

Pengaruh Durasi Perendaman Alkali terhadap Kekuatan *Impact* Komposit *Woven Jute*–Polyester sebagai Material Alternatif *Armrest Cover* dengan metode *Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM)

Muhammad Hafizh Fatihurrizqi ¹⁾, R Hari Setyanto ²⁾

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

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

Abstract. *Natural fiber composites have potential as alternative materials for vehicle interior components, but jute fiber is hydrophilic, which limits its compatibility with the polyester matrix. Alkali treatment with NaOH is used to modify the fiber surface, yet the effect of soaking duration on woven jute–polyester composites fabricated by VARTM has not been widely studied. This study aims to analyze the effect of 5% NaOH soaking duration (0, 1, 2, and 3 hours) on the impact strength and water absorption of woven jute–polyester composites fabricated by the Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding (VARTM) method, and to evaluate their initial potential as an armrest cover material. Impact strength was tested by the Izod method following ASTM D256 on five specimens per variation and analyzed using the Shapiro–Wilk test, Levene's test, one-way ANOVA, and the Bonferroni post hoc test, while water absorption was tested following ASTM D570 for 24 hours and analyzed descriptively. Soaking duration significantly affected impact strength ($F = 15.658$; $p < 0.001$). Mean impact strength increased from 4.89 kJ/m² in the control to 8.09 kJ/m² at 3 hours (a 65.4% increase), but the 3-hour group did not differ significantly from the 2-hour group ($p = 0.251$). Mean water absorption decreased from 4.74% to 1.62%. Each variation was represented by a single panel, so the effect of duration is not fully separated from panel-to-panel variation. An armrest cover prototype was made using the 3-hour duration as a visualization of the application, and suitability at the product level has not been tested.*

Keywords: *woven jute, alkali treatment, impact strength, water absorption, VARTM*

Abstrak. Komposit serat alam berpotensi menjadi material alternatif komponen interior kendaraan, tetapi serat jute bersifat hidrofilik sehingga kompatibilitasnya dengan matriks polyester terbatas. Perlakuan alkali NaOH digunakan untuk memodifikasi permukaan serat, namun pengaruh durasi perendaman pada komposit *woven jute*–polyester berbasis VARTM belum banyak dikaji. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh durasi perendaman NaOH 5% (0, 1, 2, dan 3 jam) terhadap kekuatan *impact* dan penyerapan air komposit *woven jute*–polyester yang difabrikasi dengan metode *Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding* (VARTM), serta mengevaluasi potensi awalnya sebagai material *armrest cover*. Kekuatan *impact* diuji dengan metode Izod mengacu pada ASTM D256 pada lima spesimen untuk setiap variasi dan dianalisis menggunakan uji Shapiro–Wilk, uji Levene, ANOVA satu arah, dan uji lanjut Bonferroni, sedangkan penyerapan air diuji mengacu pada ASTM D570 selama 24 jam dan dianalisis secara deskriptif. Durasi perendaman berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact* ($F = 15,658$; $p < 0,001$). Kekuatan *impact* rata-rata meningkat dari 4,89 kJ/m² pada kontrol menjadi 8,09 kJ/m² pada durasi 3 jam (naik 65,4%), tetapi durasi 3 jam tidak berbeda signifikan dari durasi 2 jam ($p = 0,251$). Penyerapan air rata-rata turun dari 4,74% menjadi 1,62%. Setiap variasi berasal dari satu panel, sehingga pengaruh durasi tidak sepenuhnya terpisah dari variasi antarpanel. *Prototype armrest cover* dibuat dengan durasi 3 jam sebagai visualisasi penerapan, dan kelayakan pada tingkat produk belum diuji..

Kata kunci: *woven jute, perlakuan alkali, kekuatan impact, penyerapan air, VARTM*

1. LATAR BELAKANG

Pengembangan komponen otomotif memerlukan material yang tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsi, tetapi juga sesuai dengan bahan baku yang tersedia dan kemampuan proses fabrikasinya. Komposit polimer berpenguat serat alam dikembangkan sebagai alternatif penguat sintetis pada aplikasi tertentu, dan BMW Group (2025) melaporkan pengembangan komposit berbasis serat flax untuk penerapan pada kendaraan. Akampumuza et al. (2017) mengulas penerapan biokomposit pada komponen interior seperti *door panel*, *instrument panel*, dan *center console*, sedangkan Shahinur et al. (2022) menjelaskan bahwa serat jute telah dikembangkan dalam berbagai bentuk komposit untuk aplikasi teknik, termasuk sektor otomotif.

Jute adalah serat lignoselulosa dari sumber terbarukan dengan densitas relatif rendah, lebih rendah daripada serat kaca (Pickering et al., 2016). Dalam bentuk kain anyaman (*woven*), jute memiliki dua arah utama, yaitu *warp* dan *weft*, sehingga susunan penguat dapat dibuat seragam pada seluruh variasi percobaan. Jute dipilih karena tersedia sebagai kain anyaman jadi dan karena sistem jute–polyester memiliki acuan pembanding yang dekat dengan rancangan penelitian ini, yaitu perlakuan NaOH pada kain jute (Flores et al., 2024; Lakshmanan et al., 2018), komposit serat goni–polyester (Sulistiono et al., 2024), dan fabrikasi VARTM (Bhatt et al., 2022). Pemilihan ini tidak didasarkan pada keunggulan sifat mekanis atas serat lokal, dan penelitian ini tidak membandingkan jute dengan serat lain.

Kendala utama komposit serat alam adalah sifat hidrofilik serat yang menyebabkan kecenderungan menyerap kelembapan. Polyester sebagai matriks memiliki karakteristik permukaan yang berbeda dari serat, sehingga kompatibilitas antarmuka, pembasahan resin, serta respons mekanis dan penyerapan air komposit dapat terpengaruh (Sahu & Gupta, 2020). Perlakuan alkali dengan NaOH mengurangi sebagian komponen non-selulosa dan material permukaan serat sehingga berpotensi mengubah kondisi antarmuka, tetapi efektivitasnya bergantung pada konsentrasi, durasi, temperatur, dan jenis serat (Sahu & Gupta, 2020). Gupta (2020) menerapkan NaOH 5% pada komposit jute–polyester dan mengevaluasi sifat mekanis serta penyerapan airnya, sedangkan Sulistiono et al. (2024) memakai NaOH 5% selama dua jam pada komposit serat goni–polyester

dengan metode *hand lay-up*. Lakshmanan et al. (2018) mengoptimasi perlakuan alkali pada kain jute dengan NaOH 1% melalui variasi waktu, temperatur, dan rasio bahan terhadap larutan.

Durasi perendaman tidak dapat diasumsikan selalu memperbaiki karakteristik komposit. Rodríguez dan Vázquez (2006) melaporkan bahwa kain jute yang direndam NaOH 5% selama 24 jam dan diinfusi vakum dengan resin vinilester memiliki energi *impact* 47,2 J/m, lebih rendah daripada kain tanpa perlakuan sebesar 56,5 J/m. An et al. (2025) memvariasikan perendaman NaOH 5% selama 1, 2, dan 3 jam pada komposit tekstil tali agel–katun dan memperoleh kekuatan *impact* yang naik dari 1 ke 2 jam lalu turun dari 2 ke 3 jam, sedangkan penyerapan air terendah diperoleh pada 3 jam. Flores et al. (2024) memakai kain jute, resin polyester isoftalat, dan *resin transfer molding* (RTM) dengan NaOH 2% selama 10 menit. Mereka melaporkan penyerapan air tertinggi pada komposit berperlakuan NaOH dibandingkan seluruh kondisi lain, termasuk jute tanpa perlakuan, dan tidak melaporkan pengujian *impact*.

Metode fabrikasi juga memengaruhi karakteristik komposit. Metode *hand lay-up* bergantung pada pengerjaan manual, sedangkan fabrikasi berbantuan vakum memanfaatkan perbedaan tekanan untuk membantu aliran resin ke dalam susunan penguat. Abdurohman et al. (2023) menunjukkan pada komposit serat kaca bahwa perbedaan metode manufaktur menghasilkan karakteristik yang berbeda, tetapi hasil itu tidak dapat langsung dipakai untuk menyimpulkan bahwa infusi vakum selalu menghasilkan komposit jute–polyester yang lebih baik. Bhatt et al. (2022) memakai VARTM untuk komposit jute–polyester dan melaporkan bahwa udara terperangkap berkaitan dengan pembentukan *void*, sedangkan Kahraman et al. (2026) melaporkan aliran resin yang tidak seragam dan kompaksi serat yang bervariasi pada VARTM konvensional kelas *aerospace*.

Pada penelitian yang ditinjau, belum ditemukan kajian yang memvariasikan durasi perendaman NaOH pada komposit *woven* jute–polyester berbasis VARTM dan menguji kekuatan *impact* serta penyerapan airnya. Penelitian terdekat, Flores et al. (2024), memakai RTM, satu kondisi NaOH 2% selama 10 menit, dan tidak melaporkan pengujian *impact*.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh durasi perendaman NaOH 5% (0, 1, 2, dan 3 jam) terhadap kekuatan *impact* dan penyerapan air komposit *woven jute–polyester* berbasis VARTM, serta menerapkan variasi dengan rata-rata kekuatan *impact* tertinggi pada *prototype armrest cover*. *Armrest cover* pada *center console*, yaitu bagian luar *armrest* yang tergolong komponen interior nonstruktural, dipilih sebagai demonstrator penerapan. Malhotra et al. (2024) menunjukkan bahwa perancangan *console armrest* mempertimbangkan respons terhadap uji tumbukan kepala (*head impact testing*), sehingga karakteristik mekanis relevan untuk dikaji pada material komponen tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan eksperimen satu faktor, yaitu durasi perendaman *woven jute* dalam larutan NaOH 5%, dengan empat level (0, 1, 2, dan 3 jam; 0 jam sebagai kontrol) dan lima replikasi pada setiap level. Setiap level diwakili satu panel laminat yang difabrikasi dalam satu proses infusi, kemudian dipotong menjadi lima spesimen uji *impact* dan lima spesimen uji penyerapan air (Tabel 1). Variabel respons adalah kekuatan *impact* dan penyerapan air.

Tabel 1. Desain eksperimen

Durasi perendaman	Kode spesimen <i>impact</i>	Kode spesimen penyerapan air	Jumlah spesimen <i>impact</i>	Jumlah spesimen penyerapan air
0 jam (kontrol)	J0	K0	5	5
1 jam	J1	K1	5	5
2 jam	J2	K2	5	5
3 jam	J3	K3	5	5

Lima lembar *woven jute* berukuran 200 mm × 200 mm disiapkan untuk setiap panel. Kain direndam dalam NaOH 5% sesuai durasi (kecuali kontrol), dicuci dengan air

mengalir hingga sisa larutan alkali terbilas dan kondisi getas setelah perendaman hilang, kemudian dikeringkan dalam oven pada 100 °C selama 30 menit. Kain disusun sebagai lima lapis pada cetakan kaca, dilengkapi *peel ply* dan *infusion mesh*, lalu dipasang *infusion tube*, jalur vakum, *resin trap*, dan pompa vakum. Susunan ditutup dengan *vacuum bag* dan *sealant tape* hingga kedap udara, kemudian divakum sampai sekitar –20 inHg (sekitar –67,7 kPa) dan kondisi vakum dipantau sebelum infusi. Resin polyester C108 sebanyak 300 gram yang dicampur katalis MEKPO 1% dialirkan dengan metode VARTM selama kurang lebih 15 menit, lalu komposit di-*curing* selama 6 jam dan dilepas dari cetakan. Jumlah 300 gram adalah resin yang disiapkan untuk infusi, bukan massa matriks aktual pada laminat, sehingga fraksi volume dan fraksi massa serat tidak ditentukan.

Panel dipotong menjadi spesimen uji *impact* Izod mengacu pada ASTM D256 (ASTM International, 2026) dan spesimen uji penyerapan air berukuran 76,2 mm × 25,4 mm mengacu pada ASTM D570 (ASTM International, 2022). Uji *impact* dilakukan dengan metode Izod pada orientasi *flatwise* di Laboratorium PUTP Politeknik ATMI Surakarta, dan seluruh kelompok diuji pada konfigurasi yang sama. Alat uji menghasilkan energi serap dan sudut ayun pendulum. Lebar dan tebal setiap spesimen diukur untuk menghitung luas penampang, dan 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 dilakukan dengan merendam spesimen dalam air selama 24 jam. Setiap spesimen ditimbang sebelum dan sesudah perendaman, dan persentase penyerapan air dihitung dengan persamaan berikut.

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

dengan W_1 massa spesimen sebelum perendaman dan W_2 massa spesimen setelah perendaman.

Data kekuatan *impact* diolah dengan SPSS. Hipotesis yang diuji adalah H_0 bahwa durasi perendaman tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact*, dan H_1 bahwa durasi perendaman berpengaruh signifikan. Normalitas diuji dengan Shapiro–Wilk pada

setiap kelompok karena jumlah data per kelompok kecil ($n = 5$) (Mishra et al., 2019), homogenitas ragam dengan uji Levene (Zhou et al., 2023), kemudian ANOVA satu arah (Kim, 2017) dan uji lanjut Bonferroni pada enam pasangan durasi apabila H_0 ditolak (Lee & Lee, 2018), seluruhnya pada taraf signifikansi 5%. Data penyerapan air ditabulasi dengan Microsoft Excel dan dianalisis secara deskriptif-komparatif tanpa pengujian hipotesis.

Variasi dengan rata-rata kekuatan *impact* tertinggi dipilih untuk pembuatan *prototype armrest cover* dengan metode VARTM dan sistem material yang sama. *Prototype* berfungsi sebagai demonstrator skala laboratorium tanpa pengujian mekanis dan tidak mencakup engsel, pengunci, *foam*, maupun evaluasi ergonomi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

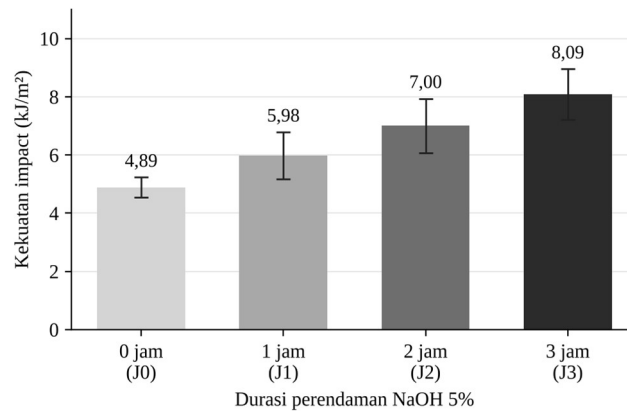
3.1 Kekuatan *Impact*

Seluruh spesimen diuji pada konfigurasi yang sama, dan energi serap yang tercatat berada pada rentang 0,379 J sampai 0,714 J. Rekapitulasi hasil disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 1. Kekuatan *impact* rata-rata meningkat seiring lamanya perendaman, dari 4,89 kJ/m² pada kontrol menjadi 5,98 kJ/m² (1 jam), 7,00 kJ/m² (2 jam), dan 8,09 kJ/m² (3 jam). Koefisien variasi setiap kelompok berada pada rentang 7,01% sampai 13,49%, dengan sebaran terkecil pada kelompok kontrol.

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 (J0)	0,435	4,89	0,34	7,01	–
1 jam (J1)	0,520	5,98	0,81	13,49	22,3
2 jam (J2)	0,542	7,00	0,94	13,38	43,1
3 jam (J3)	0,615	8,09	0,87	10,78	65,4

SD dan CV dihitung dari nilai kekuatan *impact* setiap spesimen. Kenaikan dihitung dari rata-rata yang ditampilkan.



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

3.2 Uji Asumsi, ANOVA, dan Uji Lanjut

Hasil uji normalitas disajikan pada Tabel 3. Nilai signifikansi Shapiro–Wilk seluruh kelompok lebih besar dari 0,05 dengan nilai terkecil 0,093 (2 jam), sehingga data setiap kelompok dinyatakan berdistribusi normal. Karena jumlah data per kelompok kecil ($n = 5$), Shapiro–Wilk dijadikan rujukan utama. Pada uji Kolmogorov–Smirnov dengan koreksi Lilliefors, kelompok 2 jam memiliki signifikansi 0,028, sehingga asumsi normalitas pada kelompok tersebut tidak sepenuhnya kuat. Uji Levene berdasarkan rata-rata menghasilkan statistik 0,943 (db 3 dan 16) dengan signifikansi 0,443, dan dasar perhitungan lainnya menghasilkan signifikansi 0,487 sampai 0,705, sehingga ragam antarkelompok dinyatakan homogen.

Tabel 3. Hasil uji normalitas

Kelompok	Shapiro–Wilk (statistik)	Shapiro–Wilk (Sig.)	Kolmogorov–Smirnov ^a (Sig.)
0 jam	0,978	0,926	0,200*
1 jam	0,943	0,685	0,200*
2 jam	0,808	0,093	0,028

Kelompok	Shapiro–Wilk (statistik)	Shapiro–Wilk (Sig.)	Kolmogorov–Smirnov ^a (Sig.)
3 jam	0,961	0,818	0,200*

^a Koreksi signifikansi Lilliefors. * Batas bawah signifikansi sebenarnya.

Hasil ANOVA satu arah disajikan pada Tabel 4. Nilai F hitung sebesar 15,658 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 $\eta^2 \approx 0,746$. 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	28.113.689,64	3	9.371.229,882	15,658	<0,001
Dalam kelompok	9.575.751,355	16	598.484,460		
Total	37.689.441,00	19			

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

Karena ANOVA signifikan, dilakukan uji lanjut Bonferroni (Tabel 5). Perbedaan signifikan terdapat pada pasangan 0–2 jam ($p = 0,003$), 0–3 jam ($p < 0,001$), dan 1–3 jam ($p = 0,003$), sedangkan pasangan 0–1 jam ($p = 0,243$), 1–2 jam ($p = 0,320$), dan 2–3 jam ($p = 0,251$) tidak berbeda signifikan. Dengan demikian durasi 1 jam belum berbeda dari kontrol, dan durasi 3 jam tidak dapat dinyatakan lebih tinggi secara statistik daripada durasi 2 jam meskipun rata-ratanya lebih besar.

Tabel 5. Hasil uji lanjut Bonferroni

Pasangan durasi	Selisih rata-rata (kJ/m ²)	Sig.
0 jam – 1 jam	1,091	0,243
0 jam – 2 jam	2,112	0,003
0 jam – 3 jam	3,194	<0,001
1 jam – 2 jam	1,021	0,320
1 jam – 3 jam	2,103	0,003
2 jam – 3 jam	1,083	0,251

Galat baku setiap pasangan 0,489 kJ/m². Selisih dihitung sebagai durasi lebih lama dikurangi durasi lebih singkat.

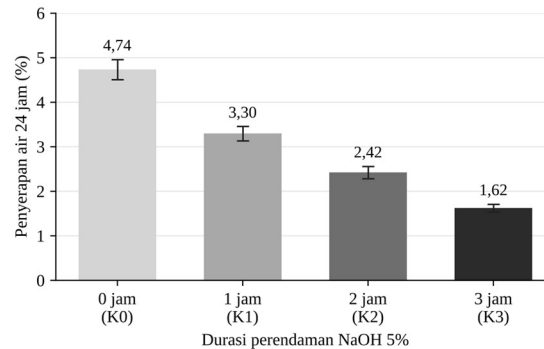
3.3 Penyerapan Air

Penyerapan air rata-rata turun seiring lamanya perendaman NaOH, yaitu 4,74% pada kontrol, 3,30% pada 1 jam, 2,42% pada 2 jam, dan 1,62% pada 3 jam, atau turun masing-masing 30,4%, 48,9%, dan 65,8% dibandingkan kontrol (Tabel 6 dan Gambar 2). Data dianalisis secara deskriptif-komparatif tanpa uji statistik, sehingga yang dapat dinyatakan adalah arah kecenderungannya. Massa awal spesimen tercatat dalam kelipatan 0,1 g, sedangkan massa akhir tercatat dalam 0,01 g, sehingga persentase penyerapan air mengandung ketidakpastian pembulatan massa awal sekitar 0,4 sampai 0,5 poin persentase pada spesimen bermassa 11 sampai 13,5 g. Selisih antara rata-rata kelompok yang berurutan (0,80 sampai 1,44 poin persentase) lebih besar daripada ketidakpastian tersebut, tetapi selisih kecil antarspesimen tidak dapat ditafsirkan.

Tabel 6. Penyerapan air setelah perendaman 24 jam (n = 5 per kelompok)

Durasi (kode)	Rata-rata (%)	SD (%)	Penurunan terhadap kontrol (%)
0 jam (K0)	4,74	0,22	—
1 jam (K1)	3,30	0,16	30,4
2 jam (K2)	2,42	0,14	48,9

Durasi (kode)	Rata-rata (%)	SD (%)	Penurunan terhadap kontrol (%)
3 jam (K3)	1,62	0,09	65,8



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

3.4 *Prototype Armrest Cover*

Prototype armrest cover dibuat dari komposit woven jute–polyester dengan perlakuan NaOH 5% selama 3 jam, yaitu variasi dengan rata-rata kekuatan *impact* tertinggi, menggunakan metode VARTM dan sistem material yang sama dengan panel uji. Hasil pembuatan menunjukkan bahwa komposit dapat difabrikasi mengikuti geometri *armrest cover* yang dirancang (Gambar 3). *Prototype* berfungsi sebagai demonstrator penerapan material skala laboratorium. Penelitian ini tidak mencakup pengujian struktural produk akhir, evaluasi ergonomi, mekanisme engsel dan pengunci, ketahanan termal kabin, maupun persyaratan produksi massal.



Gambar 3. *Prototype armrest cover*

3.5 Analisis Pengaruh Durasi Perlakuan Alkali

Kekuatan *impact* rata-rata meningkat seiring lamanya perendaman, dari 4,89 kJ/m² pada kontrol menjadi 8,09 kJ/m² pada 3 jam (naik 65,4%), dan perbedaan antarkelompok signifikan secara statistik. Namun, uji lanjut menunjukkan bahwa peningkatan tersebut tidak signifikan pada setiap tambahan satu jam. Durasi 1 jam belum berbeda dari kontrol, durasi 2 jam telah berbeda dari kontrol, dan durasi 3 jam berbeda dari kontrol dan dari durasi 1 jam tetapi tidak dari durasi 2 jam. Oleh karena itu, durasi 3 jam hanya dapat dinyatakan memiliki rata-rata tertinggi di antara variasi yang diuji, bukan lebih tinggi secara statistik daripada seluruh variasi.

Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan perubahan kondisi permukaan serat. Perlakuan NaOH dapat mengurangi sebagian komponen non-selulosa dan pengotor pada permukaan serat sehingga permukaan serat lebih terpapar terhadap matriks, yang dapat mendukung interaksi antarmuka serat–matriks dan perpindahan beban pada komposit (Lakshmanan et al., 2018; Sahu & Gupta, 2020). Penurunan penyerapan air dari 4,74% menjadi 1,62% sejalan dengan interpretasi tersebut, dan Gupta (2020) juga menjelaskan bahwa perlakuan serat jute dapat memperbaiki ketahanan terhadap penyerapan air pada komposit bermatriks polyester. Penelitian ini tidak menyertakan pengamatan morfologi dengan SEM maupun pengujian antarmuka secara langsung, sehingga penjelasan tersebut merupakan interpretasi yang didukung literatur dan bukan hasil pengukuran.

Hasil ini perlu dibandingkan dengan literatur karena temuan tentang durasi perendaman tidak seragam. Rodríguez dan Vázquez (2006) melaporkan energi *impact* yang lebih rendah pada kain jute yang direndam 24 jam dibandingkan kain tanpa perlakuan, dengan resin vinilester dan satu durasi yang jauh lebih panjang daripada rentang pada penelitian ini, sehingga hasilnya tidak dapat dibandingkan langsung dengan rentang 0 sampai 3 jam. An et al. (2025) memperoleh kekuatan *impact* tertinggi pada 2 jam dan menurun pada 3 jam pada komposit tekstil tali agel–katun, sedangkan pada penelitian ini rata-rata masih meningkat sampai 3 jam. Perbedaan serat dan matriks membuat kedua hasil tidak dapat dibandingkan langsung, dan selisih durasi 2 jam dan 3 jam yang tidak signifikan menunjukkan bahwa durasi optimum belum dapat ditentukan, termasuk kemungkinan penurunan pada durasi di atas 3 jam yang tidak diuji. Flores et al. (2024) melaporkan penyerapan air yang justru lebih tinggi pada kain jute berperlakuan NaOH 2% selama 10 menit dengan RTM. Arah tersebut berlawanan dengan hasil

penelitian ini, tetapi konsentrasi, durasi, dan metode fabrikasinya berbeda, sehingga penyebab perbedaannya tidak dapat ditentukan dari data penelitian ini.

Penelitian ini juga tidak menentukan fraksi volume serat dan kandungan *void*, yang pada VARTM dapat bervariasi antarpanel (Bhatt et al., 2022; Kahraman et al., 2026), sehingga pengaruhnya tidak dapat dipisahkan dari pengaruh durasi perendaman.

3.6 Analisis Kelayakan dan Efisiensi sebagai Material *Armrest Cover*

Perlakuan 3 jam menghasilkan rata-rata kekuatan *impact* tertinggi (8,09 kJ/m²) sekaligus rata-rata penyerapan air terendah (1,62%) dibandingkan seluruh variasi, sehingga menunjukkan kombinasi karakteristik yang paling baik pada kedua respons yang diuji (Tabel 7). Karena itu variasi ini dipilih untuk pembuatan *prototype*, dengan kriteria utama rata-rata kekuatan *impact* tertinggi dan penyerapan air sebagai karakterisasi pendukung.

Ditinjau dari efisiensi waktu perlakuan, durasi 2 jam lebih singkat satu jam daripada durasi 3 jam, sedangkan kekuatan *impact* keduanya tidak berbeda signifikan ($p = 0,251$). Durasi 2 jam dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih efisien apabila waktu perlakuan dan kekuatan *impact* menjadi pertimbangan utama, dengan konsekuensi rata-rata penyerapan air yang lebih tinggi (2,42% dibandingkan 1,62%) yang tidak diuji secara statistik. Efisiensi pada penelitian ini dibatasi pada waktu perlakuan alkali dan tidak mencakup biaya produksi.

Tabel 7. Perbandingan perlakuan 2 jam dan 3 jam

Indikator	2 jam (J2, K2)	3 jam (J3, K3)	Keterangan
Waktu perendaman NaOH (jam)	2	3	Durasi 2 jam lebih singkat satu jam
Kekuatan <i>impact</i> rata-rata (kJ/m ²)	7,00	8,09	Sig. Bonferroni 0,251 (tidak signifikan)

Indikator	2 jam (J2, K2)	3 jam (J3, K3)	Keterangan
Penyerapan air rata-rata (%)	2,42	1,62	Deskriptif, tidak diuji secara statistik

Komposit *woven jute–polyester* dengan perlakuan NaOH 5% selama 3 jam memiliki potensi kelayakan awal sebagai material alternatif *armrest cover* berdasarkan kekuatan *impact*, penyerapan air, dan kemampuan fabrikasi pada skala laboratorium. Penelitian ini tidak membandingkan hasil dengan nilai acuan atau persyaratan material *armrest cover*, sehingga penilaian tersebut bersifat perbandingan antarvariasi dan belum merepresentasikan kelayakan otomotif secara menyeluruh. Kekakuan, ketahanan aus, ketahanan termal, *flammability*, ergonomi, dan ketahanan jangka panjang belum diuji, dan *prototype* tidak diuji secara mekanis. Keterbatasan lain adalah setiap variasi berasal dari satu panel, konsentrasi NaOH hanya 5%, durasi hanya 0 sampai 3 jam, serta fraksi volume serat dan kandungan *void* tidak ditentukan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Durasi perendaman *woven jute* dalam NaOH 5% berpengaruh signifikan terhadap kekuatan *impact* komposit *woven jute–polyester* berbasis VARTM (ANOVA, $F = 15,658$; $p < 0,001$). Kekuatan *impact* rata-rata meningkat dari 4,89 kJ/m² pada kontrol menjadi 5,98 kJ/m² (1 jam), 7,00 kJ/m² (2 jam), dan 8,09 kJ/m² (3 jam). Uji lanjut Bonferroni menunjukkan perbedaan signifikan pada pasangan 0–2 jam, 0–3 jam, dan 1–3 jam, sedangkan durasi 3 jam tidak berbeda signifikan dari durasi 2 jam, sehingga durasi 3 jam memiliki rata-rata tertinggi tetapi tidak dapat dinyatakan lebih tinggi secara statistik daripada durasi 2 jam.

Penyerapan air rata-rata cenderung menurun dari 4,74% pada kontrol menjadi 3,30%, 2,42%, dan 1,62% pada durasi 1, 2, dan 3 jam, berdasarkan analisis deskriptif-komparatif. Durasi 3 jam menghasilkan kekuatan *impact* rata-rata tertinggi sekaligus penyerapan air rata-rata terendah, sehingga dipilih untuk pembuatan *prototype armrest cover*. Komposit tersebut memiliki potensi kelayakan awal sebagai material alternatif *armrest cover*, yang terbatas pada kekuatan *impact*, penyerapan air, dan kemampuan

fabrikasi skala laboratorium. Interpretasi tentang perubahan antarmuka serat–matriks didasarkan pada literatur dan bukan hasil pengukuran.

Penelitian selanjutnya dapat membuat lebih dari satu panel untuk setiap variasi dan menentukan fraksi volume serat serta kandungan *void*, mengamati morfologi permukaan dan antarmuka dengan SEM, memperluas rentang durasi dan membandingkan efisiensi waktu serta biaya antara durasi 2 jam dan 3 jam, menguji sifat tarik, lentur, dan tekan, serta menguji *prototype* pada tingkat produk seperti beban tekan, ketahanan aus, perubahan suhu kabin, kelembapan, dan *flammability*.

DAFTAR REFERENSI

- Abdurohman, K., Pratomo, R. A., Hidayat, R., Ramadhan, R. A., Nurtiasto, T. S., Ardiansyah, R., & P.P.P., M. G. (2023). A comparison of vacuum infusion, vacuum bagging, and hand lay-up process on the compressive and shear properties of GFRP materials. *Indonesian Journal of Aerospace*, 21(1), 39–50. <https://doi.org/10.55981/ijoa.2023.286>
- Akampunguza, O., Wambua, P. M., Ahmed, A., Li, W., & Qin, X. H. (2017). Review of the applications of biocomposites in the automotive industry. *Polymer Composites*, 38(11), 2553–2569. <https://doi.org/10.1002/pc.23847>
- An, H. A., Santhiarsa, I. G. N. N., & Suarsana, I. K. (2025). Pengaruh variasi waktu treatment NaOH pada komposit tekstil tali agel-katun bermatrik Ripoxy terhadap kekuatan impak dan daya serap air. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 14(2), 161–166. <https://ejournal2.unud.ac.id/index.php/tadm/article/view/524>
- ASTM International. (2022). *Standard test method for water absorption of plastics (ASTM D570-22)*. <https://doi.org/10.1520/D0570-22>
- ASTM International. (2026). *Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics (ASTM D256-26)*. <https://store.astm.org/d0256-26.html>
- Bhatt, A. T., Gohil, P. P., & Chaudhary, V. (2022). Degassing and layers variation effect on composite processing by vacuum assisted resin transfer moulding. *Journal of Engineering Research*, 10(2B), 184–192. <https://doi.org/10.36909/jer.9941>
- BMW Group. (2025). *BMW Group achieves breakthrough to use natural fibre composites in series production*. <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2025/natural-fibre-composites.html>
- Flores, A. L. L., Kairytė, A., Šeputytė-Jucikė, J., Makowska, S., Lavoratti, A., de Avila Delucis, R., & Amico, S. C. (2024). Effect of chemical treatments on the mechanical properties of jute/polyester composites. *Materials*, 17(10), 2320. <https://doi.org/10.3390/ma17102320>
- Gupta, M. K. (2020). Investigations on jute fibre-reinforced polyester composites: Effect of alkali treatment and poly(lactic acid) coating. *Journal of Industrial Textiles*, 49(7), 923–942. <https://doi.org/10.1177/1528083718804203>
- Kahraman, I., Uysal, N., Subaşı, Ç., Dursun, S., İskender, M., Çalın, Ö., Şimşir, U., Sas, H. S., & Seyhan, A. T. (2026). Assessing and quantifying variability across vacuum-assisted resin infusion variants for aerospace-grade composite manufacturing. *Polymer Composites*, 47(15), 13664–13684. <https://doi.org/10.1002/pc.71180>
- 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>

- Lakshmanan, A., Ghosh, R. K., Dasgupta, S., Chakraborty, S., & Ganguly, P. K. (2018). Optimization of alkali treatment condition on jute fabric for the development of rigid biocomposite. *Journal of Industrial Textiles*, 47(5), 640–655. <https://doi.org/10.1177/1528083716667259>
- Lee, S., & Lee, D. K. (2018). What is the proper way to apply the multiple comparison test? *Korean Journal of Anesthesiology*, 71(5), 353–360. <https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00242>
- Malhotra, D., Vaishnav, S., Sureshkumar Presannakumari, R., Mangal, G., & Keshri, A. (2024). *Optimization of console armrest design for reduction of G-values in head impact testing* (SAE Technical Paper 2024-28-0212). SAE International. <https://doi.org/10.4271/2024-28-0212>
- Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67–72. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- Rodríguez, E. S., & Vázquez, A. (2006). *Alkali treatment of jute fabrics: Influence on the processing conditions and the mechanical properties of their composites* [Paper presentation]. 8th International Conference on Flow Processes in Composite Materials (FPCM-8), Douai, France. https://ecm-academics.plymouth.ac.uk/jsummerscales/FPCM/FPCM08/FPCM8/papers/FPCM8_50.pdf
- Sahu, P., & Gupta, M. K. (2020). A review on the properties of natural fibres and its biocomposites: Effect of alkali treatment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 234(1), 198–217. <https://doi.org/10.1177/1464420719875163>
- Shahinur, S., Sayeed, M. M. A., Hasan, M., Sayem, A. S. M., Haider, J., & Ura, S. (2022). Current development and future perspective on natural jute fibers and their biocomposites. *Polymers*, 14(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/polym14071445>
- Sulistiono, D. O., Al Farizi, M. S., Suranto, D. D., & Wahyudiono, A. (2024). Pengaruh serat goni terhadap kekuatan impact dan kekuatan bending komposit bermatriks polyester. *J-TETA: Jurnal Teknik Terapan*, 3(1), 21–27. <https://doi.org/10.25047/jteta.v3i1.36>
- Zhou, Y., Zhu, Y., & Wong, W. K. (2023). Statistical tests for homogeneity of variance for clinical trials and recommendations. *Contemporary Clinical Trials Communications*, 33, 101119. <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2023.101119>