

STUDI EKSPERIMENTAL VARIASI KETINGGIAN PENGASAPAN SERAT PINANG DAN SERAT SABUT KELAPA UNTUK MENINGKATKAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT HYBRID

Haekal¹, Muhamad Iqbal Achmad^{2*}, Irwan³, La Atina⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Dayanu Ikhsanuddin

² iqbal_iptek@gmail.com

*Penulis Korespondensi

diajukan: 5 Februari 2026,

diterima: 24 Februari 2026.

Abstract

Hybrid composite materials were fabricated using areca nut fibers and coconut coir fibers arranged randomly, with a polyester resin matrix. The research variable was the variation in fiber smoking height, namely 70 cm, 100 cm, and 130 cm, with a smoking duration of 3 hours. Specimens were manufactured using the press mold technique. Impact testing referred to the ASTM D256-00 standard, tensile testing followed ASTM D638-02, and morphological analysis was conducted through fracture surface observations. The test results indicate that smoking height has a significant effect on the mechanical properties of the hybrid composites compared to untreated fibers. In the impact test, the highest absorbed energy and impact strength were obtained at a smoking height of 130 cm, reaching 2.7034 Joules and 0.0263 J/mm², respectively, while the lowest values were recorded at 70 cm, with 1.9114 Joules and 0.0173 J/mm². In tensile testing, the highest values were also achieved at 130 cm, with a tensile strength of 15.5015 N/mm² and a modulus of elasticity of 3659.8573 N/mm². The lowest tensile strength was found at 70 cm (13.0380 N/mm²), while the lowest modulus of elasticity was recorded at 100 cm (1221.0344 N/mm²). Macroscopic observations showed that fracture characteristics were dominated by fiber pull-out, debonding, overload, and crack deflection phenomena. These findings indicate that areca fibers and coconut coir fibers provide strong yet brittle material characteristics and demonstrate improved interfacial bonding at the optimal smoking height.

Keywords: *Areca Fiber, Coconut Coir Fiber, Hybrid Composite, Mechanical Properties, Smoking Height*

Abstrak

Material komposit hybrid menggunakan serat pinang dan sabut kelapa dengan susunan acak (random) dan matriks berupa resin poliester. Variabel penelitian yang digunakan adalah variasi ketinggian pengasapan serat, yaitu 70 cm, 100 cm, dan 130 cm dengan waktu tahan pengasapan selama 3 jam. Metode pembuatan spesimen menggunakan teknik press mold. Pengujian impak merujuk pada standar ASTM D 256-00, pengujian tarik menggunakan standar ASTM D 638-02, serta analisis morfologi melalui pengamatan foto patahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketinggian pengasapan memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik komposit hibrida dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan. Pada pengujian impak, nilai energi serap dan harga impak tertinggi diperoleh pada ketinggian pengasapan 130 cm sebesar 2,7034 Joule dan 0,0263 J/mm², sedangkan nilai terendah pada ketinggian 70 cm sebesar 1,9114 Joule dan 0,0173 J/mm². Pada pengujian tarik, nilai tertinggi juga dicapai pada ketinggian 130 cm dengan tegangan tarik sebesar 15,5015 N/mm² dan modulus elastisitas sebesar 3659,8573 N/mm². Nilai terendah ditemukan pada ketinggian 70 cm untuk tegangan tarik (13,0380 N/mm²) dan pada ketinggian 100 cm untuk modulus elastisitas (1221,0344 N/mm²). Pengamatan makroskopik menunjukkan bahwa bentuk patahan didominasi oleh fenomena fiber pull out, debonding, overload, dan crack deflection. Hal ini mengindikasikan bahwa serat pinang dan serat sabut kelapa memberikan karakteristik material yang kuat namun getas, serta menunjukkan perbaikan ikatan antarmuka pada ketinggian pengasapan yang optimal.

Kata kunci: *Serat Pinang, Serat Sabut Kelapa, Komposit Hibrida, Sifat Mekanik, Ketinggian Pengasapan*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan serat alam sebagai penguat material komposit kini menjadi perhatian utama dalam teknologi material hijau. Serat pinang dan serat sabut kelapa merupakan dua komoditas

lokal yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara maksimal untuk aplikasi teknik bernilai tinggi. Penggabungan keduanya dalam bentuk komposit hibrida menawarkan keunggulan berupa kombinasi kekuatan tarik dan ketangguhan impact yang lebih seimbang dibandingkan komposit dengan serat tunggal.

Namun, kendala utama serat alam terletak pada permukaan serat yang mengandung zat ekstraktif seperti lignin, lilin, dan pektin yang bersifat hidrofilik (suka air). Sifat ini menyebabkan lemahnya ikatan antarmuka (*interfacial bonding*) antara serat dengan matriks polimer yang bersifat hidrofobik. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan perlakuan permukaan (*surface treatment*). Salah satu metode yang ekonomis dan mudah diaplikasikan adalah teknik pengasapan.

Proses pengasapan bekerja dengan memanfaatkan panas dan partikel asap untuk mengurangi kadar air serta mengubah topografi permukaan serat menjadi lebih kasar, sehingga memudahkan penetrasi resin ke dalam pori-pori serat. Dalam praktiknya, ketinggian pengasapan menjadi variabel kritis karena menentukan gradien suhu dan densitas asap yang diterima oleh serat. Jarak yang terlalu dekat dengan sumber panas berisiko menyebabkan degradasi termal pada selulosa serat, sedangkan jarak tertentu dapat memberikan efek pengeringan dan deposisi karbon yang ideal bagi penguatan mekanik.

Data awal menunjukkan bahwa variasi ketinggian pengasapan memberikan dampak yang signifikan terhadap kinerja mekanik komposit. Terdapat kecenderungan bahwa ketinggian yang lebih besar mampu meminimalisir kerusakan serat akibat panas berlebih, sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menyerap energi impact dan menahan beban tarik. Fenomena kegagalan seperti *fiber pull out* dan *debonding* yang ditemukan pada pengamatan patahan juga mengindikasikan sejauh mana efektivitas pengasapan dalam memperbaiki ikatan antara serat dan matriks.

Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji secara mendalam pengaruh variasi ketinggian pengasapan terhadap sifat mekanik komposit hibrida serat pinang dan sabut kelapa meliputi nilai energi serap, kekuatan impact, tegangan tarik, serta modulus elastisitas guna menentukan parameter optimal dan mengidentifikasi karakteristik patahan melalui pengamatan fotomakro sebagai upaya menghasilkan material alternatif yang tangguh dan berkelanjutan

2. BAHAN DAN METODE

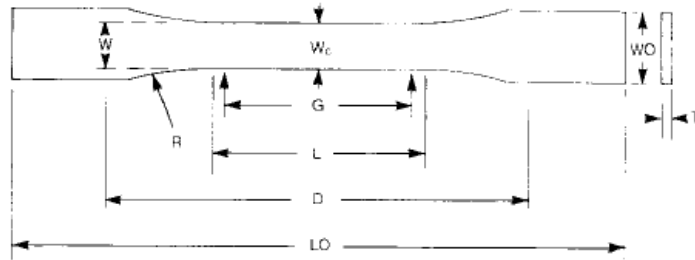
2.1 Lokasi dan Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar untuk pengujian Tarik dan pengujian Impact dan Foto Patahan dilakukan di laboratorium Teknik Mesin FT - UNIDAYAN Baubau.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Komposit Hybrid Serat Pinang dan Serat Sabut Kelapa Berbasis Resin Polyester dengan dimensi spesimen uji sebagai berikut :

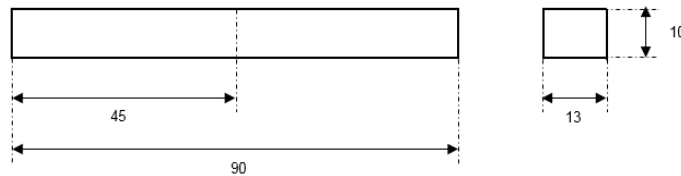
Pengujian impact merujuk pada standar ASTM D 256-00, pengujian tarik menggunakan standar ASTM D 638-02, serta analisis morfologi melalui pengamatan foto patahan

Dimensi specimen uji tarik (ASTM D 638-02)



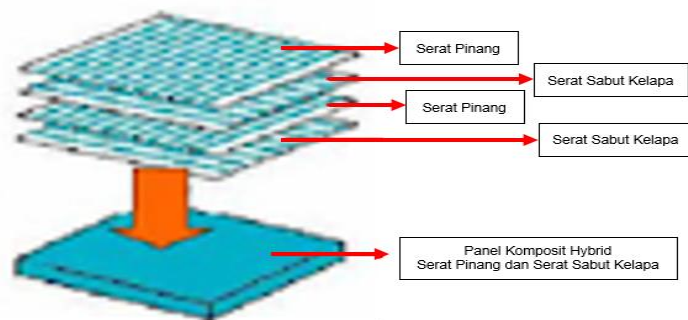
Gambar 1 Ukuran Specimen Uji tarik Standar ASTM D 638-02

Dimensi specimen uji impact ASTM D 256-00

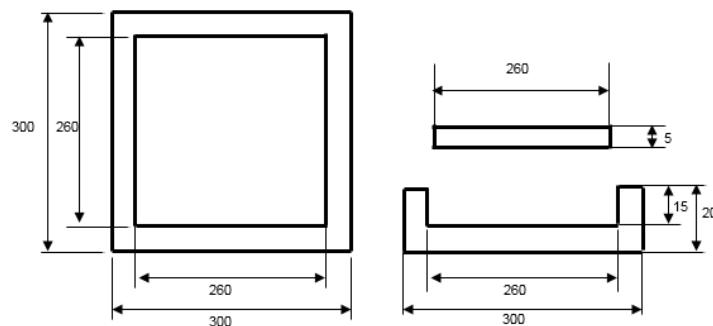


Gambar 2 Ukuran Specimen Uji Impact Standar ASTM D 256-00

Pembuatan spesimen untuk material uji dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Dayanu Ikhsanuddin BauBau.



Gambar 3 Kepingan komposit hasil cetakan



Gambar 4 Cetakan Komposit

2.2 Metode Pengambilan Data

2.2.1 Pengujian Impact

Pengujian impact atau uji tumbukan merupakan metode penting untuk mengukur ketangguhan (toughness) suatu material, yaitu kemampuannya dalam menyerap energi sebelum mengalami kegagalan akibat benturan mendadak. Pada material komposit, khususnya komposit hybrid yang terdiri dari dua atau lebih jenis serat, uji impact sangat relevan untuk mengevaluasi performa material terhadap beban dinamis. Komposit hybrid bertujuan menggabungkan keunggulan berbagai jenis serat, seperti kekuatan, kekakuan, dan fleksibilitas, yang jika dikombinasikan dengan baik dapat meningkatkan ketahanan terhadap tumbukan. Misalnya, pada kombinasi serat daun agel dan serat sabut kelapa dalam matriks resin polyester, masing-masing serat dapat memberikan kontribusi berbeda terhadap daya serap energi saat terjadi benturan.

Dalam pengujian impact, prinsip dasarnya adalah mengukur energi yang diserap oleh spesimen saat patah akibat pukulan dari bandul. Energi serapan ini dihitung berdasarkan perbedaan energi potensial bandul sebelum dan sesudah tumbukan, yaitu:

$$\begin{aligned} E_{serap} &= \text{Energi awal} - \text{Energi yang tersisa} \\ &= mgh - mgh \\ &= mg(R - R \cos \alpha) - mg(R - R \cos \beta) \\ E_{srp} &= mgR (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

dimana :

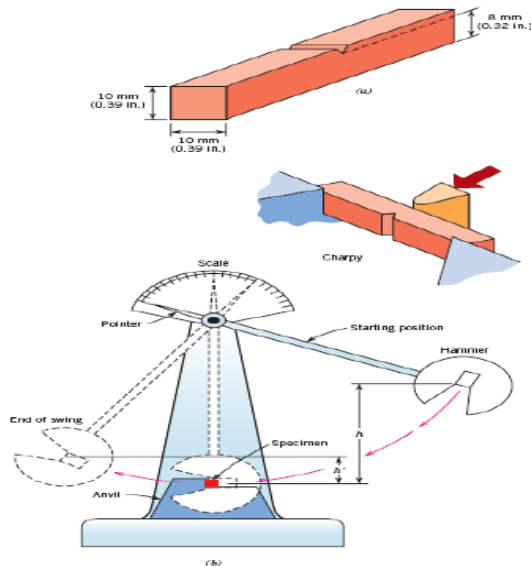
- E_{srp} = Energi serap (J)
- m = Berat Pendulum (Kg)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)
- R = Panjang Lengan (m)
- α = Sudut Pendulum sebelum diayunkan
- β = Sudut Ayunan Pendulum setelah mematahkan Spesimen

Harga impact dapat dihitung dengan :

$$HI = \frac{E_{srp}}{A_o} \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

- HI = Harga Impact (J/mm^2)
- E_{srp} = Energi Serap (J)
- A_o = Luas Penampang (mm^2)



Gambar 5. Alat pengujian impact

- (a) Spesimen yang digunakan untuk pengujian impact.
(b) Skematik peralatan uji impact. (Callister, 2007).

Setelah energi serapan diperoleh, nilai tersebut dibagi dengan luas penampang spesimen patah untuk memperoleh nilai ketangguhan spesifik.

Pada komposit hybrid, nilai energi serapan sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis serat, arah orientasi serat, kekuatan ikatan antar serat dan matriks, serta efek dari perlakuan awal seperti suhu pengeringan. Mekanisme kerusakan yang terjadi selama uji impact meliputi delaminasi antar lapisan, fraktur serat, debonding pada interface, dan pull-out serat dari matriks. Mekanisme ini memungkinkan terjadinya penyerapan energi dalam jumlah besar, sehingga nilai ketangguhan meningkat. Oleh karena itu, pengujian impact tidak hanya memberikan informasi mengenai kekuatan material, tetapi juga menjadi indikator keberhasilan pengolahan dan desain struktur mikro dalam komposit hybrid.

2.2.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik (tensile test) merupakan salah satu metode paling umum dalam pengujian mekanik untuk menentukan karakteristik kekuatan dan elastisitas suatu material, termasuk logam, polimer, dan komposit. Uji tarik bertujuan untuk mengetahui bagaimana suatu material merespons gaya tarik yang bekerja sepanjang sumbu longitudinal. Hasil dari pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan sifat-sifat mekanik utama seperti kekuatan tarik maksimum (tensile strength), regangan (strain), dan modulus elastisitas (Young's modulus). Pada material komposit, uji tarik sangat penting untuk menilai kontribusi serat dan matriks dalam menahan beban aksial, serta untuk memahami perilaku material terhadap deformasi linier.

Dalam pengujian tarik, spesimen dijepit pada kedua ujungnya dan dikenai gaya tarik secara bertahap hingga spesimen mengalami patah. Selama proses ini, alat uji mencatat gaya dan perubahan panjang. Dari data tersebut, dua parameter utama yang dihitung adalah tegangan (stress) dan regangan (strain). Tegangan tarik didefinisikan sebagai gaya tarik dibagi luas penampang awal spesimen:

Hubungan antara tegangan dan regangan pada beban tarik ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Surdia, 1995)

$$P = \sigma \cdot A \text{ atau } \sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

$P = \text{Beban (N)}$

$A = \text{Luas Penampang (mm}^2\text{)}$

$\sigma = \text{Tegangan (MPa)}$

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (gage length). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis. Proporsional pada grafik tegangan- tegangan hasil uji tarik komposit. (Surdia,1995)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

$\varepsilon = \text{Regangan (mm/mm)}$

$\Delta L = \text{Pertambahan Panjang (mm)}$

$l_0 = \text{Panjang Daerah Ukur (gagelength), mm}$

Pada daerah proporsional yaitu daerah dimana tegangan regangan yang terjadi masih sebanding, defleksi yang terjadi masih bersifat elastis dan masih berlaku hukum Hooke.

Besarnya nilai modulus elastisitas komposit yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional dapat dihitung dengan persamaan (Surdia, 1995)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

$E = \text{Modulus Elastisitas Tarik (MPa)}$

$\sigma = \text{Kekuatan Tarik (MPa)}$

$\varepsilon = \text{Regangan (mm/mm)}$

Nilai-nilai ini penting untuk merancang material komposit, karena mereka mencerminkan kekuatan ikatan antara serat dan matriks, efisiensi transfer beban, serta kemampuan deformasi material sebelum patah. Dalam komposit hybrid, sifat tarik sangat dipengaruhi oleh orientasi serat, distribusi serat, dan kualitas interface antara serat dan matriks. Oleh karena itu, uji tarik bukan hanya mengukur kekuatan, tetapi juga membantu mengevaluasi performa struktural dan daya tahan komposit dalam aplikasi teknik.

2.2.3 Foto Patahan

Foto patahan (fractography) adalah teknik analisis visual yang digunakan untuk mempelajari permukaan patahan suatu material setelah mengalami kegagalan, seperti akibat

pengujian mekanik (tarik, impact, lentur). Pada material komposit hybrid, analisis foto patahan menjadi sangat penting untuk mengidentifikasi mekanisme kerusakan yang terjadi, seperti delaminasi antar lapisan, pull-out serat, retak pada matriks, dan kegagalan interface serat-matriks. Foto patahan umumnya diperoleh menggunakan mikroskop optik untuk melihat detail mikroskopis permukaan patah yang tidak tampak dengan mata telanjang.

Dalam komposit hybrid yang menggabungkan dua jenis serat, misalnya serat daun agel dan serat sabut kelapa morfologi patahan dapat menunjukkan bagaimana masing-masing serat berperan dalam menahan beban dan menyerap energi. Misalnya, keberadaan serat yang tertarik keluar (pull-out) menunjukkan bahwa terjadi pemisahan antara serat dan matriks, yang merupakan salah satu mekanisme penyerapan energi saat tumbukan atau gaya tarik. Selain itu, jejak delaminasi antara lapisan menunjukkan terlepasnya antar-lapisan akibat gaya geser internal. Ciri-ciri lain seperti retakan bercabang pada matriks dan permukaan patah kasar atau halus juga memberikan informasi apakah patahan bersifat getas (brittle) atau ulet (ductile).

Melalui interpretasi foto patahan, peneliti dapat mengevaluasi kualitas manufaktur komposit, efisiensi ikatan serat-matriks, dan efektivitas kombinasi serat hybrid. Hasil analisis ini sangat berguna untuk menghubungkan sifat mekanik (seperti hasil uji tarik atau impact) dengan mekanisme kegagalan mikroskopik. Dengan demikian, foto patahan bukan hanya dokumentasi visual, tetapi juga menjadi alat diagnostik penting untuk meningkatkan desain struktur komposit hybrid agar lebih tahan terhadap kerusakan dan beban ekstrem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Impact

Dari hasil pengujian impact melalui mesin uji impact terhadap pengasapan 70 cm, 100 cm dan 130 cm sebagai bahan komposit hibryd serat pinang dan serat sabut kelapa dapat dilihat perhitungan dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada standar ASTM D-6110, yaitu sebagai berikut :

Perhitungan Kekuatan Impact

$$E_{srp} = mgR (\cos \beta - \cos \alpha)$$

diketahui :

$$\text{Berat Pendulum } (m) = 7 \text{ Kg}$$

$$\text{Percepatan Gravitasi } (g) = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Panjang Lengan } (R) = 0,76 \text{ m}$$

$$\text{Sudut Pendulum sebelum diayunkan } (\alpha) = 145^\circ$$

$$\text{Sudut Ayunan Pendulum setelah mematahkan Spesimen } (\beta) = 142,5^\circ$$

Jadi ,

$$\text{Energi serap } (E_{srp}) = mgR (\cos \beta - \cos \alpha) \dots (J)$$

$$\text{Energi serap } (E_{srp}) = 7 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,76 \text{ m} ((-0.7933) - (-0.8192))$$

$$\text{Energi serap } (E_{srp}) = 52,1892 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} ((-0.7933) - (-0.8192))$$

$$\text{Energi serap } (E_{srp}) = 2.7765 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\text{Energi serap } (E_{srp}) = 1,3517 \text{ J}$$

Harga impact dapat dihitung dengan :

$$HI = \frac{\text{Energi Serap } (E_{srp})}{\text{Luas Penampang } (A_o)}$$

diketahui :

$$\text{Energi Serap } (E_{srp}) = (J)$$

$$\text{Luas Penampang } (A_o) = (\text{mm}^2)$$

Jadi,

$$\text{Harga Impact } (HI) = \frac{E_{srp}}{A_o} (\text{J/mm}^2)$$

$$\text{Harga Impact } (HI) = \frac{1,3517 \text{ J}}{102,1453 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Harga Impact } (HI) = 0,0132 \text{ J/mm}^2$$

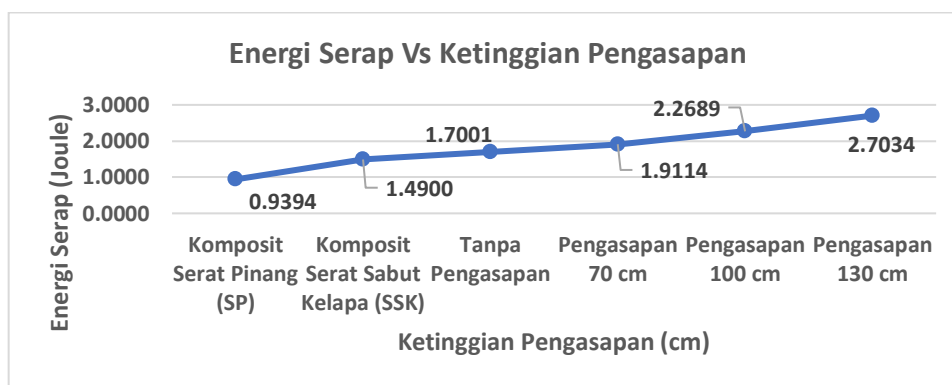
Berdasarkan hasil perhitungan pengujian impact komposit hibryd serat pinang dan serat sabut kelapa dengan pengasapan 70 cm, 100 cm dan 130 cm di dapatkan hasil seperti pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Hasil perhitungan pengujian impact

| KODE SPESIMEN | Benda Kerja ReRata | | | Berat Pendulum (kg) | Panjang Pendulum (m) | Gaya Grafitasi (g) | Sudut Simpul Bandul | | | Energi Serap (E srp) Joule | Harga Impact (HI) J/mm ² | |
|---|--------------------|------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------|--------|----------------------------|-------------------------------------|---------------|
| | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Luas Penampang (mm ²) | | | | (α)° | | (β)° | | | |
| Komposit Serat Pinang (S_p) | | | | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 11.35 | 8.27 | 93.8921 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 143° | -0.7986 | 1.0751 | 0.0115 |
| Sample 2 | 11.68 | 8.22 | 95.9981 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 143,5° | -0.8038 | 0.8037 | 0.0084 |
| Sample 3 | 11.65 | 8.47 | 98.6755 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 143.° | -0.7986 | 1.0751 | 0.0109 |
| Sample 4 | 11.11 | 8.55 | 95.0560 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 143.5° | -0.8038 | 0.8037 | 0.0085 |
| | | | | | | | | | | | 0.9394 | 0.0098 |
| Komposit Serat Sabut Kelapa (S_{sk}) | | | | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 12.20 | 9.35 | 114.1012 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 142.5° | -0.7933 | 1.3517 | 0.0118 |
| Sample 2 | 11.96 | 9.44 | 112.8625 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 142° | -0.7880 | 1.6283 | 0.0144 |
| Sample 3 | 10.59 | 9.34 | 98.8795 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 142.° | -0.7880 | 1.6283 | 0.0165 |
| Sample 4 | 10.66 | 9.38 | 99.9908 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 142.5° | -0.7933 | 1.3517 | 0.0135 |
| | | | | | | | | | | | 1.4900 | 0.0141 |
| Komposit Hibryd S_p dan S_{sk} | | | | | | | | | | | | |
| Tanpa Pengasapan | | | | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 11.07 | 9.23 | 102.1453 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 142.5° | -0.7933 | 1.3517 | 0.0132 |
| Sample 2 | 11.45 | 9.16 | 104.9202 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 141.5° | -0.7826 | 1.9101 | 0.0182 |
| Sample 3 | 11.53 | 9.11 | 105.0687 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 141.5° | -0.7826 | 1.9101 | 0.0182 |
| Sample 4 | 11.80 | 9.07 | 107.0956 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 142° | -0.7880 | 1.6283 | 0.0152 |
| | | | | | | | | | | | 1.7001 | 0.0162 |
| Pengasapan 70 cm | | | | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 12.06 | 9.24 | 111.3942 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 141° | -0.7771 | 2.1972 | 0.0197 |
| Sample 2 | 11.94 | 9.20 | 109.8480 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 141,5° | -0.7826 | 1.9101 | 0.0174 |
| Sample 3 | 12.73 | 9.14 | 116.3217 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 141.5° | -0.7826 | 1.9101 | 0.0164 |
| Sample 4 | 11.92 | 8.78 | 104.5886 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 142° | -0.7880 | 1.6283 | 0.0156 |

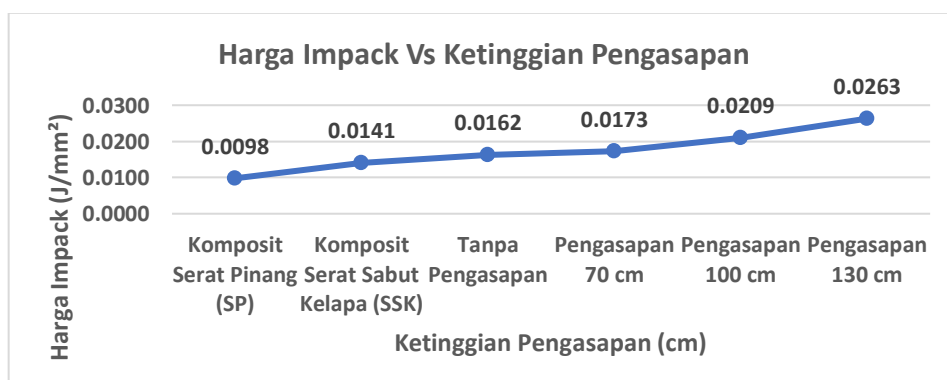
| Pemasangan 100 cm | | | | | | | | | | | 1.9114 | 0.0173 |
|-------------------|-------|------|----------|---|------|------|------|---------|--------|---------|--------|--------|
| Sample 1 | 11.80 | 8.99 | 106.0820 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 141.5° | -0.7826 | 1.9101 | 0.0180 |
| Sample 2 | 12.29 | 9.01 | 110.7629 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 140,5° | -0.7716 | 2.4842 | 0.0224 |
| Sample 3 | 12.07 | 8.99 | 108.4793 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 141° | -0.7771 | 2.1972 | 0.0203 |
| Sample 4 | 12.19 | 8.89 | 108.3581 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 140.5° | -0.7716 | 2.4842 | 0.0229 |
| Pemasangan 130 cm | | | | | | | | | | | 2.2689 | 0.0209 |
| Sample 1 | 12.18 | 8.92 | 108.6862 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 140° | -0.7660 | 2.7765 | 0.0255 |
| Sample 2 | 11.16 | 9.03 | 100.7677 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 139,5° | -0.7660 | 2.7765 | 0.0276 |
| Sample 3 | 11.45 | 8.89 | 101.7227 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 140° | -0.7660 | 2.7765 | 0.0273 |
| Sample 4 | 11.22 | 8.93 | 100.2618 | 7 | 0.76 | 9.81 | 145° | -0.8192 | 140.5° | -0.7716 | 2.4842 | 0.0248 |
| | | | | | | | | | | | 2.7034 | 0.0263 |

Dari Tabel didapatkan data pengaruh pemasangan 70 cm, 100 cm dan 130 cm terhadap energi serap dan harga impact komposit hibryd serat pinang dan serat sabut kelapa dengan matrik polyster tipe BQTN 157 dan hardener MEKPO W digambarkan dalam bentuk diagram garis seperti pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Grafik perbandingan Energi Serap Vs Ketinggian Pemasangan

Untuk harga impact dari material komposit hibryd serat pinang dan serat sabut kelapa dengan pemasangan 70 cm, 100 cm dan 130 cm digambarkan dalam bentuk diagram garis seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Grafik perbandingan Harga Impact Vs Ketinggian Pemasangan

3.2 Hasil Uji Tarik

Dari hasil pengujian tarik melalui mesin uji tarik terhadap material komposit hibrid serat pinang dan serat sabut kelapa dengan ketinggian pengasapan dapat dilihat perhitungan dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada standar ASTM D-3039, yaitu sebagai berikut :

Sebagai sampling perhitungan komposit hibrid serat pinang dan serat sabut kelapa dengan tanpa pengasapan.

Perhitungan Kekuatan Tarik

Tegangan Tarik Maksimum;

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ &= \frac{1288,9 \text{ N}}{122,18 \text{ m}^2} \\ &= 10,5492 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Regangan tarik (%) :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta l}{L_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,598}{100} \times 100\% \\ &= 0,0060 \%\end{aligned}$$

Modulus elastisitas :

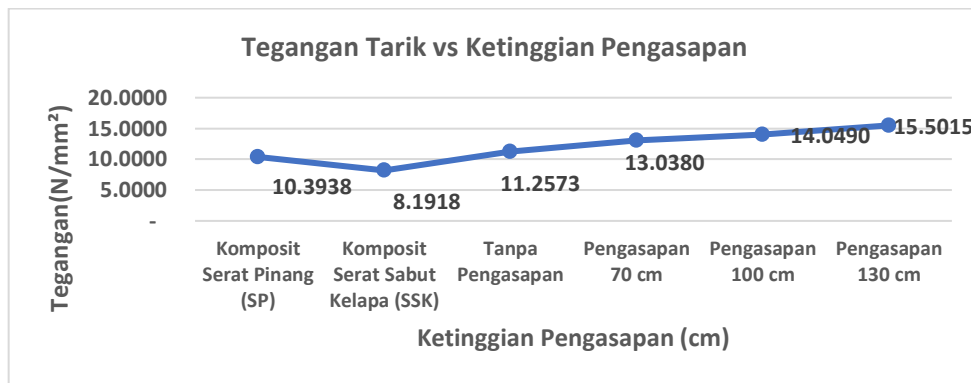
$$\begin{aligned}E &= \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ (N/mm}^2\text{)} \\ &= \frac{10,5492}{0,0060} \text{ N/mm}^2 \\ &= 1764.0720 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil perhitungan pengujian Tarik

| Kode Spesimen | Lebar ReRata mm | Tebal ReRata mm | Ao mm ² | Lo mm | ΔL mm | F N | σm N/mm ² | ε N/mm ² | E N/mm ² |
|---|--------------------|--------------------|-----------------------|----------|----------|--------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Komposit Serat Pinang (S_P) | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 13.85 | 8.41 | 116.51 | 100.00 | 0.6574 | 1191.7 | 10.2286 | 0.0066 | 1555.9189 |
| Sample 2 | 13.76 | 8.45 | 116.29 | 100.00 | 0.3387 | 1140.8 | 9.8100 | 0.0034 | 2896.3638 |
| Sample 3 | 13.89 | 8.44 | 117.25 | 100.00 | 0.4186 | 1306.5 | 11.1429 | 0.0042 | 2661.9399 |
| | | | | | | | 10.3938 | 0.0047 | 2371.4075 |
| Komposit Serat Sabut Kelapa (S_{SK}) | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 13.44 | 8.87 | 119.18 | 100.00 | 0.4581 | 1325.2 | 11.1190 | 0.0046 | 2427.2023 |
| Sample 2 | 13.21 | 8.93 | 118.04 | 100.00 | 0.3189 | 1482.2 | 12.5569 | 0.0032 | 3937.5525 |
| Sample 3 | 13.43 | 8.94 | 119.99 | 100.00 | 0.6378 | 1442.1 | 12.0185 | 0.0064 | 1884.3740 |
| | | | | | | | 8.1918 | 0.0032 | 1940.6422 |
| Komposit Hibryd S_P dan S_{SK} | | | | | | | | | |
| Tanpa Pengasapan | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 13.34 | 9.16 | 122.18 | 100.00 | 0.598 | 1288.9 | 10.5492 | 0.0060 | 1764.0720 |
| Sample 2 | 13.48 | 9.15 | 123.30 | 100.00 | 0.5981 | 1412.4 | 11.4553 | 0.0060 | 1915.2751 |
| Sample 3 | 13.34 | 9.21 | 122.83 | 100.00 | 0.5582 | 1445.4 | 11.7674 | 0.0056 | 2108.1004 |
| | | | | | | | 11.2573 | 0.0058 | 1929.1492 |
| Pengasapan 70 cm | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 13.81 | 8.93 | 123.28 | 100.00 | 0.299 | 1502.0 | 12.1839 | 0.0030 | 4074.8887 |
| Sample 2 | 13.65 | 9.25 | 126.19 | 100.00 | 0.5382 | 1726.6 | 13.6830 | 0.0054 | 2542.3554 |
| Sample 3 | 13.91 | 9.16 | 127.45 | 100.00 | 0.6971 | 1688.3 | 13.2472 | 0.0070 | 1900.3250 |
| | | | | | | | 13.0380 | 0.0051 | 2839.1897 |

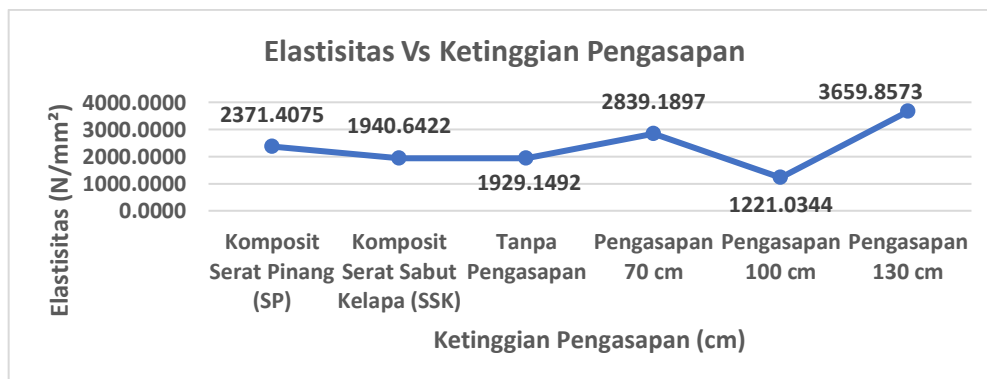
| | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|--------|--------|--------|--------|----------------|---------------|------------------|
| Pengasapan 100 cm | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 13.10 | 9.30 | 121.87 | 100.00 | 1.2158 | 1665.2 | 13.6633 | 0.0122 | 1123.8139 |
| Sample 2 | 13.32 | 9.26 | 123.31 | 100.00 | 1.3355 | 1824.2 | 14.7933 | 0.0134 | 1107.6997 |
| Sample 3 | 13.14 | 9.38 | 123.33 | 100.00 | 0.9563 | 1688.4 | 13.6903 | 0.0096 | 1431.5896 |
| | | | | | | | 14.0490 | 0.0117 | 1221.0344 |
| Pengasapan 130 cm | | | | | | | | | |
| Sample 1 | 13.74 | 9.16 | 125.87 | 100.00 | 0.6377 | 1806.1 | 14.3485 | 0.0064 | 2250.0415 |
| Sample 2 | 13.62 | 9.12 | 124.18 | 100.00 | 0.3587 | 2010.3 | 16.1881 | 0.0036 | 4512.9846 |
| Sample 3 | 13.69 | 9.12 | 124.87 | 100.00 | 0.3787 | 1993.9 | 15.9681 | 0.0038 | 4216.5459 |
| | | | | | | | 15.5015 | 0.0046 | 3659.8573 |

Dari Tabel didapatkan data material komposit hibrid serat pinang dan serat sabut kelapa dengan matrik *polyster* tipe BQTN 157 dan *hardener* MEKPO W terhadap tegangan tarik maksimum, regangan tarik dan modulus elastisitas digambarkan dalam bentuk diagram garis seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 8. Grafik perbandingan Tegangan dengan Ketinggian Pengasapan

Untuk modulus elastisitas dari material komposit hibrid serat pinang dan serat sabut kelapa dengan matrik *polyster* tipe BQTN 157 dan *hardener* MEKPO W digambarkan dalam bentuk diagram garis seperti pada gambar berikut ini.

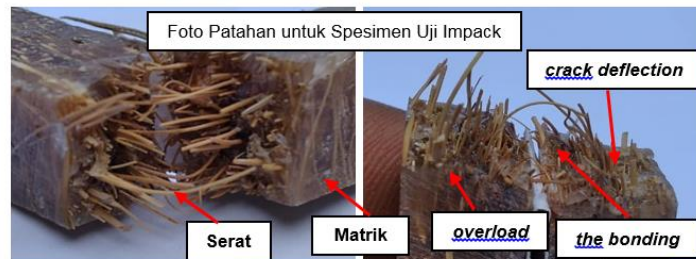


Gambar 9. Grafik perbandingan Elastisitas dengan Ketinggian Pengasapan

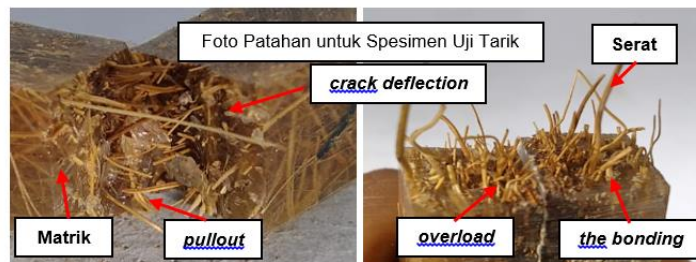
3.3 Struktur Makro Komposit (Hasil Foto Patahan)

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati struktur ikatan komposit hibrid serat pinang dan serat sabut kelapa dengan matrik *polyster* tipe BQTN 157 dan *hardener* MEKPO W yang

dilakukan melalui ketinggian pengasapan dan dicetak tekan pres sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan komposit hibryd tersebut. Pengujian ini menggunakan alat kamera Hand Phone Samsung A30 dengan resolusi 16 MP di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Dayanu Ikhsanuddin Baubau. Pada Pengujian ini dilakukan pengamatan pada bentuk patahan dari salah satu spesimen pengujian impact dan pengujian tarik.



Gambar 10. Salah satu Spesimen Uji Impact



Gambar 11. Salah satu Spesimen Uji Tarik

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data pada komposit hibrid serat pinang dan sabut kelapa dengan variasi ketinggian pengasapan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sifat Impact: Variasi ketinggian pengasapan berpengaruh signifikan terhadap kemampuan penyerapan energi. Nilai energi serap dan harga impact tertinggi diperoleh pada ketinggian pengasapan 130 cm dengan nilai sebesar 2,7034 Joule dan 0,0263 J/mm². Sebaliknya, nilai terendah ditemukan pada ketinggian 70 cm dengan energi serap 1,9114 Joule dan harga impact 0,0173 J/mm². Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian 130 cm memberikan perlakuan panas yang lebih optimal tanpa merusak struktur serat.
2. Sifat Tarik: Ketinggian pengasapan juga berbanding lurus dengan kekuatan tarik komposit. Tegangan tarik dan modulus elastisitas tertinggi dicapai pada ketinggian 130 cm, masing-masing sebesar 15,5015 N/mm² dan 3659,8573 N/mm². Sementara itu, nilai tegangan tarik terendah terjadi pada ketinggian 70 cm (13,0380 N/mm²) dan modulus elastisitas terendah pada ketinggian 100 cm (1221,0344 N/mm²).
3. Morfologi Patahan: Hasil pengamatan pada permukaan patahan menunjukkan bahwa kegagalan didominasi oleh fenomena fiber pull out, debonding, overload, dan crack deflection.

Karakteristik patahan ini mengindikasikan bahwa serat pinang dan sabut kelapa memiliki sifat yang kuat namun getas, di mana mekanisme *crack deflection* (pengalihan retak) menunjukkan peran serat dalam menghambat laju kerusakan pada matriks komposit.

4.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan rentang ketinggian yang lebih besar (misalnya 160 cm, 190 cm, dst.) untuk menemukan titik puncak (*peak*) sebelum nilai mekaniknya mulai menurun kembali.
2. Gunakan alat pengukur suhu (termokopel) di setiap variasi ketinggian selama proses pengasapan agar hubungan antara suhu spesifik dan kerusakan/kekuatan serat dapat dijelaskan secara lebih akurat secara termodinamika.
3. Dilakukan pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) untuk melihat perubahan gugus fungsi kimia serat setelah diasap, dan uji TGA (*Thermogravimetric Analysis*) untuk melihat ketahanan panas serat tersebut.
4. Meneliti pengaruh penggunaan jenis bahan bakar yang berbeda (misalnya tempurung kelapa vs kayu keras) terhadap efektivitas modifikasi permukaan serat pinang dan sabut kelapa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, F., & Mahyudin, A. (2022). Pengaruh Komposisi Serat Sabut Kelapa dan Pinang terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Papan Beton Ringan dengan Fly Ash sebagai Filler. 11(1), 8–14.
- Arsyad, M. (2016). Efek Perendaman Serat Sabut Kelapa dalam Larutan Alkali Terhadap Daya Serap Serat Sabut Kelapa pada Matriks Poliester. 3(April), 15–19.
- Arsyad, M., & Kondo, Y. (2020). Efek Perlakuan Natrium Hidroksida Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Serat Sabut Kelapa. 16–21.
- Bifel, R. D. N., & Erich U.K. Maliwemu, D. G. H. A. (2015). Pengaruh Perlakuan Alkali Serat Sabut Kelapa terhadap Kekuatan Tarik Komposit Polyester. 02(01), 61–68.
- Dwi, S., Dynanty, P., & Mahyudin, A. (2018). Pengaruh Panjang Serat Pinang Terhadap Sifat Mekanik dan Uji Biodegradasi Material Komposit Matriks Epoksi dengan Penambahan Pati Talas. 7(3), 233–239.
- HIDAYAT, R. R. (2022). Studi Pengaruh Lama Waktu Perlakuan Plasma Dielectric Barrier Discharge Pada Serat Sabut Kelapa Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Sabut Kelapa/Pva. Universitas Brawijaya.
- M, A. R. A., Balfas, M., Pasdah, A., & Efendi, R. (2021). Sifat mekanik material komposit serat buah pinang (*Areca catchu*) bermatriks polimer resin dan katalis. 16(2), 1–4.
- MASYKUR, A. (2022). Pengaruh Perendaman Serat Bambu Pada Larutan Alkali Terhadap Sifat Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Impak Komposit Berpenguat Serat Bambu. Universitas Tida.
- Mawardi, I., Rizal, A., Mesin, J. T., & Lhokseumawe, P. N. (2017). Kajian perlakuan serat sabut kelapa terhadap sifat mekanis komposit epoksi serat sabut kelapa. 15.

- Nisa', U. (2018). Pembuatan Komposit Material Peredam Akustik Berbahan Dasar Dari Serat Sabut Kelapa, Pelepah Pisang, Lidah Mertua Dan Epoxy Resin. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Randi Siregar, I., Fa'iz Alfatih, M., & Alimi, S. (2022). Eksperimen Uji Kekuatan Tarik Komposit Dengan Resin Epoxy Dan Penguat Serat Kulit Singkong Menggunakan Metode Hand Lay Up. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 220–226. <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.610>
- Susanto, J. (2019). Efek heat treatment terhadap kekuatan impact komposit alam. 19(1), 20–33.