

KARAKTERISTIK MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT POLYESTER BERPENGUAT SABUT KELAPA UNTUK APLIKASI SPORT SCREEN VESPA

Muhamad Iqbal

Universitas Negeri Yogyakarta¹, Yogyakarta, Indonesia
lqbaal.mhd28@gmail.com

Informasi Artikel	Abstract
<p>Vol: 3 No : 1 Januari 2026 Halaman : 8-19</p> <p>Keywords: natural fiber composite, coconut coir, mechanical properties, microstructure, Vespa sport screen.</p>	<p><i>The development of natural fiber-based composite materials has become a strategic approach to supporting sustainability in the automotive industry through the utilization of renewable resources. This study aims to analyze the effect of varying volume fractions of coconut coir fiber combined with fiberglass on the mechanical properties and microstructural characteristics of polyester matrix composites, as well as to evaluate their feasibility as materials for Vespa sport screen applications. The research was conducted experimentally by varying the volume fractions of coconut coir fiber and fiberglass. Prior to fabrication, the coconut coir fibers were subjected to alkali treatment using a 5% NaOH solution and subsequently neutralized with a 1% acetic acid solution to enhance fiber-matrix adhesion. Composite specimens were manufactured using the hand lay-up method for mechanical testing, while the sport screen prototype was produced using the vacuum infusion method. Mechanical characterization included tensile and flexural tests in accordance with ASTM standards, and microstructural analysis was performed using optical microscopy. The results indicate that variations in fiber volume fraction significantly influence tensile strength, flexural strength, and the quality of fiber-matrix interfacial bonding. An optimal fiber fraction resulted in a more homogeneous fiber distribution and minimized void formation. The findings show that the composition of 10% coconut coir fiber and 20% fiberglass provided the best mechanical performance, indicating that this hybrid composite has strong potential as a lightweight, sustainable, and mechanically viable alternative material for non-structural automotive components such as Vespa sport screens.</i></p>

Abstrak

Pengembangan material komposit berbasis serat alam menjadi pendekatan strategis dalam mendukung keberlanjutan industri otomotif melalui pemanfaatan sumber daya terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat sabut kelapa yang dikombinasikan dengan fiberglass terhadap sifat mekanik dan struktur mikro komposit bermatriks polyester, serta mengevaluasi kelayakannya sebagai material sport screen Vespa. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi fraksi volume serat sabut kelapa dan fiberglass. Serat sabut kelapa terlebih dahulu diberi perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH 5% dan dinetralkan dengan asam asetat 1% untuk meningkatkan adhesi serat-matriks. Spesimen komposit dibuat menggunakan metode *hand lay-up* untuk pengujian mekanik, sedangkan prototipe sport screen diproduksi menggunakan metode *vacuum infusion*. Pengujian sifat mekanik meliputi uji tarik dan uji lentur berdasarkan standar ASTM, serta analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi fraksi volume serat berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kualitas ikatan antarmuka serat-matriks. Fraksi serat yang optimal menghasilkan distribusi serat yang lebih homogen dan meminimalkan pembentukan *void*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass menghasilkan performa mekanik terbaik, sehingga komposit hibrida ini berpotensi diaplikasikan sebagai material alternatif yang ringan, berkelanjutan, dan layak secara mekanis untuk komponen otomotif non-struktural seperti sport screen Vespa.

Kata Kunci: komposit serat alam, sabut kelapa, sifat mekanik, struktur mikro, sport screen Vespa.

PENDAHULUAN

Industri otomotif global saat ini menghadapi tuntutan yang semakin kuat untuk mengembangkan material yang tidak hanya memenuhi aspek fungsional dan estetika, tetapi juga selaras dengan prinsip keberlanjutan lingkungan. Ketergantungan yang tinggi terhadap material berbasis polimer sintetis dan plastik turunan minyak bumi telah berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon, konsumsi energi fosil, serta akumulasi limbah yang sulit terurai. Kondisi ini mendorong pergeseran paradigma material menuju pemanfaatan sumber daya terbarukan, khususnya melalui pengembangan komposit berbasis serat alam yang memiliki jejak lingkungan lebih rendah dan potensi keberlanjutan yang lebih baik (Mohanty et al., 2018).

Komposit serat alam telah banyak dikaji sebagai alternatif material sintetis dalam aplikasi otomotif non-struktural karena menawarkan kombinasi antara bobot ringan, rasio kekuatan terhadap berat yang memadai, biaya produksi relatif rendah, serta ketersediaan bahan baku yang melimpah (Pickering et al., 2016; Faruk et al., 2012). Dalam konteks otomotif, komposit serat alam umumnya diaplikasikan pada komponen yang tidak menanggung beban struktural utama, seperti panel interior, trim eksterior, dan pelindung angin, yang tetap menuntut ketahanan mekanik terhadap beban aerodinamis dan faktor lingkungan (Santoso et al., 2021).

Salah satu serat alam yang berpotensi dikembangkan sebagai penguat komposit adalah sabut kelapa. Sabut kelapa memiliki kandungan lignin yang relatif tinggi, elastisitas yang baik, serta ketahanan terhadap kelembapan dan degradasi biologis, sehingga sesuai untuk aplikasi otomotif non-struktural (Ali et al., 2012). Sebagai limbah pertanian yang tersedia melimpah di negara tropis seperti Indonesia, pemanfaatan sabut kelapa sebagai penguat komposit tidak hanya memberikan nilai tambah ekonomi, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah dan peningkatan keberlanjutan material.

Meskipun demikian, berbagai penelitian menunjukkan bahwa performa mekanik komposit berbasis serat alam sangat dipengaruhi oleh fraksi volume serat dan kualitas ikatan antarmuka antara serat dan matriks. Distribusi serat yang tidak homogen, impregnasi resin yang kurang optimal, serta terbentuknya porositas sering kali menjadi faktor pembatas dalam mencapai kekuatan tarik dan lentur yang optimal (Mallick, 2017; Pickering et al., 2016). Selain itu, sebagian besar kajian komposit sabut kelapa masih berfokus pada karakterisasi material pada skala laboratorium, tanpa mengaitkannya secara langsung dengan kebutuhan dan tuntutan aplikasi produk otomotif tertentu. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian yang mengintegrasikan evaluasi sifat mekanik, analisis struktur mikro, dan implementasi pada komponen otomotif nyata.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat sabut kelapa yang dikombinasikan dengan fiberglass terhadap sifat mekanik dan struktur mikro komposit bermatriks polyester, serta menilai kelayakannya sebagai material alternatif untuk aplikasi sport screen Vespa. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi yang menggabungkan pengujian mekanik berbasis standar ASTM, analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik, serta validasi aplikasi melalui pembuatan dan evaluasi prototipe komponen otomotif non-struktural. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah yang lebih komprehensif dalam pengembangan material komposit berkelanjutan berbasis sumber daya lokal untuk aplikasi otomotif ringan.

TINJAUAN PUSTAKA & LANDASAN TEORI

Komposit Berbasis Serat Alam dalam Aplikasi Otomotif

Material komposit berbasis serat alam berkembang pesat sebagai alternatif material sintetis dalam aplikasi otomotif non-struktural karena memiliki keunggulan berupa bobot ringan, ketersediaan bahan baku terbarukan, serta dampak lingkungan yang lebih rendah. Secara konseptual, komposit merupakan material rekayasa yang tersusun atas matriks polimer dan bahan penguat yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan material penyusunnya secara individual. Dalam konteks otomotif, komposit serat alam banyak diaplikasikan pada komponen interior dan eksterior non-

struktural, seperti panel pintu, trim interior, dan pelindung angin, yang tidak memerlukan kekuatan struktural tinggi tetapi menuntut ketahanan terhadap beban aerodinamis dan faktor lingkungan.

Penggunaan serat alam sebagai penguat komposit memberikan keuntungan signifikan dari sisi rasio kekuatan terhadap berat dan efisiensi energi kendaraan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa komposit serat alam mampu mengurangi bobot kendaraan tanpa mengorbankan fungsi mekanis dasar, sehingga berkontribusi pada peningkatan efisiensi bahan bakar dan penurunan emisi karbon. Oleh karena itu, pengembangan komposit serat alam tidak hanya dipandang sebagai inovasi material, tetapi juga sebagai bagian dari transisi industri otomotif menuju sistem produksi yang lebih berkelanjutan.

Sabut Kelapa sebagai Penguat Komposit

Sabut kelapa merupakan salah satu serat alam yang memiliki potensi besar sebagai bahan penguat komposit karena kandungan lignin yang relatif tinggi, elastisitas yang baik, serta ketahanan terhadap kelembapan dan mikroorganisme. Karakteristik ini menjadikan sabut kelapa sesuai untuk aplikasi otomotif non-struktural yang memerlukan material ringan dengan kemampuan deformasi yang cukup baik. Selain itu, sabut kelapa tersedia melimpah sebagai limbah pertanian di negara tropis seperti Indonesia, sehingga pemanfaatannya sebagai material komposit memberikan nilai tambah ekonomi sekaligus mengurangi beban lingkungan akibat limbah organik yang tidak termanfaatkan.

Namun demikian, serat sabut kelapa memiliki sifat hidrofilik yang dapat menurunkan kualitas ikatan dengan matriks polimer berbasis hidrofobik. Ketidakesesuaian antarmuka ini berpotensi menurunkan kekuatan mekanik komposit dan meningkatkan risiko terbentuknya porositas. Oleh karena itu, pengolahan awal serat menjadi faktor kunci dalam meningkatkan performa komposit berbasis sabut kelapa.

Pengaruh Perlakuan Kimia terhadap Ikatan Serat–Matriks

Perlakuan kimia menggunakan larutan alkali, khususnya NaOH, merupakan metode yang paling umum digunakan untuk meningkatkan kualitas antarmuka antara serat alam dan matriks polimer. Perlakuan ini bertujuan untuk menghilangkan lignin, hemiselulosa, dan kotoran permukaan serat, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan dan memperbaiki adhesi mekanis dengan matriks. Proses alkalisasi juga berkontribusi pada peningkatan eksposur selulosa, yang berperan penting dalam transfer beban antara serat dan matriks.

Selain perlakuan alkali, tahap penetralan menggunakan larutan asam asetat diperlukan untuk menghilangkan residu basa yang dapat menyebabkan degradasi serat dan ketidakstabilan kimia. Kombinasi perlakuan NaOH dan penetralan asam terbukti mampu meningkatkan kekuatan tarik dan lentur komposit serat alam, serta menghasilkan distribusi serat yang lebih homogen. Dengan demikian, perlakuan kimia serat menjadi prasyarat penting dalam pengembangan komposit sabut kelapa yang ditujukan untuk aplikasi otomotif.

Peran Fraksi Volume Serat terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro

Fraksi volume serat merupakan parameter kritis yang menentukan kinerja mekanik dan kualitas struktur mikro komposit. Peningkatan fraksi volume serat umumnya berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan material hingga batas tertentu, karena serat berperan sebagai elemen utama dalam menahan beban. Namun, fraksi serat yang terlalu tinggi dapat menghambat proses impregnasi resin, meningkatkan risiko terbentuknya *void*, dan menurunkan homogenitas struktur mikro.

Dalam komposit berbasis serat alam, keseimbangan antara fraksi serat dan matriks menjadi sangat penting untuk memastikan transfer beban yang efektif dan meminimalkan cacat internal. Struktur mikro yang homogen dengan ikatan antarmuka yang baik akan menghasilkan sifat mekanik yang lebih stabil dan dapat diprediksi. Oleh karena itu, analisis hubungan antara fraksi volume serat, sifat mekanik, dan struktur mikro menjadi landasan teoritis utama dalam mengevaluasi kelayakan komposit sabut kelapa untuk aplikasi sport screen Vespa.

Berdasarkan uraian teoritis tersebut, hubungan antara fraksi volume serat, kualitas ikatan matriks–serat, struktur mikro, sifat mekanik, dan kelayakan aplikasi dapat dirangkum dalam suatu kerangka konseptual sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 Diagram konseptual hubungan fraksi volume serat, kualitas ikatan matriks–serat, struktur mikro, sifat mekanik, dan kelayakan aplikasi komposit sebagai sport screen Vespa.



Relevansi Komposit Sabut Kelapa untuk Aplikasi Sport Screen Vespa

Sport screen Vespa merupakan komponen otomotif non-struktural yang berfungsi sebagai pelindung angin sekaligus elemen estetika kendaraan. Material untuk komponen ini harus memenuhi kriteria ringan, cukup kuat terhadap beban aerodinamis, tahan terhadap paparan lingkungan, serta memungkinkan pembentukan desain yang presisi. Komposit berbasis sabut kelapa memenuhi sebagian besar kriteria tersebut, terutama dari sisi bobot ringan dan keberlanjutan material.

Integrasi antara karakteristik mekanik yang memadai, struktur mikro yang homogen, serta proses manufaktur yang sesuai menjadikan komposit sabut kelapa sebagai kandidat material alternatif untuk sport screen Vespa. Dengan memanfaatkan sumber daya lokal dan teknologi komposit yang relatif sederhana, pengembangan material ini berpotensi mendukung inovasi produk otomotif berkelanjutan sekaligus memperluas pemanfaatan serat alam dalam aplikasi industri.

METODE

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serat sabut kelapa terhadap sifat mekanik dan struktur mikro komposit bermatriks polyester. Pendekatan eksperimental dipilih untuk memperoleh data kuantitatif yang terukur dan dapat direproduksi, khususnya terkait kekuatan tarik, kekuatan lentur, serta kualitas ikatan antarmuka serat–matriks. Penelitian dirancang dengan memvariasikan komposisi serat sebagai variabel bebas, sementara sifat mekanik dan karakteristik struktur mikro komposit sebagai variabel terikat.

Bahan dan Perlakuan Serat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi serat sabut kelapa sebagai penguat utama, fiberglass sebagai penguat tambahan, dan resin polyester sebagai matriks. Serat sabut kelapa diperoleh dari limbah pertanian, kemudian melalui proses pembersihan dan pengeringan sebelum digunakan. Untuk meningkatkan kualitas ikatan antara serat dan matriks, serat sabut kelapa diberi perlakuan kimia

menggunakan larutan NaOH 5%. Perlakuan alkali ini bertujuan untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa pada permukaan serat, sehingga meningkatkan kekasaran permukaan dan adhesi mekanis dengan matriks.

Setelah proses alkalisasi, serat dinetralkan menggunakan larutan asam asetat 1% untuk menghilangkan residu basa dan menjaga stabilitas kimia serat. Serat kemudian dikeringkan hingga mencapai kondisi siap digunakan dalam proses fabrikasi komposit. Perlakuan kimia ini diharapkan mampu menghasilkan ikatan antarmuka serat–matriks yang lebih baik dan meminimalkan terjadinya kegagalan adhesi pada komposit.

Variasi Fraksi Volume Serat

Variasi fraksi volume serat diterapkan untuk mengevaluasi pengaruh komposisi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro komposit. Komposit dibuat dengan beberapa kombinasi fraksi volume serat sabut kelapa dan fiberglass, sementara fraksi matriks polyester disesuaikan untuk menjaga total volume komposit tetap konstan. Variasi fraksi volume ini dirancang untuk mengidentifikasi komposisi optimal yang mampu menghasilkan sifat mekanik terbaik dengan struktur mikro yang homogen dan minim porositas.

Proses Fabrikasi Komposit

Pembuatan spesimen uji mekanik dilakukan menggunakan metode *hand lay-up* karena metode ini memungkinkan pengendalian distribusi serat dan ketebalan material secara fleksibel pada skala laboratorium. Serat sabut kelapa dan fiberglass disusun sesuai variasi fraksi volume yang telah ditentukan, kemudian diresapi dengan resin polyester hingga merata sebelum proses *curing*.

Untuk pembuatan prototipe sport screen Vespa, digunakan metode *vacuum infusion* guna memperoleh kualitas permukaan yang lebih baik dan meminimalkan pembentukan *void*. Metode ini memungkinkan impregnasi resin yang lebih merata ke dalam susunan serat melalui tekanan vakum, sehingga menghasilkan komposit yang lebih padat dan homogen. Perbedaan metode fabrikasi ini bertujuan untuk menyesuaikan kebutuhan pengujian mekanik dan aplikasi produk nyata.

Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik komposit meliputi uji tarik dan uji lentur yang dilakukan sesuai standar ASTM. Uji tarik dilakukan untuk menentukan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan elongasi material, sedangkan uji lentur digunakan untuk mengevaluasi ketahanan komposit terhadap beban lentur. Setiap variasi fraksi volume serat diuji menggunakan tiga spesimen untuk memperoleh data yang representatif dan mengurangi pengaruh variasi eksperimental.

Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk mengamati distribusi serat, kualitas ikatan antarmuka serat–matriks, serta keberadaan porositas dalam komposit. Pengamatan dilakukan pada permukaan spesimen yang telah dipersiapkan dengan pembesaran tertentu untuk memperoleh gambaran yang jelas mengenai morfologi internal komposit. Hasil pengamatan struktur mikro digunakan untuk mendukung interpretasi hasil uji mekanik dan menjelaskan hubungan antara fraksi volume serat, kualitas antarmuka, dan performa mekanik material.

Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian mekanik dianalisis secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan nilai kekuatan tarik dan lentur pada setiap variasi fraksi volume serat. Hubungan antara variasi komposisi, sifat mekanik, dan struktur mikro dianalisis secara kualitatif untuk mengidentifikasi kecenderungan performa material dan menentukan komposisi serat yang paling optimal untuk aplikasi sport screen Vespa.

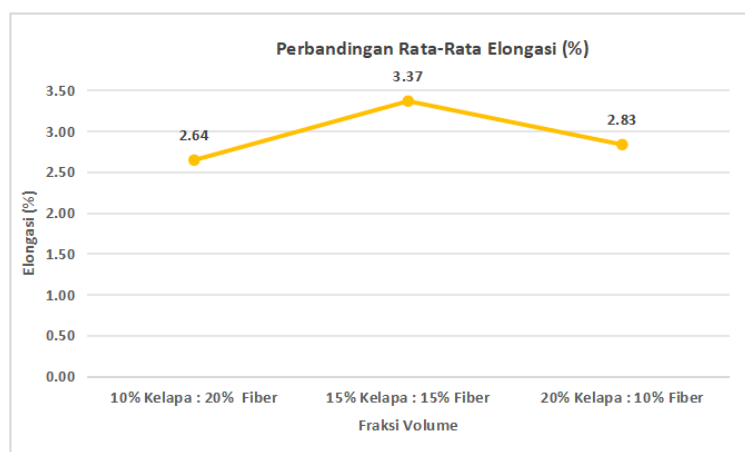
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik Komposit

Pengujian kekuatan tarik bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan komposit sabut kelapa–fiberglass dalam menahan beban tarik hingga terjadinya kegagalan material. Pengujian dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan standar ASTM D638 pada spesimen komposit dengan variasi fraksi volume serat yang berbeda. Variasi komposisi ini digunakan untuk menilai pengaruh perbandingan sabut kelapa dan fiberglass terhadap perilaku tarik komposit.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi fraksi volume serat memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat tarik komposit, yang meliputi elongasi, modulus elastisitas, *yield strength*, dan *tensile strength*. Secara umum, perubahan proporsi serat alam dan serat sintetis menghasilkan respons mekanik yang berbeda akibat perbedaan karakteristik intrinsik kedua jenis serat tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

Gambar 2 Hubungan variasi fraksi volume serat terhadap elongasi komposit

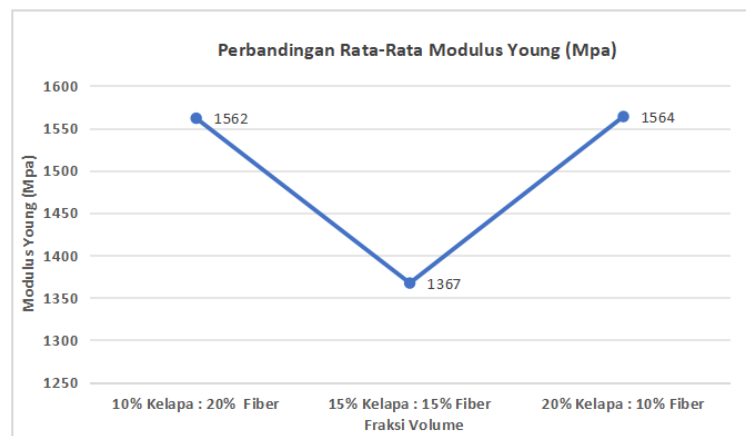


Sumber: Data diolah Peneliti (2025)

Hasil pengujian elongasi rata-rata komposit ditunjukkan pada Gambar 2. Variasi komposisi 15% sabut kelapa : 15% fiberglass menunjukkan nilai elongasi tertinggi sebesar 3,37%, diikuti oleh variasi 20% sabut kelapa : 10% fiberglass sebesar 2,83%, dan nilai terendah pada variasi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass sebesar 2,64%. Pola ini menunjukkan bahwa keseimbangan fraksi serat alam dan serat sintetis pada komposisi 15% : 15% menghasilkan kemampuan regangan yang lebih baik sebelum terjadinya kegagalan.

Nilai elongasi yang lebih tinggi pada variasi 15% : 15% mengindikasikan meningkatnya keuletan material akibat kontribusi sabut kelapa sebagai serat alam yang memiliki sifat lebih fleksibel dibandingkan serat sintetis. Sebaliknya, penurunan elongasi pada komposisi dengan dominasi fiberglass menunjukkan kecenderungan material menjadi lebih kaku, sehingga mengalami kegagalan pada regangan yang lebih rendah. Temuan ini menunjukkan adanya hubungan trade-off antara keuletan dan kekakuan pada komposit hibrida sabut kelapa–fiberglass.

Gambar 3 Hubungan variasi fraksi volume serat terhadap modulus elastisitas komposit

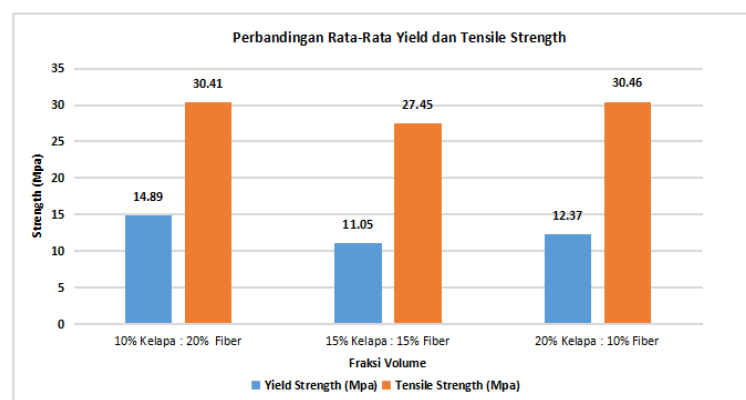


Sumber: Data diolah Peneliti (2025)

Perbandingan nilai Modulus Young rata-rata komposit ditunjukkan pada Gambar 3. Variasi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass menghasilkan nilai modulus sebesar 1562 MPa, sedangkan variasi 15% sabut kelapa : 15% fiberglass menunjukkan nilai modulus terendah sebesar 1367 MPa. Nilai modulus kembali meningkat pada variasi 20% sabut kelapa : 10% fiberglass hingga mencapai 1564 MPa.

Pola perubahan modulus elastisitas ini menunjukkan kecenderungan non-linear terhadap variasi fraksi volume serat. Penurunan modulus pada komposisi 15% : 15% mengindikasikan bahwa peningkatan fraksi sabut kelapa menyebabkan penurunan kekakuan material akibat struktur serat alam yang lebih fleksibel dan kurang homogen. Sebaliknya, peningkatan kembali modulus pada komposisi 20% : 10% menunjukkan adanya keseimbangan antara fleksibilitas sabut kelapa dan kekakuan fiberglass, sehingga menghasilkan material dengan kekakuan yang relatif lebih baik.

Gambar 4 Pengaruh variasi fraksi volume serat sabut kelapa–fiberglass terhadap *yield* dan *tensile strength* komposit bermatriks polyester



Sumber: Data diolah Peneliti (2025)

Nilai *yield strength* dan *tensile strength* rata-rata komposit ditunjukkan pada Gambar 4. Kekuatan tarik tertinggi sebesar 30,41 MPa diperoleh pada komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass, yang menunjukkan bahwa dominasi fiberglass berperan penting dalam meningkatkan kemampuan komposit menahan beban tarik. fiberglass memiliki modulus elastisitas yang tinggi dan orientasi serat yang lebih seragam, sehingga mampu mentransfer beban dari matriks ke serat secara lebih efisien.

Penurunan kekuatan tarik pada variasi 15% sabut kelapa : 15% fiberglass hingga 27,45 MPa, dengan nilai *yield strength* 11,05 MPa, menunjukkan bahwa keseimbangan antara serat alam dan serat sintetis pada komposisi ini belum menghasilkan struktur komposit yang optimal. Permukaan sabut kelapa yang tidak

homogen menyebabkan penyerapan resin yang kurang merata, sehingga terbentuk area lemah (*weak points*) pada matriks yang mempercepat inisiasi retak mikro.

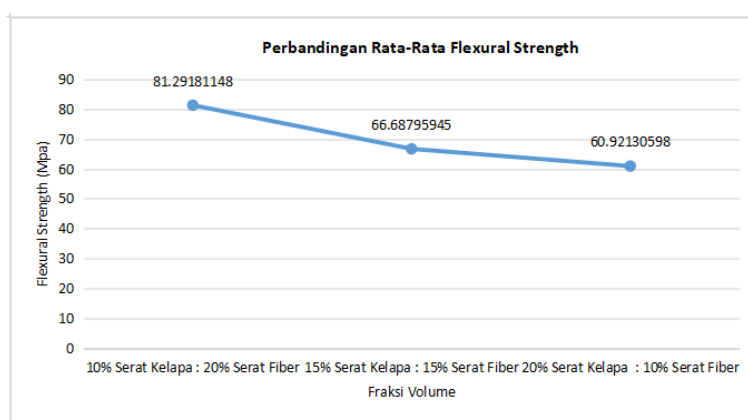
Pada variasi 20% sabut kelapa : 10% fiberglass, kekuatan tarik kembali meningkat hingga 30,46 MPa dengan *yield strength* 12,37 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa fraksi sabut kelapa yang lebih tinggi masih dapat menghasilkan komposit dengan kekuatan tarik yang baik apabila distribusi serat merata dan proses impregnasi resin berlangsung optimal. Komposisi ini mencerminkan keseimbangan antara kekakuan dan keuletan yang sesuai untuk aplikasi otomotif ringan.

Hasil Uji Lentur Komposit

Uji lentur dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan komposit sabut kelapa–fiberglass dalam menahan beban lentur hingga terjadi kerusakan pada bagian tengah spesimen. Pengujian mengacu pada standar ASTM D790 dengan jarak tumpuan 80 mm, bertujuan untuk menilai pengaruh variasi fraksi volume serat terhadap ketahanan lentur komposit serta peran kombinasi serat alam dan serat sintetis dalam memperkuat struktur laminat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi fraksi volume serat berpengaruh signifikan terhadap nilai *flexural strength* komposit. Nilai rata-rata kekuatan lentur tertinggi diperoleh pada komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass, yaitu sebesar 81,29 MPa, diikuti oleh variasi 15% sabut kelapa : 15% fiberglass sebesar 66,68 MPa, dan nilai terendah pada komposisi 20% sabut kelapa : 10% fiberglass sebesar 60,92 MPa. Tren penurunan kekuatan lentur seiring meningkatnya proporsi serat sabut kelapa ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 Pengaruh variasi fraksi volume serat sabut kelapa–fiberglass terhadap kekuatan lentur komposit bermatriks polyester



Sumber: Data diolah Peneliti (2025)

Peningkatan kekuatan lentur pada komposisi dengan dominasi fiberglass menunjukkan bahwa serat sintetis berperan penting dalam meningkatkan kekakuan laminat dan kemampuan komposit dalam menahan momen lentur. fiberglass yang memiliki modulus elastisitas tinggi dan ikatan yang baik dengan resin poliester mampu mendistribusikan tegangan lentur secara lebih merata. Sebaliknya, peningkatan fraksi sabut kelapa yang bersifat lebih fleksibel dan memiliki diameter serat tidak seragam menyebabkan kualitas impregnasi resin menurun, sehingga terbentuk area lemah yang menurunkan ketahanan lentur material.

Secara umum, hasil uji lentur konsisten dengan hasil uji tarik, di mana komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass memberikan performa mekanik terbaik. Kombinasi tersebut menghasilkan keseimbangan optimal antara kekuatan, kekakuan, dan adhesi matriks–serat, sehingga paling sesuai untuk aplikasi otomotif non-struktural seperti sport screen Vespa.

Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 100× dan 200× untuk menganalisis distribusi serat, kualitas impregnasi resin poliester, serta keberadaan *void* atau ketidaksempurnaan mikro pada komposit. Analisis struktur mikro ini bertujuan untuk mengkaji keterkaitan antara konfigurasi fraksi volume serat, kualitas ikatan matriks–serat, dan performa mekanik komposit yang diperoleh dari pengujian tarik dan lentur.

Gambar 6 Struktur Mikro Komposit 10% Kelapa : 20% Fiberglass



Sumber: Dokumentasi Peneliti (2025)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass, struktur mikro menampilkan distribusi serat yang relatif rapat dan homogen dengan orientasi acak yang saling bersilangan (Gambar 6). Diameter serat berada dalam rentang yang relatif seragam, serta tidak ditemukan *void* berukuran besar di antara susunan serat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses impregnasi resin berlangsung optimal, sehingga terbentuk ikatan matriks–serat yang baik. Struktur mikro yang padat dan minim cacat ini sejalan dengan hasil uji mekanik yang menunjukkan nilai kekuatan tarik dan lentur tertinggi pada komposisi tersebut.

Gambar 7 Struktur Mikro Komposit 15% Kelapa : 15% Fiberglass



Sumber: Dokumentasi Peneliti (2025)

Pada komposisi 15% sabut kelapa : 15% fiberglass, struktur mikro masih menunjukkan pola orientasi serat yang cukup merata dan impregnasi resin yang relatif baik (Gambar 7). Namun, variasi diameter serat yang lebih lebar dan tumpukan serat alam yang tidak sepenuhnya homogen berpotensi menciptakan ketidakraturan mikro pada antarmuka serat–matriks. Kondisi ini dapat menurunkan efisiensi transfer beban, yang tercermin dari penurunan nilai kekuatan tarik dan lentur dibandingkan komposisi dengan dominasi fiberglass.

Gambar 8 Struktur Mikro Komposit 20% Kelapa : 10% Fiberglass



Sumber: Dokumentasi Peneliti (2025)

Sementara itu, pada komposisi 20% sabut kelapa : 10% fiberglass, struktur mikro memperlihatkan dominasi serat sabut kelapa dengan orientasi acak yang masih relatif rapat (Gambar 8). Meskipun impregnasi resin tampak cukup baik dan tidak ditemukan *void* besar, karakter serat sabut kelapa yang lebih fleksibel dan berdiameter tidak seragam menyebabkan penurunan kekakuan struktural laminat. Hal ini berimplikasi pada penurunan kekuatan lentur dan tarik, meskipun material menunjukkan kecenderungan perilaku yang lebih ulet.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan struktur mikro mengonfirmasi bahwa kualitas distribusi serat dan impregnasi resin merupakan faktor kunci dalam menentukan performa mekanik komposit. Komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass menunjukkan struktur mikro paling ideal dengan distribusi serat yang homogen, ikatan antarmuka yang baik, dan minim cacat, sehingga mampu mendukung efisiensi transfer beban pada pembebanan tarik maupun lentur. Temuan ini memperkuat hasil pengujian mekanik dan menegaskan kelayakan komposisi tersebut untuk aplikasi otomotif non-struktural seperti sport screen Vespa.

Evaluasi Visual dan Dye Penetrant sebagai Validasi Aplikasi

Evaluasi visual dan uji dye penetrant dilakukan sebagai tahap validasi tambahan untuk menilai kualitas permukaan komposit dan kelayakannya sebagai material aplikasi sport screen Vespa. Pengujian ini tidak dimaksudkan sebagai uji utama, melainkan sebagai pelengkap untuk mengonfirmasi hasil uji mekanik dan pengamatan struktur mikro, khususnya terkait kemungkinan adanya cacat permukaan yang dapat memengaruhi performa dan keamanan penggunaan.

Gambar 9 Evaluasi prototipe sebagai validasi aplikasi



Sumber: Dokumentasi Peneliti (2025)

Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa permukaan komposit pada komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass tampak relatif halus, homogen, dan bebas dari cacat makroskopik seperti retak permukaan, delaminasi, maupun ketidakaturan lapisan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses fabrikasi, khususnya pada tahap impregnasi resin, berlangsung dengan baik dan menghasilkan kualitas permukaan yang layak untuk aplikasi otomotif non-struktural.

Uji dye penetrant yang dilakukan pada permukaan spesimen dan prototipe sport screen tidak menunjukkan adanya indikasi penetrasi zat warna pada area tertentu, yang menandakan tidak ditemukannya retak terbuka atau cacat permukaan signifikan. Hasil ini memperkuat temuan dari pengamatan struktur mikro dan pengujian mekanik yang menunjukkan bahwa komposisi optimal memiliki kualitas ikatan matriks-serat yang baik serta distribusi serat yang homogen. Dengan demikian, evaluasi visual dan dye penetrant ini mengonfirmasi bahwa komposit sabut kelapa-fiberglass dengan komposisi optimal layak diaplikasikan sebagai sport screen Vespa dari sisi kualitas permukaan dan keamanan penggunaan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi fraksi volume serat sabut kelapa dan fiberglass berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan karakteristik struktur mikro komposit bermatriks polyester. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass menghasilkan *tensile strength* dan *yield strength* tertinggi, yang mengindikasikan efisiensi transfer beban yang optimal antara matriks dan serat penguat. Dominasi fiberglass ber-modulus tinggi berperan penting dalam meningkatkan kekuatan tarik, sementara keberadaan sabut kelapa tetap memberikan kontribusi terhadap kestabilan struktur komposit.

Hasil uji lentur memperkuat temuan tersebut, di mana komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass juga menunjukkan *flexural strength* tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Peningkatan kekuatan lentur ini berkaitan erat dengan meningkatnya kekakuan laminat akibat kontribusi fiberglass, sedangkan peningkatan fraksi sabut kelapa cenderung menurunkan kekakuan material karena sifat serat alam yang lebih fleksibel dan tidak sepenuhnya homogen. Konsistensi antara hasil uji tarik dan uji lentur menegaskan bahwa komposisi tersebut merupakan konfigurasi paling optimal dari sisi kekuatan dan kekakuan mekanik.

Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik menunjukkan bahwa komposisi optimal memiliki distribusi serat yang homogen, impregnasi resin yang baik, serta minim porositas, sehingga mendukung terbentuknya ikatan antarmuka matriks-serat yang kuat. Struktur mikro yang relatif padat dan bebas cacat makro ini berkorelasi langsung dengan performa mekanik yang unggul pada pengujian tarik dan lentur. Sebaliknya, variasi dengan fraksi sabut kelapa yang lebih tinggi menunjukkan kecenderungan penurunan kekakuan struktural akibat karakter serat alam yang lebih fleksibel.

Sebagai validasi aplikasi, evaluasi visual dan uji dye penetrant pada prototipe sport screen Vespa menunjukkan tidak adanya cacat permukaan signifikan, seperti retak terbuka atau delaminasi. Hasil ini mengonfirmasi bahwa komposit dengan komposisi optimal tidak hanya unggul secara mekanis dan mikrostruktural, tetapi juga layak diaplikasikan dari sisi kualitas permukaan dan keamanan penggunaan. Dengan demikian, komposit hibrida sabut kelapa-fiberglass bermatriks polyester, khususnya pada komposisi 10% sabut kelapa : 20% fiberglass, berpotensi menjadi material alternatif yang ringan, ramah lingkungan, dan aplikatif untuk komponen otomotif non-struktural seperti sport screen Vespa.

REFERENCES

- Ali, M., Liu, A., Sou, H., & Chouw, N. (2012). Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 814–825. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.068>
- ASTM International. (2021a). *ASTM D638-21: Standard test method for tensile properties of plastics*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2021b). *ASTM D790-21: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552–1596. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>

- Fiore, V., Scalici, T., Valenza, A., & Di Bella, G. (2015). A review on basalt fibre and its composites. *Composites Part B: Engineering*, 74, 74–94. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.034>
- Hossain, M. K., Islam, M. A., & Rahman, M. M. (2021). Mechanical behavior of hybrid natural–synthetic fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 45, 558–563. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.187>
- Mallick, P. K. (2017). *Fiber-reinforced composites: Materials, manufacturing, and design* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Mohanty, A. K., Vivekanandhan, S., Pin, J. M., & Misra, M. (2018). Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations. *Science*, 362(6414), 536–542. <https://doi.org/10.1126/science.aat9072>
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>
- Putra, R. D. (2022). Pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat mekanik komposit hibrida sabut kelapa–fiberglass. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 85–92.
- Santoso, A., & Pratama, Y. (2021). Analisis kekuatan lentur komposit serat alam dan sintetis untuk aplikasi otomotif ringan. *Jurnal Rekayasa Material*, 6(1), 45–52.
- Santoso, S. P., Sapuan, S. M., & Ismail, H. (2021). Mechanical properties of hybrid fiberglass/natural fiber reinforced polymer composites: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 2220–2235. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.091>