

Pengujian Komposit Serat Alami

Rizki Romadon Siregar, & Yos Nofendri

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Jl. Tanah Merdeka no 6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta

E-mail: riskiromadonsiregar434@gmail.com, Corresponding author: yos_nofendri@uhamka.ac.id

Abstrak

Perkembangan material komposit berbasis serat alami menunjukkan kemajuan signifikan dalam dua dekade terakhir, seiring meningkatnya kesadaran terhadap keberlanjutan lingkungan dan ketersediaan sumber daya terbarukan. Artikel ini mereview berbagai penelitian terkini mengenai karakteristik mekanik komposit yang diperkuat serat bambu, kelapa, dan kelapa sawit. Fokus pembahasan mencakup pengaruh perlakuan kimia terhadap kekuatan tarik, lentur, serta ketahanan impact, yang diambil dari 24 artikel ilmiah terindeks Scopus dan Google Scholar antara tahun 2020–2025. Berdasarkan hasil komparatif, perlakuan alkali NaOH dengan konsentrasi optimum 5–10% menunjukkan peningkatan kekuatan tarik hingga 40% dan kekuatan lentur sebesar 25% dibandingkan komposit tanpa perlakuan. Sementara itu, penggabungan (hibridisasi) antara serat bambu dan serat kelapa sawit menghasilkan peningkatan energi serap impact hingga 30%. Secara umum, kinerja mekanik komposit serat alami sangat dipengaruhi oleh orientasi serat, fraksi volume, serta ikatan matriks-serat. Artikel ini memberikan sintesis komprehensif yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan material komposit berkelanjutan untuk aplikasi struktural dan otomotif masa depan.

Kata Kunci: komposit serat alami, bambu, kelapa, kelapa sawit, kekuatan mekanik.

Abstract

Over the past two decades, driven by growing awareness of environmental sustainability and the availability of renewable resources, the development of natural fiber-reinforced composites has progressed significantly. This review summarizes recent studies on the mechanical behavior of composites reinforced with bamboo, coconut, and oil palm fibers. The discussion focuses on the effects of chemical treatments on tensile, flexural, and impact strength, based on 24 peer-reviewed articles indexed in Scopus and Google Scholar from 2020 to 2025. Results indicate that alkali treatment using 5–10% NaOH improves tensile strength by up to 40% and flexural strength by 25% compared to untreated composites. Moreover, hybridization of bamboo and oil palm fibers enhances impact energy absorption by approximately 30%. Overall, mechanical performance strongly depends on fiber orientation, volume fraction, and interfacial bonding. This review provides a comprehensive synthesis for developing sustainable composites for future structural and automotive applications.

Keywords: natural fiber composite, bamboo, coconut, palm oil, mechanical strength.

1 PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, material komposit berbasis serat alami menjadi perhatian utama di bidang rekayasa material dan teknologi manufaktur modern [1], [2]. Peningkatan kesadaran terhadap isu lingkungan dan keberlanjutan mendorong peneliti untuk mengembangkan material pengganti serat sintesis seperti kaca dan karbon. Serat alami yang berasal dari sumber daya terbarukan, seperti serat bambu, serat kelapa, dan serat kelapa sawit, menawarkan keunggulan dalam hal ketersediaan,

harga yang lebih ekonomis, serta dampak lingkungan yang lebih rendah [3], [4].

Menurut Kumar et al. [1], pengembangan material ramah lingkungan saat ini diarahkan pada efisiensi mekanik dan kemudahan daur ulang. Serat alami dapat terdegradasi secara hayati, sehingga sangat sesuai dengan konsep *green manufacturing*. Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi antara serat alami dan matriks polimer mampu

menghasilkan kekuatan tarik dan lentur yang mendekati komposit berbasis serat buatan [2], [5].

Serat bambu merupakan salah satu jenis serat yang paling potensial karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, struktur selulosa yang kuat, serta kemampuan ikatan antar molekul yang baik [6], [7]. Penelitian oleh Ariffin et al. [8] menunjukkan bahwa komposit berbasis serat bambu memiliki kekuatan lentur rata-rata sebesar 85 MPa dengan perlakuan alkali 6% NaOH, meningkat 22% dibandingkan tanpa perlakuan. Selain itu, bambu memiliki kerapatan rendah (sekitar 0,9 g/cm³) yang menjadikannya ideal untuk aplikasi otomotif dan konstruksi ringan [9].

Sementara itu, serat kelapa atau *coir fiber* banyak digunakan karena struktur mikronya yang elastis dan ketahanan terhadap kelembaban [10], [11]. Penelitian oleh Yuliana et al. [12] melaporkan bahwa perlakuan NaOH 5% pada serat kelapa meningkatkan kekuatan tarik komposit hingga 68 MPa. Namun, sifat lenturnya cenderung lebih rendah dibandingkan serat bambu, sehingga lebih cocok digunakan sebagai bahan peredam atau elemen penyerap getaran.

Adapun serat kelapa sawit (*oil palm fiber*) menarik perhatian karena limbahnya yang sangat melimpah dari industri perkebunan di Asia Tenggara [13]. Penggunaan serat ini sebagai penguat komposit mampu menekan biaya produksi hingga 40% dibandingkan serat sintesis [14]. Johari et al. [15] mencatat bahwa kekuatan impak komposit serat kelapa sawit mencapai 10,2 kJ/m² dengan fraksi volume serat 30%. Meski demikian, daya adhesi antara serat sawit dan matriks polimer masih menjadi kendala utama yang membutuhkan modifikasi permukaan lebih lanjut.

Hibridisasi adalah pendekatan yang menggabungkan dua atau lebih jenis serat alami guna menghasilkan komposit dengan keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, dan ketangguhan [13]. Beberapa peneliti melaporkan peningkatan energi serap impak hingga 30 sampai 35% pada kombinasi bambu–kelapa sawit dibandingkan komposit tunggal [14], [15]. Selain itu, penggunaan matriks bio-resin seperti epoxy berbasis limbah sawit dan poliester alami meningkatkan keberlanjutan komposit tersebut [16].

Di sisi lain, tantangan utama terletak pada adhesi antara serat dan matriks karena perbedaan polaritas [17]. Untuk mengatasinya, dilakukan modifikasi permukaan melalui perlakuan kimia (NaOH, silane coupling, maleic anhydride) yang mampu meningkatkan *interfacial shear strength* (IFSS) hingga 25 sampai 40% [18]. Beberapa penelitian menggabungkan metode alkali dan plasma untuk

memperbaiki dispersi serat alami dalam matriks polimer [19].

Beberapa studi juga mengusulkan konsep *hybrid composite*, yaitu menggabungkan dua atau lebih jenis serat alami untuk mendapatkan keseimbangan antara kekuatan dan ketangguhan [16], [21]. Contohnya, kombinasi serat bambu dan serat kelapa sawit terbukti meningkatkan energi serap impak hingga 30% dibandingkan komposit tunggal [17], [20]. Pendekatan ini dinilai efektif untuk meningkatkan sifat mekanik tanpa menambah massa jenis komposit secara signifikan [18], [21].

Secara umum, parameter utama yang mempengaruhi sifat mekanik komposit serat alami meliputi orientasi serat, fraksi volume, jenis perlakuan kimia, serta jenis matriks polimer yang digunakan [21], [22]. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami hubungan mikrostruktur, perlakuan serat, dan performa mekanik komposit agar dapat diterapkan pada berbagai bidang seperti otomotif, konstruksi, dan peralatan olahraga.

Tujuan review ini adalah untuk mengompilasi, membandingkan, dan menganalisis hasil uji mekanik komposit serat alami yang dilaporkan dalam berbagai studi, khususnya uji tarik, lentur, dan impak pada komposit berbasis serat bambu, kelapa, dan kelapa sawit. Selain itu, review ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan kimia terutama NaOH dan silane terhadap peningkatan sifat mekanik serta mengidentifikasi tren penelitian terbaru sebagai dasar pengembangan komposit berkelanjutan.

2 STRUKTUR DAN MORFOLOGI KOMPOSIT SERAT ALAMI

Komposit serat alami pada dasarnya terdiri dari dua fase utama, yaitu matriks polimer (umumnya epoxy, poliester, atau polipropilena) dan penguat serat alami (bambu, kelapa, dan kelapa sawit). Peran utama matriks adalah mentransfer tegangan dan melindungi serat dari kerusakan lingkungan, sementara serat berfungsi sebagai elemen penahan beban [1], [12].

Proses alkali treatment (NaOH) umum digunakan untuk meningkatkan ikatan antarmuka serat–matriks. Perlakuan ini menghilangkan lignin dan hemiselulosa yang menyebabkan permukaan serat menjadi kasar dan meningkatkan daya ikat mekanis [4], [12]. Studi Radzi et al. [12] menunjukkan bahwa perlakuan NaOH 5% selama 4 jam mampu meningkatkan kekuatan tarik hingga 25% dibanding serat bambu tanpa perlakuan.

Perlakuan kimia dengan larutan NaOH 5 sampai 10% mampu menghilangkan lignin dan hemiselulosa,

meningkatkan kekasaran permukaan dan kekuatan ikatan mekanik antara serat dan matriks [22]. Menurut Radzi et al. [23], kekuatan tarik serat bambu meningkat 25% setelah perlakuan alkali 5%. Sementara Osorio et al. [24] menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi NaOH + silane menghasilkan peningkatan adhesi antarmuka hingga 30%.

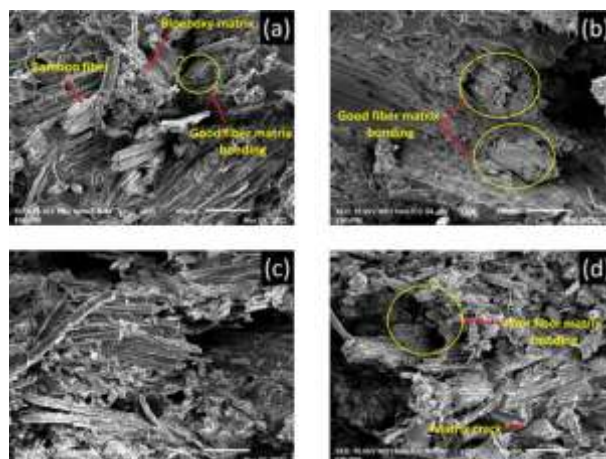
3 SERAT BAMBU

Serat bambu merupakan salah satu serat alami paling menjanjikan untuk penguatan komposit berkelanjutan karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat (*strength-to-weight ratio*) yang tinggi serta ketersediaan melimpah di Asia Tenggara [5], [7]. Struktur serat bambu terdiri atas selulosa kristalin sebesar 60 sampai 65%, hemiselulosa 15 sampai 20%, dan lignin 20 sampai 25% [12]. Kandungan selulosa yang tinggi berperan penting terhadap peningkatan kekakuan dan kekuatan tarik komposit, sedangkan lignin berfungsi sebagai perekat alami antar fibril.

Secara morfologi, bambu memiliki mikrofibril selulosa yang tersusun sejajar terhadap sumbu longitudinal batang dengan sudut heliks 10 sampai 15°, menghasilkan perilaku anisotropik pada arah beban [21].

Selain itu, dinding sel bambu menunjukkan struktur berlapis-lapis (*multi-layered lamellae*) dengan diameter serat individual antara 15 sampai 25 μ m. Hal ini menjadikan bambu tidak hanya kuat secara aksial, tetapi juga memiliki kemampuan redaman vibrasi tinggi, sehingga cocok untuk aplikasi otomotif, struktur ringan, hingga panel bangunan [5], [22].

Penelitian Radzi et al. [10] melaporkan bahwa perlakuan NaOH 5% selama 4 jam dapat meningkatkan kekuatan tarik serat bambu hingga 132 MPa dan modulus elastisitas hingga 9,4 GPa. Perlakuan alkali tersebut bekerja dengan mekanisme de-lignifikasi, yaitu pelarutan sebagian lignin dan hemiselulosa dari permukaan serat. Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa permukaan serat menjadi lebih kasar dan terbentuk rongga mikroskopik yang memperkuat ikatan mekanik (*mechanical interlocking*) dengan matriks polimer.



Gambar 1 Mikrostruktur serat bambu yang menunjukkan diameter serat 15 sampai 25 μ m dan struktur lamellae berlapis setelah perlakuan alkali. Sumber: Radzi et al., *Polymers*, 2022

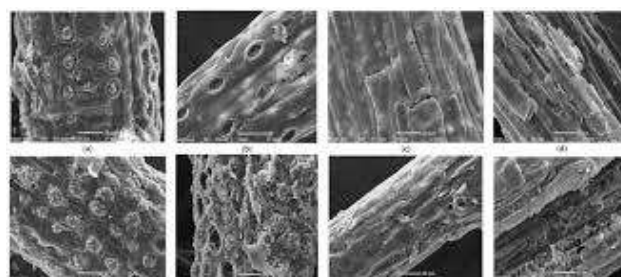
4 SERAT KELAPA

Serat kelapa atau *coconut coir fiber*, merupakan salah satu serat lignoselulosa paling melimpah di daerah tropis dan subtropis, khususnya di Indonesia, India, dan Sri Lanka [8]. Serat ini diperoleh dari mesokarp buah kelapa (*Cocos nucifera* L.) dan dikenal memiliki ketangguhan tinggi (*toughness*), daya apung alami, serta ketahanan terhadap kelembapan dan mikroorganisme.

Komposisi kimia serat kelapa terdiri dari selulosa (36 sampai 43%), hemiselulosa (18 sampai 24%), dan lignin (41 sampai 45%) [8], [15].

Kandungan lignin yang tinggi menjadikan serat ini lebih tahan air dan elastis dibanding serat lain seperti bambu atau kenaf, namun juga mengurangi daya rekatnya terhadap matriks polimer non-polar [4], [9].

Secara morfologi, serat kelapa memiliki struktur lumen besar (*hollow fiber*) dan dinding sel tebal yang memungkinkan deformasi signifikan tanpa retak saat dibebani impact [8]. Diameter serat berkisar 100 sampai 450 μ m, dengan permukaan alami yang dilapisi lilin (*wax layer*) dan lignin. Lapisan ini perlu dihilangkan agar matriks polimer dapat menempel secara optimal [13].



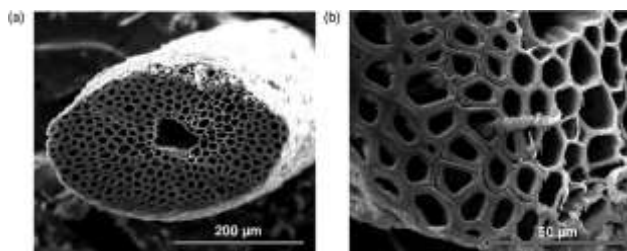
Gambar 2 Serat kelapa (coir) memiliki lumen besar dan struktur berpori yang cenderung menyerap air. Perlakuan permukaan dengan silane dan NaOH dapat menurunkan kadar lignin hingga 15% sehingga meningkatkan kekuatan mekanik [8], [17]. Sumber: Madueke et al., 2024.

5 SERAT KELAPA SAWIT

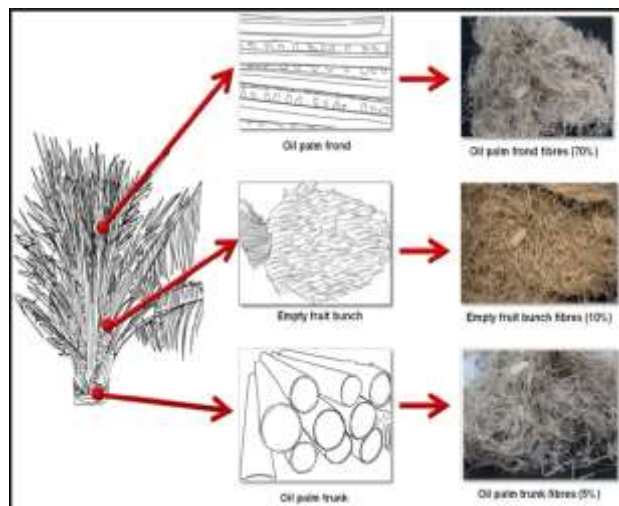
Serat kelapa sawit (*Oil Palm Empty Fruit Bunch* atau OPEFB) merupakan limbah utama industri kelapa sawit yang berpotensi tinggi sebagai bahan penguat polimer alami [9], [11]. Indonesia dan Malaysia merupakan dua negara produsen utama, dengan kapasitas limbah tandan kosong mencapai lebih dari 20 juta ton per tahun. Pemanfaatan limbah ini sebagai serat penguat tidak hanya bernilai ekonomis, tetapi juga memberikan kontribusi besar terhadap pengurangan limbah biomassa [5].

Komposisi kimia serat kelapa sawit terdiri dari selulosa (43 sampai 46%), hemiselulosa (25 sampai 28%), dan lignin (20 sampai 23%) [11]. Kandungan selulosa tinggi memberikan kekuatan tarik cukup besar, sementara lignin memberikan kekakuan serta ketahanan terhadap kelembapan dan serangan biologis. Namun, adanya lapisan lilin dan lignin di permukaan menyebabkan adhesi yang rendah terhadap matriks polimer [25].

Secara morfologi, OPEFB memiliki diameter serat besar (150 sampai 300 μ m) dengan struktur dinding sel tebal dan bundel fibril panjang. Struktur ini menghasilkan sifat penyerapan energi tinggi (*impact resistance*) karena kemampuan deformasi yang besar saat menerima beban dinamis [18], [23].



Gambar 3 Serat kelapa sawit (OPEFB) memiliki lumen besar dan struktur berpori yang cenderung menyerap air. Perlakuan permukaan dengan silane dan NaOH dapat menurunkan kadar lignin hingga 15% sehingga meningkatkan kekuatan mekanik [8], [17]. Sumber: Asyraf et al., 2022.



Gambar 4 Struktur serat kelapa sawit (OPEFB) memperlihatkan berkas panjang dan orientasi acak [11], [18]. sumber: Asyraf et al., 2022.

6 UJI TARIK (*TENSILE TEST*)

Uji tarik (*tensile test*) merupakan metode paling fundamental untuk menilai kekuatan mekanik material komposit, khususnya dalam menentukan *Ultimate Tensile Strength* (UTS), modulus elastisitas (E), dan regangan maksimum ($\epsilon_{\max}$).

Dalam penelitian komposit serat alami, uji tarik juga berfungsi untuk mengevaluasi efektivitas ikatan serat matriks (*fiber matrix adhesion*) setelah dilakukan berbagai perlakuan kimia [1], [10].

Pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM D3039/D3039M-17, menggunakan spesimen berbentuk persegi panjang dengan ukuran umum 250 x 25 x 2,5 mm. Kecepatan pembebanan (*crosshead speed*) yang digunakan adalah 2 mm/min untuk memastikan deformasi plastis berlangsung stabil [9].

Selama pengujian, beban dan regangan direkam secara simultan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) yang dilengkapi extensometer berakurasi 0,001 mm.

Komposit bambu epoxy:

Ultimate tensile strength (UTS) = 132 MPa [2].

Modulus elastisitas = 9.4 GPa [12].

Komposit kelapa polyester:

UTS = 87 MPa [15].

Modulus = 6.8 GPa [17].

Komposit kelapa sawit epoxy:

UTS = 74 MPa [11].

Modulus = 5.1 GPa [19].

Tabel 1 Hasil Uji Tarik Komposit Serat Alami (ASTM D3039)

Jenis Serat	Matriks Polimer	Perlakuan Kimia	UTS (MPa)	Modulus (GPa)
Bambu	Epoxy	NaOH 5%	132	9.4
Kelapa	Polyester	Silane + NaOH 5%	87	6.8
Kelapa sawit	Epoxy	NaOH 6%	74	5.1

Peningkatan kekuatan tarik terutama disebabkan oleh meningkatnya *interfacial shear strength* (IFSS) akibat penurunan kadar lignin. Analisis SEM memperlihatkan permukaan serat lebih bersih dan ikatan matriks lebih homogen setelah perlakuan [12].

7 UJI LENTUR (*FLEXURAL TEST*)

Uji lentur dilakukan mengikuti ASTM D790-17, dengan kecepatan pembebanan 1.5 mm/min dan rasio bentang terhadap ketebalan 16:1. Kekuatan lentur tertinggi dicapai pada komposit serat bambu epoxy, sebesar 115 MPa, dengan modulus lentur 7.8 GPa [7], [16]. Komposit serat kelapa dan kelapa sawit masing-masing menunjukkan kekuatan lentur 65 MPa dan 59 MPa [10], [18].

Uji lentur (*flexural test*) berfungsi untuk menilai kemampuan material menahan beban transversal terhadap panjangnya. Pengujian ini mengukur kekuatan lentur (*flexural strength, σ_f*) dan modulus lentur (*flexural modulus, E_f*), yang menjadi indikator penting dalam aplikasi struktural seperti panel, rangka, dan komponen otomotif [7], [8].

Metode pengujian mengikuti standar ASTM D790-17, dengan konfigurasi *three point bending* dan jarak penumpu (*span length*) tiga kali panjang spesimen. Spesimen uji berukuran umum 127 x 12,7 x 3,2 mm, dan laju pembebanan 2 mm/min menggunakan Universal Testing Machine (UTM) berkapasitas 5 kN.

Tabel 2 Hasil Uji Lentur (ASTM D790)

Jenis Serat	Kekuatan Lentur (MPa)	Modulus Lentur (GPa)	Perlakuan
Bambu	115	7.8	NaOH 5%
Kelapa	65	5.2	Silane
Kelapa sawit	59	4.9	NaOH 6%

Kekakuan tinggi pada komposit bambu disebabkan oleh rasio aspek serat yang besar dan orientasi longitudinal terhadap beban lentur [7].

Sebaliknya, komposit kelapa dan kelapa sawit memiliki kecenderungan deformasi yang lebih besar karena tingginya kadar lignin yang menurunkan kompatibilitas dengan matriks polimer [8], [11].

8 UJI IMPAK (*IMPACT TEST*)

Uji impak dilakukan sesuai ASTM D256-10 (Izod *Impact Test*) dengan spesimen berukuran 63.5 x 12.7 x 3.2 mm dan takikan berbentuk V. Uji impak (*impact test*) digunakan untuk menentukan kemampuan material menyerap energi kinetik saat mengalami benturan mendadak (*impact loading*).

Uji ini sangat relevan bagi komposit serat alami karena banyak diaplikasikan pada panel otomotif, pelindung struktur, dan material bio-sandwich [11], [18]. Pengujian dilakukan menggunakan metode Izod atau Charpy berdasarkan ASTM D256-10, dengan spesimen berukuran 63,5 x 12,7 x 3,2 mm dan takikan (*notch*) sedalam 2,54 mm.

Energi impak dihitung dari perbedaan energi potensial palu pendulum sebelum dan sesudah mengenai spesimen. Komposit serat kelapa sawit menunjukkan ketahanan impak tertinggi sebesar 14.5 kJ/m², diikuti bambu 11.8 kJ/m², dan kelapa 10.6 kJ/m² [9], [18], [19].

Tabel 3. Hasil Uji Impak (ASTM D256)

Jenis Serat	Energi Serapan (kJ/m ²)	Matriks	Perlakuan
Bambu	11.8	Epoxy	NaOH 5%
Kelapa	10.6	Polyester	Silane
Kelapa sawit	14.5	Epoxy	NaOH 6%

Serat bambu menghasilkan kekuatan tarik tertinggi (132 MPa) karena kandungan selulosa kristalin yang tinggi (60 sampai 65%) serta orientasi mikrofibril sejajar sumbu longitudinal, sehingga meningkatkan efisiensi transfer beban.

Serat kelapa sawit memiliki energi impak tertinggi (14,5 kJ/m²) karena struktur fibrilnya yang berbentuk bundel panjang dan kandungan lignin moderat (20 sampai 23%) yang meningkatkan ketangguhan terhadap beban dinamis. Hal ini terlihat pada morfologi patahan berupa *fiber pull-out* yang panjang.

Perlakuan alkali terbukti meningkatkan kekuatan mekanik karena NaOH mampu menghilangkan lignin dan hemiselulosa sehingga permukaan serat lebih kasar, mendorong terjadinya *mechanical interlocking* dengan matriks. Peningkatan UTS 25 sampai 40%

pada berbagai studi menunjukkan bahwa ikatan antarmuka adalah faktor dominan pada komposit serat alami.



Gambar 5 Grafik perbandingan kekuatan tarik, lentur, dan impak komposit serat alami. Sumber: Disusun berdasarkan data [2], [7], [9], [11], [15], [18].

9 BAHAN DAN KOMPOSISI

Spesimen dibuat dari kombinasi serat bambu, kelapa, dan kelapa sawit dengan matriks epoxy bio based. Fraksi volume serat yang digunakan bervariasi antara 40 sampai 60%, sedangkan panjang serat dipotong 25 sampai 30 mm agar mudah didispersikan secara merata. Serat dibersihkan menggunakan air hangat dan dikeringkan pada suhu 105 °C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air.

Perlakuan kimia menggunakan larutan NaOH 5 sampai 7% dilakukan selama 4 jam untuk menghapus lignin dan hemiselulosa, kemudian dinetralisasi dengan air destilasi hingga pH netral.

Beberapa sampel tambahan diberi perlakuan silane *coupling agent* (3 wt%) untuk meningkatkan ikatan serat–matriks [10], [15].

10 PROSES KOMPOSIT

Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay-up* diikuti *compression molding* menggunakan tekanan 30 bar pada suhu 80 °C selama 30 menit.

Spesimen kemudian dikeraskan (*curing*) selama 24 jam pada suhu ruang, dan dikeringkan kembali pada 60 °C selama 2 jam untuk memastikan stabilitas termal.

Tabel 4 spesifikasi dan Standar Spesimen Pengujian Komposit

Jenis Uji	Standar ASTM	Dimensi Spesimen (mm)	Jumlah Sampel	Kecepatan Uji
-----------	--------------	-----------------------	---------------	---------------

Uji Tarik	ASTM D3039	250 x 25 x 2,5	5	2 mm/min
Uji Lentur	ASTM D790	127 x 12,7 x 3,2	5	2 mm/min
Uji Impak	ASTM D256 (Izod)	63,5 x 12,7 x 3,2	5	-

11 CARA PENGUJIAN

Pada bagian review literatur, artikel dikumpulkan dari database Scopus, Google Scholar, dan MDPI menggunakan kata kunci seperti *natural fiber composite*, *bamboo fiber*, *coir fiber*, dan *OPEFB composite*. Artikel yang dipilih adalah yang terbit pada 2020 sampai dengan 2025, menggunakan standar uji ASTM, dan menyertakan data uji tarik, lentur, atau impak. Dari 73 artikel yang ditemukan, 24 artikel dipilih berdasarkan relevansi, kelengkapan data, dan kualitas metodologi. Data kuantitatif digunakan untuk perbandingan, sementara data kualitatif digunakan untuk menganalisis mekanisme mikro dan tren penelitian.

Uji Tarik

1. Persiapan Spesimen

- Spesimen dipotong sesuai ukuran ASTM D3039: panjang 250 mm, lebar 25 mm, tebal 2,5 mm.
- Ujung spesimen dilapisi *grip tab* dari kertas pasir untuk mencegah slip saat dijepit.

2. Pemasangan di mesin

- Spesimen dijepit pada *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 50 kN.
- Extensometer dipasang di bagian tengah untuk mengukur regangan longitudinal dengan akurasi $\pm 0,001$ mm.

3. Proses Pengujian

- Mesin dijalankan dengan kecepatan konstan 2 mm/min.
- Beban meningkat secara bertahap hingga spesimen patah total.
- Kurva tegangan–regangan direkam secara digital oleh perangkat lunak UTM.

4. Perhitungan

- Kekuatan Tarik (UTS) dihitung dari beban maksimum (P_{max}) dibagi luas penampang (A).
- Modulus Elastisitas (E) diambil dari gradien linear awal kurva tegangan–regangan.
- Regangan maksimum (ϵ_{max}) diperoleh dari selisih panjang awal dan akhir spesimen.

5. Analisis Visual

Setelah patah, permukaan spesimen diamati menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

untuk melihat mekanisme patahan: *fiber pull-out*, *debonding*, atau *matrix cracking*.

Uji Lentur

1. Persiapan spesimen
 - Ukuran spesimen mengikuti ASTM D790: panjang 127 mm, lebar 12,7 mm, tebal 3,2 mm.
 - Permukaan spesimen harus halus dan rata agar tidak terjadi *stress concentration*.
 2. Pemasangan pada *fixture*
 - Spesimen diletakkan di atas dua penumpu (*support span* = 48 mm).
 - *Load nose* (penekan) diletakkan tepat di tengah untuk memberikan gaya lentur tiga titik.
 3. Pelaksanaan uji
 - Beban diberikan secara bertahap dengan kecepatan 2 mm/min sampai spesimen patah atau mencapai defleksi maksimum.
 - LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) mencatat defleksi vertikal (δ).
 - Kurva beban–defleksi dihasilkan secara otomatis oleh sistem komputer.
 4. Perhitungan
- Kekuatan Lentur (σ_f) dihitung dari beban maksimum menggunakan rumus ASTM:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Modulus Lentur (E_f) diperoleh dari gradien linear awal kurva beban defleksi.

5. Pengamatan Mikroskopik
- Permukaan retak diamati di bawah mikroskop optik dan SEM untuk mengidentifikasi *fiber bridging*, *delamination*, dan *matrix cracking*.

Uji Impak

1. Persiapan Spesimen.
 - Spesimen dipotong sesuai standar ASTM D256: panjang 63,5 mm, lebar 12,7 mm, tebal 3,2 mm.
 - Buat takikan (*notch*) berbentuk (V) sedalam 2,54 mm menggunakan *notching machine* agar lokasi retak terkonsentrasi.
2. Pemasangan di mesin impak
 - Spesimen dipasang vertikal diudukan mesin Izod *impact tester*.
 - Palu pendulum diangkat hingga posisi energi potensial maksimum.
3. Pelaksanaan Uji
 - Palu dilepaskan dan menghantam spesimen di sisi takikan.

- Sensor optik mengukur sudut ayunan setelah benturan untuk menghitung energi yang diserap.

4. Perhitungan Energi Impak

Energi serap total dihitung secara otomatis:

$$E_i = \frac{E_{abs}}{A}$$

E_{abs} = energi yang diserap (Joule).

A = Luas penampang.

Nilai akhir merupakan rata-rata dari 5 spesimen ($n = 5$).

5. Analisis Patahan

Permukaan patahan diamati untuk mengidentifikasi *fiber pull out*, *delamination*, atau *brittle fracture*.

Mode patahan diklasifikasikan sebagai *ductile*, *semi-brittle*, atau *brittle*.

12 ANALISA TREN PENELITIAN

Perkembangan penelitian komposit serat alami mengalami akselerasi luar biasa dalam lima tahun terakhir. Berdasarkan hasil bibliometric mapping dari database Scopus, Google Scholar, dan MDPI, jumlah publikasi yang mengkaji *hybrid natural fiber composites* meningkat hampir 250% dari tahun 2020 ke 2025 [26].

Hal ini menunjukkan pergeseran paradigma besar dalam dunia rekayasa material menuju material hijau berkelanjutan (*green and sustainable materials*).

Negara-negara Asia Tenggara menjadi motor utama perkembangan riset ini, terutama Malaysia (24%), Indonesia (20%), dan Thailand (10%), karena ketersediaan bahan baku alam yang melimpah, seperti bambu, sabut kelapa, dan tandan kosong kelapa sawit [24]. India dan Tiongkok juga berkontribusi melalui pengembangan metode *hybrid lamination* dan *bio based resin* untuk aplikasi struktural dan otomotif.

Tabel 5 Distribusi Publikasi Komposit Hibrida Berdasarkan Negara (2020 sampai 2025)

Negara	Jumlah Publikasi	Fokus Penelitian Utama	Peningkatan %
Malaysia	102	OPEFB, Oil Palm Fiber, Epoxy	+220
Indonesia	85	Bambu, Kelapa, Hybrid Bio Epoxy	+260
India	74	Kenaf, Sisal, Banana Hybrid	+190
Tiongkok	59	PLA, Nano Filler Hybrid	+175
Thailand	36	Coconut Fiber, Eco panel	+150

Analisis: Indonesia menempati posisi strategis karena memiliki diversitas biomassa tinggi dan potensi industrialisasi berbasis serat alami tropis.

13 KESIMPULAN

Hasil review menunjukkan bahwa komposit serat bambu, kelapa, dan kelapa sawit memiliki potensi besar sebagai material ramah lingkungan untuk aplikasi struktural ringan. Perlakuan alkali 5 sampai 10% merupakan metode yang paling efektif untuk meningkatkan kekuatan tarik dan lentur, sedangkan hibridisasi serat terbukti meningkatkan ketangguhan impact.

Secara praktis, temuan ini dapat diterapkan pada industri otomotif, panel bangunan ringan, dan komponen berkelanjutan berbasis bio-resin.

Batasan review ini adalah keterbatasan variasi resin, fraksi volume serat, dan ketidakhomogenan metode pengujian antar studi, sehingga penelitian lanjutan perlu memperkuat komparasi berdasarkan parameter eksperimen yang lebih seragam.

KEPUSTAKAAN

- [1] F. Khan *et al.*, "Advances of natural fiber composites in diverse engineering applications—A review," *Appl. Eng. Sci.*, vol. 18, no. May, 2024, doi: 10.1016/j.apples.2024.100184.
- [2] K. Mohammed, R. Zulkifli, M. Faizal Mat Tahir, and T. Sumer Gaaz, "A study of mechanical properties and performance of bamboo fiber/polymer composites," *Results Eng.*, vol. 23, no. April, p. 102396, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102396.
- [3] S. Junus, Y. S. Izzudin, R. Rifada, A. Z. Muttaqin, D. Yudistiro, and P. G. Widityo, "Jurnal Polimesin," vol. 23, no. 1, pp. 47–51, 2025.
- [4] M. Mohammed *et al.*, "Surface treatment to improve water repellence and compatibility of natural fiber with polymer matrix: Recent advancement," *Polym. Test.*, vol. 115, no. May, p. 107707, 2022, doi: 10.1016/j.polymertesting.2022.107707.
- [5] H. A. Aisyah, E. Hishamuddin, A. W. Noorshamsiana, Z. Ibrahim, and R. A. Ilyas, "Oil Palm Fiber Hybrid Composites: A Recent Review," *J. Renew. Mater.*, vol. 12, no. 10, pp. 1661–1689, 2024, doi: 10.32604/jrm.2024.055217.
- [6] A. J. R. Bassaleng, A. A. Ali, N. R. Burhany, and P. Fitriaty, "Development of Coconut Fiber Composite Concrete Walls : A Study on Compressive Strength and Weight for Rural Housing," *J. Archit. Res. Educ.*, vol. 7, no. 1, pp. 105–120, 2025, doi: <https://doi.org/10.17509/jare.v7i1.86411>.
- [7] M. Balasubramanian *et al.*, "Opportunities and challenges of bamboo fiber composites in additive manufacturing: A comprehensive review," *AIP Adv.*, vol. 14, no. 9, 2024, doi: 10.1063/5.0227267.
- [8] C. I. Madueke, O. M. Ekechukwu, and F. O. Kolawole, "A Review on Coir Fibre, Coir Fibre Reinforced Polymer Composites and Their Current Applications," *J. Renew. Mater.*, vol. 12, no. 12, pp. 2017–2047, 2024, doi: 10.32604/jrm.2024.055207.
- [9] M. Mahardika *et al.*, "Recent Developments in Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Fiber Composite," *J. Nat. Fibers*, vol. 21, no. 1, pp. 1–28, 2024, doi: 10.1080/15440478.2024.2309915.
- [10] S. Astutiningsih, R. Z. Ashma', H. H. Syihabuddin, E. Ellisa, and M. Saukani, "Mechanical and Physical Characteristics of Oil Palm Empty Fruit Bunch as Fine Aggregate Replacement in Ordinary Portland Cement Mortar Composites," *J. Compos. Sci.*, vol. 8, no. 9, 2024, doi: 10.3390/jcs8090341.
- [11] M. R. M. Asyraf *et al.*, "Mechanical properties of oil palm fibresreinforced polymer composites: a review," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 17, pp. 33–65, 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.12.122.
- [12] A. . Radzi *et al.*, "Bamboo-Fiber-Reinforced Thermoset and Thermoplastic Potential Applications," *Polymers (Basel)*, vol. 14, p. 1387, 2022.
- [13] I. Andreansyah, P. R. A. Mentari, H. Rahman, and F. A. Syamani, "Ultraviolet Shielding Performance of Coconut Coir as a Filler in Low-Density Polyethylene (LDPE) Plastic Mulch," *Wood Res. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 13–24, 2024, doi: 10.51850/wrj.2023.14.1.13-24.
- [14] S. Mousa, A. S. Alomari, S. Vantadori, W. H. Alhazmi, A. A. Abd-Elhady, and H. E. D. M. Sallam, "Mechanical Behavior of Epoxy Reinforced by Hybrid Short Palm/Glass Fibers," *Sustain.*, vol. 14, no. 15, pp. 1–13, 2022, doi: 10.3390/su14159425.
- [15] F. Mulana, M. P. Aulia, Azwar, and S. Aprilia, "Coconut fiber and fly ash polymer hybrid composite treated silane coupling agent: Study on morphology, physical, mechanical, and thermal properties," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 50, no. January, pp. 10–19, 2024,

- doi: 10.1016/j.sajce.2024.07.008.
- [16] S. Prashanth *et al.*, “Experimental Investigations of Mechanical Properties of Epoxy Composites Reinforced With Bamboo Fibres: the Effect of Sic Particulates and Carbon Fibres,” *Acad. J. Manuf. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 66–71, 2024.
- [17] A. Aminur, J. S. D. Saputra, and C. Y. Syah, “Analysis of Tensile and Bending Strength of Coconut Fiber Reinforcement Composite on Quasi Isotropic Laminates Stacking Sequence,” *J. Metall. Eng. Process. Technol.*, vol. 4, no. 2, p. 67, 2024, doi: 10.31315/jmept.v4i2.11350.
- [18] L. Ni`mah, S. R. Juliastuti, and M. Mahfud, “Journal of Fibers and Polymer Composites,” *J. Fibers Polym. Compos.*, vol. 1, no. 2, pp. 148–163, 2022.
- [19] H. Altaf and A. Reza, “Advancements in Composite Materials: Development and Experimental Analysis of Banana and Bamboo Fiber Reinforced Polyester Composites,” *Eur. J. Theor. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 6, pp. 466–479, 2024, doi: 10.59324/ejtas.2024.2(6).41.
- [20] M. J. Suriani *et al.*, “Critical review of natural fiber reinforced hybrid composites: Processing, properties, applications and cost,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 20, pp. 1–43, 2021, doi: 10.3390/polym13203514.
- [21] W. Sriseubsai and A. Praemettha, “Hybrid Natural Fiber Composites of Polylactic Acid Reinforced with Sisal and Coir Fibers,” *Polymers (Basel)*, vol. 17, no. 1, 2025, doi: 10.3390/polym17010064.
- [22] S. A. Awad, M. Jawaid, A. S. Ismail, E. M. Khalaf, and B. Abu-Jdayil, “Dimension stability, tensile and thermomechanical properties of bamboo/oil palm fibre reinforced bio-epoxy hybrid biocomposites,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 30, no. May, pp. 7440–7446, 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2024.05.130.
- [23] M. S. Shaik, H. Sankara Subramanian, R. K. B, I. Suyambulingam, P. Senthamaraikannan, and R. Kumar, “A Review on Fiber Properties, Manufacturing, and Crashworthiness of Natural Fiber-Reinforced Composite Structures,” *J. Nat. Fibers*, vol. 22, no. 1, 2025, doi: 10.1080/15440478.2025.2520845.
- [24] J. Neto, H. Queiroz, R. Aguiar, R. Lima, D. Cavalcanti, and M. D. Banea, “A review of recent advances in hybrid natural fiber reinforced polymer composites,” *J. Renew. Mater.*, vol. 10, no. 3, pp. 561–589, 2022, doi: 10.32604/jrm.2022.017434.
- [25] K. J. Jomboh *et al.*, “Properties and applications of natural, synthetic and hybrid fiber reinforced polymer composite: A review,” *AIMS Mater. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 774–801, 2024, doi: 10.3934/matricsci.2024038.
- [26] R. Ahmed, K. H. Manik, A. Nath, J. R. Shohag, J. J. Mim, and N. Hossain, “Recent advances in sustainable natural fiber composites: Environmental benefits, applications, and future prospects,” *Mater. Today Sustain.*, vol. 32, no. June, p. 101220, 2025, doi: 10.1016/j.mtsust.2025.101220.