



Pengaruh Fraksi Serat terhadap Kekuatan Impak pada Lapisan Luar Komposit Honeycomb

Jesaya Imanuel Soni Junior Pondaag¹, Imran Musanif², Artian Sirun³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado

¹jesayapondaag@gmail.com ²02musanif@gmail.com ³sirunartian@gmail.com

Abstract

Sandwich composites with a bamboo honeycomb core and coconut coir fibre face plates offer an alternative for lightweight structures that must absorb impact energy. This study examines the effect of coir fibre volume fraction in the face plate on the impact energy and impact strength of the composite. Fibres were alkali-treated in sodium hydroxide for one hour, then moulded with epoxy resin into 2 mm face plates at volume fractions of 30%, 40% and 50%. The core was assembled from bamboo strips into hexagonal cells of 10 mm cell side, 20 mm wall height and 1 mm wall thickness. Testing followed the Izod method of ASTM D256 with three specimens per fraction, and impact strength was taken as absorbed energy divided by the 136 mm² cross-section. Mean impact energy reached 6.93 J at 30%, 9.67 J at 40% and 7.50 J at 50%, equivalent to impact strengths of 0.0510, 0.0711 and 0.0551 J/mm². Scatter was wide, with standard deviations of 2.52, 5.80 and 3.32 J, and one-way analysis of variance gave $F(2,6) = 0.37$ ($p = 0.71$). The 40% composition is therefore best read as a working indication that needs confirmation with more specimens and tighter process control.

Keywords: impact energy, volume fraction, impact strength, honeycomb composite, coconut coir fibre

Abstrak

Komposit *sandwich* dengan *core honeycomb* bambu dan *face plate* berpenguat serat sabut kelapa berpotensi dipakai pada struktur ringan yang harus menyerap energi benturan. Penelitian ini menguji pengaruh fraksi volume serat sabut kelapa pada *face plate* terhadap energi impact dan kekuatan impact komposit tersebut. Serat diberi perlakuan alkali natrium hidroksida selama satu jam, lalu dicetak bersama resin epoksi menjadi *face plate* setebal 2 mm pada fraksi volume 30%, 40%, dan 50%. *Core* disusun dari bilah bambu menjadi sel heksagonal dengan panjang sisi sel 10 mm, tinggi dinding 20 mm, dan tebal dinding 1 mm. Pengujian memakai metode Izod mengacu pada ASTM D256 dengan tiga spesimen tiap fraksi. Kekuatan impact dihitung dari energi serap dibagi luas penampang 136 mm². Rata-rata energi impact yang diperoleh 6,93 J pada fraksi 30%, 9,67 J pada 40%, dan 7,50 J pada 50%, setara dengan kekuatan impact 0,0510, 0,0711, dan 0,0551 J/mm². Nilai rata-rata tertinggi jatuh pada fraksi 40%. Sebaran data di dalam tiap fraksi cukup lebar, dengan simpangan baku 2,52; 5,80; dan 3,32 J, sementara bacaan individual pada fraksi 40% terentang dari 4,0 sampai 15,6 J. Uji analisis varians satu arah menghasilkan $F(2,6) = 0,37$ ($p = 0,71$), sehingga perbedaan antarfraksi belum dapat dipisahkan dari keragaman antarspesimen. Komposisi 40% sebaiknya dibaca sebagai indikasi awal yang masih perlu dikonfirmasi dengan jumlah spesimen lebih banyak dan kendali proses yang lebih ketat.

Kata kunci: energi impact, fraksi volume, kekuatan impact, komposit honeycomb, serat sabut kelapa

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan material yang kuat, ringan, murah, dan tidak memberatkan lingkungan terus naik seiring perkembangan industri. Di sektor otomotif, konstruksi, dan perkapalan, material dituntut mampu menahan beban dinamis maupun benturan tanpa menambah berat struktur secara berarti [1]. Komposit menjadi salah satu jawaban atas tuntutan itu. Komposit terbentuk dari penggabungan dua bahan atau lebih yang tidak menyatu secara homogen,

sehingga material yang dihasilkan membawa sifat mekanik gabungan dari komponen penyusunnya [2]. Salah satu bentuk yang banyak dipakai adalah struktur *sandwich* dengan inti *honeycomb*: *core* bersel heksagonal menyerupai sarang lebah diapit dua lapisan luar (*face plate*). *Core* menjaga jarak antar-*face plate* dan menahan gaya geser, sedangkan *face plate* menahan tegangan tarik dan tekan. Susunan seperti ini menurunkan berat struktur tanpa banyak

mengorbankan kemampuan menahan beban lentur [3], sehingga banyak dipakai di industri otomotif, konstruksi, perkapalan, dan dirgantara.

Penguat komposit umumnya berupa serat, baik sintetis maupun alam. Industri manufaktur masih banyak memakai serat kaca (*Glass Fiber Reinforced Polymer/GFRP*) untuk menggantikan komponen berbahan logam [4]. Serat sintetis punya kelemahan yang sulit diabaikan: limbahnya tidak terurai. Serat alam menawarkan jalan keluar karena dapat diperbarui dan terurai secara hayati.

Sabut kelapa termasuk serat alam yang mudah diperoleh di Indonesia, harganya murah, dan sebagian besar masih berakhir sebagai limbah [5]. Densitasnya sekitar 1,1 g/cm³ dengan kekuatan tarik pada rentang 100-200 MPa dan modulus elastisitas sekitar 4-6 GPa [6]. Nilai itu memang di bawah serat karbon atau kaca, tetapi cukup untuk aplikasi struktural ringan yang lebih menuntut kemampuan menyerap energi. Kelemahan utamanya bersifat higroskopis, sehingga daya rekatnya terhadap matriks menurun. Perlakuan alkali dengan natrium hidroksida dipakai untuk melarutkan lignin, hemiselulosa, dan zat pengotor di permukaan serat sehingga ikatan antarmuka membaik [7]. Lama perendaman perlu dijaga, sebab perlakuan yang terlalu lama mulai mendegradasi selulosa yang justru menjadi penguat utama serat [8].

Fraksi volume serat menentukan perbandingan jumlah serat terhadap matriks di dalam komposit. Serat berperan sebagai penguat utama, matriks mengikat serat sekaligus meneruskan tegangan antarserat. Beberapa penelitian menunjukkan hubungan itu tidak sederhana. Sasria dkk. memperoleh kekuatan impact optimum 0,408 J/mm² pada fraksi volume serat sabut kelapa 40% dengan matriks polyester dan perlakuan NaOH 5% [9]. Pada komposit sabut kelapa bermatriks epoksi, kekuatan impact tertinggi 0,048 J/mm² muncul pada fraksi volume 20% dengan perendaman alkali 1,5 jam, sedangkan perendaman 3,5 jam pada fraksi 10% memberikan nilai terendah 0,017 J/mm² [8]. Zarviansyah dkk. menemukan fraksi volume dan panjang serat sama-sama menentukan kekuatan tarik komposit sabut kelapa [10]. Pada komposit hibrid, penambahan proporsi sabut kelapa sampai 25% justru menurunkan kekuatan tarik [11], dan dominasi sabut kelapa dalam jumlah besar menurunkan nilai impact komposit ijuk-sabut kelapa bermatriks epoksi [12]. Pola berulang dari studi-studi itu adalah adanya komposisi optimum, bukan hubungan yang terus naik.

Kajian tentang serat sabut kelapa sejauh ini banyak diarahkan pada komposit homogen atau hibrid. Penggunaannya sebagai *face plate* pada struktur *honeycomb* berinti bambu masih jarang dibahas. Penelitian ini karena itu memvariasikan fraksi volume serat sabut kelapa pada *face plate* untuk melihat pengaruhnya terhadap energi impact dan kekuatan impact komposit *honeycomb*, sekaligus menentukan

komposisi yang memberikan nilai tertinggi di antara variasi yang diuji.

Tiga nilai fraksi volume yang diuji, yaitu 30%, 40%, dan 50%, dipilih dengan dua pertimbangan. Pertama, 40% adalah komposisi yang dilaporkan memberikan kekuatan impact tertinggi pada komposit serat sabut kelapa [9], sehingga nilai itu dijadikan titik tengah dan diapit satu variasi di bawah dan satu di atasnya untuk menguji apakah puncak yang sama muncul pada struktur *honeycomb*. Kedua, sebagian besar penelitian terdahulu berhenti di fraksi 20-25% [8], [11], sehingga rentang 30-50% mengisi bagian yang belum banyak dicoba, sekaligus cukup lebar untuk memperlihatkan apakah penambahan serat berlanjut menaikkan ketahanan impact atau justru berbalik menurunkannya. Rentang serupa dipakai pada komposit bambu dengan variasi 30%, 40%, dan 50% [13].

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan alat

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado. Bahan utamanya serat panjang sabut kelapa sebagai penguat *face plate*, resin epoksi dengan *hardener* sebagai matriks, dan bilah bambu sebagai penyusun *core*. Serat sabut kelapa direndam selama satu jam dalam larutan natrium hidroksida yang dibuat dari NaOH pro analisis berbentuk pelet, lalu dibilas dan dikeringkan selama tujuh jam di dalam ruangan berpendingin udara bersuhu 25 °C sebelum dicetak. Bahan pendukung yang dipakai adalah *wax* sebagai pelapis cetakan, lem epoksi dua komponen untuk merekatkan *core* ke *face plate*, dan lem fox untuk mengikat sambungan antarbilah bambu.

Alat yang digunakan meliputi timbangan digital untuk menakar massa serat, resin, *hardener*, dan lem; cetakan *face plate* berukuran 275 mm × 160 mm; cetakan struktur *honeycomb* heksagonal; alat press dengan dongkrak hidrolik; mesin iratan bambu; gerinda; mesin amplas; klem; dan jangka sorong. Pengujian impact memakai mesin uji impact pendulum berpenunjuk skala analog jenis *plastic impact testing machine* yang tersedia di laboratorium tersebut.

2.2. Penentuan komposisi dan pembuatan spesimen

Komposisi tiap spesimen ditetapkan lebih dulu dari fraksi volumenya. Volume total bahan dihitung dari ukuran cetakan *face plate* seperti pada persamaan 1.

$$V_c = p \times l \times t \quad (1)$$

dengan V_c adalah volume cetakan (cm³), p panjang, l lebar, dan t tebal cetakan. Untuk cetakan berukuran 27,5 cm × 16 cm × 0,2 cm diperoleh $V_c = 88$ cm³ untuk satu kali pencetakan. Volume serat dan volume matriks dihitung dari fraksi volume serat f_v seperti pada persamaan 2 dan persamaan 3.

$$V_s = f_v \times V_c \quad (2)$$

$$V_m = (1 - f_v) \times V_c \quad (3)$$

Massa tiap bahan diperoleh dari perkalian massa jenis dengan volumenya seperti pada persamaan 4.

$$M = \rho \times V \quad (4)$$

dengan massa jenis serat sabut kelapa $\rho_s = 1,1 \text{ g/cm}^3$ [6] dan massa jenis matriks $\rho_m = 1,2 \text{ g/cm}^3$ [1]. Kebutuhan bahan tiap fraksi volume disajikan pada Tabel 1 dan menjadi acuan penimbangan sebelum pencetakan.

Tabel 1. Kebutuhan serat dan resin tiap fraksi volume untuk satu kali pencetakan *face plate* ($V_c = 88 \text{ cm}^3$)

Fraksi volume	$V_s \text{ (cm}^3\text{)}$	$M_s \text{ (g)}$	$V_m \text{ (cm}^3\text{)}$	$M_m \text{ (g)}$
30%	26,4	29,04	61,6	73,92
40%	35,2	38,72	52,8	63,36
50%	44,0	48,40	44,0	52,80

Face plate dicetak setebal 2 mm, lalu dipres dengan dongkrak hidrolik supaya ketebalannya seragam. Campuran resin epoksi dan *hardener* dibiarkan mengeras sekitar 2 sampai 6 jam sebelum spesimen dilepas dari cetakan. *Core* disusun dari bilah bambu hasil iratan menjadi sel heksagonal dengan panjang sisi sel 10 mm, tinggi dinding sel 20 mm, dan tebal dinding 1 mm.

Core direkatkan di antara dua *face plate* memakai lem epoksi dua komponen. Lem tersebut mencapai kering sentuh sekitar 5 menit setelah pencampuran dan kering total sekitar 60 menit. Sambungan ditahan klem selama rentang itu agar tekanan pada bidang rekat relatif merata, dan klem baru dilepas setelah lem kering total. Spesimen kemudian dipotong dengan gerinda dan dirapikan memakai mesin amplas sesuai dimensi uji.

2.3. Pengujian dan analisis data

Pengujian impact memakai metode Izod mengacu pada ASTM D256 [14]. Spesimen dijepit dalam posisi vertikal pada penjepit mesin uji, lalu dibebani tumbukan pendulum sampai patah. Besarnya energi yang diserap selama tumbukan dibaca pada skala mesin. Tiap fraksi volume diuji dengan tiga spesimen, sehingga total sembilan spesimen. Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive*, yaitu berdasarkan variasi komposisi yang sudah ditetapkan dalam rancangan penelitian.

Kekuatan impact dihitung dengan persamaan 5.

$$HI = E/A \quad (5)$$

dengan E energi yang diserap spesimen (J) dan A luas penampang yang menerima beban impact (mm^2). Luas penampang total diambil dari $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$, yaitu dua penampang *face plate* ditambah dua penampang dinding sel bambu yang terpotong bidang uji seperti pada Gambar 1. Nilai tiap fraksi dilaporkan sebagai rata-rata tiga spesimen beserta simpangan

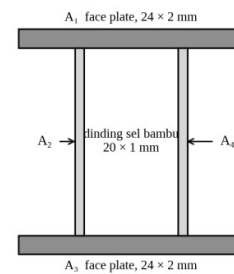
bakunya, lalu diuji dengan analisis varians satu arah untuk melihat apakah perbedaan antarfraksi lebih besar daripada keragaman antarspesimen.

Variabel bebas penelitian ini adalah fraksi volume serat sabut kelapa pada *face plate* dengan skala rasio, divariasikan pada 30%, 40%, dan 50%. Variabel terikatnya kekuatan impact komposit dalam J/mm^2 . Jenis serat, jenis resin, konsentrasi dan lama perendaman alkali, tinggi dan panjang sisi dinding sel *honeycomb*, tebal *face plate*, metode pembuatan spesimen, serta standar pengujian dijaga tetap sebagai variabel kontrol.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Geometri penampang spesimen

Bidang uji impact memotong dua *face plate* dan dua dinding sel bambu. Empat bagian itulah yang menahan beban kejut dan menjadi dasar perhitungan luas penampang. Susunannya digambarkan pada Gambar 1, sedangkan dimensinya dirangkum pada Tabel 2.



Gambar 1. Bagian penyusun penampang spesimen uji

Tabel 2. Dimensi penampang spesimen uji

Bagian penampang	Dimensi (mm)	Luas (mm^2)
A_1 (<i>face plate</i> atas)	24×2	48
A_2 (dinding sel bambu)	20×1	20
A_3 (<i>face plate</i> bawah)	24×2	48
A_4 (dinding sel bambu)	20×1	20
Total	—	136

Dimensi ini sama untuk ketiga variasi fraksi volume, sehingga luas penampang total tetap 136 mm^2 di seluruh pengujian. Nilai tersebut dipakai sebagai pembagi dalam perhitungan kekuatan impact.

3.2. Energi impact

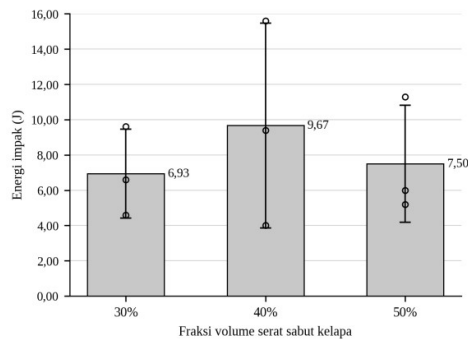
Hasil pembacaan energi serap tiap spesimen disajikan pada Tabel 3. Kode A, B, dan C berturut-turut menandai fraksi volume 30%, 40%, dan 50%.

Tabel 3. Hasil pengujian energi impact

Fraksi volume	Kode spesimen	Energi (J)	Rata-rata $\pm$ SD (J)
30%	A1	9,6	$6,93 \pm 2,52$
	A2	4,6	
	A3	6,6	
40%	B1	15,6	$9,67 \pm 5,80$
	B2	9,4	

50%	B3	4,0	7,50 ± 3,32
	C1	5,2	
	C2	11,3	
	C3	6,0	

Rata-rata energi impact naik dari 6,93 J pada fraksi volume 30% menjadi 9,67 J pada 40%, atau sekitar 39%, lalu turun menjadi 7,50 J pada 50%. Pola naik-turun itu terlihat pada Gambar 2. Yang sama mencoloknya adalah lebar sebaran di dalam tiap fraksi: simpangan bakunya 2,52 J, 5,80 J, dan 3,32 J, setara dengan koefisien variasi 36%, 60%, dan 44%. Pada fraksi 40%, bacaan tertinggi 15,6 J hampir empat kali bacaan terendah 4,0 J.



Gambar 2. Energi impact tiap fraksi volume (batang = rata-rata, garis = simpangan baku, lingkaran = bacaan tiap spesimen)

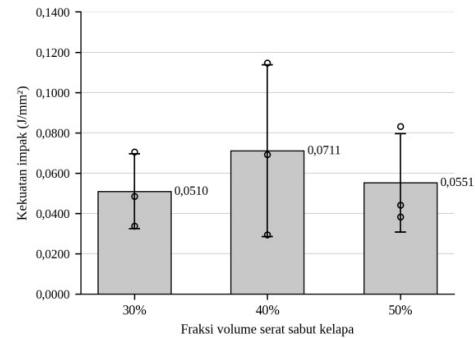
3.3. Kekuatan impact

Kekuatan impact diperoleh dari energi serap dibagi luas penampang 136 mm². Sebagai contoh, spesimen A1 dengan energi 9,6 J menghasilkan $9,6/136 = 0,0706$ J/mm². Perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh spesimen, dengan hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan kekuatan impact

Fraksi volume	Kode spesimen	HI (J/mm ²)	Rata-rata ± SD (J/mm ²)
30%	A1	0,0706	0,0510 ± 0,0185
	A2	0,0338	
	A3	0,0485	
40%	B1	0,1147	0,0711 ± 0,0427
	B2	0,0691	
	B3	0,0294	
50%	C1	0,0382	0,0551 ± 0,0244
	C2	0,0831	
	C3	0,0441	

Kekuatan impact disajikan pada Gambar 3. Bentuk grafiknya sama dengan Gambar 2 karena kekuatan impact diperoleh dengan membagi energi impact dengan luas penampang yang nilainya tetap. Grafik ini disertakan karena kekuatan impact, bukan energi impact, yang lazim dipakai untuk membandingkan hasil antarpencelitan, sehingga pembaca dapat langsung menyandingkan nilai pada penelitian ini dengan nilai yang dilaporkan penelitian lain.



Gambar 3. Kekuatan impact tiap fraksi volume (batang = rata-rata, garis = simpangan baku, lingkaran = nilai tiap spesimen)

3.4. Pembahasan

Rata-rata energi dan kekuatan impact yang naik dari fraksi volume 30% ke 40% lalu turun pada 50% menyerupai pola yang dilaporkan pada komposit serat sabut kelapa bermatriks polyester dengan variasi fraksi volume serupa [10], dan pada komposit sabut kelapa bermatriks epoksi yang menggabungkan perlakuan alkali dengan variasi fraksi volume [8]. Sasria dkk. juga memperoleh puncak kekuatan impact pada fraksi volume 40% [9], meskipun nilai absolutnya jauh lebih tinggi karena spesimennya komposit padat, bukan struktur *sandwich* berongga dengan penampang efektif yang jauh lebih kecil.

Pada rentang fraksi rendah sampai sedang, bertambahnya serat penguat masih dapat mendistribusikan beban kejut ke seluruh struktur selama ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) antara serat dan matriks tetap baik [15]. Energi benturan diserap lewat mekanisme seperti *fiber pull-out* dan *crack deflection*; semakin banyak energi yang terserap lewat mekanisme itu, semakin tinggi ketangguhan impact. Perlakuan alkali memperbaiki kondisi permukaan serat sehingga transfer beban berlangsung lebih efektif [16], dan perlakuan itu diterapkan pada seluruh spesimen dalam penelitian ini.

Turunnya nilai pada fraksi volume 50% sejalan dengan temuan bahwa fraksi serat yang terlalu tinggi justru menurunkan kekuatan impact karena proporsi matriks yang tersedia untuk mengikat serat berkurang [17]. Distribusi beban antarserat menjadi tidak merata dan kemampuan menyerap energi tumbukan ikut turun. Serat yang berlebih juga berpotensi menumpuk tanpa terbasahi sempurna oleh matriks, sehingga timbul rongga udara (*void*) dan celah pada antarmuka yang menjadi titik awal konsentrasi tegangan [15]. Ketidakseimbangan serupa antara fraksi serat dan matriks juga muncul pada komposit hibrid berpenguat serat alam [18].

Penjelasan di atas cocok dengan bentuk rata-ratanya, tetapi data penelitian ini belum cukup kuat untuk memastikannya. Analisis varians satu arah terhadap sembilan bacaan energi impact menghasilkan $F(2,6) = 0,37$ dengan $p = 0,71$, jauh di bawah nilai kritis F sebesar 5,14 pada $\alpha = 0,05$. Artinya keragaman

antarspesimen di dalam satu fraksi masih lebih besar daripada perbedaan antarfraksi, sehingga selisih 6,93 J, 9,67 J, dan 7,50 J belum dapat dinyatakan sebagai pengaruh fraksi volume.

Sebaran selebar itu wajar untuk proses fabrikasi manual seperti yang dipakai di sini. Beberapa hal yang patut dicurigai sebagai penyebabnya: distribusi serat panjang di dalam *face plate* yang sulit dibuat seragam pada pencetakan tangan, tekanan press dongkrak hidrolik yang tidak terukur sehingga fraksi volume sesungguhnya bisa menyimpang dari nilai rancangan pada Tabel 1, kualitas rekatan antara *core* dan *face plate* yang berbeda antarspesimen, dan posisi dinding sel bambu relatif terhadap bidang takik yang tidak selalu sama. Faktor terakhir cukup berpengaruh karena penampang uji hanya 136 mm² dan 40 mm² di antaranya adalah dinding bambu. Pembacaan energi pada mesin uji berpenunjuk skala analog juga menyumbang ketidakpastian, terutama pada bacaan kecil di bawah 5 J.

Lama perendaman alkali juga layak ditinjau ulang. Penelitian ini memakai satu jam untuk seluruh spesimen, sedangkan pada komposit sabut kelapa-epoksi kekuatan dampak tertinggi diperoleh dengan perendaman 1,5 jam [8]. Selisih setengah jam itu belum tentu berarti, tetapi karena lama perendaman tidak divariasikan di sini, pengaruhnya bercampur dengan pengaruh fraksi volume dan tidak dapat dipisahkan dari data yang ada.

4. Kesimpulan

Rata-rata energi dampak komposit *honeycomb* bambu dengan *face plate* berpenguat serat sabut kelapa adalah 6,93 J pada fraksi volume 30%, 9,67 J pada 40%, dan 7,50 J pada 50%, setara dengan kekuatan dampak 0,0510, 0,0711, dan 0,0551 J/mm². Nilai rata-rata tertinggi jatuh pada fraksi volume 40%, dan arah naik-turunnya sesuai dengan penjelasan tentang berkurangnya proporsi matriks pengikat serta melemahnya ikatan antarmuka pada fraksi serat tinggi.

Sebaran data di dalam tiap fraksi terlalu lebar untuk mendukung klaim itu secara statistik. Simpangan baku energi dampak mencapai 2,52 J, 5,80 J, dan 3,32 J, dan analisis varians satu arah menghasilkan $F(2,6) = 0,37$ ($p = 0,71$). Dengan tiga spesimen per fraksi, fraksi volume 40% hanya dapat disebut sebagai indikasi awal komposisi terbaik, bukan fraksi optimum yang sudah terbukti.

Penelitian lanjutan sebaiknya menambah jumlah spesimen per fraksi dan memperketat kendali proses pencetakan, terutama keseragaman distribusi serat dan besar tekanan press, sebelum mempersempit variasi fraksi volume di sekitar 40%. Pengukuran fraksi volume sesungguhnya pada spesimen jadi, misalnya lewat uji densitas atau *burn-off*, akan membantu memisahkan pengaruh komposisi dari cacat fabrikasi.

Variasi lama perendaman alkali dan pengamatan penampang patahan juga layak ditambahkan untuk memastikan mekanisme kegagalan yang selama ini baru disimpulkan dari angka energi serap.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado atas penggunaan Laboratorium Pengujian Bahan selama pembuatan dan pengujian spesimen penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] Nurfatihayati, N., Alfari, C.D., Drastinawati, D., Khairat, K., Akbar, M. dan Maharani, C., 2023. Pembuatan komposit dari serat sabut kelapa dan resin polyester sebagai material untuk helm. *Journal of Bioprocess, Chemical and Environmental Engineering Science*, 4 (2), pp.57-64.
- [2] Tanjung, I., 2022. Analisis morfologi serat dan kekuatan dampak bahan komposit berpenguat serat pinang (*Areca catechu*) yang telah dilakukan perbaikan sifat fisik. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 4 (1), pp.1-7.
- [3] Palese, K.G., Shofwan, M., Cahyono, D. dan Intan, R.P., 2025. Analisis perbandingan efisiensi struktur baja wide flange dengan honeycomb pada proyek pembangunan Ballroom Whiz Trawas di Mojokerto. *Jurnal Anggapa*, 4, pp.9-16.
- [4] Fachrudin, A.R., Astuti, F.A.F., Dani, A. dan Firdaus, A.H., 2025. Analisis komposit hybrid serat kelapa dan kulit jagung terhadap kekuatan dampak sebagai material bumper. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10 (4), pp.276-284.
- [5] Zikri, Sidabutar, G.W.T. dan Putra, R., 2025. Pengaruh massa serat kelapa pada material komposit terhadap kekuatan puntir. *Zona Mesin*, 15 (2), pp.38-44.
- [6] Saputra, R., Kardiman, Santoso, D.T. dan Imran, A.I., 2022. Analisis sifat mekanis dan sifat fisis pada komposit serat sabut kelapa serat bambu matriks epoxy sebagai material bumper mobil. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17 (1), pp.37-48.
- [7] Hastuti, S., Budiono, H.S., Ivadiyanto, D.I. dan 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), pp.30-37.
- [8] Widhiansyah, D.A. dan Widjanarko, 2025. Effect of alkali treatment and volume fraction on the impact strength of coconut fiber composite (*cocofiber*)-epoxy. *J-MEEG: Jurnal Teknik Mesin*, 4 (1), pp.359-364.
- [9] Sasria, N., Pradypta, P.D., Laksono, A.D. dan Rohimsyah, F.M., 2022. Composite manufacturing of coir fiber-reinforced polyester as a motorcycle helmet material. *JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 6 (1), pp.48-56.
- [10] Zarviansyah, P., Juanda dan Pranandita, N., 2023. Pengaruh variasi fraksi volume komposit serat sabut kelapa matriks polyester terhadap kekuatan tarik. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan (JITT)*, 1 (2).
- [11] Muhammad, Putra, R., Islami, N., Hafli, T. dan Malik, A., 2023. Pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik komposit serat daun nanas dan sabut kelapa dengan polyester bening 108. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 7 (1), pp.68-73.
- [12] Manalu, E.F. dan Yulianto, D., 2025. Pengaruh variasi campuran serat ijuk dan serat sabut kelapa dengan matriks epoxy terhadap kekuatan mekanik komposit. *Action Research Literate*, 9 (5).
- [13] Sya'roni, M.E.H. dan Ningsih, T.H., 2021. Pengaruh fraksi volume komposit bambu terhadap kekuatan tekan dengan

- metode hand lay-up dan vacuum bag. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 9 (3), pp.69-74.
- [14] ASTM International, 2023. *Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics* (ASTM D256-23e1). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [15] Wiranegara, C.B., Salahudin, X. dan Hastuti, S., 2022. Pemanfaatan serat alam dan serat sintetis sebagai material bilah Horizontal Axis Wind Turbine. Dalam: *SENASTER Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan*, 3 (1).
- [16] Musanif, I. dan Dosoputranto, E., 2018. Effect of fiber length against hardness and composite impact coconut fiber-polyester resin. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5 (2), pp.1178-1181.
- [17] Haryoszi, H., 2025. *Pengaruh fraksi volume serat tebu dan variasi perendaman NaOH terhadap matrik polyester dengan kekuatan uji impak*. Skripsi. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- [18] Syarief, A. dan Fauzi, D.H., 2023. Pengaruh fraksi volume hybrid composite bulu itik dan serat purun tikus bermatrik polyester terhadap kekuatan tekan dan bentuk patahan. *JTAM Rotary*, 5 (2), pp.93-104.