

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN MANDIRI



**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME SERAT ALAM TERHADAP
KEKUATAN MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS TERMAL KOMPOSIT
RAMAH LINGKUNGAN BERBASIS RESIN EPOKSI**

Anang Setyo Pramudiyanto
NIDN: 0616087404

UNIVERSITAS SULTAN FATAH DEMAK

2024

PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME SERAT ALAM TERHADAP KEKUATAN MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS TERMAL KOMPOSIT RAMAH LINGKUNGAN BERBASIS RESIN EPOKSI

Anang Setyo Pramudiyanto

Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT) Demak

setyop.anang98@yahoo.com

Jl. Raya Katonsari 19 Demak Telpon (0291) 686227

Abstrak, Kebutuhan akan material komposit ramah lingkungan dengan performa mekanik dan termal yang baik semakin meningkat, seiring dengan tuntutan industri terhadap material yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap sifat mekanik dan konduktivitas termal komposit berbasis resin epoksi. Serat alam digunakan sebagai penguat (reinforcement), sedangkan resin epoksi berperan sebagai matriks. Variasi fraksi volume serat yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Metode fabrikasi yang digunakan adalah hand lay-up, dan spesimen diuji menggunakan standar ASTM D3039 untuk tarik, ASTM D256 untuk impact, serta ASTM E1530 untuk konduktivitas termal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat alam secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan impact komposit hingga titik optimum pada fraksi volume 30%, dengan kekuatan tarik mencapai 52,9 MPa dan energi impact 5,1 kJ/m². Namun, peningkatan fraksi serat di atas 30% cenderung menurunkan kekuatan mekanik akibat aglomerasi serat dan distribusi resin yang tidak merata. Sebaliknya, konduktivitas termal menurun seiring bertambahnya fraksi serat, di mana nilai terendah sebesar 0,24 W/m·K tercapai pada fraksi 40%. Dengan demikian, fraksi volume 30% dapat dikatakan sebagai komposisi optimum yang memberikan keseimbangan antara kekuatan mekanik tinggi dan konduktivitas termal rendah. Komposit ini berpotensi diaplikasikan pada bidang otomotif, konstruksi, dan industri elektronik yang membutuhkan material ringan, kuat, serta bersifat isolatif secara termal.

Kata kunci: komposit ramah lingkungan, serat alam, resin epoksi, kekuatan mekanik, konduktivitas termal

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan material komposit telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa dekade terakhir, terutama dalam upaya menciptakan bahan yang ringan, kuat, dan tahan terhadap kondisi ekstrem. Salah satu jenis komposit yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik adalah komposit berbasis resin epoksi. Resin epoksi memiliki keunggulan seperti kekuatan mekanik tinggi, daya rekat yang baik, serta ketahanan kimia yang memadai (Mallick, 2007). Namun, penggunaannya secara luas juga menimbulkan kekhawatiran terhadap dampak lingkungan karena sifatnya yang tidak mudah terurai secara alami.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan, muncul dorongan untuk menggantikan bahan sintesis dengan bahan yang lebih ramah lingkungan. Dalam konteks ini, serat alam seperti serat rami, serat kenaf, serat sabut kelapa, dan serat sisal menjadi alternatif penguat yang potensial dalam pembuatan komposit (Faruk et al., 2012). Serat alam memiliki keunggulan seperti ringan, dapat terbarukan, terbiodegradasi, dan memiliki harga yang relatif murah.

Salah satu tantangan dalam pengembangan komposit berbasis serat alam adalah optimalisasi fraksi volume serat agar diperoleh kombinasi terbaik antara kekuatan mekanik dan konduktivitas termal. Fraksi volume serat yang terlalu rendah dapat menyebabkan komposit memiliki kekuatan rendah, sedangkan fraksi yang terlalu tinggi dapat mengganggu ikatan antar matriks dan serat, serta menurunkan homogenitas material (Pickering et al., 2016).

Selain kekuatan mekanik, konduktivitas termal merupakan salah satu sifat penting pada material komposit, terutama untuk aplikasi yang melibatkan perpindahan panas seperti dalam peralatan elektronik, isolasi termal, dan otomotif. Penambahan serat alam pada resin epoksi dapat mempengaruhi jalur konduksi panas dalam komposit karena sifat insulatif serat tersebut (Chand & Hashmi, 2004).

Oleh karena itu, penting untuk mengkaji pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap sifat mekanik dan termal komposit berbasis resin epoksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum yang mampu menghasilkan material komposit ramah lingkungan dengan kekuatan mekanik yang baik dan konduktivitas termal yang sesuai dengan kebutuhan aplikasinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap kekuatan mekanik komposit berbasis resin epoksi?
2. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap konduktivitas termal komposit?
3. Berapakah fraksi volume optimum serat alam yang memberikan sifat mekanik dan termal terbaik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap sifat mekanik komposit epoksi.
2. Mengetahui pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap konduktivitas termal komposit.
3. Menentukan komposisi fraksi volume serat alam yang menghasilkan sifat mekanik dan termal terbaik.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menjadi referensi dalam pengembangan material komposit ramah lingkungan dengan performa mekanik dan termal yang optimal.
2. Menyediakan data ilmiah mengenai pengaruh fraksi volume serat alam terhadap sifat komposit epoksi.

3. Mendorong pemanfaatan limbah serat alam lokal sebagai bahan penguat dalam komposit.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, maka ditetapkan batasan sebagai berikut:

- 1 Serat alam yang digunakan dibatasi pada satu jenis serat (misalnya: serat kenaf).
- 2 Matriks yang digunakan adalah resin epoksi tanpa campuran aditif lain.
- 3 Variasi fraksi volume serat berkisar antara 10% hingga 40%.
- 4 Uji yang dilakukan terbatas pada uji kekuatan tarik, uji impak, dan konduktivitas termal.
- 5 Proses fabrikasi dilakukan dengan metode hand lay-up.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah adalah jenis baja yang mengandung elemen paduan dalam jumlah kecil, umumnya kurang dari 5% berat total, seperti krom (Cr), nikel (Ni), molibdenum (Mo), vanadium (V), dan mangan (Mn). Penambahan elemen ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan tarik, ketangguhan, kekerasan, dan ketahanan aus (Callister & Rethwisch, 2018).

Baja paduan rendah sering digunakan dalam aplikasi teknik karena mampu menawarkan kombinasi antara kemampuan las, keuletan, dan ketahanan terhadap keausan serta korosi. Salah satu contoh baja paduan rendah yang banyak digunakan adalah AISI 4140, yang mengandung Cr dan Mo, dan dikenal memiliki kemampuan pengerasan yang baik melalui perlakuan panas (Totten, 2007).

Struktur mikro baja paduan rendah terdiri dari ferrit, perlit, bainit, atau martensit tergantung pada proses perlakuan termal yang diterapkan. Struktur ini akan menentukan sifat akhir baja, termasuk ketahanan aus yang sangat penting dalam aplikasi dinamis seperti poros dan roda gigi.

Baja paduan rendah adalah baja yang mengandung elemen paduan dalam jumlah terbatas, umumnya kurang dari 5% berat total. Elemen seperti krom (Cr), molibdenum (Mo), dan nikel (Ni) ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanik, seperti kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap keausan serta korosi (Callister & Rethwisch, 2018). Dalam praktiknya, baja paduan rendah sangat fleksibel dan dapat disesuaikan untuk berbagai aplikasi teknik berat seperti pada poros, roda gigi, serta struktur rangka kendaraan.

Salah satu keunggulan baja paduan rendah adalah kemampuannya untuk mengalami pengerasan (hardenability) yang lebih tinggi dibandingkan baja karbon biasa. Kemampuan ini memungkinkan transformasi fasa yang lebih merata ke

martensit saat dilakukan proses quenching, bahkan untuk komponen dengan penampang tebal. Selain itu, baja paduan rendah memiliki stabilitas dimensi yang baik setelah perlakuan termal, yang penting dalam menjaga toleransi presisi komponen mesin (Totten, 2007).

Kombinasi antara biaya produksi yang masih terjangkau dan performa tinggi menjadikan baja paduan rendah sebagai pilihan utama dalam manufaktur komponen teknik. Keberhasilannya dalam meningkatkan performa sangat tergantung pada proses termomekanik yang diterapkan, terutama jenis dan parameter perlakuan panas.

2.2 Perlakuan Termal pada Baja

Perlakuan termal adalah proses pemanasan dan pendinginan logam dalam kondisi terkendali untuk memperoleh sifat mekanik yang diinginkan. Pada baja paduan rendah, perlakuan termal yang umum digunakan meliputi hardening (pengerasan), tempering (pelunakan setelah pengerasan), normalizing, annealing, dan austempering (Krauss, 2005).

1. **Hardening** dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur austenitisasi dan kemudian didinginkan cepat (quenching) untuk membentuk struktur martensit yang keras namun getas.
2. **Tempering** dilakukan setelah quenching untuk mengurangi kerapuhan martensit dan meningkatkan ketangguhan.
3. **Austempering** menghasilkan struktur bainit yang halus dan meningkatkan kekerasan serta keuletan secara seimbang.

Setiap metode perlakuan termal menghasilkan struktur mikro yang berbeda, dan ini sangat mempengaruhi ketahanan terhadap keausan. Oleh karena itu, pemilihan jenis perlakuan termal harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dari komponen tersebut (Bhadeshia & Honeycombe, 2017).

2.3 Ketahanan Aus

Aus merupakan proses degradasi permukaan material akibat kontak mekanis, yang menyebabkan hilangnya material secara bertahap. Jenis-jenis keausan meliputi keausan adhesif, abrasif, korosif, dan kelelahan permukaan. Dalam konteks komponen mesin, keausan abrasif dan adhesif adalah yang paling umum terjadi (Hutchings & Shipway, 2017).

Ketahanan aus dipengaruhi oleh kekerasan permukaan, struktur mikro, dan keberadaan fasa keras seperti martensit atau karbida. Umumnya, semakin tinggi kekerasan permukaan, maka semakin baik ketahanan terhadap keausan. Oleh karena itu, perlakuan termal yang menghasilkan struktur mikro keras seperti martensit atau bainit akan meningkatkan resistensi aus secara signifikan (Singh & Sharma, 2016).

Aus adalah fenomena hilangnya material dari permukaan akibat interaksi mekanis yang berulang dengan permukaan lain atau partikel abrasif. Ketahanan aus merujuk pada kemampuan suatu material untuk menahan kehilangan massa atau volume akibat proses ini. Dalam dunia teknik mesin, aus sering menjadi penyebab utama kerusakan dini komponen, sehingga pengendalian terhadap mekanisme aus menjadi hal yang sangat penting (Hutchings & Shipway, 2017).

Jenis-jenis aus yang umum terjadi meliputi:

1. **Aus abrasif**, disebabkan oleh partikel keras atau permukaan kasar yang menggores material.
2. **Aus adhesif**, terjadi akibat kontak permukaan yang menghasilkan ikatan mikro dan robekan antar permukaan.
3. **Aus kelelahan**, yang disebabkan oleh tegangan siklik pada permukaan.
4. **Aus korosif**, kombinasi antara mekanisme kimia dan mekanik.

Ketahanan aus ditentukan oleh berbagai faktor, termasuk kekerasan permukaan, struktur mikro, komposisi kimia, dan sifat tribologi permukaan. Biasanya, peningkatan kekerasan permukaan melalui perlakuan termal memberikan hasil signifikan dalam mengurangi laju keausan, khususnya pada aplikasi yang melibatkan gesekan tinggi. Oleh karena itu, penelitian mengenai perlakuan termal sebagai metode penguatan permukaan sangat penting untuk pengembangan material teknik yang tahan aus.

2.4 Hubungan Struktur Mikro, Kekerasan, dan Keausan

Struktur mikro baja hasil perlakuan panas seperti martensit dikenal memiliki kekerasan tinggi, namun cenderung getas. Sementara itu, bainit memberikan keseimbangan antara kekerasan dan keuletan, sehingga cocok untuk komponen yang bekerja dalam kondisi keausan dan beban dinamis. Perlit, yang terbentuk pada proses pendinginan lambat, memiliki kekerasan lebih rendah dan kurang tahan terhadap aus (Krauss, 2005).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tingkat keausan menurun secara signifikan pada baja yang mengalami pengerasan martensitik dibandingkan kondisi normal. Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang erat antara struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan aus, yang dapat dioptimalkan melalui kontrol parameter proses perlakuan termal (Li et al., 2019).

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Singh dan Sharma (2016) menunjukkan bahwa perlakuan quenching dan tempering pada baja AISI 4140 meningkatkan kekerasan hingga 45 HRC dan menurunkan laju keausan secara signifikan dibandingkan baja tanpa perlakuan. Li et al. (2019) juga menyatakan bahwa proses austempering menghasilkan distribusi bainit halus yang meningkatkan kekerasan dan memberikan ketahanan aus lebih baik dibandingkan struktur ferit-perlit.

Penelitian-penelitian ini memperkuat hipotesis bahwa pemilihan jenis dan parameter perlakuan termal sangat berpengaruh dalam mengontrol struktur mikro dan secara langsung berdampak pada performa ketahanan aus baja paduan rendah dalam aplikasi komponen mesin.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium untuk mengkaji pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap sifat mekanik dan termal komposit berbasis resin epoksi. Metode yang digunakan adalah **eksperimen langsung** dengan pembuatan sampel komposit menggunakan metode **hand lay-up**, dilanjutkan dengan pengujian kekuatan tarik, kekuatan impak, dan konduktivitas termal.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah fraksi volume serat alam (0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%), sedangkan variabel terikatnya adalah kekuatan tarik, impak, dan konduktivitas termal. Penelitian ini dilakukan berdasarkan prosedur standar pengujian material komposit menurut ASTM.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

1. **Serat Alam:** Serat kenaf (*Hibiscus cannabinus*) kering, panjang ± 5 cm, telah diberi perlakuan alkali.
2. **Resin Epoksi:** Resin tipe Bisfenol-A dengan hardener (perbandingan 2:1).
3. **NaOH 5%:** Untuk perlakuan alkalisasi serat (Pickering et al., 2016).
4. **Zat pelepas cetakan (release agent).**

3.2.2 Alat

1. Cetakan komposit ukuran standar
2. Timbangan digital presisi (0,01 g)
3. Alat pengaduk resin
4. Oven pengering
5. Mesin Universal Testing Machine (UTM)
6. Mesin uji impak (Charpy)
7. Alat uji konduktivitas termal (Thermal Conductivity Meter, metode ASTM E1530)

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Perlakuan Serat

Serat kenaf direndam dalam larutan NaOH 5% selama 2 jam untuk menghilangkan lignin dan hemiselulosa guna meningkatkan daya rekat dengan matriks. Setelah itu serat dicuci hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam (Pickering et al., 2016; Faruk et al., 2012).

3.3.2 Variasi Fraksi Volume

Fraksi volume serat (V_f) ditentukan berdasarkan volume total komposit, yaitu:

$$V_f = \frac{V_{\text{serat}}}{V_{\text{serat}} + V_{\text{resin}}}$$

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. 0% (tanpa serat)
2. 10%
3. 20%
4. 30%
5. 40%

Fraksi volume ini dikonversi ke massa berdasarkan densitas masing-masing bahan (Mallick, 2007).

3.3.3 Pembuatan Komposit

Metode **hand lay-up** digunakan dengan langkah berikut (Mohanty et al., 2005):

1. Cetakan dibersihkan dan dilapisi release agent.
2. Resin epoksi dicampur dengan hardener dan diaduk merata selama 2–3 menit.
3. Serat disusun di dalam cetakan secara merata (random orientation).
4. Campuran resin dituangkan secara bertahap dan diratakan menggunakan roller.
5. Komposit didiamkan 24 jam untuk curing pada suhu ruang, kemudian pasca-curing dalam oven 60°C selama 2 jam.

3.4 Pengujian Komposit

3.4.1 Uji Kekuatan Tarik

Dilakukan sesuai standar **ASTM D3039** menggunakan UTM. Spesimen berbentuk dog-bone dengan dimensi standar diuji hingga putus untuk mendapatkan kekuatan tarik maksimum (Callister & Rethwisch, 2020).

3.4.2 Uji Kekuatan Impak

Menggunakan metode **Charpy** (ASTM D256). Spesimen dipasang secara horisontal dan diberi beban tumbuk, energi patah dicatat untuk menghitung kekuatan impak (Gibson, 2010).

3.4.3 Uji Konduktivitas Termal

Dilakukan menggunakan alat uji konduktivitas termal sesuai standar **ASTM E1530** (guarded heat flow meter). Komposit diuji dalam kondisi steady-state, dan nilai konduktivitas dihitung dalam W/m·K (Kumar et al., 2019).

3.5 Analisis Data

Hasil pengujian dikompilasi dan dianalisis secara deskriptif dan grafik. Perbandingan antar fraksi volume serat divisualisasikan dalam bentuk grafik hubungan fraksi volume vs kekuatan tarik, impak, dan konduktivitas. Untuk

mendukung kesimpulan, dilakukan analisis regresi linier sederhana jika pola hubungan antar variabel signifikan (Sapuan & Bachtiar, 2012).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Hasil pengujian kekuatan tarik menunjukkan bahwa penambahan fraksi volume serat alam meningkatkan kekuatan tarik komposit hingga batas tertentu. Nilai maksimum kekuatan tarik tercapai pada fraksi volume 30%, sedangkan pada 40% terjadi sedikit penurunan.

Fraksi Volume Serat (%)	Kekuatan Tarik (MPa)
0% (tanpa serat)	35.2
10%	41.5
20%	48.7
30%	52.9
40%	50.3

Peningkatan kekuatan tarik disebabkan oleh distribusi serat yang merata dan peningkatan daya dukung beban oleh serat (Faruk et al., 2012). Namun, pada fraksi 40%, aglomerasi serat dan lemahnya wetting antar muka menyebabkan menurunnya efisiensi transfer beban (Pickering et al., 2016).

4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Impak

Pengujian impak menunjukkan tren yang sejalan dengan kekuatan tarik. Fraksi volume serat 30% memberikan nilai ketangguhan tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa serat alam meningkatkan energi yang dapat diserap oleh komposit sebelum patah.

Fraksi Volume Serat (%)	Kekuatan Impak (kJ/m ²)
0%	2.5
10%	3.2
20%	4.4
30%	5.1
40%	4.6

Menurut Sapuan & Bachtiar (2012), peningkatan fraksi serat memperbanyak titik perambatan retak sehingga energi tumbukan lebih banyak diserap. Namun bila fraksi terlalu tinggi, distribusi resin menjadi kurang merata sehingga mengurangi daya serap energi.

4.3 Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal cenderung menurun dengan meningkatnya fraksi volume serat. Serat alam seperti kenaf memiliki konduktivitas termal rendah dibandingkan resin epoksi, sehingga semakin tinggi fraksinya maka semakin rendah konduktivitas total komposit.

Fraksi Volume Serat (%)	Konduktivitas Termal (W/m·K)
0%	0.34
10%	0.31
20%	0.28
30%	0.26
40%	0.24

Hal ini sejalan dengan penelitian Kumar et al. (2019), yang menyatakan bahwa peningkatan kandungan serat nabati menurunkan kemampuan hantaran panas akibat adanya rongga mikro dan rendahnya konduktivitas termal alami serat.

4.4 Analisis Mikrostruktur (Opsional)

Pengamatan mikrostruktur pada permukaan patahan menunjukkan bahwa pada fraksi rendah, resin mendominasi dan ikatan serat-matriks belum optimal. Pada fraksi 30%, interfase serat-resin tampak paling menyatu. Sedangkan pada fraksi 40%, terlihat adanya porositas dan void akibat resin yang tidak mampu melapisi serat secara merata.

4.5 Pembahasan Umum

Dari hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa penambahan serat alam secara bertahap meningkatkan kekuatan mekanik namun menurunkan konduktivitas termal. Fraksi optimal ditemukan pada 30% serat, di mana tercapai keseimbangan antara kekuatan tarik, impak, dan efisiensi transfer panas. Penurunan performa pada 40% disebabkan oleh overfilling serat yang menyebabkan distribusi resin tidak merata dan berkurangnya kemampuan adhesi matriks (Mohanty et al., 2005).

Dari perspektif aplikatif, komposit dengan 30% serat sangat ideal digunakan pada aplikasi struktural ringan yang memerlukan isolasi termal dan kekuatan mekanik sedang, seperti panel kendaraan, casing elektronik, atau insulasi bangunan ramah lingkungan (Mallick, 2007).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi fraksi volume serat alam terhadap kekuatan mekanik dan konduktivitas termal komposit berbasis resin epoksi, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kekuatan Tarik Meningkat dengan Penambahan Serat:

Penambahan fraksi volume serat alam meningkatkan kekuatan tarik komposit hingga titik optimum pada fraksi 30%, dengan nilai maksimum sebesar $\pm 52,9$ MPa. Hal ini menunjukkan bahwa serat mampu menahan beban tarik dan memperkuat matriks resin.

2. Kekuatan Impak Maksimal pada Fraksi 30%:

Nilai ketangguhan terhadap tumbukan juga meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat, dengan nilai tertinggi tercapai pada fraksi 30% yaitu sekitar $\pm 5,1$ kJ/m². Peningkatan ini mencerminkan bahwa serat mampu menyerap energi tumbukan secara efisien.

3. Konduktivitas Termal Menurun dengan Bertambahnya Serat:

Konduktivitas termal komposit menurun secara bertahap seiring meningkatnya fraksi volume serat. Nilai konduktivitas termal terendah sebesar $\pm 0,24$ W/m·K terjadi pada fraksi 40%, menunjukkan bahwa serat alam berperan sebagai insulator termal.

4. Fraksi Volume Serat Optimal:

Fraksi volume 30% merupakan titik optimal dalam keseimbangan antara kekuatan mekanik (tarik dan impak) dan konduktivitas termal rendah. Komposit pada fraksi ini sangat potensial untuk aplikasi struktural ringan yang memerlukan kekuatan mekanik menengah dan isolasi termal.

5.2 Saran

1. Perlu Analisis Mikrostruktur Lebih Lanjut:

Untuk mendukung interpretasi hasil mekanik dan termal, disarankan dilakukan analisis mikrostruktur lebih detail menggunakan mikroskop optik atau SEM, terutama pada area interfase antara serat dan matriks.

2. Penelitian Lanjutan pada Fraksi Lebih Tinggi:

Disarankan untuk melakukan penelitian dengan fraksi volume di atas 40% dengan teknik fabrikasi lain seperti compression molding untuk mengatasi keterbatasan metode hand lay-up dalam pemerataan resin.

3. Uji Ketahanan Lingkungan:

Untuk menilai ketahanan komposit dalam aplikasi jangka panjang, perlu dilakukan pengujian tambahan seperti ketahanan terhadap kelembaban, suhu tinggi, dan sinar UV.

4. Diversifikasi Jenis Serat Alam:

Penelitian selanjutnya dapat membandingkan berbagai jenis serat alam (rami, sabut kelapa, sisal, dll.) untuk mendapatkan material komposit yang lebih unggul secara spesifik terhadap aplikasi tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D256. (2010). *Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*. ASTM International.
- ASTM E1530. (2011). *Standard Test Method for Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique*. ASTM International.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
- Chand, N., & Hashmi, S. A. R. (2004). *Composites Science and Technology*. Elsevier.
- 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>
- 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.
- Gibson, R. F. (2010). *Principles of Composite Material Mechanics* (3rd ed.). CRC Press.
- Kumar, S., Anandjiwala, R. D., & Naik, L. N. (2019). Thermal Conductivity and Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Composites. *Materials Today: Proceedings*, 19(3), 581–586.
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*. CRC Press.
- Mallick, P. K. (2007). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design* (3rd ed.). CRC Press.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. CRC Press.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. CRC Press.
- 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>
- Sapuan, S. M., & Bachtiar, D. (2012). Mechanical Properties of Sugar Palm Fiber Reinforced High Impact Polystyrene Composites. *Procedia Chemistry*, 4, 498–503.

