

Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Impact Komposit Woven Serat Rami–Polyester sebagai Material Alternatif Panel Interior Otomotif dengan metode *Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM)

Zaki Faiz Dzulfahmi¹⁾, R Hari Setyanto²⁾

^{1,2} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No. 36 A, Surakarta, 57126, Indonesia

*Penulis Korespondensi: zakifaiz76@gmail.com¹⁾, hstyan97@gmail.com²⁾

Abstract. *Ramie fiber has potential as a composite reinforcement for automotive interior components, but its hydrophilic nature leads to weak adhesion with the hydrophobic polyester matrix. Alkali treatment with NaOH is used to improve this adhesion, yet the effect of soaking duration on woven ramie–polyester composites fabricated by VARTM has not been widely studied. This study aims to analyze the effect of 5% NaOH treatment duration (0, 1, 2, and 3 hours) on the impact strength of woven ramie fiber–polyester composites fabricated by the VARTM method, to determine the best duration, to evaluate the composite's potential suitability as a trim pillar B material against literature reference values for polypropylene (PP), and to identify the trend in water absorption. Impact strength was tested by the unnotched Izod method following ASTM D256 on five specimens per variation and analyzed using one-way ANOVA and Tukey HSD post hoc test, while water absorption was tested following ASTM D570 and analyzed descriptively. The results show that soaking duration significantly affected impact strength ($F = 106.870$; $p < 0.001$) and all pairs of durations differed significantly. Impact strength increased from 6.514 kJ/m^2 in the control to 8.477 kJ/m^2 at 3 hours (a 30.1% increase), while water absorption decreased from 4.68% to 1.44%. However, water absorption at 3 hours remained approximately 144 times the PP reference value, and the impact strength was within the range reported for PP homopolymer but only approximately 13–22% of that reported for PP copolymer, so the composite cannot yet be considered suitable as a trim pillar B material. Each variation was represented by a single panel, so the effect of duration is not fully separated from panel-to-panel variation. A trim pillar B prototype was made using the best duration as a visualization of the application.*

Keywords: *ramie fiber, alkali treatment, impact strength, VARTM, polyester composite*

Abstrak. Serat rami berpotensi menjadi penguat komposit untuk komponen interior otomotif, tetapi sifatnya yang hidrofilik menyebabkan adhesi yang lemah dengan matriks polyester yang hidrofobik. Perlakuan alkali NaOH digunakan untuk memperbaiki adhesi tersebut, namun pengaruh durasi perendaman pada komposit rami anyam–polyester berbasis VARTM belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh durasi perlakuan alkali NaOH 5% (0, 1, 2, dan 3 jam) terhadap kekuatan *impact* komposit *woven* serat rami–polyester yang difabrikasi dengan metode VARTM, menentukan durasi terbaik, mengevaluasi potensi kelayakan komposit sebagai material *trim pillar* B terhadap nilai acuan polipropilena (PP) pada literatur, serta mengidentifikasi kecenderungan penyerapan airnya. Kekuatan *impact* diuji dengan metode Izod tanpa takik mengacu pada ASTM D256 pada lima spesimen untuk setiap variasi dan dianalisis menggunakan ANOVA satu arah dan uji lanjut Tukey HSD, sedangkan penyerapan air diuji mengacu pada ASTM D570 dan dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi perendaman berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact* ($F = 106,870$; $p < 0,001$) dan seluruh pasangan durasi berbeda signifikan. Kekuatan *impact* meningkat dari $6,514 \text{ kJ/m}^2$ pada kontrol menjadi $8,477 \text{ kJ/m}^2$ pada durasi 3 jam (naik 30,1%), sedangkan penyerapan air turun dari 4,68% menjadi 1,44%. Namun, penyerapan air pada durasi 3 jam masih sekitar 144 kali nilai acuan PP, dan kekuatan *impact*-nya hanya berada pada kisaran PP homopolimer serta mencapai sekitar 13–22% dari PP kopolimer, sehingga komposit belum dapat dinyatakan layak sebagai material *trim pillar* B. Setiap variasi berasal dari satu panel, sehingga pengaruh durasi tidak sepenuhnya terpisah dari variasi antarpapanel. *Prototype trim pillar* B dibuat dengan durasi terbaik sebagai visualisasi penerapan.

Kata kunci: serat rami, perlakuan alkali, kekuatan *impact*, VARTM, komposit polyester

1. LATAR BELAKANG

Industri otomotif menghadapi tekanan regulasi emisi dan efisiensi bahan bakar yang mendorong strategi *lightweighting* pada komponen struktural maupun non-struktural. Pengurangan bobot kendaraan sebesar 10% dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar sebesar 6–8% (U.S. Department of Energy, n.d.), dan substitusi material logam dengan komposit polimer berpenguat serat kaca dilaporkan menghemat bobot 40–60% (Mohammadi et al., 2023). Tren ini mendorong riset komposit berpenguat serat alam sebagai alternatif komposit sintesis karena serat alam lebih ringan, *biodegradable*, dan berbiaya produksi relatif rendah. Produksi serat alam disebut membutuhkan energi 17% lebih rendah dibandingkan serat kaca, dan serat *bast* seperti *flax*, *kenaf*, *hemp*, dan *jute* telah dipakai pada komponen interior kendaraan seperti *headliner*, panel pintu, konsol tengah, dan sandaran kursi (Thapliyal et al., 2023).

Serat rami (*Boehmeria nivea*) merupakan kandidat yang menjanjikan karena kekuatan tariknya dua kali lipat serat kapas sehingga berpotensi menjadi bahan baku komposit bermatriks polimer untuk komponen otomotif (Novarini & Sukardan, 2015). Indonesia memiliki potensi budidaya rami, tetapi pemanfaatannya sebagai bahan baku industri masih terbatas, antara lain karena belum adanya industri hilir yang mengolah rami menjadi produk akhir (Habibie et al., 2021).

Namun, penggunaan serat alam pada matriks polimer menghadapi kendala berupa penyerapan uap air yang tinggi, ketahanan terhadap api dan bahan kimia yang lebih rendah, serta sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan serat karbon atau kaca (Verma & Goh, 2021). Pada komposit rami–poliester, kelemahan utamanya adalah lemahnya adhesi antara serat yang hidrofilik dan matriks yang hidrofobik (Jamasri & Yudhanto, 2022). Pada interior kendaraan, paparan kelembapan dapat menyebabkan pembengkakan serat, retak matriks, dan lepasnya ikatan serat–matriks yang menurunkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan *impact* (Shettigar et al., 2025). Dengan demikian, kekuatan *impact* dan penyerapan air perlu dipertimbangkan bersama ketika menilai komposit rami untuk panel interior.

Perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH banyak digunakan sebagai modifikasi permukaan serat yang relatif ekonomis, namun efeknya bersifat dua sisi. Peningkatan

konsentrasi NaOH hingga 8% meningkatkan kadar selulosa serat rami, sedangkan konsentrasi di atas 8% merusak struktur serat (Jamilah & Sujito, 2021). Pada rami *woven* bermatriks polyester yang difabrikasi dengan vakum infusi, NaOH 5% dilaporkan meningkatkan kekuatan tarik dan modulus serat rami tunggal masing-masing 18% dan 55% (Jamasri & Yudhanto, 2022). Selain konsentrasi, durasi perendaman menjadi variabel kritis, tetapi temuannya tidak konsisten. Pada komposit poliester–serat cantala, kekuatan *impact* tidak dipengaruhi secara signifikan dan cenderung menurun pada perendaman lebih lama (Raharjo et al., 2023), sedangkan pada komposit epoksi–kain goni ketangguhan *impact* tertinggi diperoleh pada durasi 48 jam (Yudiono et al., 2024). Pada rami anyam, Hamdan et al. (2017) merendam kain pada NaOH 5% hanya selama satu jam dan melaporkan pengaruh yang tidak signifikan terhadap sifat tarik, lentur, dan *impact*, sedangkan Jamasri dan Yudhanto (2022) memvariasikan konsentrasi dan mengevaluasi komposit hanya pada sifat tarik.

Metode fabrikasi juga memengaruhi kualitas komposit. *Vacuum-assisted resin transfer molding* (VARTM) adalah proses cetakan tertutup berbiaya cetakan rendah dan bertekanan injeksi sekitar 1 atm yang digunakan hingga pada komponen otomotif, meskipun void tidak dapat dihilangkan sepenuhnya (Dhimole et al., 2021). Sepanjang penelusuran literatur yang dilakukan, belum ditemukan kajian yang memvariasikan durasi NaOH pada komposit poliester berpenguat rami anyam berbasis VARTM dengan menilai kekuatan *impact* sekaligus penyerapan air dalam konteks panel interior otomotif.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh durasi perlakuan alkali NaOH 5% (0, 1, 2, dan 3 jam) terhadap kekuatan *impact* komposit *woven* serat rami–polyester berbasis VARTM, menentukan durasi terbaik, mengevaluasi potensi kelayakannya sebagai material *trim pillar* B terhadap nilai acuan polipropilena (PP) pada literatur, serta mengidentifikasi kecenderungan penyerapan airnya sebagai data pendukung. *Trim pillar* B, yaitu penutup interior pada pilar B kendaraan yang tergolong komponen non-struktural (Ullah et al., 2025), dipilih sebagai contoh penerapan dan dibuat sebagai *prototype* visualisasi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen satu faktor, yaitu durasi perendaman kain rami anyam dalam larutan NaOH 5% pada suhu ruang, dengan empat level (0, 1, 2, dan

3 jam; 0 jam sebagai kontrol) dan lima pengulangan pada setiap level. Setiap level diwakili satu panel laminat yang difabrikasi dalam satu kali proses infusi, kemudian dipotong menjadi lima spesimen uji *impact* dan lima spesimen uji penyerapan air (Tabel 1).

Tabel 1. Desain Eksperimen

Durasi Perendaman	Kode Spesimen Impact	Kode Uji Air	Spesimen Impact	Spesimen Uji Air
0 jam (kontrol)	A0	E	5	5
1 jam	A1	D	5	5
2 jam	A2	C	5	5
3 jam	A3	B	5	5

Kain rami anyam direndam dalam NaOH 5% sesuai durasi (kecuali kontrol), dicuci dengan air mengalir hingga tekstur licin pada permukaan hilang, kemudian dikeringkan dalam oven pada 80 °C selama satu jam. Lima lembar kain berukuran 200 mm × 200 mm disusun (*lay-up*) sebagai lima lapis dengan orientasi anyaman seragam pada cetakan kaca, dilengkapi *peel ply*, *flow media*, dan *infusion tube*, lalu ditutup dengan *vacuum bag* dan diuji kebocorannya. Resin polyester tak jenuh C108 sebanyak 250 gram yang dicampur katalis MEKPO 1% dari massa resin dialirkan dengan metode VARTM. Komposit di-*curing* pada suhu ruang selama 4 jam, dilepas dari cetakan, dan di-*post-curing* dalam oven pada 80 °C selama 15 menit. Panel kemudian dipotong menjadi spesimen uji *impact* berukuran 64 mm × 13 mm (ASTM International, 2024) dan spesimen uji penyerapan air berukuran 76,2 mm × 25,4 mm (ASTM International, 2022).

Uji *impact* dilakukan dengan metode Izod menggunakan mesin Zwick/Roell di Politeknik ATMI Surakarta. Spesimen diuji tanpa takik (*unnotched*) pada orientasi *flatwise*, dijepit sebagai balok kantilever, dan dipukul pendulum berkapasitas 1 J yang dilepaskan dari sudut 148° dengan kecepatan teoretis 3,458 m/s. Kekuatan *impact* dihitung sebagai energi serap dibagi luas penampang spesimen:

$$a_k = W / (b \times h) \quad (1)$$

dengan a_k kekuatan *impact* (kJ/m²), W energi serap (J), b lebar spesimen (m), dan h tebal spesimen (m). Uji penyerapan air mengikuti ASTM D570 dengan perendaman

dalam air suhu ruang selama 24 jam dan penimbangan menggunakan timbangan digital beresolusi 0,1 gram:

$$\text{Penyerapan air (\%)} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100\% \quad (2)$$

dengan W_1 massa sebelum dan W_2 massa setelah perendaman.

Data kekuatan *impact* diolah dengan SPSS. Hipotesis yang diuji adalah H_0 : durasi perendaman tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact*, dan H_1 : durasi perendaman berpengaruh signifikan. Normalitas diuji dengan Kolmogorov-Smirnov (koreksi Lilliefors) dan Shapiro-Wilk pada setiap kelompok, homogenitas ragam dengan uji Levene, kemudian ANOVA satu arah dan uji lanjut Tukey HSD apabila H_0 ditolak (Kim, 2017; McHugh, 2011), seluruhnya pada taraf signifikansi 5%. Data penyerapan air dianalisis secara deskriptif dan tidak digunakan dalam pengujian hipotesis. Kelayakan sebagai material *trim pillar* B dinilai dengan membandingkan hasil komposit terbaik terhadap nilai acuan polipropilena (PP) dari lembar data distributor (Curbell Plastics, n.d.; Professional Plastics, n.d.), dan *prototype trim pillar* B dibuat dengan VARTM menggunakan durasi terbaik sebagai visualisasi tanpa pengujian mekanis.

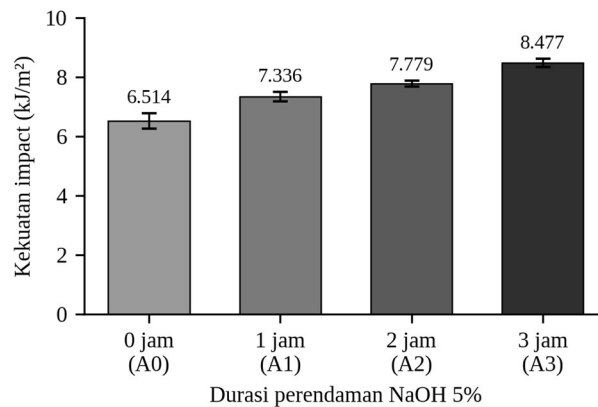
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kekuatan *Impact*

Seluruh spesimen mengalami patah sempurna (*complete break*) sehingga seluruh data valid. Energi serap yang tercatat berada pada rentang 0,514 J sampai 0,653 J atau sekitar 51% sampai 65% dari kapasitas pendulum 1 J, sehingga kapasitas pendulum sesuai dengan energi serap spesimen. Rekapitulasi hasil disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2. Hasil Uji *Impact* ($n = 5$ per kelompok)

Durasi (kode)	Energi serap rata-rata (J)	Kekuatan <i>impact</i> rata-rata (kJ/m ²)	SD (kJ/m ²)	CV (%)	Kenaikan terhadap kontrol (%)
0 jam (A0)	0,531	6,514	0,265	4,07	–
1 jam (A1)	0,576	7,336	0,166	2,26	12,6
2 jam (A2)	0,602	7,779	0,098	1,26	19,4
3 jam (A3)	0,624	8,477	0,139	1,64	30,1



Gambar 1. Kekuatan *impact* rata-rata (batang galat = SD)

Kekuatan *impact* rata-rata meningkat seiring lamanya perendaman, dari 6,514 kJ/m² pada kontrol menjadi 8,477 kJ/m² pada 3 jam. Koefisien variasi setiap kelompok berada pada rentang 1,26% sampai 4,07%, dengan sebaran terbesar pada kelompok kontrol.

3.2 Uji Asumsi, ANOVA, dan Uji Lanjut

Hasil uji normalitas disajikan pada Tabel 3. Nilai signifikansi seluruh kelompok lebih besar dari 0,05 pada kedua uji, dengan nilai terkecil 0,175 (Shapiro-Wilk, 3 jam), sehingga data pada setiap kelompok dinyatakan berdistribusi normal. Karena jumlah data per kelompok kecil ($n = 5$), hasil Shapiro-Wilk menjadi rujukan utama. Uji Levene menghasilkan statistik 0,874 dengan signifikansi 0,475 (berdasarkan rata-rata), dan seluruh dasar perhitungan lainnya juga menghasilkan signifikansi lebih besar dari 0,05 (0,480 sampai 0,539), sehingga ragam antarkelompok dinyatakan homogen.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas

Kelompok	Shapiro-Wilk (statistik)	Shapiro-Wilk (Sig.)	Kolmogorov-Smirnov ^a (Sig.)
0 jam	0,963	0,832	0,200*
1 jam	0,980	0,936	0,200*
2 jam	0,864	0,243	0,198
3 jam	0,844	0,175	0,177

^aKoreksi signifikansi Lilliefors. *Batas bawah signifikansi sebenarnya.

Hasil ANOVA satu arah disajikan pada Tabel 4. Nilai F hitung sebesar 106,870 dengan derajat bebas 3 dan 16 dan signifikansi kurang dari 0,001, sehingga H_0 ditolak

dan durasi perendaman NaOH berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact*. Ukuran efek yang dihitung dari tabel ANOVA (jumlah kuadrat antarkelompok dibagi jumlah kuadrat total) adalah $\eta^2 \approx 0,952$. Angka ini perlu dibaca bersama keterbatasan desain, yaitu setiap kelompok berasal dari satu panel sehingga pengaruh durasi tidak sepenuhnya terpisah dari variasi antarpanel.

Tabel 4. Hasil ANOVA Satu Arah

Sumber variasi	Jumlah kuadrat	db	Kuadrat tengah	F	Sig.
Antarkelompok	10.145.070,08	3	3.381.690,025	106,870	<0,001
Dalam kelompok	506.289,492	16	31.643,093		
Total	10.651.359,57	19			

Keluaran SPSS dalam satuan J/m² (1 kJ/m² = 1.000 J/m²).

Karena ANOVA signifikan, dilakukan uji lanjut Tukey HSD (Tabel 5). Seluruh pasangan durasi berbeda signifikan. Selisih terkecil terdapat antara 1 jam dan 2 jam (0,443 kJ/m², $p = 0,006$), sedangkan selisih terbesar terdapat antara kontrol dan 3 jam (1,963 kJ/m², $p < 0,001$), sehingga keempat durasi menempati subset yang terpisah dengan urutan kekuatan *impact* 0 jam < 1 jam < 2 jam < 3 jam.

Tabel 5. Hasil Uji Lanjut Tukey HSD

Pasangan durasi	Selisih rata-rata (kJ/m ²)	Sig.
0 jam – 1 jam	0,822	<0,001
0 jam – 2 jam	1,265	<0,001
0 jam – 3 jam	1,963	<0,001
1 jam – 2 jam	0,443	0,006
1 jam – 3 jam	1,141	<0,001
2 jam – 3 jam	0,698	<0,001

Galat baku setiap pasangan 0,113 kJ/m².

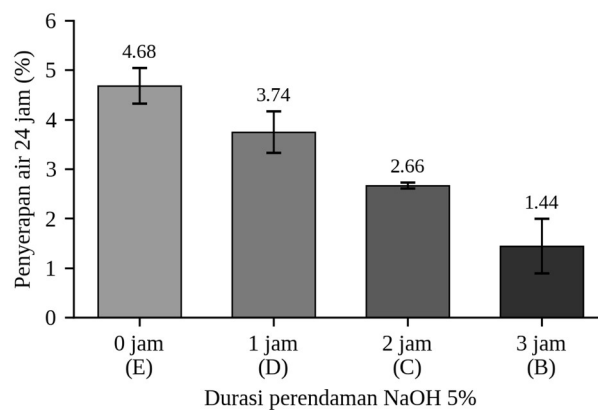
3.3 Penyerapan Air

Penyerapan air rata-rata turun secara konsisten seiring lamanya perendaman NaOH, yaitu 4,68% pada kontrol, 3,74% pada 1 jam, 2,66% pada 2 jam, dan 1,44% pada 3 jam, atau turun masing-masing 20,2%, 43,3%, dan 69,2% dibandingkan kontrol (Tabel 6 dan Gambar 2). Data dianalisis secara deskriptif tanpa uji statistik. Data ini perlu dibaca dengan memperhatikan resolusi timbangan: timbangan beresolusi 0,1 gram pada

spesimen bermassa sekitar 10 gram berarti selisih 0,1 gram setara dengan sekitar 1% penyerapan air. Hal ini terlihat pada kelompok 3 jam yang selisih massanya hanya 0,1 sampai 0,2 gram sehingga standar deviasinya tampak paling besar (0,55%). Karena itu, yang dapat disimpulkan adalah arah kecenderungannya, bukan selisih kecil antarspesimen.

Tabel 6. Penyerapan Air Setelah Perendaman 24 Jam ($n = 5$ per kelompok)

Durasi (kode)	Rata-rata (%)	SD (%)	Penurunan terhadap kontrol (%)
0 jam (E)	4,68	0,36	—
1 jam (D)	3,74	0,42	20,2
2 jam (C)	2,66	0,06	43,3
3 jam (B)	1,44	0,55	69,2



Gambar 2. Penyerapan air rata-rata 24 jam (batang galat = SD)

3.4 *Prototype Trim Pillar B*

Prototype trim pillar B dibuat dari komposit *woven* rami–polyester dengan durasi perlakuan terbaik, yaitu NaOH 5% selama 3 jam, menggunakan metode VARTM yang sama dengan spesimen uji. *Prototype* ditunjukkan pada Gambar 3 dan berfungsi sebagai visualisasi penerapan hasil penelitian tanpa pengujian mekanis maupun performa.



Gambar 3. *Prototype trim pillar B*

3.5 Analisis Pengaruh Durasi Perlakuan Alkali

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan *impact* meningkat signifikan seiring lamanya perendaman kain rami dalam NaOH 5%, dengan nilai tertinggi pada 3 jam (8,477 kJ/m², naik 30,1% dari kontrol). Peningkatan ini dapat dijelaskan melalui perubahan kondisi permukaan serat. Gugus hidroksil pada selulosa membuat serat bersifat hidrofilik sehingga kurang kompatibel dengan matriks polyester yang hidrofobik (Verma & Goh, 2021; Jamasri & Yudhanto, 2022). NaOH bereaksi dengan gugus OH pada selulosa dan melarutkan sebagian komponen non-selulosa dari permukaan serat sehingga adhesi dengan matriks meningkat (Verma & Goh, 2021). Karena kandungan lignin rami sangat rendah, perlakuan alkali pada rami terutama melarutkan hemiselulosa, pektin, lilin, dan pengotor permukaan (Su et al., 2026). Perendaman yang lebih lama pada konsentrasi dan suhu yang sama kemungkinan melarutkan lebih banyak komponen non-selulosa sehingga ikatan antarmuka serat–matriks membaik secara bertahap sampai 3 jam.

Pada uji *impact*, energi yang diserap berkaitan dengan mekanisme kerusakan seperti retak matriks, *fiber pull-out*, *debonding*, delaminasi, dan patahnya serat. Antarmuka yang lebih baik memungkinkan beban dipindahkan dari matriks ke serat lebih efektif sehingga diperlukan energi lebih besar sampai spesimen patah, sejalan dengan energi serap rata-rata yang naik dari 0,531 J pada kontrol menjadi 0,624 J pada 3 jam. Penelitian ini tidak menyertakan pengujian yang mengukur kondisi antarmuka secara langsung (misalnya SEM atau FTIR), sehingga penjelasan tersebut merupakan interpretasi yang didukung literatur, bukan hasil pengukuran. Kecenderungan penyerapan air memperkuat interpretasi tersebut, karena penyerapan air turun dari 4,68% menjadi 1,44% ketika

kekuatan *impact* meningkat, dan pembengkakan serat akibat penyerapan air dapat menimbulkan tegangan pada antarmuka yang memicu retak mikro dan meningkatkan serapan air (Tezara et al., 2021). Hubungan ini hanya ditinjau secara deskriptif.

Hasil ini perlu dibandingkan dengan literatur karena temuan tentang perlakuan alkali tidak seragam. Hamdan et al. (2017) melaporkan pengaruh yang tidak signifikan pada rami anyam NaOH 5% selama satu jam dengan metode *hand lay-up*, sedangkan pada penelitian ini durasi 1 jam sudah meningkatkan kekuatan *impact* secara signifikan sebesar 12,6%. Perbedaan metode fabrikasi dapat menjadi salah satu penyebabnya, mengingat VARTM membantu impregnasi resin lebih terkontrol dan mengurangi kandungan void (Xia et al., 2015; Dhimole et al., 2021), tetapi penyebab pastinya tidak dapat ditentukan dari data penelitian ini. Arah peningkatan juga sejalan dengan Jamasri dan Yudhanto (2022) yang melaporkan kekuatan tarik laminat rami anyam–poliester berserat terperlakukan (119 MPa) lebih tinggi daripada serat mentah (107 MPa). Terkait durasi, Raharjo et al. (2023) dan Yudsonio et al. (2024) memperoleh pola yang berbeda pada serat dan matriks lain, yang menunjukkan adanya durasi optimum yang bergantung pada jenis serat, matriks, dan kondisi perlakuan. Pada penelitian ini durasi yang diuji hanya 1 sampai 3 jam dan kekuatan *impact* masih meningkat sampai 3 jam tanpa tanda penurunan, sehingga 3 jam merupakan yang terbaik di antara variasi yang diuji, sedangkan durasi optimum yang sebenarnya belum dapat ditentukan.

3.6 Analisis Kelayakan sebagai Material Trim Pillar B

Kelayakan komposit dinilai dengan membandingkan hasil komposit terbaik (3 jam) terhadap polipropilena (PP) sebagai material acuan pada dua indikator, yaitu kekuatan *impact* dan penyerapan air (Tabel 7). PP dipilih sebagai acuan karena serat *bast* seperti *flax*, *kenaf*, *hemp*, dan *jute* telah dipakai pada komponen interior kendaraan dan sering dipadukan dengan PP atau *polyester* (Thapliyal et al., 2023). Komposit dinyatakan layak apabila kekuatan *impact*-nya tidak lebih rendah dan penyerapan airnya tidak lebih tinggi daripada nilai PP. Nilai acuan berfungsi sebagai tolok ukur pembandingan, bukan persyaratan dari standar maupun produsen kendaraan.

Data acuan diambil dari dua lembar data distributor yang mencantumkan kekuatan *impact* Izod bertakik (ASTM D256) dan penyerapan air 24 jam (ASTM D570) untuk PP homopolimer dan kopolimer (Curbell Plastics, n.d.; Professional Plastics, n.d.). Nilai Izod

pada lembar data dinyatakan dalam ft-lb/in, sehingga dikonversi ke J/m ($1 \text{ ft-lb/in} = 53,38 \text{ J/m}$) lalu dibagi dengan tinggi spesimen di bawah takik sebesar 10,16 mm (ASTM International, 2024) agar satuannya sama dengan kekuatan *impact* komposit dalam kJ/m². Sebagai contoh, 1,9 ft-lb/in setara 101,4 J/m atau 9,98 kJ/m². Nilai acuan ditampilkan sebagai kisaran karena kedua lembar data berbeda 1,6 kali pada homopolimer dan 1,7 kali pada kopolimer.

Tabel 7. Perbandingan Komposit Terbaik dengan Nilai Acuan Polipropilena (PP)

Material	Kekuatan <i>impact</i> (kJ/m²)	Penyerapan air 24 jam (%)	Sumber
Komposit rami–polyester, 3 jam	8,477	1,44	Penelitian ini
PP homopolimer	6,3	Tidak disebut angka (<i>slight</i>)	Curbell Plastics (n.d.)
PP homopolimer	9,98	<0,01	Professional Plastics (n.d.)
PP kopolimer	39,4	0,01	Professional Plastics (n.d.)
PP kopolimer	65,7	Tidak disebut angka (<i>slight</i>)	Curbell Plastics (n.d.)

Catatan. Nilai acuan berasal dari uji Izod bertakik dan dikonversi dari ft-lb/in ke kJ/m² dengan membagi tinggi spesimen di bawah takik 10,16 mm, sehingga merupakan perkiraan. Komposit diuji tanpa takik.

Pada indikator penyerapan air, komposit terbaik menyerap 1,44%, yaitu sekitar 144 kali nilai PP atau lebih. Nilai terendah antarspesimen pada kelompok 3 jam (1,01%) pun masih sekitar 100 kali nilai PP, sehingga selisih ini tidak dapat dijelaskan oleh resolusi timbangan 0,1 gram (Subbab 3.3). Hal ini bermakna bagi penerapan karena paparan kelembaban pada interior kendaraan dapat menurunkan sifat material (Shettigar et al., 2025). Pada indikator kekuatan *impact*, nilai komposit terbaik (8,477 kJ/m²) berada pada kisaran PP homopolimer, yaitu 85% sampai 134% dari nilai acuan tergantung lembar data, tetapi hanya 13% sampai 22% dari PP kopolimer. Nilai tertinggi antarspesimen komposit (8,647 kJ/m²) pun hanya mencapai 22% dari nilai kopolimer terendah (39,4 kJ/m²). Dengan demikian, komposit belum memenuhi nilai acuan pada indikator penyerapan air terhadap kedua jenis PP, dan pada indikator kekuatan *impact* hanya berada pada kisaran PP homopolimer serta jauh di bawah PP kopolimer, sehingga belum dapat dinyatakan layak sebagai material *trim pillar* B.

Perbandingan ini bersifat indikatif karena tiga hal. Pertama, komposit diuji tanpa takik, sedangkan nilai acuan berasal dari uji bertakik, dan PP diketahui sangat peka terhadap takik (Ondiek et al., 2024), sehingga kesetaraan dengan PP homopolimer tidak dapat dinyatakan. Kedua, nilai acuan berupa nilai tipikal dari distributor, bukan lembar data produsen untuk satu *grade* tertentu. Ketiga, ukuran dan tebal spesimen komposit berbeda dari spesimen standar, dan PP tidak diuji langsung pada penelitian ini. Meskipun demikian, perlakuan alkali meningkatkan kekuatan *impact* sebesar 30,1% dan menurunkan penyerapan air sebesar 69,2% terhadap kontrol tanpa tanda penurunan sampai 3 jam, sehingga komposit masih berpotensi dikembangkan sebagai material interior non-struktural. *Prototype* hanya berfungsi sebagai visualisasi dan tidak menjadi bukti kelayakan fungsional karena tidak diuji secara mekanis maupun performa, sedangkan sifat tarik dan lentur, ketahanan lingkungan jangka panjang, serta kesesuaian pemasangan tidak dikaji pada penelitian ini.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Durasi perendaman kain rami anyam dalam NaOH 5% berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact* komposit *woven* rami–polyester (ANOVA, $F = 106,870$; $p < 0,001$), dan seluruh pasangan durasi berbeda signifikan (Tukey HSD). Kekuatan *impact* meningkat dari 6,514 kJ/m² pada kontrol menjadi 7,336 kJ/m² (1 jam), 7,779 kJ/m² (2 jam), dan 8,477 kJ/m² (3 jam), sehingga durasi 3 jam menghasilkan kekuatan *impact* tertinggi di antara variasi yang diuji, yaitu naik 30,1% dari kontrol. Kekuatan *impact* masih meningkat sampai 3 jam sehingga durasi optimum belum dapat ditentukan. Penyerapan air cenderung menurun dari 4,68% pada kontrol menjadi 1,44% pada 3 jam, yang dianalisis secara deskriptif.

Kekuatan *impact* komposit terbaik hanya berada pada kisaran PP homopolimer dan sekitar 13–22% dari PP kopolimer, sedangkan penyerapan airnya sekitar 144 kali nilai acuan PP, sehingga komposit belum dapat dinyatakan layak sebagai material *trim pillar* B. Perbandingan ini bersifat indikatif karena komposit diuji tanpa takik, sedangkan nilai acuan berasal dari uji bertakik. Meskipun demikian, perlakuan alkali meningkatkan kekuatan *impact* dan menurunkan penyerapan air sehingga komposit masih berpotensi dikembangkan sebagai material panel interior non-struktural.

Penelitian selanjutnya dapat memperluas rentang durasi perlakuan alkali di luar 3 jam, membuat lebih dari satu panel untuk setiap variasi dan mengukur fraksi berat serat, mengkarakterisasi antarmuka serat–matriks dengan SEM atau FTIR, menguji material acuan secara langsung dengan metode yang setara, serta menguji sifat mekanis lain dan *prototype* secara fungsional.

DAFTAR REFERENSI

- ASTM International. (2022). *Standard test method for water absorption of plastics* (ASTM D570-22). <https://doi.org/10.1520/D0570-22>
- ASTM International. (2024). *Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics* (ASTM D256-24). <https://doi.org/10.1520/D0256-24>
- Curbell Plastics. (n.d.). *Polypropylene* [Data sheet]. <https://www.curbellplastics.com/wp-content/uploads/2022/11/Curbell-Plastics-Polypropylene-Data-Sheet.pdf>
- Dhimole, V. K., Serrao, P., & Cho, C. (2021). Review and suggestion of failure theories in voids scenario for VARTM processed composite materials. *Polymers*, 13(6), 969. <https://doi.org/10.3390/polym13060969>
- Habibie, S., Suhendra, N., Setiawan, B. A., Hamzah, M., Aisah, N., Fitriani, D. A., Tasomara, R., & Anggaravidya, M. (2021). Prospect of ramie fiber development in Indonesia and manufacturing of ramie fiber textile-based composites for industrial needs, an overview. *International Journal of Composite Materials*, 11(3), 43–53. <https://doi.org/10.5923/j.comaterials.20211103.01>
- Hamdan, M. H. M., Siregar, J. P., Bachtiar, D., Rejab, M. R. M., Samykano, M., Agung, E. H., Tezara, C., & Jaafar, J. (2017). Effect of alkaline treatment on mechanical properties of woven ramie reinforced thermoset composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 257(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/257/1/012044>
- Jamasri, & Yudhanto, F. (2022). The effect of alkali treatment and addition of microcrystalline cellulose (MCC) on physical and tensile properties of ramie/polyester laminated composites. *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, 32(2), 77–84. <https://doi.org/10.18280/rcma.320204>
- Jamilah, U. L., & Sujito. (2021). The improvement of ramie fiber properties as composite materials using alkalization treatment: NaOH concentration. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 22(2), 62–70. <https://ejournal.brin.go.id/jsmi/article/view/5009>
- Kim, T. K. (2017). Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean Journal of Anesthesiology*, 70(1), 22–26. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.1.22>
- McHugh, M. L. (2011). Multiple comparison analysis testing in ANOVA. *Biochemia Medica*, 21(3), 203–209. <https://doi.org/10.11613/BM.2011.029>
- Mohammadi, H., Ahmad, Z., Mazlan, S. A., Faizal Johari, M. A., Siebert, G., Petru, M., & Rahimian Koloor, S. S. (2023). Lightweight glass fiber-reinforced polymer composite for automotive bumper applications: A review. *Polymers*, 15(1), 193. <https://doi.org/10.3390/polym15010193>
- Novarini, E., & Sukardan, M. D. (2015). Potensi serat rami (*Boehmeria nivea* S. Gaud) sebagai bahan baku industri tekstil dan produk tekstil dan tekstil teknik. *Arena Tekstil*, 30(2), 113–122. <https://doi.org/10.31266/at.v30i2.1988>
- Ondiek, W., Ridzuan, A., Iwamoto, M., Macadre, A., & Goda, K. (2024). Comparative analysis of mechanical and morphological properties of Cordenka and ramie fiber-reinforced polypropylene composites. *Materials*, 17(22), 5519. <https://doi.org/10.3390/ma17225519>
- Professional Plastics. (n.d.). *Typical properties of polypropylene (PP)* [Data sheet]. <https://www.professionalplastics.com/professionalplastics/content/Polypro.pdf>

- Raharjo, W. P., Ariawan, D., Diharjo, K., Raharjo, W. W., & Kusharjanta, B. (2023). Effect of alkaline treatment time of fibers and microcrystalline cellulose addition on mechanical properties of unsaturated polyester composites reinforced by cantala fibers. *Reviews on Advanced Materials Science*, 62(1), 20230103. <https://doi.org/10.1515/rams-2023-0103>
- Shettigar, S., Gowrishankar, M. C., & Shettar, M. (2025). Review on aging behavior and durability enhancement of bamboo fiber-reinforced polymer composites. *Molecules*, 30(15), 3062. <https://doi.org/10.3390/molecules30153062>
- Su, L., Liu, F., Tang, Y., Gao, S., Niu, H., Wang, Y., Chen, J., & Liu, T. (2026). Improving ramie fiber: Current progress and future directions in molecular breeding. *Plants*, 15(10), 1435. <https://doi.org/10.3390/plants15101435>
- Tezara, C., Hadi, A. E., Siregar, J. P., Muhamad, Z., Hamdan, M. H. M., Oumer, A. N., Jaafar, J., Irawan, A. P., Rihayat, T., & Fitriyana, D. F. (2021). The effect of hybridisation on mechanical properties and water absorption behaviour of woven jute/ramie reinforced epoxy composites. *Polymers*, 13(17), 2964. <https://doi.org/10.3390/polym13172964>
- Thapliyal, D., Verma, S., Sen, P., Kumar, R., Thakur, A., Tiwari, A. K., Singh, D., Verros, G. D., & Arya, R. K. (2023). Natural fibers composites: Origin, importance, consumption pattern, and challenges. *Journal of Composites Science*, 7(12), 506. <https://doi.org/10.3390/jcs7120506>
- Ullah, S., Akhter, Z., Palevicius, A., & Janusas, G. (2025). Review: Natural fiber-based biocomposites for potential advanced automotive applications. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 20, 1–17. <https://doi.org/10.1177/15589250241311468>
- U.S. Department of Energy. (n.d.). *Lightweight materials for cars and trucks*. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Vehicle Technologies Office. Diakses dari <https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks>
- Verma, D., & Goh, K. L. (2021). Effect of mercerization/alkali surface treatment of natural fibres and their utilization in polymer composites: Mechanical and morphological studies. *Journal of Composites Science*, 5(7), 175. <https://doi.org/10.3390/jcs5070175>
- Xia, C., Shi, S. Q., Cai, L., & Hua, J. (2015). Property enhancement of kenaf fiber composites by means of vacuum-assisted resin transfer molding (VARTM). *Holzforschung*, 69(3), 307–312. <https://doi.org/10.1515/hf-2014-0054>
- Yudiono, H., Siregar, J. P., Asri, S., Hidayat, H., Chikam, D. B., Aprilian, J. A., Supriyadi, T. A., Cionita, T., & Fitriyana, D. F. (2024). Effect of alkalization time on the toughness and strength of jute sack waste lamina composite as an alternative car bumper material. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 21(4), 11809–11820. <https://doi.org/10.15282/ijame.21.4.2024.6.0909>