

PENGARUH FRAKSI MASSA SABUT KELAPA TERHADAP KEKUATAN MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI *FILLER HELM SAFETY*

Muhammad Yazid Arrosyid

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhammadyazid.22099@mhs.unesa.ac.id

Hanna Zakiyya

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: hannazakiyya@unesa.ac.id

Abstrak

Tingginya angka kecelakaan kerja di Indonesia menunjukkan pentingnya penggunaan alat pelindung diri, khususnya helm safety, untuk melindungi kepala dari risiko benturan. Pemanfaatan serat alam sebagai penguat komposit dapat menjadi alternatif material yang ekonomis dan ramah lingkungan, salah satunya serat sabut kelapa yang tersedia melimpah di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi fraksi massa serat sabut kelapa terhadap kekuatan impact dan kekuatan bending komposit serta kemampuan prototipe helm safety dengan komposisi terbaik dalam menerima benturan berdasarkan SNI ISO 3873:2012. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan serat sabut kelapa sebagai penguat dan resin poliester sebagai matriks yang difabrikasi menggunakan metode hand lay up dengan variasi fraksi massa 30%, 40%, 50%, dan 60%. Pengujian impact mengacu pada ASTM D5942 dan pengujian bending ASTM D790. Komposisi dengan sifat mekanik terbaik digunakan untuk membuat prototipe helm safety yang diuji redam kejut dengan energi benturan 50 J. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraksi massa 40% menghasilkan sifat mekanik terbaik dengan energi serap 11,428 J, kekuatan impact 0,115 J/mm², beban maksimum bending 354,93 N, dan kekuatan bending 134,14 MPa. Prototipe helm safety dengan fraksi massa 40% tidak mengalami kegagalan struktur setelah menerima benturan 50 J dan hanya mengalami matrix cracking. Dengan demikian, fraksi massa 40% merupakan komposisi optimum dan berpotensi dikembangkan sebagai material alternatif cangkang helm safety berbasis serat alam.

Kata Kunci: komposit serat sabut kelapa, fraksi massa serat, helm safety, kekuatan impact, kekuatan bending

Abstract

The high number of occupational accidents in Indonesia highlights the importance of using personal protective equipment, particularly safety helmets, to protect the head from impact risks. The use of natural fibers as composite reinforcement offers an economical and environmentally friendly material alternative, including coconut coir fiber, which is abundantly available in Indonesia. This study aims to investigate the effect of coconut coir fiber mass fraction variations on the impact strength and bending strength of composite materials and to evaluate the ability of a safety helmet prototype with the best composition to withstand impact in accordance with SNI ISO 3873:2012. An experimental method was employed using coconut coir fiber as reinforcement and polyester resin as the matrix, fabricated by the hand lay-up method with fiber mass fractions of 30%, 40%, 50%, and 60%. Impact testing was conducted according to ASTM D5942, while bending testing followed ASTM D790. The composition with the best mechanical properties was used to fabricate a safety helmet prototype, which was subjected to an impact energy of 50 J. The results showed that the 40% fiber mass fraction exhibited the best mechanical properties, with an absorbed energy of 11.428 J, impact strength of 0.115 J/mm², maximum bending load of 354.93 N, and bending strength of 134.14 MPa. The safety helmet prototype with a 40% fiber mass fraction showed no structural failure after receiving a 50 J impact and exhibited only matrix cracking. Therefore, the 40% fiber mass fraction was identified as the optimum composition and demonstrates potential as an alternative natural fiber-based material for safety helmet shells.

Keywords: coconut coir fiber composite, fiber mass fraction, safety helmet, impact strength, bending strength

PENDAHULUAN

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan aspek penting dalam aktivitas industri, terutama karena angka kecelakaan kerja di Indonesia masih tergolong tinggi. Berdasarkan data BPJS Ketenagakerjaan, jumlah kecelakaan kerja tercatat sebanyak 298.137 kasus pada 2022 dan meningkat menjadi 370.747 kasus pada 2023, sedangkan hingga Oktober 2024 telah mencapai 356.383 kasus (Biro Humas Kemnaker, 2025). Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya peningkatan penerapan K3, salah satunya melalui penggunaan alat pelindung diri (APD), khususnya helm safety untuk melindungi kepala dari risiko

benturan yang dapat menyebabkan cedera berat hingga kematian (Febriandhani dkk., 2024).

Persyaratan mutu helm safety di Indonesia salah satunya diatur dalam SNI ISO 3873:2012 yang mengadopsi ISO 3873:1977 *Industrial Safety Helmets*. Standar tersebut menetapkan tiga pengujian wajib, yaitu redam kejut, ketahanan terhadap penetrasi, dan ketahanan terhadap nyala api. Pada pengujian redam kejut, helm diuji menggunakan energi impact sebesar 50 J yang dihasilkan dari pemukul bermassa 5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 1.000 mm dengan permukaan berbentuk setengah bola berjari-jari 48 mm. Penerapan standar

tersebut bertujuan memastikan helm safety mampu memberikan perlindungan yang memadai bagi penggunaanya (Febriandhani dkk., 2024).

Material helm safety umumnya menggunakan polimer sintesis seperti ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), HDPE (*High Density Polyethylene*), *polypropylene copolymer*, serta material komposit berbasis polimer (Wiguna dkk., 2024). Sebagai alternatif, serat alam seperti sabut kelapa berpotensi dikembangkan sebagai penguat material komposit karena ketersediaannya yang melimpah, biaya relatif rendah, serta dapat meningkatkan pemanfaatan limbah pertanian. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa terbesar dengan produksi sekitar 2,82 juta ton pada 2024 (Badan Pusat Statistik, 2024). Sabut kelapa sendiri dapat mencapai sekitar 35% dari berat total buah kelapa tua sehingga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai material penguat komposit (Oroh dkk., 2013).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa serat sabut kelapa memiliki potensi dalam meningkatkan sifat mekanik material komposit. Penelitian (Hastuti dkk., 2021) menggunakan serat sabut kelapa dengan resin poliester BQTN 157 pada variasi fraksi volume 10%, 15%, dan 20% serta melakukan pengujian dampak dan bending. Rahmadhany (2025) menggunakan variasi fraksi volume serat 30%, 40%, dan 50% dengan metode *hand lay-up* dan menunjukkan bahwa perubahan fraksi serat memengaruhi kekuatan dampak dan bending komposit. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh (Judilla & Burmawi., 2021) mengembangkan komposit serat sabut kelapa dengan resin poliester untuk aplikasi bahan konstruksi helm dan memperoleh sifat mekanik terbaik pada komposisi 40% serat dan 60% resin. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi jumlah serat sabut kelapa berpengaruh terhadap sifat mekanik komposit dan memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai material alternatif helm.

Namun, penelitian terdahulu umumnya berfokus pada karakteristik mekanik komposit serat sabut kelapa melalui pengujian dampak, bending, maupun tarik, sedangkan penelitian yang mengaitkan karakteristik mekanik tersebut dengan penerapan material pada helm safety berdasarkan SNI ISO 3873:2012 masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis pengaruh variasi fraksi massa serat sabut kelapa terhadap sifat mekanik komposit bermatriks resin poliester yang dibuat menggunakan metode *hand lay-up* melalui pengujian dampak dan bending. Hasil pengujian selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan fraksi massa optimum untuk diaplikasikan pada tempurung helm safety dan mengevaluasi potensinya berdasarkan pengujian helm mengacu pada SNI ISO 3873:2012. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan material alternatif helm safety yang kuat,

ekonomis, dan memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia secara melimpah.

METODE

Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental (eksperimen). Penelitian ini akan melibatkan serangkaian percobaan di laboratorium untuk membuat, memproses, dan menguji sifat mekanik yaitu uji dampak dan uji *bending* dari material komposit yang dihasilkan. Hasil dari material komposit serat sabut kelapa akan dibandingkan dengan standar atau material helm konvensional.

Tempat dan Waktu Penelitian

A. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Universitas Negeri Surabaya (untuk persiapan serat, pencampuran matriks, dan proses fabrikasi) dan Laboratorium Uji Material Politeknik Negeri Malang (untuk pengujian sifat mekanik yaitu uji dampak dan uji *bending*).

B. Waktu Penelitian

Waktu yang dialokasikan untuk pelaksanaan penelitian, mulai dari persiapan bahan, proses fabrikasi komposit, pengujian spesimen, hingga analisis data, selama empat (4) bulan mulai dari bulan Februari 2026– Mei 2026.

Variabel Penelitian

A. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi fraksi massa serat sabut kelapa Dengan variasi: 30%, 40%, 50%, 60%.

B. Variabel Terikat

Variable terikat pada penelitian ini meliputi:

1. Kekuatan Dampak (*Impact Strength*) diukur menggunakan standar ASTM D5942.
2. Kekuatan *Bending* diukur menggunakan standar ASTM D790.

C. Variabel Kontrol

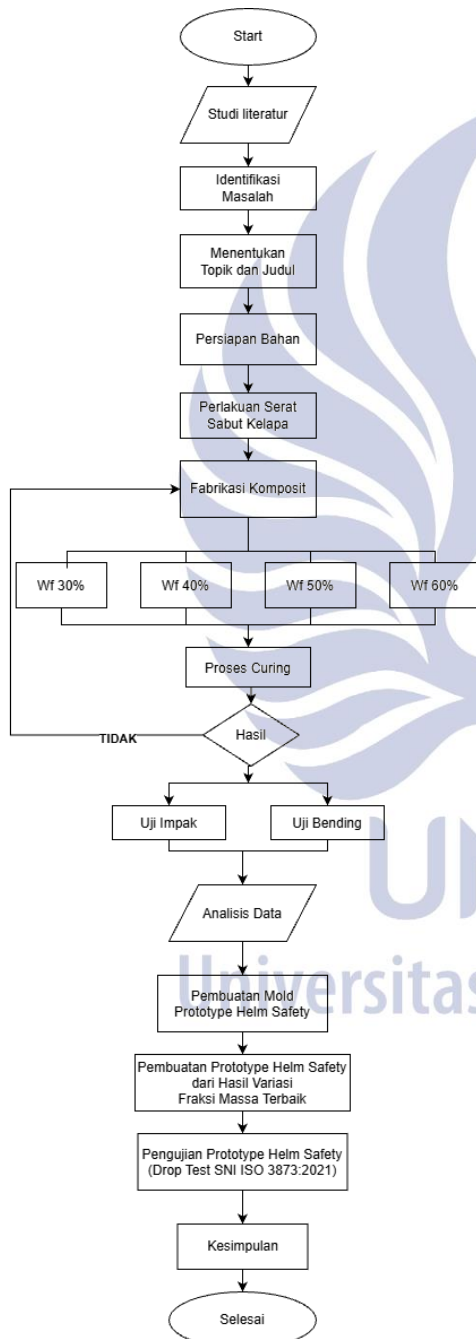
variabel yang dipertahankan dalam kondisi konstan selama proses penelitian meliputi:

1. Matriks: poliester.
2. Metode fabrikasi: *hand lay-up*.
3. Serat penguat: serat sabut kelapa.
4. Alkalisasi: NaOH 5% selama 1 jam.
5. Cetakan spesimen: mold berbentuk balok sesuai standar pengujian.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, dimulai dari penyiapan bahan dan proses alkalisasi serat sabut kelapa dengan larutan NaOH 5% selama 1 jam. Setelah itu, dilakukan penentuan fraksi massa serat dan

pembuatan komposit dengan metode hand lay-up. Komposit yang telah dibuat kemudian dibentuk menjadi spesimen untuk pengujian impak berdasarkan ASTM D5942 dan pengujian bending berdasarkan ASTM D790. Hasil kedua pengujian tersebut dianalisis untuk menentukan fraksi massa serat yang menghasilkan karakteristik mekanik paling optimum. Fraksi massa optimum selanjutnya diterapkan pada pembuatan helm safety komposit dan dilakukan pengujian redam kejut dengan mengacu pada SNI ISO 3873:2012. Rangkaian tahapan penelitian tersebut ditampilkan pada Gambar 1 dalam bentuk diagram alir penelitian.



Gambar 1 Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak adalah metode pengujian mekanik yang dilakukan untuk mengukur kemampuan suatu material dalam menyerap energi beban kejut. Metode pengujian yang digunakan menggunakan impak *charpy* yang mengacu pada standar ASTM D5942-96 dengan pendulum 8,3 Kg dan panjang lengan 0,62 m serta sudut ayunan awal 120°. Data hasil pengujian digunakan sebagai perhitungan energi serap dan kekuatan impak menggunakan persamaan 1 dan 2.

Energi Serap

$$W = mgr(\cos\beta - \cos\alpha) \quad 1$$

$$= 8,3 \text{ kg} \times 9,81/\text{s}^2 \times 0,62\text{m} (\cos 108,6^\circ - \cos 120^\circ)$$

$$= 50,48 (-0,31897 - (-0,50000))$$

$$= 9,139 \text{ J}$$

Kekuatan Impak

$$I_s = \frac{W}{b_i \times h_i} \quad 2$$

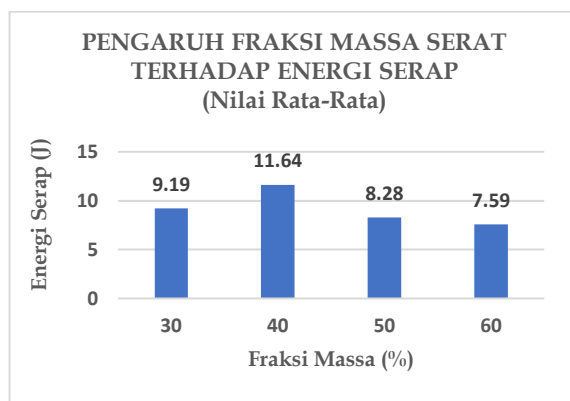
$$I_s = \frac{9,139}{16 \times 5} = 0,1142 \text{ J/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan energi serap dan kekuatan impak pada setiap spesimen didapatkan data hasil pengujian impak seperti pada tabel 1.

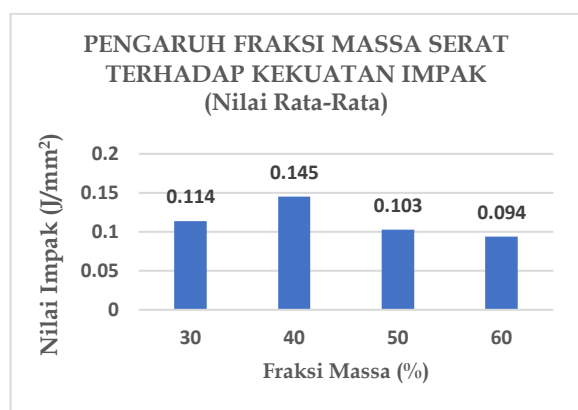
Tabel 1 Data Hasil Pengujian Impak

No	Serat (%)	Kode Spesimen	Sudut Awal (α)	Sudut Akhir (β)	Energi Serap (J)	Rata-rata Energi Serap (J)	standar deviasi	Kekuatan Impak (J/mm ²)	Rata-rata Kekuatan Impak (J/mm ²)
1	30%	30-1	120	108,6	9,139	9,19	0,17	0,1142	0,114
2	30%	30-2	120	108,3	9,389			0,1174	
3	30%	30-4	120	108,7	9,056			0,1132	
4	40%	40-2	120	105,8	11,496	11,64	0,13	0,1437	0,145
5	40%	40-3	120	105,5	11,75			0,1469	
6	40%	40-4	120	105,6	11,666			0,1458	
7	50%	50-2	120	109,4	8,473	8,28	0,39	0,1059	0,103
8	50%	50-3	120	109,7	8,224			0,1028	
9	50%	50-4	120	109,8	8,141			0,1018	
10	60%	60-1	120	110,5	7,561	7,59	0,13	0,0945	0,094
11	60%	60-2	120	110,6	7,48			0,0935	
12	60%	60-3	120	110,3	7,727			0,0966	

Data hasil pengujian tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi massa serat sabut kelapa terhadap kemampuan material komposit dalam menyerap energi tumbukan. Untuk mempermudah visualisasi dan perbandingan hasil pengujian pada setiap variasi fraksi massa serat, nilai rata-rata hasil uji impak disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.



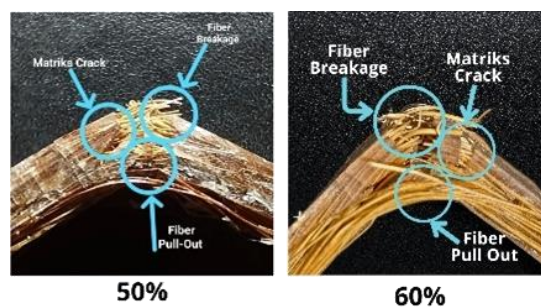
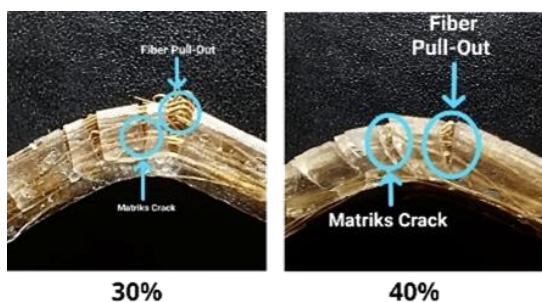
Gambar 2 Grafik Nilai Rata-Rata Energi Serap



Gambar 3 Grafik Nilai Rata-Rata Kekuatan Impak

Hasil pengujian impak *charpy* menunjukkan bahwa variasi fraksi massa serat sabut kelapa memengaruhi kekuatan impak material komposit. Nilai rata-rata energi serap pada fraksi massa 30%, 40%, 50%, dan 60% masing-masing sebesar 9,19 J; 11,64 J; 8,28 J; dan 7,59 J, sedangkan kekuatan impak masing-masing sebesar 0,114 J/mm²; 0,145 J/mm²; 0,103 J/mm²; dan 0,094 J/mm². Hasil tersebut menunjukkan peningkatan hingga mencapai nilai optimum pada fraksi massa 40%, kemudian mengalami penurunan pada fraksi massa 50% dan 60%.

Fraksi massa 40% menghasilkan kinerja impak terbaik karena ikatan serat dan matriks lebih efektif dalam menyerap serta mendistribusikan energi tumbukan. Pengamatan patahan pada fraksi massa 30% dan 40% menunjukkan *matrix cracking* dan *fiber pull-out*, sedangkan pada fraksi massa 50% dan 60% mulai ditemukan *fiber breakage* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 Foto Patahan Spesimen Hasil Uji Impak.



Gambar 4 Foto Patahan Spesimen Hasil Uji Impak

Penambahan serat di atas 40% menyebabkan resin semakin sulit membasahi dan mengikat serat secara optimal sehingga kualitas ikatan serat-matriks menurun dan retak lebih mudah berkembang. Dengan demikian, fraksi massa serat 40% merupakan komposisi optimum dengan energi serap 11,64 J dan kekuatan impak 0,145 J/mm².

Hasil Pengujian Bending

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan material komposit serat sabut kelapa dalam menahan pembebanan secara bertahap hingga mengalami kerusakan. Pengujian ini menggunakan metode *three point bending* yang mengacu pada standar ASTM D790. Data hasil pengujian digunakan sebagai perhitungan kekuatan *bending* menggunakan persamaan 3.

Kekuatan Bending

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \quad 3$$

$$= \frac{3 \times F \times 80}{2 \times 12,7 \times 5^2}$$

$$= \frac{3 \times 265,2 \times 80}{2 \times 12,7 \times 5^2}$$

$$= 100,23 \text{ MPa}$$

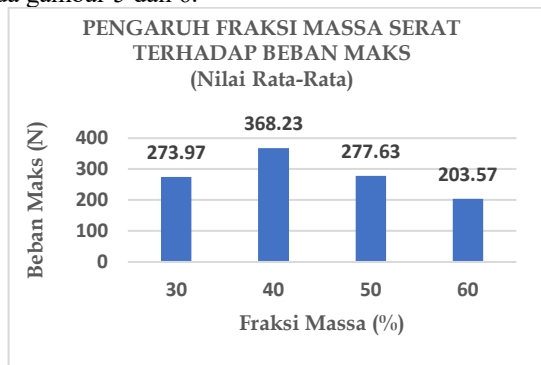
Dari hasil perhitungan energi serap dan kekuatan *bending* pada setiap spesimen didapatkan data hasil pengujian impak seperti pada tabel 2.

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Bending

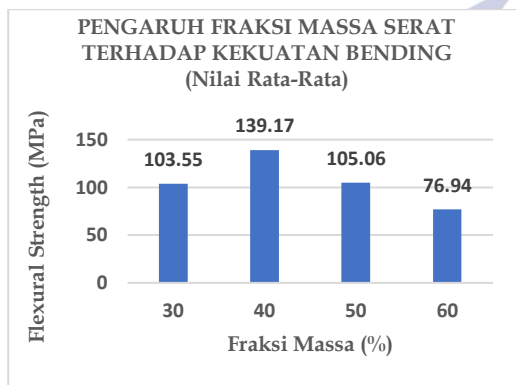
No	Serat (%)	Kode Spesimen	Defleksi (mm)	Beban Maks (Kg)	Beban Maks (N)	Rata-rata Beban maks (N)	Kekuatan Bending (MPa)	Rata-rata Kekuatan Bending (MPa)	Standar Deviasi
1	30%	30-1	5,42	27,034	265,2	273,97	100,23	103,55	3,08
2	30%	30-2	5,17	28,073	275,4		104,09		
3	30%	30-3	5,04	28,675	281,3		106,32		
4	40%	40-1	5,26	38,267	375,4	368,23	141,88	139,17	2,76
5	40%	40-2	5,15	36,779	360,8		136,36		
6	40%	40-3	5,16	37,564	368,5		139,28		
7	50%	50-1	5,92	29,083	285,3	277,63	107,83	105,06	2,54
8	50%	50-2	5,88	27,737	271,1		102,84		
9	50%	50-3	5,73	28,186	276,5		104,5		
10	60%	60-1	5,05	21,427	210,2	203,57	79,45	76,94	2,28
11	60%	60-2	5,02	20,224	198,4		74,99		
12	60%	60-3	4,94	20,601	202,1		76,38		

Data hasil pengujian tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi massa serat sabut kelapa terhadap kemampuan material komposit dalam menahan pembebanan secara bertahap hingga mengalami kerusakan. Untuk mempermudah visualisasi dan perbandingan hasil pengujian pada setiap

variasi fraksi massa serat, nilai rata-rata hasil uji *bending* disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5 dan 6.



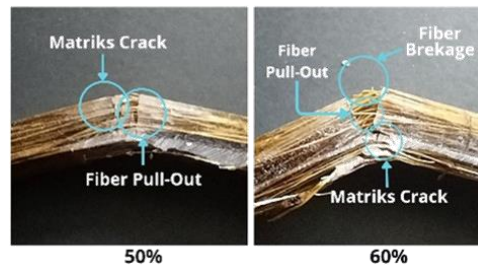
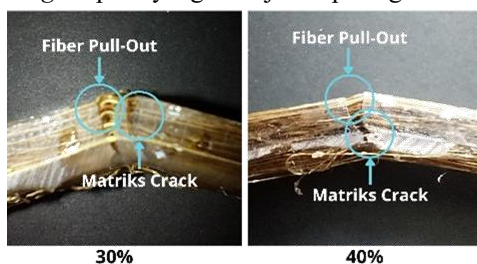
Gambar 5 Grafik Nilai Rata-Rata Beban Maksimum



Gambar 6 Grafik Nilai Rata-Rata Kekuatan Bending

Hasil pengujian *bending* menunjukkan bahwa variasi fraksi massa serat sabut kelapa memengaruhi kemampuan material komposit dalam menahan beban *bending*. Nilai rata-rata beban maksimum pada fraksi massa 30%, 40%, 50%, dan 60% masing-masing sebesar 273,97 N; 368,23 N; 277,63 N; dan 203,57 N, sedangkan kekuatan *bending* masing-masing sebesar 103,55 MPa; 139,17 MPa; 105,06 MPa; dan 76,94 MPa. Hasil tersebut menunjukkan peningkatan hingga mencapai nilai tertinggi pada fraksi massa 40%, kemudian mengalami penurunan pada fraksi massa 50% dan 60%.

Fraksi massa 40% menghasilkan kinerja *bending* terbaik dengan beban maksimum 368,23 N dan kekuatan *bending* 139,17 MPa. Kondisi ini menunjukkan keseimbangan antara jumlah serat dan matriks yang memungkinkan transfer beban berlangsung lebih efektif. Pengamatan patahan pada fraksi massa 30%, 40%, dan 50% menunjukkan *matrix cracking* dan *fiber pull-out*, sedangkan pada fraksi massa 60% juga ditemukan *fiber breakage* seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7 Foto Patahan Spesimen Hasil Uji Bending

Penambahan serat di atas 40% menyebabkan jumlah matriks relatif berkurang sehingga pembasahan dan ikatan serat-matriks menjadi kurang efektif. Kondisi tersebut menyebabkan transfer beban menurun dan kegagalan lebih mudah terjadi. Dengan demikian, fraksi massa serat 40% merupakan komposisi optimum pada pengujian *bending*.

Hasil Pengujian Helm Safety

Pengujian redam kejut dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan helm safety dalam meredam energi benturan dengan mengacu pada SNI ISO 3873:2012. Helm yang diuji menggunakan komposit serat sabut kelapa dengan fraksi massa 40%, yang dipilih sebagai komposisi optimum berdasarkan hasil pengujian mekanik. Pengujian dilakukan dengan metode jatuh bebas (*weight drop test*) menggunakan striker bermassa 5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 1.000 mm sehingga menghasilkan energi benturan sebesar 50 J. Striker memiliki permukaan setengah bola dengan radius 48 mm. Benturan diberikan pada lima titik uji yang telah ditentukan untuk mengevaluasi kemampuan helm dalam menerima dan meredam energi benturan.



Gambar 8 Hasil Fabrikasi Helm Safety Komposit Sabut Kelapa

Tabel 3 Hasil Pengujian Helm Safety

No.	Fraksi Massa (%)	Titik Pengujian Helm	Massa Pemukul (Kg)	Ketinggian Pengujian (mm)	Hasil Pengamatan
1.	40	Bagian atas	5	1000	Tidak mengalami kerusakan
2.	40	Bagian depan	5	1000	Tidak mengalami kerusakan
3.	40	Bagian samping kiri	5	1000	Tidak mengalami kerusakan
4.	40	Bagian samping kanan	5	1000	Tidak mengalami kerusakan
5.	40	Bagian belakang	5	1000	Mengalami <i>matrix cracking</i>

Berdasarkan hasil pengujian redam kejut menunjukkan bahwa helm safety komposit dengan fraksi massa serat 40% mampu menahan benturan sebesar 50 J sesuai metode SNI ISO 3873:2012. Pada titik uji pertama hingga keempat tidak ditemukan kegagalan struktur, sedangkan pada titik uji kelima hanya terjadi *matrix cracking* tanpa kerusakan yang menyebabkan cangkang helm kehilangan integritas.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur komposit masih mampu menyerap dan mendistribusikan energi benturan secara efektif, sehingga helm memiliki kemampuan redam kejut yang baik. Mekanisme kerusakan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 9 Foto *Matrix Cracking* Pada Helm *Safety*

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa penggunaan komposit serat sabut kelapa dengan fraksi massa 40% berpotensi digunakan sebagai material cangkang helm *safety* karena mampu mempertahankan bentuk dan tidak mengalami kegagalan struktur setelah menerima energi benturan sebesar 50 Joule.

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi fraksi massa serat sabut kelapa berpengaruh terhadap kekuatan impak dan kekuatan bending komposit, dengan fraksi massa 40% sebagai komposisi optimum. Pada komposisi tersebut diperoleh energi serap sebesar 11,64 J, kekuatan impak sebesar 0,145 J/mm², beban maksimum sebesar 368,23 N, dan kekuatan bending sebesar 139,17 MPa. Penambahan fraksi massa serat di atas 40% menyebabkan penurunan sifat mekanik akibat berkurangnya efektivitas matriks dalam membasahi dan mengikat serat, sehingga transfer beban dan penyerapan energi menjadi kurang optimal. Pengujian redam kejut pada helm *safety* dengan fraksi massa serat 40% menggunakan energi benturan 50 J menunjukkan bahwa helm mampu mempertahankan integritas struktur, dengan empat titik pengujian tidak mengalami kerusakan dan titik kelima hanya mengalami *matrix cracking* tanpa kegagalan struktur. Dengan demikian, komposit serat sabut kelapa dengan fraksi massa 40% memiliki sifat mekanik dan kemampuan redam kejut yang baik serta berpotensi digunakan sebagai material cangkang helm *safety*.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode fabrikasi seperti *vacuum bagging* atau *vacuum infusion* untuk memperoleh distribusi resin yang lebih merata dan meminimalkan terbentuknya void. Pengembangan penelitian juga dapat dilakukan melalui variasi panjang dan orientasi serat serta penggunaan jenis matriks yang berbeda untuk memperoleh sifat mekanik yang lebih optimal. Selain itu, prototipe helm perlu diuji lebih lanjut sesuai persyaratan SNI ISO 3873:2012, meliputi pengujian ketahanan penetrasi, ketahanan terhadap nyala api, dan pengujian lainnya, sehingga kelayakan komposit serat sabut kelapa sebagai material cangkang helm *safety* dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, serta bantuan selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran, dan masukan selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2024, December 11). produksi tanaman perkebunan 2021-2024. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMyIzI=/produksi-tanaman-perkebunan--ribu-ton-.html>
- Biro Humas Kemnaker. (2025, May 3). menaker: hubungan industrial harmonis kunci pembangunan budaya k3 yang tangguh. Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia. <https://kemnaker.go.id/news/detail/wujudkan-kerja-layak-asean-komitmen-perkuat-implementasi-k3>
- Febriandhani, O., Paramithasari, R., & Sari, W. S. (2024). seri keselamatan industri sni iso 3873 : 1977 (2020) helm keselamatan industri.
- Hastuti, S., Budiono, H. S., Ivadiyanto, D. I., & Nahar, M. N. (2021). peningkatan sifat mekanik komposit serat alam limbah sabut kelapa (cocofiber) yang biodegradable. 6(1), 30–37. <https://doi.org/10.33366/rekabua>
- Judilla, M. F., & Burmawi. (2021). analisa sifat mekanik komposit serat sabut kelapa dengan susunan lurus untuk aplikasi bahan konstruksi helm.
- Oroh, J., Sappu, F. P., & Lumintang, R. (2013). analisis sifat mekanik material komposit dari serat sabut kelapa.
- Wiguna, S. B., Fadhil, M. N., Muktabar, A. K., Nurrohmah, A., & Rosalia, Ci. A. (2024). perancangan dan proses manufaktur industrial safety helmet bahan komposit gfrp.