



JEEE: Journal of Educational Engineering and Environment

Received 11th April 2025
Accepted 27th May 2025
Published 30th May 2025

Open Access

Mechanical Strength Analysis of Composites As Advanced And Sustainable Future Materials

Wahyu Fajar Manzilah^a, Ikhwanul Qiram^{b*}

^a Student Departemen of Mechanical Engineering, University of PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 22, Kertosari, Banyuwangi

^b Lecturer Departemen of Mechanical Engineering, University of PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 22, Kertosari, Banyuwangi

manzilah70@gmail.com ^{a*} ikhwanulqiram@gmail.com

Abstract: The development of composite materials has become one of the efforts to improve energy efficiency, driven by increasing environmental concerns and the depletion of fossil and mineral resources. These issues have encouraged researchers across various countries to seek accurate and effective solutions, particularly in reducing the use of metallic materials in a sustainable manner. Research on natural fiber composites presents significant potential as an alternative sustainable material; however, technical challenges, economic value, and real-world application must be overcome in order to compete with conventional materials. Efforts to develop more environmentally friendly fiber processing methods are essential to maintain environmental stability during production and usage. Improving mechanical properties through variations and combinations of fibers and matrices tailored to specific functions or mechanical needs is also critical. Based on the research and analyses conducted, composite materials demonstrate good durability and mechanical strength using various components such as carbon or aramid fibers, combined with different types of matrices like polyester resin, epoxy, binders, and polypropylene. Each type of matrix significantly influences the resulting mechanical strength. With the continuous advancement of research, natural fibers offer great potential due to their abundant availability and eco-friendliness compared to carbon or aramid fibers, even though their mechanical strength is not yet on par.

Keywords: *Fiber metal laminated, Resin and catalyst, Composite material, Mechanical testing*

Introduction

Dalam dunia teknik material yang terus berkembang, komposit merupakan salah satu material modern dengan penggabungan dua material antara serat dan logam, yang di design untuk menggabungkan kuat mekanik dari kedua material tersebut. Metode tersebut pertama kali dikembangkan pada tahun 1980-an. Perkembangan teknologi dan industri yang terjadi di dunia menjadi tantangan tersendiri dalam pengembangan teknologi di bidang material untuk menghasilkan kekuatan yang berimbang dengan material logam yaitu komposit[1]. Komposit menawarkan kekuatan yang menarik dengan bobot yang ringan, dan juga ketahanan terhadap korosi yang signifikan. Teknologi material komposit tidak hanya diterapkan pada bidang otomotif namun juga digunakan sebagai perlindungan dalam dunia militer bahkan pada tahun 2019 telah dilakukan penelitian tentang komposit sebagai pelapis pada material FML serat karbon yang disimulasikan menggunakan ANSYS 18.1 *Workbench* sebagai rompi anti

peluru dengan konfigurasi *triple layered*[2]. Pengembangan komposit menjadi salah satu penunjang dalam efisiensi energi dengan meningkatnya isu lingkungan dan menipisnya sumber daya fosil atau mineral, menjadi sebuah dorongan terhadap peneliti diberbagai negara untuk menemukan solusi yang akurat[3]. Sehingga mampu mengurangi penggunaan material logam secara berkelanjutan, bahkan dalam beberapa tahun terakhir material komposit tidak hanya terfokus pada serat karbon ataupun sintesis, dengan ketersediaan beberapa jenis tumbuhan yang mengandung serat juga tidak lepas dari peneliti untuk diketahui kekuatan yang dimiliki, hal tersebut terjadi karena sumber daya yang sangat melimpah sehingga banyak potensi yang dapat digali secara berkelanjutan namun tidak merusak ekosistem yang ada. Untuk mencapai potensi kuat mekanik komposit serat alam yang maksimal maka perlu dilakukan analisis secara mendalam dengan metode pengujian eksperimental ataupun pemodelan numerik, untuk dapat mengidentifikasi dan optimalisasi parameter yang mempengaruhi kinerja komposit. Selain itu penting juga mempertimbangkan

interaksi antara serat dengan matrik yang digunakan dan akan berpengaruh terhadap kekuatan secara keseluruhan. Maka material komposit dapat menjadi pilihan utama dalam pembangunan industri otomotif ataupun konstruksi yang berkelanjutan dan produk inovasi yang canggih dimasa depan berbasis serat alam sebagai produk yang ramah lingkungan dan memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan sebagai bahan baku aneka industri[4].

Metode

Dengan pendekatan sistematis dalam pemilihan literatur yang dilakukan merujuk pada pengumpulan data guna analisis lanjutan, dalam pemilihan literatur dan data base haruslah relevan dengan memilih sumber yang memiliki kredibilitas tinggi. Ini dapat ditentukan dengan melihat reputasi penerbit ataupun tinjauan pustaka yang digunakan oleh penulis. Data yang digunakan diperoleh dari data base akademik *Google Scholar* dan *Science Direct* dengan rentan waktu terbit yang ditentukan dari tahun 2017 sampai dengan 2025 dengan kata kunci Fiber Metal *Laminated*, resin and katalis, Material Komposit, Uji Mekanik Serat Alam

Hasil dan Pembahasan

1. FML Serat Karbon

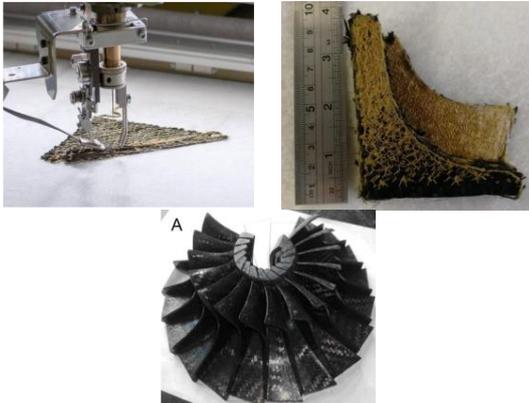
FML serat karbon merupakan material kombinasi lebih dari satu jenis material (logam dan serat) dalam proses pembuatannya maka akan berpengaruh terhadap kuat mekaniknya. Serat karbon merupakan salah satu bahan dalam pembuatan komposit fiber metal *laminated*, seperti penelitian yang telah dilakukan yaitu Pengaruh Komposit Serat Karbon Terhadap Sifat Mekanik dan Tofografi Pada Matriks Polyester BQTN 157, dimana dalam pembuatan spesimen dengan metode *hand lay up*, dengan variasi panjang serat (20, 25 dan 30 mm) dan persentase serat (10,20 dan 30%) dengan matriks polyester BQTN 157. Dimana data yang diperoleh, kuat tarik tertinggi mencapai 105 MPa pada percobaan ke-15 dengan panjang serat 25 mm, persentase serat 36,82 %, dan curing selama 4 jam. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 30,6 MPa terjadi pada percobaan ke-11. Dari data yang didapat akan diketahui berapa nilai pengujian optimal menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM).

No	Panjang Serat	Persentase serat	Curring Time	Hasil Uji Tarik
	mm	%	Jam	Mpa
1	20	30	2	37.6
2	25	20	4	40.8
3	30	10	6	48.7
4	25	20	4	42.6
5	25	20	4	40.6
6	20	30	6	72.4
7	30	30	6	89.7
8	25	3.18	4	36.6
9	25	20	4	42.1
10	25	20	0.64	47.6
11	20	10	6	33.4
12	25	20	7.36	45
13	30	30	2	49.6
14	25	20	4	42.8
15	25	36.82	4	105
16	16.59	20	4	33.6
17	33.41	20	4	54.7
18	20	10	2	38.2
19	25	20	4	40.5
20	30	10	2	49.4

Gambar 1. Tabel Uji tarik[3]

Kemudian dari hasil analisis tersebut disimpulkan bahwa kombinasi optimal untuk memperoleh kekuatan tarik maksimal adalah pada panjang serat sekitar 25 mm, dengan persentase serat sekitar 36,82 %, dan curing selama 4 jam pada suhu 50°C. Maka dari itu proses harus diatur secara tepat untuk mendapatkan sifat mekanik terbaik dari komposit serat karbon ini[3].

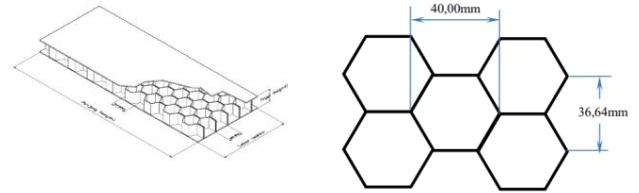
Material FML dengan bahan serat karbon memiliki kekuatan yang unggul dengan bobot yang ringan sehingga dapat diterapkan pada beberapa komponen dalam dunia industri atau otomotif seperti pembuatan impeler kompresor sentrifugal atau turbofan kecil dengan bahan serat karbon UMT-49S dan binder PN-3M, dimana material ini sangat memungkinkan dalam pengurangan berat pada impaler hingga 45% dengan ketahanan suhu maksimum 450°C sehingga aman digunakan dalam operasional karena material tidak mudah mengalami degradasi. Jika dibandingkan aluminium material ini jauh lebih ringan sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Dalam proses pembuatan impaler komposit peneliti menggunakan perancangan digital, pembuatan preform otomatis dengan jahit CNC dengan pola khusus, impregnasi bahan pengikat, proses pressing and curing, serta perakitan akir impaler. Teknologi ini memungkinkan dalam pembuatan komponen yang ringan, kuat, dan berkualitas tinggi serta memiliki tingkat cacat yang lebih rendah dibandingkan metode manual.



Gambar 2. Pembuatan bilah impaler[5]

Kemudian pengujian termal juga dilakukan pada impaler dengan model 3D yang diintegrasikan dengan gas-dinamika yang kemudian diproses dengan perangkat lunak yaitu ANSYS untuk dapat menentukan suhu dan gaya terhadap komponen ataupun bilah sudut pada impaler[5].

Penggunaan serat karbon sebagai bahan dasar komposit telah banyak diterapkan dalam berbagai bentuk spesimen uji atau aplikasi secara langsung. Seperti halnya yang dilakukan peneliti kali ini, dimana serat karbon diterapkan dalam bentuk struktur *honeycomb sandwich* dengan tujuan meningkatkan kuat mekanik, terutama pada kuat lentur dan kekakuan lentur. Pembuatan spesimen dilakukan dengan menggunakan cetakan atau molding yang telah disiapkan. Serat karbon yang digunakan adalah jenis WR240-3K dengan memvariasi jumlah lapisan yaitu 1 dan 2 lapis, matriks yang digunakan yaitu resin epoxy EPR 174 dengan katalis epoxy Hardener versamide KCA 2340. Dalam metode pencampuran resin dengan hardener peneliti menggunakan 2 perlakuan yaitu pemanasan setelah pencampuran dengan heat gun pada temperatur 80°C dan tanpa pemanasan. Dalam pengujian spesimen yang dibuat dengan 2 lapis serat dan menggunakan resin epoxy yang dipanaskan menunjukkan hasil terbaik dengan kuat lentur maximal 5,193 kgf/mm² dengan kekakuan lentur 67,49 kgf/mm. Resin epoxy yang dipanaskan menjadi lebih cair sehingga mampu masuk secara rapat pada serat dan mengurangi cacat akibat void, hal tersebut membentuk ikatan atau bonding yang lebih kuat antara serat dan matriks. Pengujian spesimen dengan standar ASTM C393-00 uji bending dilakukan dengan mesin Gotech Testing Machine model GT-7001-LS10[6].



Gambar 3. Struktur Honeycomb Sandwich[6]

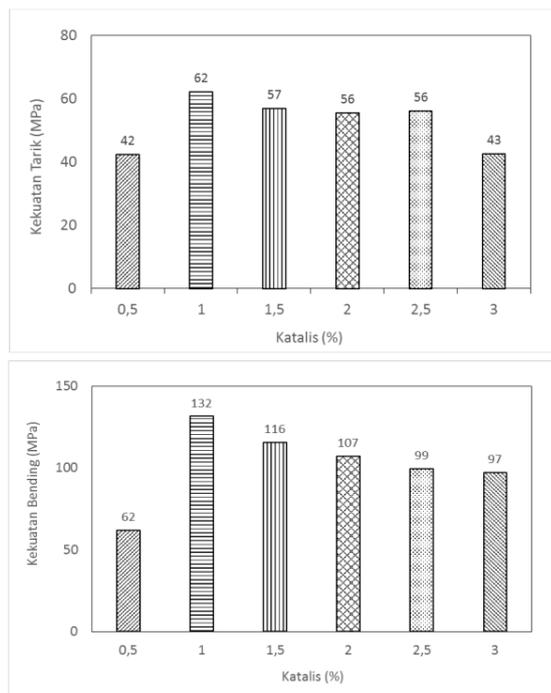
Variasi Lapisan	Berat Serat (gr)	Berat Resin (gr)	Berat Panel (gr)	Perbandingan	
				Serat (%)	Resin (%)
Persiapan Resin tanpa pemanasan					
1	160	280	440	36	64
2	230	311	541	43	57
Persiapan Resin dengan pemanasan					
1	160	240	400	40	60
2	230	260	490	47	53

Gambar 4. Tabel perbandingan resin dan serat[6]

Dari hasil ketiga peneliti menerangkan bahwa serat karbon memiliki kuat mekanik yang optimal dengan metode dan kombinasi matriks yang sesuai, serta pengujian kuat mekanik dalam berbagai spesimen uji. Dengan metode eksperimental maupun menggunakan simulasi ANSYS dalam pengambilan data, akan tetapi pada proses curing atau pengeringan spesimen tidak dijelaskan metode yang spesifik dan keseimbangan biaya produksi dengan kualitas yang dihasilkan apabila diproduksi secara massal serta dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat produksi

2. Resin dan katalis

Dalam proses pembuatan material komposit ataupun FML, resin dan katalis menjadi peranan penting dalam struktural material tersebut dengan fungsi mengikat antar serat ataupun serat dengan logam. Pada umumnya terdapat dua jenis resin yang digunakan yaitu resin epoxy dan resin polyester. Pada tahun 2017 dilakukan penelitian yang merujuk pada pengaruh penambahan katalis terhadap sifat mekanis resin polyester tak jenuh dengan jenis 157 BQTN-EX7, dimana penambahan katalis jenis Metil Etil Keton Peroksida (MEKP) dengan jumlah variasi konsentrasi antara 0,5% sampai dengan 3%, dengan data yang dihasilkan menunjukkan kuat tarik 62 MPa dengan standar pengujian yang digunakan yaitu ASTM D 638 dan kuat lentur 132 MPa dengan konsentrasi katalis 1% menggunakan standar uji ASTM D 790M.



Gambar 5. Perbandingan kuat tarik dan bending dengan penambahan katalis[7]

Penambahan konsentrasi katalis dengan takaran yang tepat mempengaruhi kuat mekanis pada resin polyester, akan tetapi jika penambahan konsentrasi katalis berlebih maka dapat memicu penurunan sifat mekaniknya. Sehingga optimalisasi terhadap konsentrasi katalis sangat penting terhadap sifat material yang diinginkan[7].

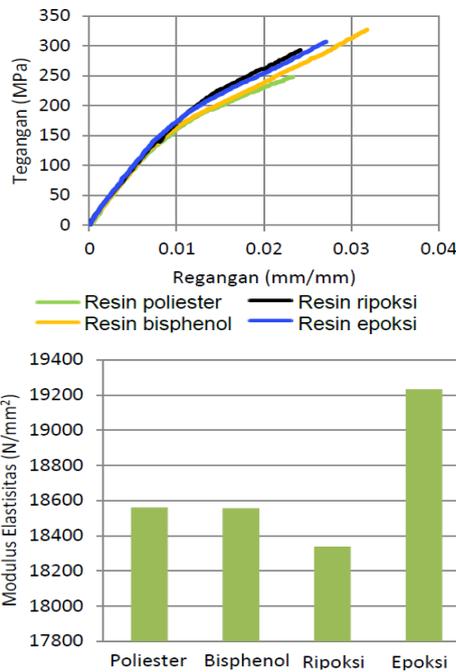
Dua tahun berikutnya seorang peneliti melakukan analisis sifat mekanik resin epoxy dengan pengeras yang berbeda. Dengan jenis resin epoxy yang digunakan yaitu DGEBA (Diglycidyl Ether of Bisphenol-A) dengan menggunakan dua jenis hardener yaitu DDM (Diamino Diphenyl Methane) dan TETA (Triethylene Tetramine). Rasio hardener/resin yang stoikiometrik yaitu (30 phr untuk DDM dan 15-20 phr untuk TETA) pada perbandingan ini menunjukan kuat impact, kuat tarik, dan kekuatan lentur yang lebih tinggi dibandingkan rasio yang lainnya. Dari hasil pengujian yang dilakukan menerangkan bahwa sistem DGBE/DDM memberikan kuat mekanik yang lebih baik dibanding dengan sistem DGBA/TETA, hal tersebut terjadi karena sifat aromatik yang dimiliki sistem DDM sehingga membuat rantai polimer lebih fleksibel dibanding sistem TETA yang alifatik. Pemilihan rasio resin/hardener yang tepat sangat berpengaruh dalam menentukan kuat mekanik dari bahan epoxy resin tersebut[8].

Hasil penelitian yang dilakukan kedua peneliti mengacu pada perbandingan variasi konsentrasi terhadap jenis resin masing-masing dengan tujuan mengetahui kuat mekanis yang optimal sesuai aplikasi, namun kurangnya data yang disajikan dalam jumlah pembuatan spesimen uji untuk memastikan reliabilitas hasil untuk mengetahui aspek ketangguhan dan ketahanan lingkungan dalam aplikasi nyata.

3. Komposit Serat Alam

Komposit merupakan salah satu material yang gencar dikembangkan karena kekuatan mekanisnya yang unggul dengan bobot yang ringan, bahkan banyak peneliti melakukan penelitian komposit berbahan serat alam. Pada tahun 2017 dilakukan penelitian kuat tarik dan patahan komposit serat waru berdasarkan jenis resin sintesis yang digunakan, serat waru yang digunakan telah melalui proses alkalisasi secara kimia dengan NaOH 6% selama 2 jam dan resin yang digunakan ada 4 jenis resin yaitu: polyester BQTN 157, bisphenol A LP-IQ-EX, repoksi R-802, dan resin epoxy A dan B. Orientasi serat yang digunakan *unidirectional* dengan perbandingan antara serat dan matriks 60:40, dalam proses pembuatan spesimen komposit menggunakan metode Vacuum Bagging dengan tekanan -27 Atm dan menggunakan standar ASTM D63B-03 *type 1* dalam pengujian tarik. Dalam hasil pengujian tarik yang dilakukan, resin bisphenol A LP-1Q-EX menghasilkan kuat tarik tertinggi sebesar 327.12 MPa tanpa menunjukkan retakan diawal sampai dengan tegangan 125.55 MPa, resin repoksi dan epoxy menghasilkan kuat tarik 292.80 dan 306.76 MPa dimana resin repoksi mengalami retakan diawal pada ujung sisi kanan necking pada tegangan 209.09 MPa, namun pada resin epoxy tidak terjadi patahan diawal melainkan fraktur menjadi melar tanpa tanda retakan sampai dengan tegangan tegangan maximumnya.

Dari data yang ditampilkan maka dapat disimpulkan bahwa komposit serat waru dengan matriks resin epoxy memiliki ketangguhan dan elastisitas yang lebih dibanding dengan yang lain[9]. Serat alam memiliki potensi kuat mekanik yang besar dalam material komposit dengan ketersediaan sumber daya yang melimpah, seperti halnya komoditas buah kelapa yang ada di Indonesia menjadi peluang dalam penelitian material komposit dengan sabut kelapa. Seperti yang dilakukan peneliti pada tahun 2021 tentang peningkatan sifat mekanik komposit serat alam limbah sabut kelapa yang biodegradable, dimana dalam pembahasannya menjabarkan bahwa peningkatan perbandingan fraksi volume serat kelapa dengan matriks UPRs 157 BQTN dengan hardener MEXPO, variasi volume serat yang digunakan antara 10, 15, dan 20% dengan 2 standar pengujian yang digunakan yaitu uji bending ASTM D790 dan uji impact dengan ASTM D5941.



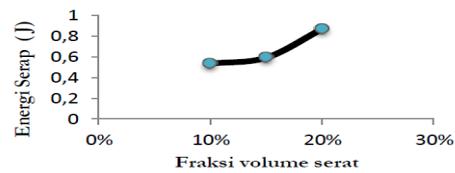
Gambar 6. Tegangan regangan dan modulus elastisitas[9]

Dari data pengujian bending yang dihasilkan dengan volume serat 10% dengan nilai 44.33 N/mm², namun pada saat volume serat dinaikkan menjadi 15% kuat mekanik yang dihasilkan menurun 18,7% yang disebabkan karena kurangnya matriks dalam mengikat serat, yang kemudian terjadi peningkatan kuat mekanik 13,6% dengan volume serat 20% dan ini terjadi karena lebih banyak jumlah serat yang mampu menahan beban. Pada pengujian impact juga meningkat secara linear dengan ditambahkan volume serat, dimana puncak ketangguhan yang dicapai pada volume serat 20% dengan nilai 0,017588 J/mm².

Dalam proses pemisahan serat sabut kelapa sama halnya dengan peneliti sebelumnya dengan menggunakan alkalisasi kimia NaOH, hanya saja terdapat perbedaan dalam persentase dan lama waktu perendaman. Perlakuan kimia yang diterapkan untuk membersihkan permukaan serat dan membuat permukaan menjadi kasar sehingga menciptakan *mechanical bounding* antara serat dan matriks yang sangat berdampak terhadap kuat mekanik pada material komposit[10].

Spesimen	Uji Bending (fraksi volume serat)	Uji Impact (fraksi volume serat)
SSK1	10%	10%
SSK2	15%	15%
SSK3	20%	20%

No	Fraksi	Energi Serap (J)	Ketangguhan Impact (J/mm ²)
1	10%	0.53600	0.011278
2	15%	0.593333	0.012080
3	20%	0.870333	0.017588



Gambar 7. Perbandingan volume serat terhadap kuat mekanik[10]

Sama halnya dengan serat yang lain, serat nanas dan kenaf juga memiliki potensi yang besar dalam dunia material komposit. Seperti yang telah dikaji oleh peneliti ditahun 2022 yaitu karakterisasi mekanik dari laminasi logam komposit dengan bahan serat kenaf dan daun nanas dengan memvariasi jumlah serat yang digunakan dengan matrik polipropilena (PP) yang merupakan thermoplastic yang ramah lingkungan dibanding matrik epoksi. Untuk mengetahui kuat mekanik pada komposit tersebut maka dilakukan pengujian tarik, lentur, dan impact charpy.

Fiber content (%)	Kenaf fiber		PALF	
	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)
10	45.52 (1.14)	18.87 (0.80)	46.36 (0.54)	20.09 (0.61)
20	51.85 (1.18)	20.35 (0.44)	54.15 (1.27)	21.73 (1.03)
30	56.79 (1.18)	21.85 (0.61)	60.30 (1.70)	22.93 (1.11)
40	53.36 (0.42)	21.23 (0.66)	56.67 (1.77)	21.86 (0.98)
50	52.26 (0.59)	20.48 (0.29)	52.58 (0.08)	20.59 (0.28)

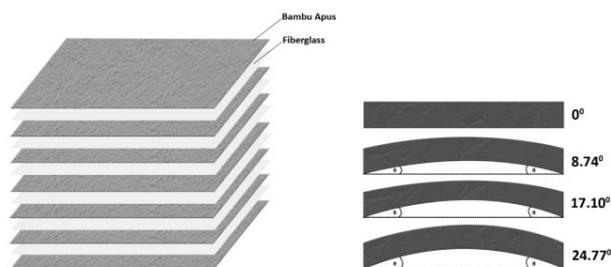
Fiber content (%)	Kenaf fiber		PALF	
	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (GPa)
10	74.79 (3.24)	2.00 (0.43)	87.75 (2.26)	2.40 (0.22)
20	77.42 (1.75)	2.13 (0.13)	98.38 (1.34)	2.42 (0.34)
30	103.31 (2.80)	2.54 (0.23)	106.86 (0.61)	3.03 (0.06)
40	92.89 (1.12)	2.47 (0.14)	95.13 (2.89)	2.80 (0.23)
50	83.55 (1.89)	2.39 (0.19)	93.89 (2.96)	2.75 (0.27)

Gambar 8. Hasil pengujian tarik dan lentur[11]

Dari hasil pengujian impact yang dilakukan menunjukkan kuat serap energi terbaik pada volume serat 30%, jika volume serat ditambah maka menyebabkan penurunan kuat mekanik karena jumlah matrik yang sedikit[11].

Pada penelitian terbaru tentang material komposit *hybrid* dilakukan analisa kuat mekanik dengan kombinasi serat

bambu apus dengan *fiberglass* dengan menerapkan pola anyaman basket dengan matriks resin epoxy, serat bambu yang digunakan telah melalui proses pengawetan menggunakan larutan dengan kandungan natrium tetrabutirat 2,5%. Dalam metode pembuatannya menggunakan *bladder compression moulding* dengan bentuk lengkung yang bervariasi antara 0°, 8.74°, 17.10°, dan 24.77°. Dengan jumlah lapisan serat bambu 7 lapis.



Gambar 9. Konfigurasi lapisan dan variasi sudut spesimen [12]

dalam pengambilan data yang dilakukan menggunakan dua metode pengujian yaitu uji impak dan uji tekuk, dimana hasil yang didapat dalam pengujian impak dengan lengkung 24.77° memiliki kuat impak 111.61 J/mm² dan kekuatan tekuk mencapai 382,50 MPa, maka bentuk lengkung yang diterapkan pada bentuk spesimen sangat berpengaruh terhadap kuat mekanik yang dihasilkan [12].

Penelitian tentang komposit serat alam menyajikan potensi yang besar sebagai material alternatif berkelanjutan, namun tantangan teknis dan juga nilai ekonomi serta penerapan dalam aplikasi nyata harus teratasi, agar dapat bersaing dengan material konvensional. Pengembangan metode pengolahan serat yang lebih ramah lingkungan guna menjaga stabilitas lingkungan pada area produksi ataupun penggunaan dalam lapangan, peningkatan sifat mekanis dengan melakukan variasi dan kombinasi serat serta matriks yang sesuai peruntukannya ataupun kebutuhan mekaniknya, meski serat alam memiliki potensi yang sangat besar namun aplikasi nyata pada industri terbilang masih rendah. Maka penelitian juga perlu dikaitkan dengan pengembangan dengan standar industri dan regulasi yang mendukung.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan material komposit memberikan ketahanan dan kuat mekanik yang baik dengan berbagai bahan yang digunakan seperti, serat karbon ataupun aramid dengan menggunakan berbagai jenis matriks seperti resin polyester,

epoksi, binder dan juga polipropilane. Dimana dalam tiap-tiap jenis matrik yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kuat mekanik yang dihasilkan. Dengan berkembangnya penelitian yang dilakukan, serat alam juga memberikan potensi yang sangat besar dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah dan juga lebih ramah lingkungan dibanding dengan serat karbon ataupun aramid meski kuat mekaniknya tidak setara. Maka perlu penelitian lanjutan secara mendalam terhadap serat alam sebagai bahan komposit untuk mampu bersaing dengan serat karbon dan sejenisnya, pengembangan metode pengolahan dalam memperoleh serat yang diinginkan juga perlu diperhitungkan, dimana rata-rata yang dilakukan oleh peneliti dalam pengolahan serat menggunakan alkalisasi kimia berupa NaOH dengan persentase tertentu meskipun dalam skala kecil, namun bagaimana jika dengan produksi masal. Maka penelitian lanjutan yang dapat dilakukan yaitu rancang bangun filtrasi untuk pemisah ataupun netralisasi air sisa pengolahan serat secara sederhana namun dengan hasil maksimal. Penggunaan matriks dalam pembuatan material komposit hanya menggunakan satu jenis matrik dalam satu spesimen uji dengan memvariasi jenis serat atau pola anyaman, salah satu kerusakan pada fraktur setelah dilakukan pengujian yaitu terjadinya delaminasi, yang artinya daya rekat atau mechanical bonding kurang maksimal pada saat pengujian, maka untuk mengurangi terjadinya hal tersebut dapat mengkombinasikan jenis resin yang digunakan dalam satu spesimen atau penggunaan gel coat pada lapisan pertama antara plat dengan serat jika itu pada material FML

Daftar Pustaka

- [1] Agarwal, K. K., & Agarwal, G. (2019). *A Study of Mechanical Properties of Epoxy Resin In Presence of A Study of Mechanical Properties of Epoxy Resin In Presence of Different Hardeners*. June.
- [2] Baharuddin, M. H. Bin, Manik, P., & Kiryanto, K. (2025). Analisis Kombinasi Laminasi Serat Bambu Apus Dengan Fiberglass (Chopped Strand Matt) Menggunakan Teknik Anyaman Dicitak Lengkung (Curve) Untuk Material Kulit Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 13(1).
- [3] Fadhillah, arief riski, & sofyon arief setiyabudi, anindito purnowidodo. (2017). *Karakteristik Komposit Serat Kulit Pohon Waru (Hibiscus Tiliaceus) Berdasarkan Jenis Resin Sintetis*. 8(2), 101–108.
- [4] Fadly, M. S., Tadulako, U., & Purnowidodo, A. (2022). *Deformation and Energy Absorption of Fiber Metal Laminates (FMLs) After deformation and energy absorption of fiber metal laminates (FMLs) after ballistic impact load*. August. <https://doi.org/10.28989/senatik.v5i0.361>
- [5] Feng, N. L., Malingam, S. D., Ping, C. W., & Selamat, M. Z. (2022). Mechanical characterization of metal-composite laminates based on

- cellulosic kenaf and pineapple leaf fiber. *Journal of Natural Fibers*, 19(6), 2163–2175. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1807437>
- [6] Hastuti, S., Budiono, H. S., Ivadiyanto, D. I., & Nahar, M. N. (2021). Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Serat Alam Limbah Sabut Kelapa (Cocofiber) yang Biodegradable. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(1), 30–37. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2257>
- [7] Hestiawan, H., Jamasri, & Kusmono. (2017). Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Sifat Mekanis Resin Poliester Tak Jenuh. *Teknosia*, 3(1), 1–7.
- [8] Marsono, M., Anggraeni, N. D., & Faisal, F. A. (2021). Kaji Eksperimental Sifat Mekanik Honeycomb Sandwich Komposit Serat Karbon dengan Uji Bending. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 5(2), 114. <https://doi.org/10.25077/metal.5.2.114-125.2021>
- [9] Martynyuk, L. A., Afanasiev, D. V., Bykov, L. V., Ezhov, A. D., & Mezintsev, M. A. (2021). The study of the applicability of polymer composite materials for the manufacture of the impeller of a centrifugal compressor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1060(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1060/1/012026>
- [10] Pramudia, M., Prasetyo, T., Studi Teknik Mesin, P., Trunojoyo Madura, U., & Raya Telang, J. (2024). Analisis Kekuatan Bending Material Komposit Fiber Metal Laminate Serat Kulit Jagung Bermatriks Polyester. 15(02), 342–348. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v15i2.2343>
- [11] Roni, K. (2024). Pengaruh Pemaparan Cuaca Terhadap Densitas Komposit Poliester Dengan Penguat Serat Bambu Petung (Dendrocalamus Asper). *Teknika*, 9(1), 89–95. <https://doi.org/10.52561/teknika.v9i1.355>
- [12] Suparno, O. (2020). Potensi Dan Masa Depan Serat Alam Indonesia Sebagai Bahan Baku Aneka Industri. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2), 221–227. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.2.221>.
- [13] F. Jawaid, M. Thariq, and N. Saba, “A review on natural fiber reinforced hybrid composites: Processing, properties and applications,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 19, pp. 379–384, 2019. doi: 10.1016/j.matpr.2019.07.668.
- [14] K. Pickering, M. Aruan Efendy, and T. Le, “A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 83, pp. 98–112, Apr. 2016. doi: 10.1016/j.compositesa.2015.08.038.
- [15] A. K. Bledzki and J. Gassan, “Composites reinforced with cellulose-based fibres,” *Progress in Polymer Science*, vol. 24, no. 2, pp. 221–274, 1999. doi: 10.1016/S0079-6700(98)00018-5.
- [16] L. Yan, B. Kasal, and L. Huang, “A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 92, pp. 94–132, May 2016. doi: 10.1016/j.compositesb.2016.02.002.
- [17] N. Saba, M. Jawaid, and M. T. Paridah, “Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review,” *Construction and Building Materials*, vol. 76, pp. 87–96, Feb. 2015. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.11.035.