



Pengaruh Panjang Serat Pelepah Pisang dan Kadar Abu Sekam Padi terhadap Ketangguhan Impak Komposit Bermatriks *Polyester* Sebagai *Material Safety Helmet*

Charisma Cintani Adhi Surya^{1*}, R Hari Setyanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta, 57126, Indonesia. cintacharisma1@student.uns.ac.id; setyanto@staff.uns.ac.id

Abstract. Workplace accidents in Indonesia continue to increase significantly, with head injuries remaining one of the leading causes of fatal accidents in the construction sector. In Indonesia, safety helmet compliance is regulated by SNI ISO 3873:2012, which requires materials to withstand and absorb impact energy. Safety helmets are generally manufactured from thermoplastic polymers with limited biodegradability, encouraging the development of natural fiber-reinforced composites as a more environmentally friendly alternative. This study aimed to determine the effects of banana pseudostem fiber length (5 mm and 10 mm), rice husk ash (0% and 5%) and their interaction on the impact toughness of polyester matrix composites, while evaluating their suitability as a safety helmet material. A 2×2 factorial experiment with four replications was conducted. Specimens containing a 15% fiber volume fraction were fabricated using the hand lay-up method, and the fibers were treated with a 5% NaOH solution for 2 hours. Impact toughness was evaluated using the Charpy method according to ISO 179-1 and analyzed using two-way analysis of variance. The results showed that fiber length had a significant effect on impact toughness ($p = 0.045$), with 5 mm fibers producing a higher mean value (0.00238 J/mm^2) than 10 mm fibers (0.00208 J/mm^2). Rice husk ash ($p = 0.336$) and factor interaction ($p = 0.780$) were not significant. All specimens exhibited impact toughness values ranging from 0.00199 to 0.00243 J/mm^2 , below the minimum requirement specified in SNI ISO 3873:2012. Therefore, the composites did not meet the standard requirements for safety helmet material.

Keywords: banana pseudostem fiber; impact toughness; polyester; rice husk ash; safety helmet

Abstrak. Angka kecelakaan kerja di Indonesia terus menunjukkan peningkatan signifikan dari tahun ke tahun, dengan cedera kepala akibat tertimpa benda menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan fatal di sektor konstruksi. Di Indonesia, kelayakan *safety helmet* diatur melalui SNI ISO 3873:2012 yang mensyaratkan kemampuan material dalam menahan dan meredam energi benturan. Umumnya, *safety helmet* diproduksi dari polimer termoplastik yang memiliki keterbatasan berupa sulit terurai secara alami sehingga mendorong pengembangan material komposit berbasis serat alam sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh panjang serat pelepah pisang (5 mm dan 10 mm) dan kadar abu sekam padi (0% dan 5%) serta interaksi keduanya terhadap nilai ketangguhan impak komposit bermatriks *polyester*, sekaligus mengevaluasi kesesuaiannya sebagai material *safety helmet* berdasarkan SNI ISO 3873:2012. Penelitian menggunakan eksperimen faktorial 2×2 dengan 4 replikasi, dimana spesimen dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dengan fraksi volume serat 15% yang telah diberi perlakuan alkali NaOH 5% selama 2 jam dan ketangguhan impak diuji menggunakan metode *Charpy* berdasarkan ISO 179-1 serta dianalisis dengan analisis variansi dua arah. Hasil menunjukkan bahwa panjang serat berpengaruh signifikan terhadap ketangguhan impak ($p = 0,045$), dengan serat 5 mm menghasilkan nilai rata-rata lebih tinggi sebesar $0,00238 \text{ J/mm}^2$ dibandingkan serat 10 mm sebesar $0,00208 \text{ J/mm}^2$. Kadar abu sekam padi ($p = 0,336$) dan interaksi antar faktor ($p = 0,780$) tidak berpengaruh signifikan. Seluruh spesimen menghasilkan nilai ketangguhan impak antara 0,00199 hingga $0,00243 \text{ J/mm}^2$, di bawah nilai minimum SNI ISO 3873:2012, sehingga komposit yang dihasilkan belum memenuhi persyaratan standar sebagai material *safety helmet*

Kata kunci: abu sekam padi; ketangguhan impak; *polyester*; *safety helmet*; serat pelepah pisang

1. LATAR BELAKANG

Kecelakaan kerja masih menjadi permasalahan yang sering terjadi pada sektor konstruksi. Cedera akibat benturan maupun tertimpa benda yang jatuh dari ketinggian merupakan jenis kecelakaan yang banyak menyebabkan luka serius, terutama pada bagian kepala (ILO, 2023). Berdasarkan data BPJS Ketenagakerjaan, jumlah kecelakaan kerja di Indonesia mengalami peningkatan dari 234.370 kasus pada tahun 2021 (BPJS Ketenagakerjaan, 2024) menjadi 319.382 kasus pada tahun 2025 (Kementerian Ketenagakerjaan, 2025). Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penerapan keselamatan dan kesehatan kerja masih perlu diperhatikan. Salah satu upaya untuk mengurangi risiko cedera kepala adalah penggunaan alat pelindung diri berupa *safety helmet* (Handayani *et al.*, 2025). Selain desain helm, material penyusun juga harus mampu menahan dan menyerap energi benturan dengan baik agar dapat memberikan perlindungan yang optimal kepada pengguna (Muthukumar *et al.*, 2022). Di Indonesia, persyaratan *safety helmet* diatur dalam SNI ISO 3873:2012 yang mensyaratkan kemampuan helm dalam meredam energi benturan untuk melindungi kepala pekerja dari risiko cedera.

Saat ini, sebagian besar *safety helmet* diproduksi menggunakan material polimer termoplastik seperti ABS, HDPE, dan PC karena memiliki ketahanan impact yang baik (Dhinakaran *et al.*, 2020). Akan tetapi, material tersebut berasal dari sumber daya yang tidak terbarukan dan membutuhkan waktu yang lama untuk terdegradasi di lingkungan (Al Rashid *et al.*, 2020). Kondisi ini mendorong berbagai penelitian mengenai material alternatif yang lebih ramah lingkungan dengan tetap mempertahankan sifat mekanik yang memadai untuk digunakan sebagai material pelindung.

Salah satu alternatif yang banyak dikembangkan adalah komposit yang diperkuat dengan serat alam. Dibandingkan dengan serat sintetis, serat alam memiliki beberapa keunggulan seperti massa jenis yang rendah, ketersediaan yang melimpah, harga relatif murah, serta berasal dari sumber daya yang dapat diperbarui (Ahmad *et al.*, 2024). Salah satu serat alam yang berpotensi digunakan sebagai penguat komposit adalah serat pelepah pisang. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil pisang terbesar sehingga limbah pelepah pisang tersedia dalam jumlah yang melimpah. Namun, pemanfaatannya masih tergolong rendah dan sebagian besar hanya menjadi limbah setelah masa panen berakhir

(Pramuda & Siregar, 2024). Beberapa penelitian melaporkan bahwa serat pelepah pisang memiliki kandungan selulosa sekitar 63-85% yang berperan penting dalam meningkatkan kemampuan serat sebagai material penguat komposit (Gangil *et al.*, 2020; Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020; Srinivasan *et al.*, 2021).

Selain penggunaan serat sebagai penguat, penambahan *filler* juga dapat dilakukan untuk meningkatkan performa komposit. Salah satu limbah pertanian yang berpotensi dimanfaatkan sebagai *filler* adalah abu sekam padi. Abu sekam padi diketahui mengandung silika amorf dalam jumlah yang tinggi, yaitu sekitar 80-95% (Chandrasekhar *et al.*, 2005). Kandungan silika tersebut berpotensi mengisi rongga pada struktur komposit sehingga dapat meningkatkan kualitas ikatan antara matriks dan material penguat (Adryani, 2015). Pemanfaatan abu sekam padi sebagai *filler* juga dapat memberikan nilai tambah terhadap limbah pertanian yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal (Nugroho & Yahya, 2024).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa serat pelepah pisang berpotensi digunakan sebagai penguat komposit untuk aplikasi helm. Adewumi *et al.* (2020) melaporkan bahwa komposit *polyester* berpenguat serat pisang memiliki sifat mekanik yang cukup baik dan berpotensi digunakan pada struktur helm. Rizki (2021) menunjukkan bahwa penggunaan serat pelepah pisang dan serbuk cangkang kelapa sawit dapat meningkatkan performa komposit untuk aplikasi helm proyek. Sementara itu, Helmiansyah (2024) melaporkan bahwa variasi fraksi serat dan penambahan *filler talk* berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit serat pisang bermatriks *polyester* untuk aplikasi helm SNI. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik komposit tidak hanya dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan, tetapi juga oleh komposisi dan parameter penyusunnya.

Penelitian Maya *et al.* (2017) dan Nallaiya (2022) melaporkan bahwa panjang serat merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat mekanik komposit termasuk ketangguhan impak. Panjang serat yang tidak sesuai dapat menyebabkan transfer beban antara matriks dan serat menjadi kurang optimal. Selain itu, serat yang terlalu panjang dapat menghambat penyebaran resin dan meningkatkan kemungkinan terbentuknya *void* pada komposit (Suryanto, 2017). Disisi lain, penggunaan abu sekam padi sebagai *filler* juga diketahui dapat mempengaruhi sifat mekanik material komposit (Turmanova *et al.*,

2012). Namun, penelitian yang mengombinasikan serat pelepah pisang dan abu sekam padi pada komposit bermatriks *polyester* masih relatif terbatas. Selain itu, informasi mengenai pengaruh panjang serat pelepah pisang dan kadar abu sekam padi terhadap ketangguhan impak komposit, khususnya pengaruh interaksi antara kedua faktor tersebut masih belum banyak dilaporkan. Padahal, kemampuan material dalam menyerap energi benturan menjadi salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan material alternatif untuk *safety helmet*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh panjang serat pelepah pisang dan kadar abu sekam padi terhadap ketangguhan impak komposit bermatriks *polyester*. Variasi panjang serat yang digunakan adalah 5 mm dan 10 mm, sedangkan kadar abu sekam padi yang digunakan adalah 0% dan 5%. Analisis dilakukan menggunakan rancangan eksperimen *full factorial 2×2* untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor maupun interaksi keduanya terhadap nilai ketangguhan impak komposit. Selain itu, hasil pengujian juga dievaluasi terhadap persyaratan ketahanan impak yang relevan untuk aplikasi *safety helmet* berdasarkan SNI ISO 3873:2012. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan material komposit berbasis limbah pertanian yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai material alternatif *safety helmet*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan rancangan *full factorial 2×2* untuk menganalisis pengaruh panjang serat pelepah pisang dan kadar abu sekam padi terhadap ketangguhan impak komposit bermatriks *polyester*. Faktor pertama adalah panjang serat pelepah pisang yang terdiri atas dua level, yaitu 5 mm dan 10 mm, sedangkan faktor kedua adalah kadar abu sekam padi yang terdiri atas dua level, yaitu 0% dan 5%. Fraksi volume serat ditetapkan sebesar 15% pada seluruh spesimen. Serat pelepah pisang diberi perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 5% selama 2 jam. Setiap kombinasi perlakuan dibuat sebanyak empat spesimen sehingga total spesimen yang diuji berjumlah 16 buah. Desain eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Eksperimen

Panjang Serat Pelelah Pisang (A)	Penambahan Abu Sekam Padi (B)		Uji	Replikasi	Keputusan
	0 % (B1)	5% (B2)			
5 mm (A1)	A1B1	A1B2	Uji Impak ISO 179-1	4 kali	Nilai Impak Terbaik
10 mm (A2)	A2B1	A2B2			

2.2 Bahan dan Pembuatan Komposit

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi serat pelelah pisang, sekam padi, resin *polyester*, katalis, *mirror glass* dan NaOH. Serat pelelah pisang berfungsi sebagai material penguat, abu sekam padi sebagai *filler*, dan resin *polyester* sebagai matriks komposit. Peralatan utama yang digunakan meliputi cetakan komposit sesuai standar ISO 179-1, ayakan 200 *mesh*, neraca digital, serta mesin uji impak Charpy Zwick Roell HIT 5.5P.

Serat pelelah pisang dipotong sesuai variasi panjang yang digunakan dalam penelitian yaitu 5 mm dan 10 mm. Serat kemudian direndam dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam untuk meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks. Setelah proses perendaman selesai, serat dicuci menggunakan air mengalir hingga sisa larutan alkali hilang, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama kurang lebih satu hari,

Abu sekam padi diperoleh dari sekam padi yang telah dikeringkan terlebih dahulu. Pembakaran dilakukan menggunakan kawat loket sebagai media penyangga selama kurang lebih 8 jam hingga seluruh sekam berubah menjadi abu. Abu hasil pembakaran kemudian diayak menggunakan ayakan 200 *mesh* untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam sebelum digunakan sebagai *filler* pada pembuatan komposit.

Pembuatan komposit dilakukan menggunakan metode *hand lay-up*. Sebelum proses pencetakan dilakukan, permukaan cetakan dilapisi *mirror glass* untuk memudahkan pelepasan spesimen setelah proses *curing*. Abu sekam padi dicampurkan ke dalam resin *polyester* sesuai variasi komposisi yang telah ditentukan. Selanjutnya ditambahkan katalis sebanyak 3% dari massa resin dan diaduk hingga merata. Serat pelelah pisang yang telah dipersiapkan kemudian disusun secara acak ke dalam cetakan dengan fraksi volume serat sebesar 15%. Campuran resin dan *filler* dituangkan ke dalam cetakan hingga seluruh serat terbasahi oleh matriks. Cetakan kemudian ditutup menggunakan pelat akrilik dan diberikan beban untuk membantu meratakan permukaan spesimen serta mengurangi

kemungkinan terbentuknya *void* selama proses fabrikasi. Komposit dibiarkan mengalami proses *curing* pada suhu ruang selama kurang lebih 5 jam sebelum dilepaskan dari cetakan. Spesimen yang telah mengeras kemudian diampas untuk merapikan bagian tepi dan memastikan dimensi spesimen sesuai dengan standar pengujian.

2.3 Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan mesin uji impak Zwick Roell HIT 5.5P di Laboratorium Politeknik ATMI. Dimensi spesimen dan prosedur pengujian mengacu pada standar ISO 179-1.

Energi serap spesimen dihitung menggunakan persamaan (1).

$$E = m \cdot g \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1)$$

Dengan E adalah energi serap spesimen (J), m adalah massa pendulum (kg), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), r adalah jarak antara titik ayun pendulum dengan titik takik spesimen (m), $\cos \alpha$ adalah sudut awal pendulum sebelum menumbuk spesimen ($^\circ$), dan $\cos \beta$ adalah sudut pendulum setelah menumbuk spesimen ($^\circ$)

Nilai ketangguhan impak dihitung menggunakan persamaan (2)

$$HI = \frac{E}{A} \quad (2)$$

Dengan HI adalah kekuatan impak (J/mm^2), E adalah energi serap spesimen (J), dan A adalah luas penampang spesimen di bawah takikan (mm^2)

2.4 Analisis Data

Data hasil pengujian ketangguhan impak dianalisis menggunakan analisis varians dua arah (*Two-Way ANOVA*) untuk mengetahui pengaruh panjang serat pelelah pisang, kadar abu sekam padi, serta interaksi antara kedua faktor terhadap ketangguhan impak komposit. Sebelum dilakukan analisis varians, data terlebih dahulu diuji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk dan diuji homogenitas menggunakan uji Levene's untuk memastikan terpenuhinya asumsi ANOVA. Seluruh pengolahan data dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% dengan nilai signifikansi sebesar 5%. Selain itu, hasil pengujian ketangguhan impak dievaluasi terhadap persyaratan ketahanan impak yang digunakan pada aplikasi *safety helmet* berdasarkan SNI 3873:2012 untuk menilai potensi komposit yang dikembangkan sebagai material alternatif *safety helmet*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan terhadap 16 spesimen komposit yang terdiri atas empat kombinasi perlakuan dengan empat kali pengulangan pada setiap komposit. Penyusunan dilakukan menggunakan metode *Charpy* sesuai standar ISO 179-1 untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap energi benturan sebelum mengalami patah. Rata-rata nilai ketangguhan impak yang diperoleh dari setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-Rata Ketangguhan Impak Komposit

Panjang Serat (mm)	Kadar Abu Sekam Padi (%)	Ketangguhan Impak (J/mm ²)
5	0	0,00233
5	5	0,00243
10	0	0,00199
10	5	0,00216

Berdasarkan Tabel 2, nilai ketangguhan impak komposit berada pada rentang 0,00199 sampai 0,00243 J/mm². Nilai tertinggi diperoleh pada komposit dengan panjang serat 5 mm dan kadar abu sekam padi 5% yaitu sebesar 0,00243 J/mm². Sementara itu, nilai terendah diperoleh pada komposit dengan panjang serat 10 mm tanpa penambahan abu sekam padi yaitu sebesar 0,00199 J/mm².

Jika dibandingkan dengan resin *polyester* murni yang memiliki ketangguhan impak sebesar 0,00075 J/mm², seluruh spesimen komposit menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan serat pelepah pisang mampu meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan. Penambahan abu sekam padi juga memberikan peningkatan nilai ketangguhan impak pada kedua variasi panjang serat meskipun besar peningkatannya relatif kecil.

Sebelum dilakukan analisis varians, data terlebih dahulu diuji normalitas dan homogenitas untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi yang diperlukan, hasil pengujian menunjukkan bahwa data terdistribusi normal dan homogen sehingga dapat dilanjutkan menggunakan analisis varians dua arah (*two-way ANOVA*). Hasil analisis ANOVA disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji ANOVA Ketangguhan Impak Menggunakan SPSS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Ketangguhan Impak

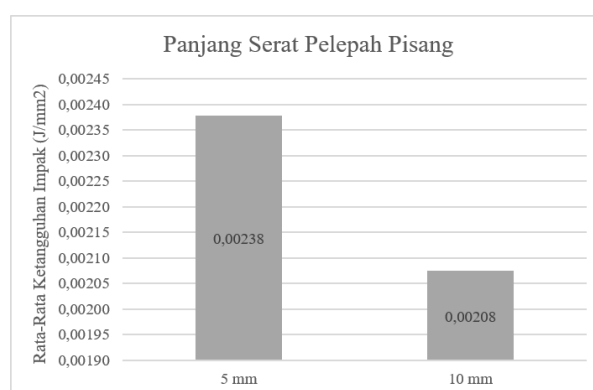
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.493E-7 ^a	3	1.498E-7	2.026	.164
Intercept	7.934E-5	1	7.934E-5	1073.147	.000
Panjang_Serat_Pelepah_Pisang	3.691E-7	1	3.691E-7	4.992	.045
Kadar_Abu_Sekam_Padi	7.426E-8	1	7.426E-8	1.004	.336
Panjang_Serat_Pelepah_Pisang * Kadar_Abu_Sekam_Padi	6.006E-9	1	6.006E-9	.081	.780
Error	8.872E-7	12	7.394E-8		
Total	8.068E-5	16			
Corrected Total	1.337E-6	15			

a. R Squared = .336 (Adjusted R Squared = .170)

Berdasarkan Tabel 3, panjang serat berpengaruh signifikan terhadap ketangguhan impak karena memiliki nilai signifikansi kurang dari 0,05. Sebaliknya, kadar abu sekam padi dan interaksi antara kedua faktor tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketangguhan impak komposit karena memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05.

3.2 Pengaruh Panjang Serat Pelepah Pisang Terhadap Ketangguhan Impak

Rata-rata ketangguhan impak pada spesimen dengan panjang serat 5 mm adalah sebesar 0,00238 J/mm², sedangkan pada spesimen dengan panjang serat 10 mm sebesar 0,00208 J/mm². Perbandingan nilai ketangguhan impak berdasarkan variasi panjang serat ditunjukkan pada Gambar. 1



Gambar 1. Grafik Pengaruh Panjang Serat Pelepah Pisang terhadap Ketangguhan Impak

Berdasarkan Gambar 1, komposit dengan panjang serat 5 mm menghasilkan ketangguhan impak yang lebih tinggi dibandingkan komposit dengan panjang 10 mm.

Hasil ini sejalan dengan uji ANOVA yang menunjukkan bahwa panjang serat merupakan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap ketangguhan impact komposit.

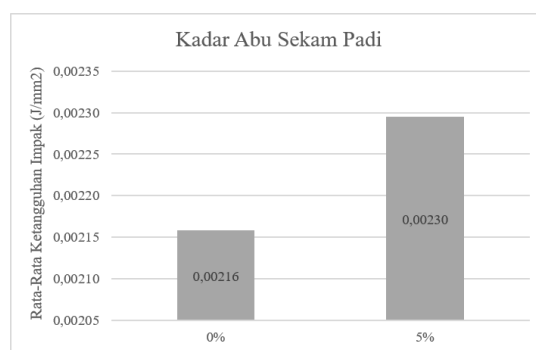
Peningkatan ketangguhan impact pada panjang serat 5 mm berkaitan dengan distribusi serat yang lebih merata di dalam matriks *polyester*. Serat yang lebih pendek cenderung lebih mudah tersebar selama proses fabrikasi sehingga resin dapat membasahi permukaan serat secara lebih optimal. Kondisi tersebut menghasilkan ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) yang lebih baik antara serat dan matriks, sehingga energi benturan dapat didistribusikan secara lebih efektif ke seluruh struktur komposit.

Pada komposit serat alam, energi benturan dapat diserap melalui beberapa mekanisme seperti *fiber pull-out*, *fiber debonding*, dan *crack deflection* (Lee *et al.*, 2021). Ketika benturan terjadi, sebagian energi digunakan untuk melepaskan serat dari matriks dan menghambat perambatan retak. Semakin banyak energi yang terserap melalui mekanisme tersebut, semakin tinggi ketangguhan impact yang dihasilkan.

Sebaliknya, penggunaan serat dengan panjang 10 mm berpotensi menyebabkan serat saling bertumpuk atau menggumpal pada beberapa bagian komposit. Kondisi ini dapat menghambat penetrasi resin ke sela-sela serat sehingga meningkatkan kemungkinan terbentuknya *void* (Maiti *et al.*, 2022). Keberadaan *void* dapat menjadi titik konsentrasi tegangan yang mempercepat terbentuknya retak saat material menerima beban impact sehingga energi yang mampu diserap material menjadi lebih rendah dan ketangguhan impact menurun.

3.3 Pengaruh Kadar Abu Sekam Padi Terhadap Ketangguhan Impact

Rata-rata ketangguhan impact pada spesimen tanpa penambahan abu sekam padi adalah sebesar 0,00216 J/mm², sedangkan pada spesimen dengan penambahan abu sekam padi 5% sebesar 0,00230 J/mm². Perbandingan nilai ketangguhan impact berdasarkan variasi kadar abu sekam padi ditunjukkan pada Gambar. 2



Gambar 2. Grafik Pengaruh Kadar Abu Sekam Padi terhadap Ketangguhan Impak

Berdasarkan Gambar 2, penambahan abu sekam padi sebesar 5% menghasilkan peningkatan nilai ketangguhan impact dibandingkan komposit tanpa abu sekam padi. Namun, hasil ANOVA menunjukkan bahwa peningkatan tersebut tidak signifikan secara statistik karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar 0,336.

Peningkatan ketangguhan impact setelah penambahan abu sekam padi menunjukkan bahwa *filler* tersebut tetap memberikan kontribusi terhadap performa komposit. Abu sekam padi mengandung silika amorf dalam jumlah tinggi yang dapat berperan sebagai pengisi (*filler*) pada matriks polyester. Kehadiran partikel silika dapat membantu menghambat perambatan retak dan memperbaiki distribusi tegangan ketika material menerima beban benturan (Bisht *et al.*, 2020).

Meskipun demikian, peningkatan yang diperoleh relatif kecil sehingga tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan secara statistik. Kondisi ini disebabkan oleh rentang variasi kadar abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian yang hanya terdiri atas dua level, yaitu 0% dan 5%. Pada rentang tersebut, kontribusi *filler* terhadap perubahan ketangguhan impact belum cukup besar untuk menghasilkan perbedaan yang nyata.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Bisht & Gope (2020), yang melaporkan bahwa penambahannya abu sekam padi dapat meningkatkan beberapa sifat mekanik komposit hingga komposisi tertentu. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dengan variasi kadar abu sekam padi yang lebih luas diperlukan untuk menentukan kadar optimum yang mampu memberikan peningkatan ketangguhan impact secara signifikan.

3.4 Pengaruh Interaksi Panjang Serat dan Kadar Abu Sekam Padi Terhadap Ketangguhan Impak

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa interaksi antara panjang serat pelepah pisang dan kadar abu sekam padi tidak berpengaruh signifikan terhadap ketangguhan impak komposit dengan nilai signifikansi sebesar 0,780. Berdasarkan data pada Tabel 2, peningkatan panjang serat dari 5 mm menjadi 10 mm menyebabkan penurunan ketangguhan impak baik pada spesimen tanpa abu sekam padi maupun pada spesimen dengan penambahan abu sekam padi 5%. Selain itu, penambahan abu sekam padi juga memberikan peningkatan ketangguhan impak pada kedua panjang serat yang digunakan. Pola perubahan yang relatif sama tersebut menunjukkan bahwa pengaruh panjang serat terhadap ketangguhan impak tidak dipengaruhi secara nyata oleh penambahan abu sekam padi pada rentang variasi yang digunakan.

Tidak signifikannya interaksi menunjukkan bahwa masing-masing faktor bekerja secara independen. Perubahan panjang serat memberikan pengaruh yang konsisten baik pada komposit tanpa *filler* maupun pada komposit yang mengandung abu sekam padi. Kondisi ini menunjukkan bahwa mekanisme penguatan yang diberikan oleh serat dan *filler* belum menghasilkan efek yang signifikan terhadap ketangguhan impak komposit.

3.5 Evaluasi Ketangguhan Impak Terhadap SNI ISO 3873:2012

Salah satu tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi potensi komposit serat pelepah pisang dan abu sekam padi sebagai material alternatif untuk aplikasi *safety helmet*. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai ketangguhan impak komposit terhadap nilai acuan sebesar 0,01333 J/mm² yang diperoleh dari hasil pengujian material *safety helmet* yang telah memenuhi persyaratan SNI ISO 3873:2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh spesimen komposit memiliki nilai ketangguhan impak yang lebih tinggi dibandingkan resin *polyester*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat pelepah pisang mampu meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi benturan. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Wahyudi (2021) yang menunjukkan bahwa penambahan serat pada matriks polimer dapat meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi impak.

Meskipun demikian, nilai ketangguhan impak yang diperoleh masih berada di bawah standar SNI ISO 3873:2012. Rendahnya nilai ketangguhan impak disebabkan oleh fraksi volume serat yang relatif rendah (15%) sehingga matriks *polyester* yang bersifat

getas masih mendominasi struktur komposit. Selain itu, metode *hand lay-up* berpotensi menghasilkan distribusi serat dan resin yang kurang merata serta membentuk *void*, yang dapat menurunkan kualitas ikatan antarmuka dan mempercepat perambatan retak saat material menerima benturan (Shams & Cakir, 2026; Suprayogi *et al.*, 2025)

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan ketangguhan impak dapat dilakukan melalui optimasi panjang serat, fraksi volume serat, dan kadar abu sekam padi, serta penggunaan metode fabrikasi yang lebih terkontrol seperti *vacuum infusion* untuk mengurangi pembentukan *void* dan meningkatkan kualitas komposit (Utomo, 2020). Dengan demikian, komposit berbasis serat pelepah pisang dan abu sekam padi masih memiliki peluang untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk aplikasi *safety helmet*.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa panjang serat pelepah pisang berpengaruh signifikan terhadap ketangguhan impak komposit bermatriks *polyester*, sedangkan kadar abu sekam padi dan interaksi kedua faktor tidak berpengaruh signifikan. Nilai ketangguhan impak komposit berada pada rentang 0,00199–0,00243 J/mm², dengan nilai tertinggi diperoleh pada komposit dengan panjang serat 5 mm dan kadar abu sekam padi 5%. Namun, seluruh variasi komposit yang diuji masih memiliki nilai ketangguhan impak di bawah persyaratan minimum SNI ISO 3873:2012. Dengan demikian, berdasarkan kondisi dan variasi yang diteliti, komposit yang dihasilkan belum memenuhi persyaratan sebagai material alternatif *safety helmet*.

DAFTAR REFERENSI

- Adewumi, E., Ogonna Mgbemena, C., Momoh-Bello Omiogbemi, I., Nosakhare Eguavoen, K., & Wadzani Dauda, D. (2020). Design and development of crash helmet from Musa-Paradisiaca's fiber as a reinforced composite. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1566–1571.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.091>
- Adryani, R. (2015). Pengaruh Ukuran Partikel dan Komposisi Abu Sekam Padi Hitam Terhadap Sifat Kekuatan Tarik Komposit Poliester Tidak Jenuh. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(4), 31–36.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v3i4.1653>
- Ahmad, N., Arif, Z., Arif Adlie, T., & Iskandar. (2024). Impact Characterization of Safety Helmets Made From Areca Fiber-Reinforced Polyester Composites. *JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan*, 11(02), 108–115.
<https://doi.org/10.55377/jurutera.v11i02.10819>

- Al Rashid, A., Khalid, M. Y., Imran, R., Ali, U., & Koc, M. (2020). Utilization of Banana Fiber-Reinforced Hybrid Composites in the Sports Industry. *Materials*, 13(14), 3167.
<https://doi.org/10.3390/ma13143167>
- Bisht, N., & Gope, P. C. (2020). Effect of rice husk (treated/untreated) and rice husk ash on fracture toughness of epoxy bio-composite. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 29(1), 177–185.
<https://doi.org/10.1515/jmbm-2020-0018>
- Bisht, N., Gope, P. C., & Rani, N. (2020). Rice husk as a fibre in composites: A review. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 29(1), 147–162.
<https://doi.org/10.1515/jmbm-2020-0015>
- BPJS Ketenagakerjaan. (2024). *Kecelakaan Kerja Makin Marak dalam Lima Tahun Terakhir*.
<https://www.bpjsketenagakerjaan.go.id/berita/28681/Kecelakaan-Kerja-makin-Marak-dalam-Lima-Tahun-Terakhir>
- Chandrasekhar, S., Pramada, P. N., & Praveen, L. (2005). Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk silica. *Journal of Materials Science*, 40(24), 6535–6544.
<https://doi.org/10.1007/s10853-005-1816-z>
- Dhinakaran, V., Gokhulabalan, B., Rahul Kumar, A., & Ravichandran, M. (2020). Advancement in materials for industrial safety helmets. *Materials Today: Proceedings*, 27, 777–782.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.197>
- Gangil, B., Ranakoti, L., Verma, S., Singh, T., & Kumar, S. (2020). Natural and Synthetic Fibers for Hybrid Composites. In A. Khan, S. M. Rangappa, M. Jawaid, S. Siengchin, & A. M. Asiri (Eds.), *Hybrid Fiber Composites* (1st ed., pp. 1–15). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9783527824571.ch1>
- Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2020). A review of natural fiber composites: Properties, modification and processing techniques, characterization, applications. *Journal of Materials Science*, 55(3), 829–892.
<https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y>
- Handayani, A. Z. P., Andriyani Andriyani, & Triana Srisantyorini. (2025). Tinjauan Literatur Tentang Pengaruh Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Terhadap Tingkat Kecelakaan Kerja. *Antigen : Jurnal Kesehatan Masyarakat dan Ilmu Gizi*, 3(2), 118–133.
<https://doi.org/10.57213/antigen.v3i2.627>
- Helmiansyah, D. (2024). Analisa Sifat Mekanis Komposit Serat Pelepah Pisang Kepok dan Talk dengan Matriks Polyester untuk Aplikasi Helm SNI. *Metalik : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22236/metalik.v3i1.15591>
- ILO, I. L. O. (2023). *A call for safer and healthier working environments*. International Labour Office.
<https://www.ilo.org/publications/call-safer-and-healthier-working-environments>
- Kementerian Ketenagakerjaan. (2025). *Satudata Kemnaker | Portal Data Ketenagakerjaan RI*.
<https://satudata.kemnaker.go.id/data/kumpulan-data/3246>

- Komal, U. K., Verma, V., Aswani, T., Verma, N., & Singh, I. (2018). Effect of chemical treatment on mechanical behavior of banana fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 16983–16989. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.04.102>
- Lee, C. H., Khalina, A., & Lee, S. H. (2021). Importance of Interfacial Adhesion Condition on Characterization of Plant-Fiber-Reinforced Polymer Composites: A Review. *Polymers*, 13(3), 438. <https://doi.org/10.3390/polym13030438>
- Maiti, S., Islam, M. R., Uddin, M. A., Afroj, S., Eichhorn, S. J., & Karim, N. (2022). Sustainable Fiber-Reinforced Composites: A Review. *Advanced Sustainable Systems*, 6(11), 2200258. <https://doi.org/10.1002/adsu.202200258>
- Maya, M. G., George, S. C., Jose, T., Sreekala, M. S., & Thomas, S. (2017). Mechanical Properties of Short Sisal Fibre Reinforced Phenol Formaldehyde Eco-Friendly Composites. *Polymers from Renewable Resources*, 8(1), 27–42. <https://doi.org/10.1177/204124791700800103>
- Muthukumar, K., Amirtham, K., Sundaramahalingam, A., & Kumar Mishra, N. (2022). Fabrication of natural fibre based industrial safety helmet. *Materials Today: Proceedings*, 64, 720–724. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.195>
- Nallaiya. (2022). The Effect of Fiber Length on Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Composites Reinforced by the Fibers of Sisal. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 14–20. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET229272>
- Nugroho, A., & Yahya, M. (2024). Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Filler Dalam Kompositi Polimer: Studi Karakteristik Mekanik dan Termal. *Tatal*. <https://e-jurnal.unisfat.ac.id/index.php/tatal/article/view/72/47>
- Pramuda, M. C. K., & Siregar, I. H. (2024). Uji Karakteristik Briket Dengan Campuran Serbuk Arang Kelapa Dan Pelelah Pisang Menggunakan Perekat Molases. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 12. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/58809>
- Rizki, M. S. (2021). Pemanfaatan Serat Pelelah Pisang Dan Serbuk Arang Cangkang Kelapa Sawit Untuk Pembuatan Helm Proyek. *UMSU Library*. <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/16287>
- Shams, M., & Cakir, F. (2026). Determination of Mechanical Properties of Single and Double-Layer Intraply Hybrid Composites Manufactured by Hand Lay-Up Method. *Polymers*, 18(2), 188. <https://doi.org/10.3390/polym18020188>
- Srinivasan, T., Suresh, G., Ramu, P., Gokul Ram, V., Gires, M., & Arjun, K. (2021). Effect of water absorption on the mechanical behavior of banana fiber reinforced IPN natural composites. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1334–1337. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.024>
- Suprayogi, A., Permana, I., & Setiajit, S. B. (2025). Gaya Tarik Maksimal Komposit GRFP dengan Metode Hand Lay-Up Pada Variasi Ketebalan. *urnal Teknologi Rekayasa Elektro, Material dan Manufaktur*, 1(1). <https://ejournal.utp.ac.id/index.php/JTREM/article/view/4333>
- Suryanto, H. (2017). Critical Fiber Length of Mendong Fiber in Epoxy Matrix Composite. *Proceedings of the 1st International Conference on Vocational Education And*

- Training (ICOVET 2017)*. 1st International Conference on Vocational Education And Training (ICOVET 2017).
<https://doi.org/10.2991/icovet-17.2017.30>
- Turmanova, S., Genieva, S., & Vlaev, L. (2012). Obtaining Some Polymer Composites Filled with Rice Husks Ash-A Review. *International Journal of Chemistry*, 4(4), p62.
<https://doi.org/10.5539/ijc.v4n4p62>
- Utomo, S. W. E. (2020). Analisis Pengaruh Tekanan Vacuum Pada Proses Pembuatan Komposit Carbon Fiber Menggunakan Metode Vacuum Infusion. *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 6–11.
<https://doi.org/10.33019/jm.v6i2.1438>
- Wahyudi. (2021). Analisa Kekuatan Material Komposit Berpenguat Serat Kulit Tebu dengan Matriks Resin Polyester Di Tinjau dari Kekuatan Bending dan Impek. *Perpustakaan Universitas Islam Riau*.
<https://repository.uir.ac.id/8975/1/153310072.pdf>