas antarmuka yang baik, beban impact yang diterima oleh matriks epoksi dapat ditransfer ke serat. Oleh karena itu, serat memainkan peran utama sebagai penguat matriks. Pengamatan permukaan hasil patahan material komposit dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Patahan Material Komposit; (A) Tanpa Perlakuan; (B) 5 jam perlakuan

Kegagalan impact pada komposit dapat disebabkan oleh kerusakan serat, kerusakan matriks, tercabutnya serat dari matriks dan debonding antara serat dan matriks. Ketika beban yang ditransfer kepada serat melebihi kekuatan serat dan kekuatan antarmuka matriks, maka debonding akan terjadi (K Mysamy and Rajendran 2011). Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa serat pinang yang dilakukan perbaikan sifat fisik dapat meningkatkan kompatibilitas antar muka antara resin epoxy, dengan demikian meningkatkan kekuatan impact komposit. Pada hasil pengujian ini ditunjukkan bahwa komposit menjadi lebih tahan terhadap beban impact setelah diperkuat dengan serat pinang yang telah dilakukan perbaikan sifat fisik.

V. ESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapat perbaikan sifat fisik menggunakan perlakuan alkali NaOH berhasil memperbaiki kekuatan impact bahan komposit berpenguat serat pinang. Perlakuan alkali dengan durasi 3 dan 5 jam memiliki nilai kekuatan impact tertinggi sebesar 7,561 KJ/m² dan 8,225 KJ/m². Hal ini menunjukkan kekuatan impact material komposit berhasil ditingkatkan sebesar 40% setelah dilakukan perlakuan alkali

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan apresiasi dan berterimakasih kepada LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian masyarakat) Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penelitian ini didanai oleh program hibah internal umsu dengan nomor skema: 43/II.3- AU/UMSU-LP2M/C/2022

REFERENSI

- Agarwal, B. D., & Broutman, L. J. (1990). *Analysis and performance of fiber composites Second edition*. John Wiley & Sons.
- Bardiya, S., Jerald, J., & Satheeshkumar, V. (2021). Effect of process parameters on the impact strength of fused filament fabricated (FFF) polylactic acid (PLA) parts. *Materials Today: Proceedings*, 41, 1103–1106.
- Caprino, G., Carrino, L., Durante, M., Langella, A., & Lopresto, V. (2015). Low impact behaviour of hemp fibre reinforced epoxy composites. *Composite Structures*, 133, 892–901.
- Chakrabarty, J., Hassan, M. M., & Khan, M. A. (2012). Effect of surface treatment on betel nut (areca catechu) fiber in polypropylene composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 20(2), 501–506.
- Dedeepya, M., Raju, T. D., & Kumar, T. J. (2012). Effect of alkaline treatment on mechanical and thermal properties Oftypha Angustifolia fiber reinforced composites. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*,

- I(4)*, 12–14.
- Dong, Y., Ghataura, A., Takagi, H., Haroosh, H. J., Nakagaito, A. N., & Lau, K.-T. (2014). Polylactic acid (PLA) biocomposites reinforced with coir fibres: Evaluation of mechanical performance and multifunctional properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 63, 76–84.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552–1596.
- Gay, D., & Hoa, S. V. (2007). *Composite materials: design and applications*. CRC press.
- Gu, Y., Tan, X., Yang, Z., & Zhang, Z. (2014). Hot compaction and mechanical properties of ramie fabric/epoxy composite fabricated using vacuum assisted resin infusion molding. *Materials & Design (1980-2015)*, 56, 852–861.
- Hu, C., Battampara, P., Guna, V., & Reddy, N. (2021). Effect of Alkali Treatment on the Structure and Properties of Natural Cellulose Fibers from Areca Cathechu Shells. *Journal of Natural Fibers*, 1–11.
- Jarukumjorn, K., & Suppakarn, N. (2009). Effect of glass fiber hybridization on properties of sisal fiber–polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 40(7), 623–627.
- Jauhari, N., Mishra, R., & Thakur, H. (2015). Natural Fibre Reinforced Composite Laminates - A Review. *Materials Today: Proceedings*, 2(4–5), 2868–2877. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.304>
- Lazim, Y., Salit, M. S., Zainudin, E. S., Mustapha, M., & Jawaid, M. (2014). Effect of alkali treatment on the physical, mechanical, and morphological properties of waste betel nut (Areca catechu) husk fibre. *BioResources*, 9(4), 7721–7736.
- Orue, A., Jauregi, A., Unsuain, U., Labidi, J., Eceiza, A., & Arbelaiz, A. (2016). The effect of alkaline and silane treatments on mechanical properties and breakage of sisal fibers and poly (lactic acid)/sisal fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 84, 186–195.
- Oujai, S., & Shanks, R. A. (2005). Composition, structure and thermal degradation of hemp cellulose after chemical treatments. *Polymer Degradation and Stability*, 89(2), 327–335.
- Rizal, S., Thalib, S., & Huzni, S. (2018). Hemicellulose and lignin removal on typha fiber by alkali treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352(1), 12019. IOP Publishing.