

Pengaruh Fraksi Volume Face Plate terhadap Kekuatan Impak Komposit Honeycomb Sabut Kelapa

Adji Pramono Wirayudha¹, Adrian Maidangkay², Imran Musanif³

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

¹pramonowirayudha6@gmail.com ²adrianmadiangkay@gmail.com ³02musanif@gmail.com

Abstract

The face plate of a sandwich composite receives the impact load first and transfers it to the core, so its proportion within the structure governs how much energy the whole structure can absorb. This study examines the effect of face plate volume fraction on the impact energy and impact strength of a honeycomb composite reinforced with coconut coir fibre. Face plate volume fractions of 30%, 40% and 50% were tested while the honeycomb core fraction was held at 30%. Each specimen combined two 20.1 mm wide, 2 mm thick face plates with two 10 mm high, 2 mm thick cell walls, giving a cross-sectional area of 120.4 mm². Testing followed the Izod method of ASTM D256 on an XJ-300A pendulum tester with a 29.4 J capacity released from 150°, using three specimens per fraction. Mean absorbed energy was 9.80 J at 30%, 15.67 J at 40% and 14.67 J at 50%, giving impact strengths of 0.0814, 0.1301 and 0.1218 J/mm². Raising the fraction from 30% to 40% increased impact strength by 59.9%, while a further rise to 50% reduced it by 6.4%. The relationship is therefore non-linear, and 40% gave the highest value among the fractions tested. One-way analysis of variance gave $F(2,6) = 3.51$ ($p = 0.10$), which falls short of significance at the 5% level, so the result is best treated as a strong indication rather than a settled optimum.

Keywords: face plate, honeycomb composite, impact energy, impact strength, volume fraction

Abstrak

Face plate pada komposit *sandwich* menerima beban tumbukan lebih dulu sebelum meneruskannya ke inti, sehingga proporsinya di dalam struktur ikut menentukan seberapa besar energi yang dapat diserap keseluruhan struktur. Penelitian ini menguji pengaruh fraksi volume *face plate* terhadap energi impact dan kekuatan impact komposit *honeycomb* berpenguat serat sabut kelapa. Fraksi volume *face plate* yang diuji 30%, 40%, dan 50%, sedangkan fraksi volume struktur *honeycomb* dipertahankan 30%. Tiap spesimen tersusun atas dua *face plate* berukuran lebar 20,1 mm dan tebal 2 mm serta dua dinding sel setinggi 10 mm dengan tebal 2 mm, sehingga luas penampangnya 120,4 mm². Pengujian memakai metode Izod mengacu pada ASTM D256 dengan mesin uji impact XJ-300A berkapasitas 29,4 J dan sudut pelepasan bandul 150°, tiga spesimen tiap fraksi. Rata-rata energi serap yang diperoleh 9,80 J pada fraksi 30%, 15,67 J pada 40%, dan 14,67 J pada 50%, setara dengan kekuatan impact 0,0814, 0,1301, dan 0,1218 J/mm². Kenaikan fraksi dari 30% ke 40% menaikkan kekuatan impact sebesar 59,9%, sedangkan kenaikan lanjutan ke 50% justru menurunkannya 6,4%. Hubungan antara keduanya karena itu tidak linear, dan fraksi 40% memberikan nilai tertinggi di antara variasi yang diuji. Uji analisis varians satu arah menghasilkan $F(2,6) = 3,51$ ($p = 0,10$), belum mencapai taraf nyata 5%, sehingga hasil tersebut lebih tepat dibaca sebagai indikasi kuat daripada sebagai fraksi optimum yang sudah pasti.

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

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi material menuntut struktur yang ringan tetapi tetap sanggup menahan beban, termasuk beban yang datang secara tiba-tiba. Komposit menjawab tuntutan itu dengan menggabungkan dua bahan atau lebih yang berbeda sifatnya menjadi material dengan karakteristik yang lebih sesuai kebutuhan [1]. Serat alam makin banyak dipakai sebagai penguatnya karena dapat diperbarui,

mudah diperoleh, ringan, dan biayanya rendah dibandingkan serat sintesis [2].

Sabut kelapa termasuk serat alam yang tersedia melimpah di Indonesia dan sebagian besar masih berakhir sebagai limbah. Kandungan lignoselulosanya memberi serat ini keuletan dan regangan yang tinggi, sehingga cukup baik dalam menyerap energi benturan [3]. Kelemahannya bersifat higroskopis, sehingga

daya rekatnya terhadap matriks menurun. Perlakuan alkali dengan natrium hidroksida dipakai untuk melarutkan lignin, hemiselulosa, dan pengotor permukaan agar ikatan antarmuka membaik [4].

Selain jenis serat, bentuk struktur ikut menentukan sifat mekanik komposit. Struktur *sandwich* dengan inti *honeycomb* dikenal punya rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Sel heksagonal pada intinya menyerap energi benturan lewat deformasi bertahap tanpa menambah berat secara berarti [5]. Struktur ini terdiri atas dua bagian yang bekerja berpasangan: *core* yang menahan gaya geser dan mengalami deformasi, serta *face plate* sebagai lapisan luar yang menerima beban lebih dulu lalu menyalurkannya ke inti.

Karena *face plate* adalah bagian yang pertama menerima tumbukan, proporsinya di dalam struktur ikut menentukan seberapa efektif energi diteruskan ke inti. Simulasi numerik pada struktur *sandwich* berinti *honeycomb* Nomex menunjukkan ketebalan lapisan luar, bersama densitas inti, termasuk parameter yang mengatur ketahanan impak dan mekanisme disipasi energinya [5]. Pengujian pada struktur *sandwich* yang lapisan luarnya sebagian diganti serat alam juga memperlihatkan perilaku impak yang berubah mengikuti susunan lapisan tersebut [6]. Pada komposit serat sabut kelapa bermatriks polyester, variasi fraksi volume menghasilkan pola naik lalu turun [7].

Kajian tentang pengaruh *face plate* sejauh ini banyak dilakukan pada struktur berbahan logam atau serat sintetis, dan dinyatakan dalam ketebalan lapisan. Pengaruhnya dalam bentuk fraksi volume pada *honeycomb* berpenguat serat sabut kelapa belum banyak dibahas. Tinjauan mutakhir atas komposit polimer berpenguat serat alam juga menempatkan hubungan antara susunan struktur dan sifat mekanik sebagai arah pengembangan yang masih terbuka [8]. Penelitian ini memvariasikan fraksi volume *face plate* pada 30%, 40%, dan 50% sementara fraksi volume struktur *honeycomb* dipertahankan 30%, untuk melihat pengaruhnya terhadap energi impak dan kekuatan impak, sekaligus menentukan komposisi yang memberikan nilai tertinggi di antara variasi yang diuji.

Ketiga nilai tersebut dipilih dengan dua pertimbangan. Fraksi 40% adalah komposisi yang dilaporkan memberikan kekuatan impak tertinggi pada komposit serat sabut kelapa [7], sehingga dijadikan titik tengah dan diapit satu variasi di bawah dan satu di atasnya. Rentang 30-50% juga cukup lebar untuk memperlihatkan apakah penambahan *face plate* berlanjut menaikkan ketahanan impak atau justru berbalik menurunkannya, seperti yang dilaporkan pada struktur *sandwich* dengan lapisan luar tebal [5].

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan alat

Penelitian ini bersifat eksperimental dengan pendekatan kuantitatif, dilaksanakan di Bengkel Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado. Bahan utamanya serat sabut kelapa sebagai penguat, resin epoksi dengan *hardener* sebagai matriks, dan bilah bambu sebagai penyusun *core honeycomb*. Serat sabut kelapa direndam selama satu jam dalam larutan natrium hidroksida yang dibuat dari NaOH pro analisis berbentuk pelet untuk melarutkan lignin, hemiselulosa, dan pengotor permukaan, 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 dan lem epoksi untuk merekatkan bagian-bagian struktur *honeycomb* serta menyambungkannya dengan *face plate*.

Alat yang digunakan meliputi timbangan digital, cetakan komposit, gelas ukur, *cutter*, gunting, mesin amplas, jangka sorong, penggaris, alat press dengan dongkrak hidrolik, dan klem. Pengujian impak memakai mesin uji impak pendulum tipe XJ-300A dengan kapasitas energi bandul 29,4 J. Seluruh spesimen diuji dengan sudut pelepasan bandul yang sama, yaitu 150° diukur dari posisi diam vertikal atau setara 60° di atas bidang horizontal, sehingga energi tumbukan yang tersedia seragam untuk ketiga variasi.

2.2. Pembuatan spesimen dan variabel penelitian

Fraksi volume *face plate* didefinisikan sebagai perbandingan volume material *face plate* terhadap volume total komposit berstruktur *honeycomb*, dinyatakan dalam persen seperti pada Persamaan 1. Nilai inilah yang divariasikan pada 30%, 40%, dan 50%, sedangkan fraksi volume struktur *honeycomb* ditahan pada 30%.

$$\phi_p^f = (V_p^f / V_{\text{total}}) \times 100\% \quad (1)$$

dengan ϕ_p^f sebagai fraksi volume *face plate* (%), V_p^f volume material *face plate* (cm³), dan V_{total} volume total spesimen komposit (cm³).

Face plate dicetak setebal 2 mm pada cetakan berukuran 275 mm × 160 mm, lalu dipres memakai dongkrak hidrolik agar ketebalannya seragam. Resin epoksi dan *hardener* dicampur menurut perbandingan yang dianjurkan pada kemasan produk, diaduk sampai merata, lalu dibiarkan mengeras sekitar 2 sampai 6 jam sebelum spesimen dilepas dari cetakan.



Gambar 1. Struktur honeycomb heksagonal dari bilah bambu sebelum direkatkan dengan face plate

Struktur *honeycomb* disusun menjadi sel heksagonal dengan tinggi dinding sel 10 mm dan tebal dinding 2 mm seperti pada Gambar 1, kemudian 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. Spesimen yang sudah mengeras dirapikan dengan mesin amplas sesuai dimensi uji, lalu dimensi penampangnya diukur memakai jangka sorong.

2.3. Pengujian dan analisis data

Pengujian impact memakai metode Izod mengacu pada ASTM D256 [9]. Spesimen dijepit dalam posisi vertikal pada penjepit mesin, lalu dibebani tumbukan bandul sampai patah, dan energi yang diserap dibaca pada skala mesin. Tinjauan atas metode uji impact bandul mencatat bahwa hasil pengujian peka terhadap cara penjepitan dan geometri spesimen [10], sehingga kedua hal itu dijaga tetap di seluruh pengujian. 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.

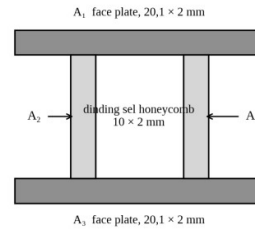
Kekuatan impact dihitung dengan $HI = E/A$, dengan E energi yang diserap spesimen (J) dan A luas penampang yang menerima beban impact (mm^2). Luas penampang total diambil dari $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$, yaitu dua penampang *face plate* ditambah dua penampang dinding sel *honeycomb* yang terpotong bidang uji seperti pada Gambar 2. 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.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Geometri penampang spesimen

Bidang uji impact memotong dua *face plate* dan dua dinding sel *honeycomb*. Empat bagian itulah yang

menahan beban kejut dan menjadi dasar perhitungan luas penampang. Susunannya digambarkan pada Gambar 2, sedangkan dimensi hasil pengukurannya dirangkum pada Tabel 1.



Gambar 2. Bagian penyusun penampang spesimen uji

Tabel 1. Dimensi penampang spesimen uji

Bagian penampang	Dimensi (mm)	Luas (mm^2)
A ₁ (face plate atas)	20,1 × 2	40,2
A ₂ (dinding sel honeycomb)	10 × 2	20,0
A ₃ (face plate bawah)	20,1 × 2	40,2
A ₄ (dinding sel honeycomb)	10 × 2	20,0
Total	—	120,4

Dimensi penampang dijaga sama untuk ketiga variasi, sehingga luas penampang total tetap 120,4 mm^2 di seluruh pengujian. Yang berubah hanya proporsi bahan di dalam *face plate*, bukan ukuran luar spesimen. Nilai 120,4 mm^2 dipakai sebagai pembagi dalam perhitungan kekuatan impact.

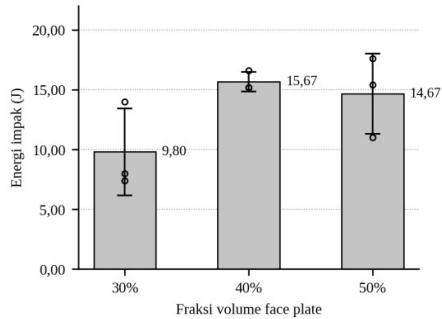
3.2. Energi impact

Hasil pembacaan energi serap tiap spesimen disajikan pada Tabel 2. Kode A, B, dan C berturut-turut menandai fraksi volume *face plate* 30%, 40%, dan 50%.

Tabel 2. Hasil pengujian energi impact

Fraksi face plate	Kode spesimen	Energi (J)	Rata-rata ± SD (J)
30%	A1	14,0	9,80 ± 3,65
	A2	8,0	
	A3	7,4	
40%	B1	15,2	15,67 ± 0,81
	B2	15,2	
	B3	16,6	
50%	C1	15,4	14,67 ± 3,36
	C2	11,0	
	C3	17,6	

Rata-rata energi serap naik dari 9,80 J pada fraksi 30% menjadi 15,67 J pada 40%, lalu turun menjadi 14,67 J pada 50%. Polanya terlihat pada Gambar 3. Sebaran di dalam tiap fraksi berbeda-beda lebarnya: simpangan baku pada fraksi 40% hanya 0,81 J atau 5% dari rata-ratanya, sementara pada fraksi 30% dan 50% mencapai 3,65 J dan 3,36 J, setara 37% dan 23%. Ketiga spesimen pada fraksi 40% memberikan bacaan yang berdekatan, sedangkan pada dua fraksi lain selisih antarspesimen cukup besar.



Gambar 3. Energi impact tiap fraksi volume face plate (batang = rata-rata, garis = simpangan baku, lingkaran = bacaan tiap spesimen)

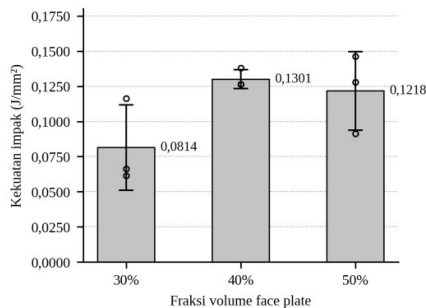
3.3. Kekuatan impact

Kekuatan impact diperoleh dari energi serap dibagi luas penampang 120,4 mm². Sebagai contoh, spesimen A1 dengan energi 14,0 J menghasilkan $14,0/120,4 = 0,1163 \text{ J/mm}^2$. Perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh spesimen, dengan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan kekuatan impact

Fraksi face plate	Kode spesimen	HI (J/mm ²)	Rata-rata ± SD (J/mm ²)
30%	A1	0,1163	0,0814 ± 0,0303
	A2	0,0664	
	A3	0,0615	
40%	B1	0,1262	0,1301 ± 0,0067
	B2	0,1262	
	B3	0,1379	
50%	C1	0,1279	0,1218 ± 0,0279
	C2	0,0914	
	C3	0,1462	

Kekuatan impact disajikan pada Gambar 4. Bentuk grafiknya sama dengan Gambar 3 karena kekuatan impact diperoleh dengan membagi energi serap dengan luas penampang yang nilainya tetap. Grafik ini disertakan karena kekuatan impact, bukan energi serap, yang lazim dipakai membandingkan hasil antarpemelitian, sehingga pembaca dapat langsung menyandingkannya dengan nilai yang dilaporkan penelitian lain.



Gambar 4. Kekuatan impact tiap fraksi volume face plate (batang = rata-rata, garis = simpangan baku, lingkaran = nilai tiap spesimen)

3.4. Bentuk kerusakan spesimen

Seluruh spesimen setelah pengujian diperlihatkan pada Gambar 5, disusun menurut fraksi volume face

plate. Pada sebagian besar spesimen, face plate terlepas utuh sebagai lembaran dari core, sedangkan dinding sel honeycomb patah terpisah. Bidang pisahnya berada di antarmuka rekatan core dengan face plate, bukan menembus bahan face plate itu sendiri. Serat sabut kelapa pada bidang patah face plate juga masih terlihat tertanam di dalam matriks.



Gambar 5. Bentuk kerusakan spesimen setelah pengujian impact, disusun menurut fraksi volume face plate

Pengamatan ini ikut menentukan cara membaca angka pada Tabel 2 dan Tabel 3. Karena kegagalan sebagian besar berlangsung di bidang rekatan, energi yang terbaca pada mesin uji tidak seluruhnya menggambarkan ketangguhan bahan face plate, melainkan juga mutu ikatan antara core dan face plate pada masing-masing spesimen.

3.5. Pembahasan

Kenaikan kekuatan impact dari 0,0814 J/mm² pada fraksi 30% menjadi 0,1301 J/mm² pada 40% setara dengan peningkatan 59,9%. Pada fraksi rendah, jumlah material pada face plate lebih sedikit, sehingga kemampuannya menerima dan menyebarkan beban tumbukan ke seluruh bidang inti juga lebih terbatas. Energi tumbukan terlebih dulu diterima face plate sebelum diteruskan ke core; kalau penyaluran itu tidak merata, sebagian besar energi habis pada kerusakan setempat dan inti tidak sempat berdeformasi. Naiknya fraksi ke 40% memperbaiki penyaluran beban tersebut, sehingga kedua bagian struktur sama-sama ikut menyerap energi. Pengaruh susunan lapisan luar terhadap respons impact struktur sandwich juga dilaporkan pada struktur yang lapisan luarnya sebagian memakai serat alam [6].

Kenaikan lanjutan ke fraksi 50% justru menurunkan kekuatan impact 6,4% dibandingkan fraksi 40%, meskipun nilainya masih 49,7% di atas fraksi 30%. Penurunan ini sejalan dengan temuan bahwa lapisan

luar yang terlalu tebal menaikkan kekakuan struktur, tetapi kemampuan menyerap energinya naik lalu menurun karena inti tidak lagi leluasa berdeformasi [5]. Pada struktur *sandwich*, penyerapan energi adalah hasil kerja sama antara lapisan luar dan inti: bila salah satunya terlalu dominan, mekanisme deformasi bertahap pada inti menjadi terbatas dan total energi yang terserap ikut turun. Pola naik lalu turun serupa juga muncul pada komposit serat sabut kelapa dengan variasi fraksi volume [7].

Analisis varians satu arah terhadap sembilan bacaan energi serap menghasilkan $F(2,6) = 3,51$ dengan $p = 0,10$. Nilai itu berada di bawah F kritis 5,14 pada $\alpha = 0,05$, tetapi sedikit di atas F kritis 3,46 pada $\alpha = 0,10$. Dengan kata lain, perbedaan antarfraksi belum dapat dinyatakan nyata pada taraf 5% yang lazim dipakai, meskipun sudah cukup kuat pada taraf 10%. Hasil ini lebih tepat dibaca sebagai indikasi yang mengarah pada fraksi 40%, bukan sebagai fraksi optimum yang sudah terbukti.

Perbedaan lebar sebaran antarfraksi ikut menjelaskan mengapa taraf nyata 5% belum tercapai. Simpangan baku pada fraksi 40% hanya 0,81 J, sedangkan pada fraksi 30% dan 50% berturut-turut 3,65 J dan 3,36 J. Yang menarik, sebaran terlebar justru muncul di kedua ujung rentang, bukan di tengahnya. Pola seperti itu tidak cukup dijelaskan oleh ketidakseragaman pencetakan semata, sebab ketidakseragaman itu berlaku sama pada ketiga variasi.

Penjelasan yang lebih sesuai berangkat dari bagian mana yang menentukan kegagalan pada tiap komposisi. Pada fraksi 30%, *face plate* tipis dan porsinya kecil, sehingga bagian terbesar beban ditanggung dinding sel *honeycomb*; hasil pengujian lalu bergantung pada kondisi satu-dua dinding sel yang kebetulan berada di bidang takik. Pada fraksi 50%, *face plate* menjadi tebal dan struktur mengaku, sehingga patah berlangsung lebih getas dan besarnya energi serap ditentukan oleh cacat terbesar yang kebetulan ada pada lapisan itu, entah rongga udara atau daerah yang kurang terbasahi resin. Di kedua ujung tersebut nilai yang terbaca dikendalikan satu titik lemah, dan kegagalan yang dikendalikan satu cacat memang menghasilkan sebaran lebar.

Pada fraksi 40%, *face plate* dan *core* sama-sama ikut menyerap energi, sehingga energi yang terbaca merupakan hasil penjumlahan banyak peristiwa lokal yang tersebar di seluruh penampang. Cacat tunggal karena itu tidak lagi menentukan hasil, dan ketiga bacaannya berdekatan. Kalau tafsir ini benar, sebaran yang sempit pada fraksi 40% bukan kebetulan, melainkan tanda bahwa komposisi itu memang berada di daerah kerja sama antara kedua bagian struktur. Bentuk kerusakan pada Gambar 5 mendukung arah penjelasan ini, tetapi pembuktiannya menuntut pengamatan patahan yang lebih rinci dan jumlah spesimen yang lebih banyak.

Faktor pencetakan tetap ikut menyumbang. Distribusi serat di dalam *face plate* sulit dibuat seragam pada pencetakan tangan, tekanan press dongkrak hidrolik tidak terukur sehingga fraksi volume sesungguhnya bisa menyimpang dari nilai rancangan, dan kualitas rekatan antara *core* dan *face plate* berbeda antarspesimen. Posisi dinding sel *honeycomb* terhadap bidang takik juga berpengaruh, karena 40 mm² dari 120,4 mm² penampang uji adalah dinding sel.

4. Kesimpulan

Fraksi volume *face plate* berpengaruh terhadap energi serap dan kekuatan impact komposit *honeycomb* berpenguat serat sabut kelapa, dengan pola hubungan yang tidak linear. Rata-rata energi serap yang diperoleh 9,80 J pada fraksi 30%, 15,67 J pada 40%, dan 14,67 J pada 50%, setara dengan kekuatan impact 0,0814, 0,1301, dan 0,1218 J/mm². Kenaikan fraksi dari 30% ke 40% menaikkan kekuatan impact 59,9%, sedangkan kenaikan lanjutan ke 50% menurunkannya 6,4%.

Nilai tertinggi jatuh pada fraksi volume *face plate* 40%, dan arah naik-turunnya sesuai dengan penjelasan tentang keseimbangan antara kemampuan lapisan luar menyalurkan beban dan kemampuan inti berdeformasi. Uji analisis varians satu arah menghasilkan $F(2,6) = 3,51$ ($p = 0,10$), sehingga dengan tiga spesimen per fraksi komposisi 40% baru dapat disebut sebagai indikasi kuat, belum sebagai fraksi optimum yang terbukti pada taraf nyata 5%.

Penelitian lanjutan sebaiknya menambah jumlah spesimen per fraksi, terutama pada fraksi 30% dan 50% yang sebarannya lebar, dan memperketat kendali proses pencetakan pada keseragaman distribusi serat serta besar tekanan press. Mempersempit variasi di sekitar 40%, misalnya 35%, 40%, dan 45%, akan membantu menentukan letak puncaknya lebih tepat. Karena kegagalan ternyata banyak berlangsung di bidang rekatan, kekuatan rekatan antara *core* dan *face plate* layak dijadikan variabel tersendiri pada penelitian berikutnya, misalnya lewat variasi jenis perekat atau lama pengeklaman.

Daftar Rujukan

- [1] Fachreza, M.F., 2025. *Analisa kekuatan tarik komposit resin polyester yang diperkuat serat serabut kelapa*. Skripsi. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- [2] Thyavihalli Girijappa, Y.G., Mavinkere Rangappa, S., Parameswaranpillai, J. dan Siengchin, S., 2019. Natural fibers as sustainable and renewable resource for development of eco-friendly composites: a comprehensive review. *Frontiers in Materials*, 6, pp.1-14.
- [3] Siregar, A., 2021. *Pemanfaatan serat alami (sabut kelapa) sebagai alternatif bahan komposit pada spakbor depan motor*. Skripsi. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- [4] Rahmadhany, S., 2025. *Pengaruh variasi fraksi volume serat sabut kelapa dan suhu perendaman alkali terhadap sifat komposit untuk aplikasi pembuatan badan perahu*. Skripsi.

- [5] Zarrouk, T., Jeyar, M., Salhi, J.-E. dan Barboucha, M., 2026. Numerical investigation of low-velocity impact response of Nomex honeycomb sandwich structures: effects of core density, face-sheet thickness, and impactor geometry. *Applied Mechanics*, 7 (3), artikel 56.
- [6] Ashraf, W., Ishak, M.R., Khan, T., Sebaey, T.A., Singh, B. dan Alshahrani, H., 2024. Study of impact performance of composite sandwich structure fabricated partially with natural fiber facesheet. *Polymer Composites*, 45 (4), pp.3422-3435.
- [7] Gundara, 2019. Sifat tarik, bending dan impak komposit serat sabut kelapa-polyester dengan variasi fraksi volume. *JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 3 (1), pp.10-19.
- [8] Shifa, S.S. dan Zhang, N., 2026. Progress and perspectives on plant-based natural fiber-reinforced polymer composites: structure-property relationships and emerging design strategies. *Journal of Polymer Research*, 33 (6), pp.1-5.
- [9] ASTM International, 2023. *Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics* (ASTM D256-23e1). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [10] Thomas, R.J. dan Sorensen, A.D., 2018. Charpy impact test methods for cementitious composites: review and commentary. *Journal of Testing and Evaluation*, 46 (6), pp.2422-2430.