

Analisis Perbandingan Karakteristik Fisik Melalui Uji Kekerasan Vickers pada Material Komposit Berbasis Serat Alami dan Serat Sintetis

Hendi¹, Muhammad Ikhsan Maulana¹, Suci Patria¹, Yudi Setiawan¹, Adam Zuyyinal Adib^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu Balunijuk, Merawang Bangka - Prov Kep. Bangka Belitung 33172
adamadib21@ubb.ac.id

Abstract

Composite materials have become highly important in the manufacturing industry. However, the development of composites often faces the challenge of finding effective, economical, and environmentally friendly reinforcing materials. This study aims to analyze the comparison of physical characteristics in composite materials reinforced with natural fibers through Vickers hardness testing and then compare these hardness values with composite materials reinforced with synthetic fibers. The Vickers hardness testing method adheres to the ASTM E348 microhardness testing standard. The results show that the addition of fibers to composite materials tends to increase the likelihood of voids or trapped air bubbles within the composite material, which increases its porosity value. Furthermore, the use of synthetic fibers, especially carbon fiber, is still superior to pineapple leaf fiber (PALF) because the hardness value of carbon fiber is indeed superior to other fibers. However, pineapple leaf fiber (PALF) has advantages in its stability, is more environmentally friendly, and has a lower production cost compared to synthetic fibers.

Keywords: composite; natural fibers; porosity; synthetic fibers; Vickers hardness

1. Pendahuluan

Material komposit telah menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir, terutama dalam bidang rekayasa material dan industri manufaktur. Material komposit memiliki beberapa keunggulan, seperti memiliki sifat mekanis yang baik, bobot yang ringan, serta tahan korosi. Namun, salah satu tantangan yang ada dalam pengembangan material komposit adalah menemukan bahan penguat yang memiliki kekuatan yang baik namun lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

Pineapple-leaf fiber (PALF) mengandung selulosa yang cukup tinggi yaitu hingga 80% dan kandungan lainnya seperti 6% - 12% hemiselulosa serta 5% - 12% lignin [1]. Keunggulan serat lignoselulosa membuat penggunaannya meningkat pesat terutama dari segi kekuatan dan kekakuannya yang lebih tinggi daripada material lainnya [2]. Meskipun secara mekanis sangat baik dan ramah lingkungan, PALF adalah serat alami yang paling sedikit dipelajari, terutama untuk komposit penguat. Selain itu, serat sintetis masih menjadi bahan sintetis yang sering dipakai sebagai penguat material komposit, salah satunya adalah serat kaca (*glass fiber*). Serat kaca sendiri dikenal sebagai penguat bahan plastik sehingga disebut sebagai penguat plastik (*glass reinforced plastic/GRP*) atau penguat resin (*glass reinforced Epoxy/GRE*). Serat kaca bersifat keras, mudah retak bahkan pecah sehingga memiliki sifat rapuh terhadap benturan, namun memiliki permukaan yang sangat keras [3]. Bahan sintetis lain yang sering digunakan adalah serat karbon (*carbon fiber*). Serat karbon (CF) berkinerja tinggi umumnya dibuat dengan selulosa, *poliakrilonitril*, dan *pitch*. Serat berbasis *Poliakrilonitril* (PAN) mewakili hampir 90% dari total produksi CF. Permintaan energi yang tinggi, waktu pemrosesan yang lama, dan proses termal yang intensif energi menyebabkan harganya relatif mahal jika dibandingkan dengan serat sejenis, seperti serat kaca atau serat plastik [4].

Material serat alami memiliki beberapa keunggulan, seperti murah, dapat didaur ulang, dan ramah lingkungan yang menjadikannya *biodegradable*, namun tetap memiliki sifat mekanis yang baik, seperti serat rami (*jute*), *flax*, dan sabut kelapa (*coir*) [5]. Selain itu, penelitian [6] membandingkan pengaruh volume serat terhadap kekuatan mekanik komposit

berbasis serat jerami padi dengan matriks *epoxy* dan serat jerami padi resin *Yukalac 157*, lalu memperoleh kesimpulan bahwa fraksi volume serat jerami padi *epoxy* dan komposit serat jerami padi *Yukalac 157* dapat mempengaruhi kekuatan mekanik pada material komposit. Penelitian [7] menyatakan bahwa fraksi volume berat memengaruhi nilai kekuatan bending dan kekuatan impact komposit serat goni. Penelitian [8] juga menyatakan bahwa penambahan serat daun nanas raja dapat meningkatkan kekuatan tekan pada beton. Beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat alami dengan fraksi tertentu dapat menambah kekuatan komposit.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari tahu terkait karakteristik fisik pada material komposit berbasis serat daun nanas, lalu membandingkannya dengan karakteristik fisik material komposit berbasis serat sintetis seperti *glass fiber* dan *carbon fiber*, dengan metode pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai-nilai spesifikasi masing-masing bahan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat menyumbangkan kontribusi untuk pengembangan material yang lebih baik. Hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat membantu dalam menemukan alternatif pengganti material yang masih mengandalkan bahan yang kurang ramah lingkungan, serta membantu menemukan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing bahan untuk diterapkan di berbagai bidang, seperti teknologi, manufaktur, kesehatan, dan lain-lain.

2. Metodologi

2.1. Material

Penelitian kali ini menggunakan spesimen berupa komposit dengan dimensi 70 mm × 30 mm × 11 mm berbasis serat daun nanas (PALF) sebagai serat alami, serat kaca (*glass fiber*) dan serat karbon (*carbon fiber*) sebagai serat sintetis, dengan *epoxy resin* sebagai pengikatnya, serta penggunaan *epoxy resin* secara penuh dengan dimensi yang sama sebagai pembanding antara material dengan penguat dan tanpa penguat. Tabel 1 menunjukkan properti dari masing-masing material yang digunakan.

Tabel 1. Properti Material Pembuatan Spesimen [9–14]

<i>Properties</i>	<i>PALF</i>	<i>Glass Fiber</i>	<i>Carbon Fiber</i>	<i>Epoxy Resin</i>
<i>Density (g/cm³)</i>	1,07	2,58	1,8	1,16
<i>Ultimate Tensile Strength (MPa)</i>	290 - 1000	1500 – 3500	3000 – 7000	40 – 90
<i>Elongation at Break (%)</i>	14,5	3,0 – 5,0	1,5 – 2,5	3,0 – 10,0

2.2. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dimulai dari pembuatan cetakan aluminium menggunakan mesin CNC frais *EMCO Concept Mill 105* (EMCO GmbH), yang akan digunakan untuk membuat cetakan silikon. Setelah cetakan aluminium dibuat, dilakukan penuangan silikon untuk membuat cetakan spesimen. Sambil menunggu silikon mengering, dilakukan pemotongan masing-masing serat hingga panjangnya 5 mm. Hasil tiap cetakan yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 1.



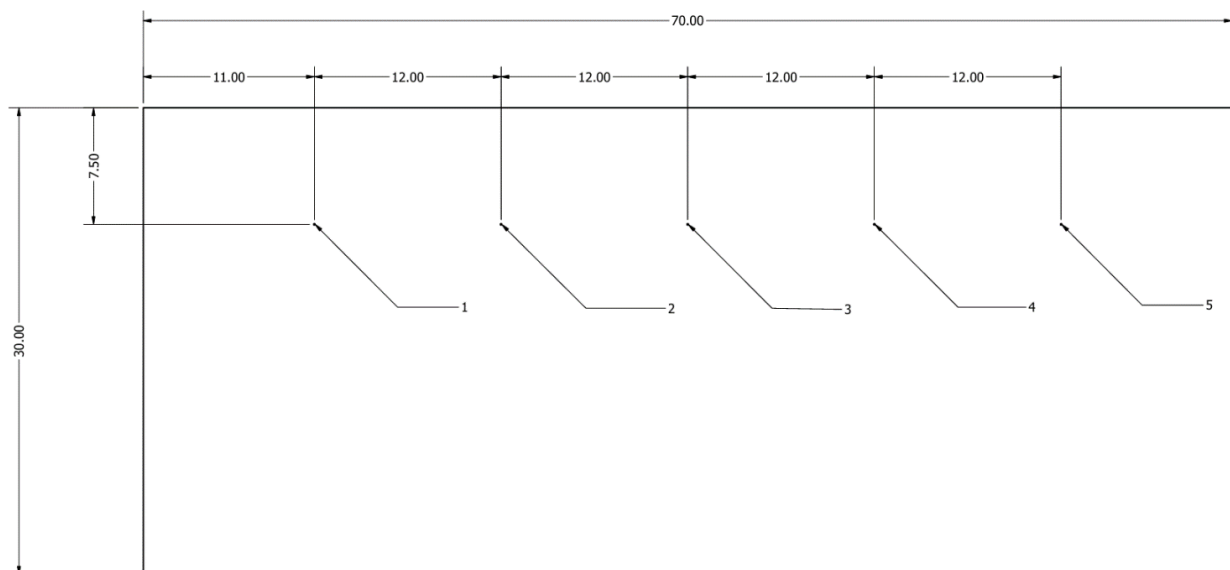
Gambar 1. Cetakan yang sudah dibuat: (a) cetakan aluminium; (b) cetakan silikon

Tahap selanjutnya adalah mencetak spesimen sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Setelah dicetak, permukaan spesimen tidak rata, sehingga akan menyulitkan proses pengujian, seperti pada Gambar 2 (a). Oleh karena itu, permukaan tersebut perlu dilakukan proses *facing* dengan mesin CNC, seperti pada Gambar 2 (b).

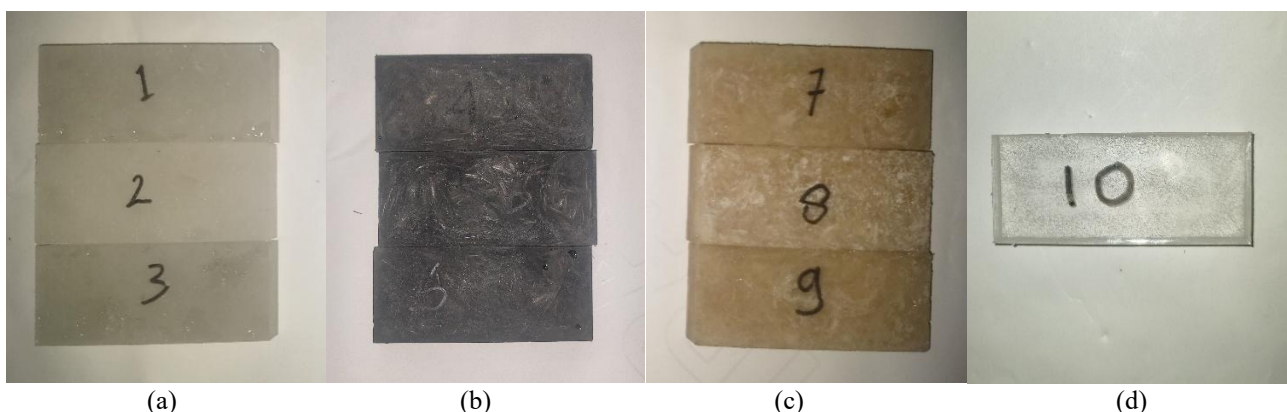


Gambar 2. Spesimen yang sudah dicetak: (a) sebelum melalui proses *facing*, (b) setelah melalui proses *facing*

Total spesimen yang didapatkan berjumlah 10 spesimen terdiri dari 3 spesimen masing-masing serat dengan persentase serat berbeda, dan 1 spesimen *pure epoxy resin*. Orientasi serat tiap spesimen tersebut adalah acak, dan pengujian dilakukan di 5 titik berbeda tiap spesimen, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3. Untuk spesimen yang sudah dicetak dan siap diuji ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Dimensi spesimen dan titik uji kekerasan



Gambar 4. Spesimen uji kekerasan: (a) *glass fiber*, (b) *carbon fiber*, (c) PALF, (d) *pure epoxy resin*

2.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dimulai dengan perhitungan data densitas aktual dan persentase porositas. Proses perhitungan membutuhkan pengukuran dimensi panjang, lebar, tinggi, dan massa spesimen dengan bantuan jangka sorong *Mitutoyo Digimatic Caliper 500-158-30* (Mitutoyo Corporation) dan timbangan digital *Synmore Digital Pocket Scale 0.01g/1000g*, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5. Densitas aktual dihitung menggunakan persamaan:

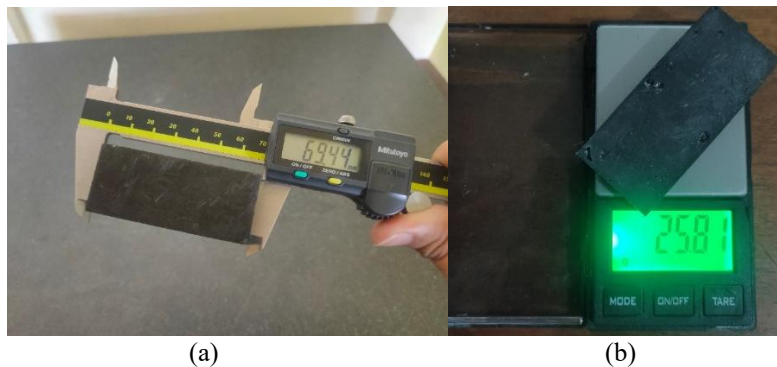
$$\rho_a = \frac{m}{v/1000} \quad (1)$$

Di mana ρ_a merupakan densitas aktual (g/cm^3), m adalah massa (g), dan v adalah volume (mm^3) [15].

Perhitungan persentase porositas dilakukan berdasarkan nilai densitas aktual yang telah didapatkan, lalu membandingkannya dengan densitas secara teoritis. Persentase porositas dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Porosity (\%)} = \frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_t} \times 100\% \quad (2)$$

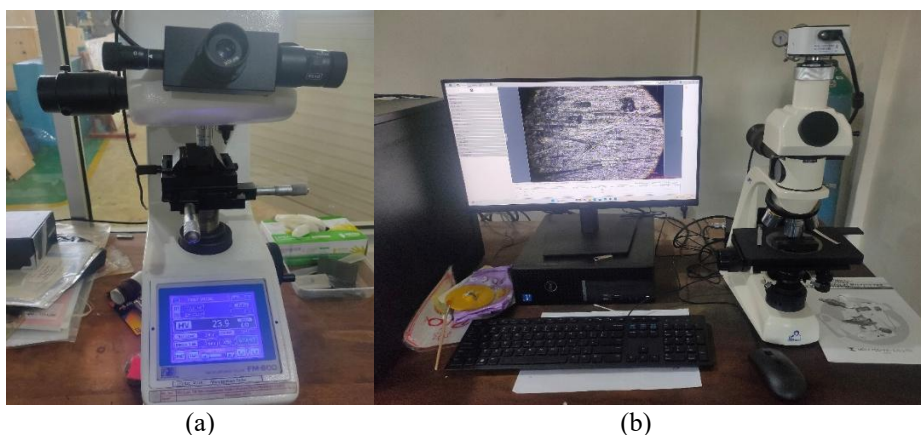
Di mana nilai ρ_t diperoleh dari nilai persentase *density* tiap serat ditambah persentase *density epoxy resin* (kecuali untuk spesimen *pure epoxy resin*) pada Tabel 1, dan ρ_a merupakan nilai densitas aktual yang diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan (1)[16].



Gambar 5. Pengukuran dimensi spesimen: (a) panjang, lebar, dan tinggi spesimen, (b) massa spesimen

Selanjutnya adalah melakukan pengujian kekerasan metode Vickers menggunakan *microhardness tester Future-Tech FM-800* (Future-Tech Corp.). Pengujian kekerasan mengacu pada standar ASTM E348 di mana pengujian dilakukan di 5 titik berbeda tiap spesimen dengan beban konstan sebesar 200 gf (1,96133 N).

Setelah pengujian kekerasan dilakukan, pengukuran dan perhitungan dilakukan terhadap hasil pengujian. Pengukuran dilakukan dengan bantuan mikroskop *MeijiTechno MT8530L* (Meijitechno Co., Ltd.), dan perhitungan dilakukan dengan bantuan *software Microsoft Excel 2019* (Microsoft Corporation) untuk hasil yang lebih akurat. Proses pengujian dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. (a) pengujian kekerasan, (b) pengukuran hasil uji kekerasan

Perhitungan nilai kekerasan Vickers (HV) untuk pengujian *microhardness* berdasarkan panjang diagonal hasil penekanan dan beban yang diterapkan, dilakukan menggunakan persamaan:

$$HV = \frac{2 \times F \times \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (3)$$

Di mana F merupakan beban yang diterapkan (N), d merupakan nilai rata-rata dari panjang diagonal hasil penekanan [17].

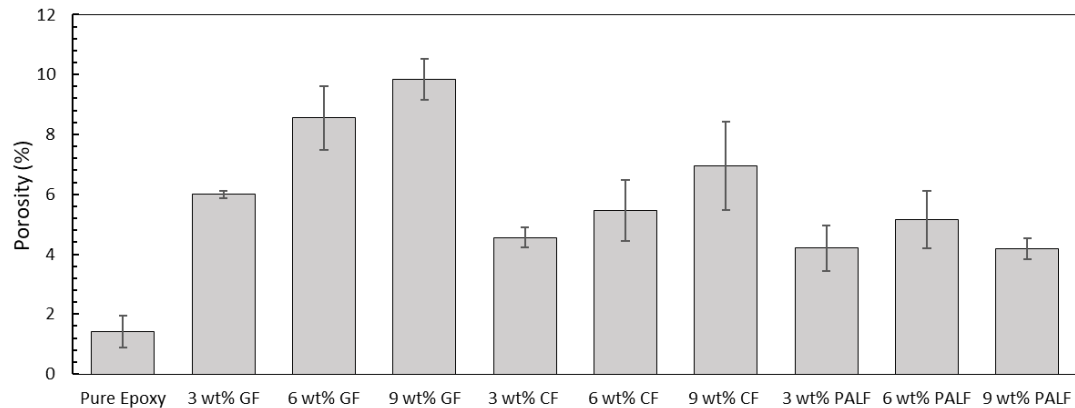
3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan terhadap densitas aktual dilakukan dengan menggunakan persamaan (1). Selanjutnya, nilai densitas aktual tersebut digunakan untuk meakukan perhitungan terhadap persentase porositas menggunakan persamaan (2). Rata-rata hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

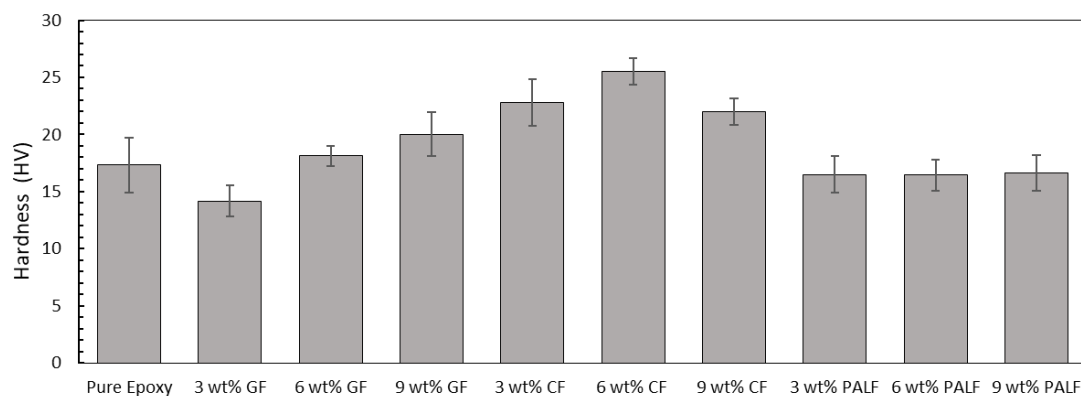
Tabel 2. Hasil pengukuran dimensi spesimen, densitas aktual, serta persentase porositas spesimen

Fiber Percentage	Density (g/cm ³)	Porosity (%)	Hardness (HV)
Pure Epoxy	1,14 ± 0,01	1,41 ± 0,52	22,83 ± 2,04
3 wt% GF	1,13 ± 0,00	5,99 ± 0,12	25,53 ± 1,16
6 wt% GF	1,14 ± 0,01	8,55 ± 1,06	22,01 ± 1,60
9 wt% GF	1,16 ± 0,01	9,84 ± 0,69	14,17 ± 1,36
3 wt% CF	1,13 ± 0,00	4,55 ± 0,34	18,14 ± 0,87
6 wt% CF	1,13 ± 0,01	5,47 ± 1,02	20,02 ± 1,91
9 wt% CF	1,13 ± 0,02	6,96 ± 1,47	16,50 ± 1,34
3 wt% PALF	1,11 ± 0,01	4,20 ± 0,76	16,43 ± 1,55
6 wt% PALF	1,09 ± 0,01	5,16 ± 0,96	16,63 ± 0,65
9 wt% PALF	1,10 ± 0,00	4,19 ± 0,34	17,31 ± 2,37

Nilai densitas pada tiap spesimen cenderung konstan, namun nilai densitas pada spesimen dengan penguat serat daun nanas (PALF) memiliki nilai densitas yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan serat lainnya dan *pure epoxy resin*, yaitu di angka 1,09 – 1,11 g/cm³. Seperti yang terlihat pada Gambar 7, tingkat porositas setelah penambahan serat meningkat sebesar 2,78% – 8,43% dibandingkan dengan *epoxy resin* murni, terutama pada serat kaca. Hal ini dapat terjadi karena interaksi unik antara serat kaca dan matriks polimer, yang dapat menyebabkan peningkatan pembentukan kekosongan selama proses pembuatan spesimen. Selain itu, nilai porositas pada serat sintesis meningkat seiring dengan peningkatan persentase serat karena viskositas lelehan yang berkurang, yang memungkinkan lebih banyak udara terjebak selama pemrosesan [18].



Gambar 7. Grafik hasil pengukuran persentase porositas spesimen



Gambar 8. Grafik hasil penhujian kekesaran Vickers

Perhitungan terhadap nilai kekerasan Vickers dilakukan dengan menggunakan persamaan (3). Seperti yang terlihat pada Gambar 8, hasil perhitungan menunjukkan bahwa serat karbon dengan variasi 6 wt% CF memiliki nilai rata-rata kekerasan Vickers (HV) tertinggi di angka 25,53 HV. Hal ini terjadi karena persentase serat yang terlalu tinggi menyebabkan matriks tidak dapat mengikat serat dengan lebih efektif [19]. Hasil variasi lainnya rata-rata di angka 22,83 HV pada variasi 3 wt% dan 22,01 HV pada variasi 9 wt%. Sedangkan pada serat kaca, nilai kekerasannya rata-rata di angka 14,17 HV pada variasi 3 wt%, 18,14 HV pada variasi 6 wt%, dan 20,20 HV pada variasi 9 wt%. Peningkatan persentase serat meningkatkan distribusi beban dan penguatan, sehingga meningkatkan ketahanan material terhadap deformasi [20]. Sementara pada serat daun nanas (PALF), nilai kekerasannya cenderung sama dengan *full epoxy resin*, yaitu rata-rata di angka 17,31 HV untuk *full epoxy resin*, 16,50 HV pada variasi 3 wt%, 16,43 HV pada variasi 6 wt%, dan 16,63 pada variasi 9 wt%. Penambahan serat PALF cenderung meningkatkan kekakuan viskoelastik matriks epoksi, yang berkontribusi mempertahankan tingkat kekerasan komposit [21].

4. Kesimpulan

Penambahan serat pada material komposit dapat memperkuat sifat mekanik komposit tersebut. Namun, penggunaan serat sintesis terutama serat karbon masih lebih unggul dibandingkan serat lainnya dibandingkan serat lainnya karena memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Meskipun demikian, serat sintesis memiliki tingkat porositas yang tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh interaksi antara serat dan matriks, persentase serat, serta proses pembuatan komposit. Sedangkan serat daun nanas menunjukkan nilai porositas dan tingkat kekerasan yang lebih stabil. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan sifat mekanis antara serat daun nanas dan serat sintesis lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] Gaba EW, Asimeng BO, Kaufmann EE, Katu SK, Foster EJ, Tiburu EK. Mechanical and Structural Characterization of Pineapple Leaf Fiber. *Fibers* 2021;9:51. <https://doi.org/10.3390/fib9080051>.
- [2] Widodo L, Priyanto K, Margono B. ANALISIS KETANGGUHAN IMPAK KOMPOSIT POLYESTER BERPENGUAT SERAT DAUN NANAS BERDASARKAN JENIS ANYAMAN. *Teknika* 2022;7:217–27. <https://doi.org/10.52561/teknika.v7i4.207>.
- [3] Widodo E, Iswanto I. Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit. Umsida Press; 2022. <https://doi.org/10.21070/2022/978-623-464-042-7>.
- [4] Nurul Farhana Roszaini, Othman SA. The Investigation of General Properties of Carbon Fiber (CF) Composites - Preliminary Study. *Journal of Applied Science & Process Engineering* 2023;10:59–65. <https://doi.org/10.33736/jaspe.5528.2023>.
- [5] Malkapuram R, Kumar V, Yuvraj Singh Negi. Recent Development in Natural Fiber Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2009;28:1169–89. <https://doi.org/10.1177/0731684407087759>.
- [6] Saidah A, Susilowati SE, Nofendri Y. PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT TERHADAP KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT SERAT JERAMI PADI EPOXY DAN SERAT JERAMI PADI RESIN YUKALAC 157. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur* 2018;5:96–101. <https://doi.org/10.21009/JKEM.5.2.7>.
- [7] Sulistiono DO, Al Farizi MohS, Suranto DD, Wahyudiono A. Pengaruh Serat Goni Terhadap Kekuatan Impact dan Kekuatan Bending Komposit Bermatriks Polyester. *Jurnal Teknik Terapan* 2024;3:21–7. <https://doi.org/10.25047/jteta.v3i1.36>.
- [8] Kaselle H, Trisnawathy T, Asgar A, Ramadhan A. Studi Penambahan Serat Alam Daun Nanas Raja Pada Kuat Tekan dan Tarik Beton. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering* 2024;4:91–7. <https://doi.org/10.31963/jacee.v4i1.4946>.
- [9] N. Lenin Rakesh, K. Selvakumar, V. Mohanavel. Physical, Mechanical and Thermal Characterization of Areca, Pineapple and Glass Fiber Reinforced Polymer Composites for Aerospace Applications. *Journal of Environmental Nanotechnology* 2024;13:345–52. <https://doi.org/10.13074/jent.2024.09.243792>.
- [10] Asim M, Abdan K, Jawaid M, Nasir M, Dashtizadeh Z, Ishak MR, et al. A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *Int J Polym Sci* 2015;2015:1–16. <https://doi.org/10.1155/2015/950567>.
- [11] Santosha PVChRK, Shiva Shankare Gowda ASa, Manikanth V. Effect of fiber loading on thermal properties of banana and pineapple leaf fiber reinforced polyester composites. *Mater Today Proc* 2018;5:5631–5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.155>.
- [12] Park S Bin, Lee JS, Kim JW. Effects of short glass fibers on the mechanical properties of glass fiber fabric/PVC composites. *Mater Res Express* 2017;4:035301. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aa6142>.
- [13] Luo X, Liu X-F, Ding X-M, Chen L, Chen S-C, Wang Y-Z. Effects of curing temperature on the structure and properties of epoxy resin-poly(ϵ -caprolactam) blends. *Polymer (Guildf)* 2021;228:123940. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.123940>.
- [14] Mohd Abdul Rahman MZ, Ariffin AH. Mechanical Properties of Hybrid Kenaf - Pineapple Leaf Fibre (PALF) Epoxy Composite For Engineering Application. *Progress in Aerospace and Aviation Technology* 2022;2. <https://doi.org/10.30880/paat.2022.02.01.004>.

- [15] Hellström K, Diószegi A, Diaconu L. A Broad Literature Review of Density Measurements of Liquid Cast Iron. *Metals (Basel)* 2017;7:165. <https://doi.org/10.3390/met7050165>.
- [16] Pratama J, Adib AZ. Pengaruh Parameter Cetak Pada Nilai Kekerasan Serta Akurasi Dimensi Material Thermoplastic Elastomer (TPE) Hasil 3D Printing. *Jurnal Ilmiah Giga* 2022;25:35. <https://doi.org/10.47313/jig.v25i1.1712>.
- [17] Cheng W-S, Chen G-Y, Shih X-Y, Elsisi M, Tsai M-H, Dai H-J. Vickers Hardness Value Test via Multi-Task Learning Convolutional Neural Networks and Image Augmentation. *Applied Sciences* 2022;12:10820. <https://doi.org/10.3390/app122110820>.
- [18] Musov I V., Slonov AL, Zhansitov AA, Khakulova DM, Khashirova S. Influence of Concentration of Carbon and Glass Fibers, Melt Viscosity, and Number of Extrusions on the Porosity of Composites Based on Polyphenylene Sulphone, Polyethyrimide and Polyphenylene Sulfide. *Key Eng Mater* 2020;869:481–7. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.869.481>.
- [19] Ozsoy N, Ozsoy M, Mimaroglu A. Mechanical Properties of Chopped Carbon Fiber Reinforced Epoxy Composites. *Acta Phys Pol A* 2016;130:297–9. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.130.297>.
- [20] Antipas IR. Effect of Glass Fiber Reinforcement on the Mechanical Properties of Polyester Composites. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don)* 2023;23:387–97. <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2023-23-4-387-397>.
- [21] Glória GO, Teles MCA, Périssé FL, Vieira CMF, Monteiro SN, Margem FM, et al. Dynamic-Mechanical Analysis of Epoxy Composites Reinforced with PALF Fibers, 2018, p. 139–45. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72484-3_15.