Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan VI
(SENASTITAN VI)
Surabaya, 19 September 2026

Pengaruh Fraksi Volume Serat Jagung Terhadap Sifat Mekanik Komposit Polyester Sebagai Material Alternatif Helm

Denny Prayoga[1] , Suheni[2] , Zain Lillahulhaq[3]
[1,2,3]nstitut Teknologi Adhi Tama Surabaya
e-mail: dennypryga@gmail.com[1], Suheni@itats.ac.id[2]

ABSTRACT

This study evaluates the mechanical properties of corn husk fibre-reinforced polyester composites prepared with different fibre volume fractions and alkali-treatment conditions and assesses their potential as an alternative helmet material. Composite specimens were fabricated using the hand lay-up method with fibre volume fractions of 20%, 30%, and 40%. The 20% fraction was used without alkali treatment, whereas the 30% and 40% fractions were treated with 5% NaOH for 2 h. The fibres were arranged unidirectionally, polyester resin was mixed with MEKP catalyst at a 100:2 ratio, and curing was conducted at room temperature for 48 h. Tensile testing followed ASTM D638, while impact testing was performed using the Izod method according to ASTM D256, with three specimens tested for each variation. The highest average tensile strength was obtained for the 30% fibre fraction with 5% NaOH treatment, reaching 23.51 MPa, whereas the highest impact strength was obtained for the 40% fibre fraction with 5% NaOH treatment, reaching 19.3 kJ/m² or 0.0193 J/mm². Because the alkali-treatment conditions differed among the fibre-volume variations, the individual effects of fibre volume fraction and NaOH treatment cannot be fully separated. Compared with the helmet material reference values used in this study, the highest impact strength exceeded 0.00972 J/mm², while the highest tensile strength remained below 33.93 MPa. These results indicate that corn husk fibre-reinforced polyester composites have potential for further development as an alternative helmet material, particularly in terms of impact-energy absorption; however, further optimization and testing are required before their suitability for helmet applications can be established.

Keywords: alkali treatment; composite; corn fibre; impact test; tensile test

ABSTRAK

Pengembangan komposit berbasis serat alam merupakan salah satu pendekatan untuk memanfaatkan limbah pertanian sekaligus menghasilkan material yang ringan dan lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi sifat mekanik komposit polyester berpenguat serat kulit jagung pada variasi fraksi volume dan kondisi perlakuan alkali serta menilai potensinya sebagai material alternatif helm. Komposit dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dengan tiga variasi fraksi volume serat, yaitu 20%, 30%, dan 40%. Variasi 20% digunakan tanpa perlakuan alkali, sedangkan variasi 30% dan 40% diberi perlakuan NaOH 5% selama 2 jam. Serat disusun searah, resin polyester dicampur dengan katalis MEKP pada rasio 100:2, dan proses *curing* dilakukan pada suhu ruang selama 48 jam. Pengujian tarik mengacu pada ASTM D638, sedangkan pengujian impak menggunakan metode Izod berdasarkan ASTM D256, dengan tiga spesimen untuk setiap variasi. Kekuatan tarik rata-rata tertinggi diperoleh pada variasi fraksi volume 30% dengan perlakuan NaOH 5%, yaitu sebesar 23,51 MPa, sedangkan kekuatan impak tertinggi diperoleh pada variasi fraksi volume 40% dengan perlakuan NaOH 5%, yaitu sebesar 19,3 kJ/m² atau 0,0193 J/mm². Karena kondisi perlakuan alkali berbeda antarvariasi fraksi volume, kontribusi fraksi volume serat dan perlakuan NaOH terhadap perubahan sifat mekanik tidak dapat dipisahkan sepenuhnya. Dibandingkan dengan nilai acuan material helm yang digunakan dalam penelitian, kekuatan impak tertinggi telah melampaui nilai acuan 0,00972 J/mm², sedangkan kekuatan tarik tertinggi masih berada di bawah nilai acuan 33,93 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposit polyester berpenguat serat kulit jagung berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material alternatif helm, terutama dari sisi penyerapan energi benturan; namun, optimasi dan pengujian lebih lanjut masih diperlukan sebelum kesesuaiannya untuk aplikasi helm dapat ditetapkan.

Kata kunci: fraksi volume; helm; komposit; NaOH; serat jagung

Commented [zl1]: We thank the reviewer for the valuable suggestion. The Abstract has been revised to avoid attributing the observed mechanical-property differences solely to fibre volume fraction, since the alkali-treatment conditions differed among the investigated variations. We now explicitly state that the effects of fibre volume fraction and NaOH treatment cannot be fully separated. In addition, the statement regarding helmet application has been revised to indicate only the **potential for further development as an alternative helmet material**, rather than implying that the composite already satisfies all requirements for helmet applications.

Commented [zl2]: We thank the reviewer for the valuable suggestion. The Abstract has been revised to avoid attributing the observed mechanical-property differences solely to fibre volume fraction, since the alkali-treatment conditions differed among the investigated variations. We now explicitly state that the effects of fibre volume fraction and NaOH treatment cannot be fully separated. In addition, the statement regarding helmet application has been revised to indicate only the **potential for further development as an alternative helmet material**, rather than implying that the composite already satisfies all requirements for helmet applications.

PENDAHULUAN

Pengembangan material yang lebih ringan dan memanfaatkan sumber daya terbarukan menjadi salah satu arah penelitian komposit polimer. Komposit serat alam menawarkan kombinasi bobot rendah, ketersediaan bahan, serta potensi biodegradabilitas, sehingga menarik untuk aplikasi teknik yang sebelumnya banyak menggunakan serat sintetis [1], [4]. Di Indonesia, limbah kulit jagung tersedia dalam jumlah besar seiring produksi jagung nasional. Data yang digunakan dalam penelitian menunjukkan produksi jagung pipilan kering tahun 2024 sebesar 15,14 juta ton [2]. Kondisi tersebut membuka peluang pemanfaatan kulit jagung sebagai bahan penguat komposit.

Helm merupakan perlengkapan keselamatan yang berfungsi melindungi kepala dari risiko benturan. Material helm umumnya memerlukan kombinasi kekuatan mekanik dan kemampuan menyerap energi. Material polimer dan komposit sintetis memiliki performa yang baik, tetapi pengembangan material alternatif berbasis serat alam tetap relevan untuk mengurangi ketergantungan terhadap material sintetis dan meningkatkan pemanfaatan limbah pertanian [3], [4].

Sifat mekanik komposit serat alam dipengaruhi oleh fraksi volume, orientasi serat, kualitas serat, distribusi matriks, dan kualitas ikatan antarmuka. Peningkatan fraksi serat dapat meningkatkan kemampuan membawa

beban sampai komposisi optimum, tetapi penambahan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan distribusi serat dan pembasahan matriks menjadi kurang baik [5], [6]. Kulit jagung juga mengandung komponen lignoselulosa yang dapat menghambat interaksi serat dengan matriks. Oleh karena itu, perlakuan alkali NaOH digunakan untuk memperbaiki kondisi permukaan serat [7], [8].

ISSN 2775-5630

Penelitian terdahulu pada komposit serat kulit jagung dan polyester telah menunjukkan bahwa fraksi volume dapat memengaruhi sifat mekanik. Penelitian lain menggunakan serat gambas sebagai material alternatif helm dan menunjukkan adanya pengaruh fraksi volume serta NaOH terhadap kekuatan impak [9]. Namun, penelitian ini secara khusus membandingkan fraksi volume 20%, 30%, dan 40% serat kulit jagung dengan perlakuan NaOH 5% pada fraksi 30% dan 40%, serta mengevaluasi kekuatan tarik dan impak secara bersamaan. Tujuan penelitian adalah menentukan variasi yang menghasilkan kekuatan tarik dan impak tertinggi serta membandingkannya dengan nilai acuan material helm yang digunakan dalam penelitian.

TINJAUAN PUSTAKA

Komposit dan Serat Alam

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih bahan berbeda yang menghasilkan kombinasi sifat yang lebih sesuai untuk kebutuhan tertentu. Pada komposit serat alam, serat berfungsi sebagai penguat sedangkan polimer berfungsi sebagai matriks yang mengikat dan meneruskan beban. Serat alam dapat menjadi alternatif penguat karena memiliki bobot relatif rendah dan berasal dari sumber terbarukan [1], [4].

Fraksi Volume Serat

Fraksi volume serat merupakan salah satu parameter penting karena menentukan proporsi penguat terhadap matriks. Penambahan serat sampai komposisi tertentu dapat meningkatkan kemampuan komposit dalam menerima beban, tetapi fraksi yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas pembasahan dan distribusi matriks. Kondisi tersebut dapat menghasilkan rongga atau daerah yang kurang terikat sehingga kekuatan mekanik tidak selalu meningkat secara linier [5], [6].

Perlakuan Alkali

Perlakuan alkali menggunakan NaOH pada serat lignoselulosa digunakan untuk memodifikasi permukaan serat. Perlakuan tersebut berkaitan dengan pengurangan komponen non-selulosa pada permukaan serat dan dapat membantu meningkatkan interaksi serat dengan matriks polimer [7], [8]. Efektivitas perlakuan alkali tetap bergantung pada konsentrasi, waktu perlakuan, kondisi serat, dan proses fabrikasi.

Parameter Mekanik Material Helm

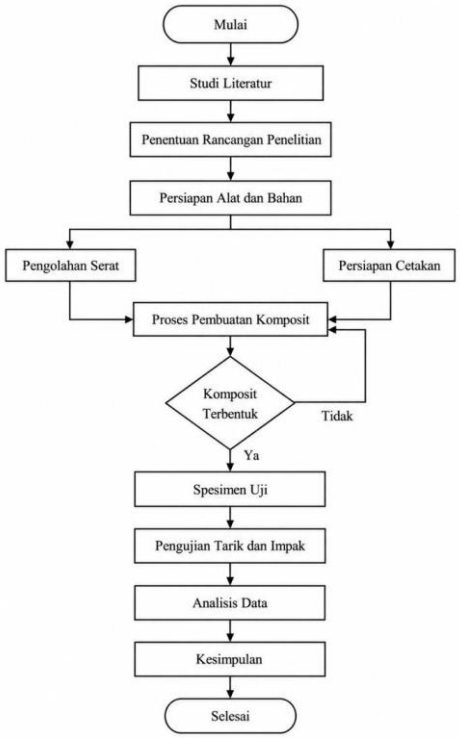
Pada aplikasi helm, material tidak hanya dituntut mempunyai kekuatan tarik, tetapi juga kemampuan menyerap energi akibat benturan. Oleh sebab itu, pengujian tarik dan impak digunakan secara bersamaan untuk memberikan gambaran mengenai respons mekanik komposit. Penelitian ini menggunakan nilai acuan material helm sebesar 33,93 MPa untuk kekuatan tarik [10], dan 0,00972 J/mm² untuk kekuatan impak [11] sebagai pembanding hasil penelitian.

METODE

Penelitian menggunakan pendekatan eksperimental. Serat yang digunakan berasal dari kulit jagung, sedangkan matriks menggunakan resin polyester BQTN 157 dengan katalis MEKP. Komposit dibuat menggunakan metode hand lay-up. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimental. Serat yang digunakan berasal dari kulit jagung, sedangkan matriks menggunakan resin polyester BQTN 157 dengan katalis MEKP. Komposit dibuat menggunakan metode hand lay-up dengan tiga variasi, yaitu fraksi volume serat 20% tanpa perlakuan alkali, serta fraksi volume 30% dan 40% dengan perlakuan NaOH 5%. Parameter yang dievaluasi meliputi kekuatan tarik, regangan, modulus elastisitas, kekuatan impak, dan energi serap impak. Karena kondisi perlakuan alkali berbeda antarvariasi fraksi volume, kontribusi fraksi volume serat dan perlakuan NaOH terhadap perubahan sifat mekanik tidak dapat dipisahkan sepenuhnya dalam rancangan penelitian ini. Sebanyak 18 spesimen dibuat, terdiri atas tiga spesimen tarik dan tiga spesimen impak untuk setiap variasi. Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada diagram alir penelitian.. Sebanyak 18 spesimen dibuat, terdiri atas tiga spesimen tarik dan tiga spesimen impak untuk setiap variasi. Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada diagram alir penelitian.

Commented [zl3]: We thank the reviewer for the valuable suggestion. The Method section has been revised to clarify that the investigated variations consisted of 20% fibre volume without alkali treatment and 30% and 40% fibre volume with 5% NaOH treatment. The manuscript now explicitly states that, due to these different treatment conditions, the effects of fibre volume fraction and alkali treatment cannot be fully separated in the present experimental design.

ISSN 2775-5630



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Variasi penelitian

Kode	Fraksi volume serat (%)	Perlakuan alkali	Jenis pengujian
A	20	Tanpa perlakuan	Tarik dan impak
B	30	NaOH 5%	Tarik dan impak
C	40	NaOH 5%	Tarik dan impak

Kulit jagung diproses melalui pembersihan dan pengolahan serat, kemudian serat pada variasi 30% dan 40% direndam dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam. Setelah perlakuan, serat dikeringkan pada suhu ruang selama 48 jam. Serat disusun searah di dalam cetakan. Resin polyester ditimbang sesuai kebutuhan fraksi volume, kemudian ditambahkan katalis MEKP sebanyak 2% dari massa resin. Campuran dituangkan ke dalam cetakan dan ditekan secara perlahan untuk mengurangi pembentukan rongga. Komposit kemudian dicuring pada suhu ruang selama 48 jam.

Pengujian tarik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine dengan acuan ASTM D638. Parameter yang diperoleh meliputi kekuatan tarik, regangan putus, dan modulus elastisitas. Pengujian impak menggunakan metode Izod berdasarkan ASTM D256. Nilai kekuatan impak dihitung dari energi yang diserap dibagi luas penampang spesimen di bawah takikan. Data dari tiga spesimen pada setiap variasi dirata-ratakan dan disertai standar deviasi. Hasil kemudian dibandingkan dengan nilai acuan material helm yang digunakan pada penelitian, yaitu 33,93 MPa untuk kekuatan tarik dan 0,00972 J/mm² untuk kekuatan impak.

ISSN 2775-5630

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesimen komposit yang telah dibuat untuk pengujian tarik dan impak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen uji tarik dan uji impak

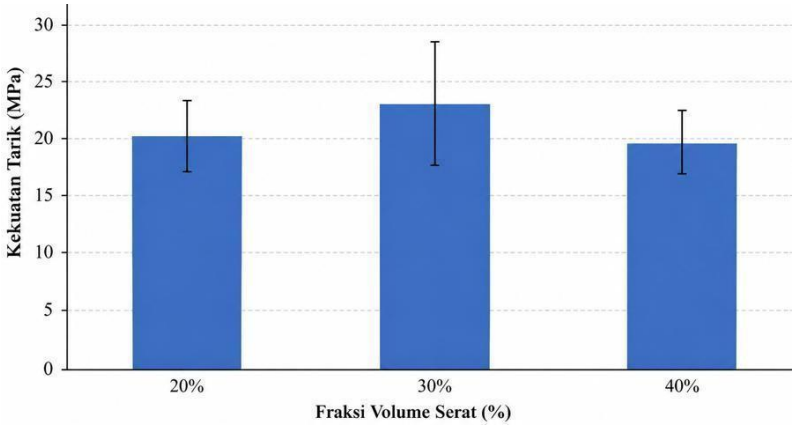
Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik menunjukkan adanya perbedaan respons mekanik di antara tiga variasi komposit yang diuji. Fraksi volume 20% tanpa perlakuan menghasilkan kekuatan tarik rata-rata 20,32 ± 3,24 MPa. Pada fraksi 30% dengan NaOH 5%, kekuatan tarik meningkat menjadi 23,51 ± 4,74 MPa. Ketika fraksi dinaikkan menjadi 40% dengan perlakuan NaOH 5%, kekuatan tarik turun menjadi 19,93 ± 2,61 MPa. Data lengkap juga menunjukkan bahwa fraksi 30% mempunyai regangan rata-rata 2,069% dan modulus elastisitas 2,254 GPa, masing-masing merupakan nilai tertinggi di antara variasi yang diuji.

Commented [zl4]: We revise this sentence

Tabel 2. Rata-rata hasil pengujian tarik

Fraksi	Perlakuan	Kekuatan tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus (GPa)
20%	Tanpa NaOH	20,32 ± 3,24	1,114 ± 0,16	2,140 ± 0,20
30%	NaOH 5%	23,51 ± 4,74	2,069 ± 1,34	2,254 ± 0,28
40%	NaOH 5%	19,93 ± 2,61	1,439 ± 0,39	1,880 ± 0,24



Gambar 3. Kekuatan tarik komposit serat jagung

Kekuatan tarik rata-rata meningkat dari variasi 20% tanpa NaOH menjadi variasi 30% dengan NaOH 5%. Peningkatan tersebut kemungkinan berkaitan dengan kombinasi fraksi serat, kondisi antarmuka serat–matriks, dan perlakuan alkali. Karena kedua variasi memiliki kondisi perlakuan yang berbeda, peningkatan kekuatan tarik

ISSN 2775-5630

tidak dapat dikaitkan secara eksklusif dengan perubahan fraksi volume. Perlakuan NaOH juga secara teoritis membantu memperbaiki kondisi permukaan serat sehingga kontak antara serat dan polyester menjadi lebih baik. Namun, kenaikan fraksi menjadi 40% tidak menghasilkan kekuatan tarik lebih tinggi. Pada variasi yang diuji, fraksi volume 30% dengan perlakuan NaOH 5% menghasilkan kekuatan tarik rata-rata tertinggi. Fraksi serat yang lebih tinggi diduga dapat mengurangi jumlah matriks yang tersedia untuk membasahi dan mengikat serat secara efektif. Dalam penelitian ini, pembentukan rongga dan ketidakseragaman distribusi serat selama hand lay-up juga menjadi faktor yang diduga berkontribusi terhadap penurunan performa pada 40%.

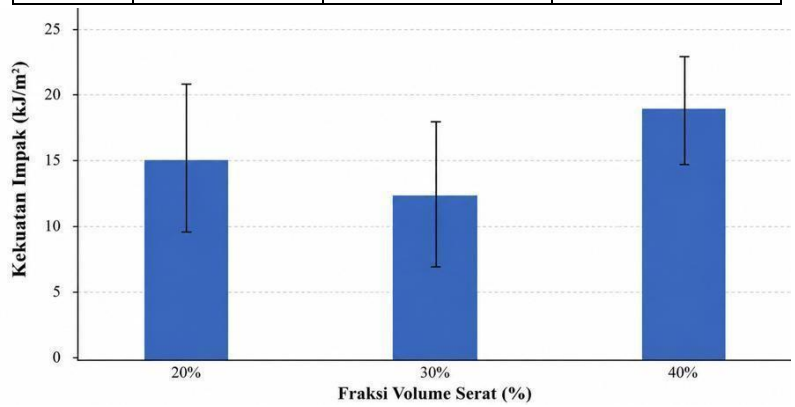
Hasil tersebut sejalan dengan kecenderungan penelitian komposit serat alam yang menunjukkan adanya fraksi optimum ketika keseimbangan antara jumlah penguat dan matriks tercapai [5], [6]. Dengan demikian, perbedaan kekuatan tarik antarvariasi tidak hanya berkaitan dengan fraksi volume, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh kondisi antarmuka dan proses fabrikasi. Kualitas antarmuka dan proses fabrikasi tetap menjadi faktor penting dalam menentukan efektivitas penguatan.

Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak menghasilkan kecenderungan yang berbeda dibandingkan pengujian tarik. Fraksi 20% tanpa perlakuan menghasilkan kekuatan impak rata-rata 15,0 ± 5,8 kJ/m², sedangkan fraksi 30% dengan NaOH 5% menghasilkan 12,7 ± 5,6 kJ/m². Nilai tertinggi diperoleh pada fraksi 40% dengan NaOH 5%, yaitu 19,3 ± 3,7 kJ/m² atau setara dengan 0,0193 ± 0,0037 J/mm². Energi serap rata-rata masing-masing variasi adalah 166,8 ± 60,0 J, 138,9 ± 61,4 J, dan 210,9 ± 41,3 J.

Tabel 3. Rata-rata hasil pengujian impak

Fraksi	Perlakuan	Kekuatan impak (kJ/m²)	Energi serap (J)
20%	Tanpa NaOH	15,0 ± 5,8	166,8 ± 60,0
30%	NaOH 5%	12,7 ± 5,6	138,9 ± 61,4
40%	NaOH 5%	19,3 ± 3,7	210,9 ± 41,3



Gambar 4. Kekuatan impak komposit serat jagung

Variasi fraksi volume 40% dengan perlakuan NaOH 5% menghasilkan kekuatan impak dan energi serap rata-rata tertinggi di antara variasi yang diuji. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi fraksi serat, kondisi antarmuka, dan karakteristik fabrikasi pada variasi tersebut berkaitan dengan kemampuan penyerapan energi benturan yang lebih tinggi. Namun, kontribusi fraksi volume tidak dapat dipisahkan sepenuhnya dari pengaruh perlakuan alkali dalam rancangan penelitian ini. Peningkatan kekuatan impak pada fraksi 40% menunjukkan bahwa jumlah serat yang lebih tinggi dapat meningkatkan kemampuan komposit menyerap energi benturan. Pada pembebanan kejut, energi tidak hanya digunakan untuk mematahkan serat, tetapi juga diserap melalui deformasi matriks dan interaksi pada antarmuka. Fraksi 40% menghasilkan energi serap tertinggi sekaligus standar deviasi yang lebih rendah dibandingkan variasi 20% dan 30%, sehingga hasilnya relatif lebih konsisten.

Perlakuan NaOH tidak menghasilkan peningkatan kekuatan impak pada seluruh variasi. Fraksi 30% dengan NaOH 5% justru lebih rendah daripada fraksi 20% tanpa perlakuan. Berdasarkan pembahasan dalam tugas akhir, kondisi tersebut diduga berkaitan dengan distribusi serat, rongga, dan proses pembasahan resin yang belum

Commented [zl5]: We revise this sentence

Commented [zl6]: We revise the sentence

Commented [zl7]: We revised the sentence

Commented [zl8]: We revised this sentence

ISSN 2775-5630

optimal. Sebaliknya, pada fraksi 40%, kombinasi jumlah serat dan perlakuan NaOH menghasilkan nilai impak tertinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan alkali perlu dipahami bersama-sama dengan fraksi volume dan kualitas fabrikasi, bukan sebagai faktor tunggal.

ISSN 2775-5630

Perbandingan dengan Acuan Material Helm

Nilai terbaik dari penelitian dibandingkan dengan acuan material helm yang digunakan pada tugas akhir. Kekuatan tarik tertinggi 23,51 MPa pada fraksi 30% masih lebih rendah daripada nilai acuan 33,93 MPa. Sebaliknya, kekuatan impak tertinggi 0,0193 J/mm² pada fraksi 40% lebih tinggi daripada nilai acuan 0,00972 J/mm². Dengan demikian, komposit serat jagung yang dibuat pada penelitian ini belum dapat dinyatakan memenuhi seluruh parameter mekanik yang diperlukan untuk material helm, tetapi menunjukkan potensi yang baik dari sisi penyerapan energi impak.

Tabel 4. Perbandingan hasil terbaik dengan nilai acuan material helm

Parameter	Hasil terbaik	Nilai acuan	Keterangan
Kekuatan tarik	23,51 MPa (30%)	33,93 MPa	Belum mencapai acuan
Kekuatan impak	0,0193 J/mm² (40%)	0,00972 J/mm²	Melebihi acuan

Perbedaan antara hasil tarik dan impak menunjukkan bahwa komposisi optimum bergantung pada jenis pembebanan. Fraksi 30% memberikan performa terbaik pada pembebanan tarik, sedangkan fraksi 40% memberikan kemampuan penyerapan energi impak tertinggi. Karena aplikasi helm menerima beban benturan, hasil impak menjadi indikator penting, tetapi kekuatan tarik yang belum mencapai nilai acuan menunjukkan perlunya optimasi lanjutan. Perbaikan proses hand lay-up, pengendalian distribusi serat dan resin, pengurangan rongga, serta eksplorasi variasi fraksi volume dan konsentrasi NaOH merupakan arah pengembangan yang relevan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, tiga variasi komposit polyester berpenguat serat jagung menunjukkan respons mekanik yang berbeda. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada fraksi volume 30% dengan perlakuan NaOH 5%, yaitu 23,51 ± 4,74 MPa. Sementara itu, kekuatan impak tertinggi diperoleh pada fraksi volume 40% dengan perlakuan NaOH 5%, yaitu 19,3 ± 3,7 kJ/m² atau 0,0193 ± 0,0037 J/mm². Pada variasi yang diuji, komposit dengan fraksi volume 30% dan perlakuan NaOH 5% menghasilkan kekuatan tarik rata-rata tertinggi, sedangkan fraksi volume 40% dengan perlakuan NaOH 5% menghasilkan kekuatan impak rata-rata tertinggi. Karena variasi 20% tidak diberi perlakuan alkali, sedangkan variasi 30% dan 40% diberi perlakuan NaOH 5%, kontribusi fraksi volume dan perlakuan alkali terhadap perubahan sifat mekanik tidak dapat dipisahkan sepenuhnya.

Dibandingkan dengan nilai acuan material helm yang digunakan dalam penelitian, kekuatan impak tertinggi telah melampaui acuan 0,00972 J/mm², sedangkan kekuatan tarik tertinggi masih berada di bawah acuan 33,93 MPa. Oleh karena itu, komposit polyester berpenguat serat jagung menunjukkan potensi sebagai material alternatif terutama dari sisi penyerapan energi benturan, tetapi belum dapat dinyatakan memenuhi seluruh persyaratan mekanik material helm berdasarkan parameter yang dievaluasi. Oleh karena itu, komposit polyester berpenguat serat jagung berpotensi untuk dikembangkan sebagai material alternatif helm, terutama dari sisi penyerapan energi benturan. Namun, penelitian ini belum memverifikasi seluruh persyaratan material helm sehingga optimasi dan pengujian lebih lanjut masih diperlukan.

Commented [zl9]: We revised the conclusion

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Ir. H. Suheni. M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. A. Muflikhun and M. I. Nuryanta, Komposit Serat Alam: Pengenalan, Sifat Mekanis, Proses Manufaktur dan Perkembangannya. Yogyakarta: UGM Press, 2024.

[2] Badan Pusat Statistik Indonesia, “Pada 2024, luas panen jagung pipilan mencapai 2,55 juta hektare. Produksi jagung pipilan kering dengan kadar air 14 persen pada 2024 sebanyak 15,14 juta ton,” 2025.

[3] E. H. Purwanto, “Signifikansi helm SNI sebagai alat pelindung pengendara sepeda motor dari cedera kepala,” Jurnal Standardisasi, vol. 17, no. 1, pp. 31–46, 2016.

[4] E. Widodo, Buku Ajar Mekanika Komposit dan Bio-Komposit. Umsida Press, 2022.

[5] S. Hastuti, H. S. Budiono, D. I. Ivadiyanto, and M. N. Nahar, “Peningkatan sifat mekanik komposit serat alam limbah sabut kelapa (Cocofiber) yang biodegradable,” Reka Buana, vol. 6, no. 1, pp. 30–37, 2021.

[6] F. A. Rizaldi and N. S. Drastiawati, “Analisa pengaruh perendaman NaOH dan fraksi volume dengan resin polyester terhadap kekuatan tarik dan bending pada komposit serat sabut kelapa,” Jurnal Teknik Mesin, vol. 11, no. 3, pp. 27–34, 2023.

[7] A. Ramadhani, S. H. B. Prastowo, and R. D. Handayani, “Pengaruh fraksi volume pada komposit serat kulit jagung dengan matriks polyester terhadap kekuatan tarik sebagai bahan baku industri papan,” Dinamika Teknik Mesin, vol. 12, no.

2, pp. 129–136, 2022.
[8] D. Lesmana, Y. Darni, L. Lismeri, and W. C. Marpaung, "Pengaruh fraksi massa serat dan variasi konsentrasi NaOH pada komposit serat dan resin epoxy sebagai material spakbor motor," Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri, vol. 6, no. 1, pp. 46–52, 2025.
[9] I. Rizki, "Analisis pengaruh volume serat gambas terhadap pengujian impact sebagai bahan komposit pembuat helm," Tugas Akhir, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2025.

[10] A. F. H. Mukhammad and B. Setyoko, "Studi kelayakan mekanik komposit serat rami acak-polyester sebagai bahan helm standar SNI," TRAKSI, vol. 14, no. 2, 2014.
[11] B. T. Mulyo and H. Yudiono, "Analisis kekuatan impak pada komposit serat daun nanas untuk bahan dasar pembuatan helm SNI," Jurnal Kompetensi Teknik, vol. 10, no. 2, pp. 1–8, 2018.