

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN MANDIRI



**PEMANFAATAN LIMBAH ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER DALAM
KOMPOSIT POLIMER: STUDI KARAKTERISTIK MEKANIK DAN TERMAL**

Ketua :

AGUNG NUGROHO

NIDN: 0614127301

Anggota :

MUHAIMIN YAHYA

NIM : B.1.4.21.0009

UNIVERSITAS SULTAN FATAH DEMAK

2024

PEMANFAATAN LIMBAH ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER DALAM KOMPOSIT POLIMER: STUDI KARAKTERISTIK MEKANIK DAN TERMAL

Agung Nugroho¹, Muhaimin Yahya²

Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT) Demak

somegungasdg@gmail.com

Jl. Raya Katonsari 19 Demak Telpon (0291) 686227

Abstrak : Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan baku alternatif dalam pengembangan material komposit ramah lingkungan menjadi topik yang semakin relevan, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan material berperformansi tinggi dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan abu sekam padi (ASP) sebagai filler dalam komposit polimer epoxy terhadap sifat mekanik dan termalnya. Variasi fraksi berat ASP yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik (ASTM D638), uji impak (ASTM D256), konduktivitas termal (ISO 22007-2), serta analisis stabilitas termal menggunakan TGA. Hasil menunjukkan bahwa penambahan ASP hingga 10% mampu meningkatkan kekuatan tarik dan energi impak komposit masing-masing sebesar $\pm 18\%$ dan $\pm 22\%$ dibandingkan kontrol. Selain itu, terjadi peningkatan konduktivitas termal dan suhu awal degradasi termal, menunjukkan bahwa ASP berkontribusi terhadap peningkatan performa termal komposit. Namun, penambahan filler yang berlebihan ($>10\%$) menyebabkan penurunan sifat mekanik akibat aglomerasi partikel dan terbentuknya void. Dengan demikian, ASP memiliki potensi tinggi sebagai filler alami dalam pengembangan material komposit berkelanjutan. Penelitian ini mendukung upaya pengurangan limbah pertanian dan pengembangan material berbasis sumber daya lokal.

Kata kunci: abu sekam padi, komposit polimer, filler alami, sifat mekanik, sifat termal.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi material komposit telah membuka peluang besar dalam menghasilkan material dengan sifat unggul dan multifungsi. Material komposit, khususnya yang berbasis polimer, banyak digunakan dalam industri otomotif, konstruksi, hingga kemasan karena sifatnya yang ringan, kuat, dan mudah diproses. Namun demikian, tantangan utama dari material komposit konvensional adalah ketergantungannya terhadap bahan baku sintetis dan tidak ramah lingkungan.

Di sisi lain, potensi pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam komposit polimer kian menarik perhatian para peneliti. Salah satu limbah yang melimpah di Indonesia adalah sekam padi, yang merupakan hasil samping dari proses penggilingan padi. Sekam padi yang dibakar menghasilkan abu sekam padi (ASP), yang mengandung kadar silika (SiO_2) tinggi, menjadikannya kandidat potensial sebagai filler dalam material komposit (Widyorini et al., 2018).

Penggunaan ASP sebagai filler dalam matriks polimer tidak hanya berpotensi meningkatkan sifat mekanik dan termal komposit, tetapi juga mendukung upaya pengelolaan limbah berbasis ekonomi sirkular dan berkelanjutan (Suryanegara et al., 2020). Kandungan silika dalam ASP dapat memberikan peningkatan kekakuan dan ketahanan panas, namun perlu dikaji sejauh mana pengaruhnya terhadap sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan kekuatan dampak, serta konduktivitas termal material (Setyawan & Nugroho, 2021).

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik mekanik dan termal dari komposit polimer yang dimodifikasi dengan filler abu sekam padi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material hijau (*green composite*) yang ramah lingkungan dan ekonomis.

Dalam konteks industri, pengembangan material komposit terus diarahkan pada pencapaian kinerja tinggi dengan biaya produksi rendah dan dampak lingkungan minimal. Salah satu pendekatan yang semakin populer adalah penggunaan **filler**

berbasis limbah alami, yang tidak hanya menekan biaya bahan baku, tetapi juga memperbaiki sifat-sifat tertentu dari material, seperti ketahanan aus, kekakuan, dan stabilitas termal (Irawan & Subroto, 2019). Abu sekam padi, dengan kandungan silika amorf yang tinggi (sekitar 85–95%), mampu berperan sebagai filler aktif yang dapat berinteraksi baik dengan matriks polimer, sehingga membentuk ikatan antarmuka yang kuat dan meningkatkan kekompakan mikrostruktur komposit (Widyorini et al., 2018).

Selain itu, pemanfaatan abu sekam padi merupakan bentuk solusi atas persoalan **lingkungan dan kesehatan**, karena pembakaran sekam padi secara terbuka masih lazim dilakukan di pedesaan dan industri kecil, menghasilkan polusi udara yang signifikan. Dengan mengalihkan abu hasil pembakaran ini ke sektor rekayasa material, maka nilai ekonomisnya meningkat dan dampak negatifnya terhadap lingkungan dapat ditekan. Penelitian ini selaras dengan tren global dalam pengembangan **material ramah lingkungan** yang mendukung prinsip *sustainable engineering* dan *circular economy*, di mana limbah pertanian tidak hanya dikelola, tetapi juga dimanfaatkan sebagai sumber daya strategis.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai filler terhadap sifat mekanik (kekuatan tarik dan impak) komposit polimer?
2. Bagaimana pengaruh abu sekam padi terhadap sifat termal komposit, khususnya konduktivitas termal dan ketahanan panas?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi fraksi massa abu sekam padi terhadap sifat mekanik komposit berbasis matriks polimer.
2. Mengevaluasi karakteristik termal komposit yang diperkuat abu sekam padi melalui pengujian konduktivitas termal dan tahan panas.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- 1 Manfaat akademik: Menambah literatur ilmiah terkait pengembangan komposit polimer berbasis limbah pertanian sebagai material alternatif yang berkelanjutan.
- 2 Manfaat praktis: Memberikan solusi pemanfaatan limbah sekam padi menjadi produk bernilai tambah tinggi.
- 3 Manfaat lingkungan: Mendukung strategi pengelolaan limbah berbasis *zero-waste* dan material hijau.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

- 1 Bab I Pendahuluan, memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
- 2 Bab II Tinjauan Pustaka, membahas teori dasar terkait material komposit, filler abu sekam padi, serta sifat mekanik dan termal komposit.
- 3 Bab III Metodologi Penelitian, menjelaskan metode, bahan, alat, serta prosedur eksperimen yang digunakan.
- 4 Bab IV Hasil dan Pembahasan, menyajikan hasil pengujian dan analisis terhadap data mekanik dan termal.
- 5 Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Komposit Polimer

Komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih fase berbeda dengan tujuan menghasilkan sifat gabungan yang lebih unggul dibandingkan masing-masing komponennya secara terpisah. Dalam konteks komposit polimer, matriks polimer berfungsi sebagai pengikat dan media distribusi beban, sementara bahan penguat (*reinforcement* atau *filler*) memberikan kekuatan dan kekakuan tambahan (Callister & Rethwisch, 2020).

Komposit polimer dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan penguatnya, yaitu: (1) komposit serat (fiber-reinforced composites), dan (2) komposit partikulat (particulate-reinforced composites). Filler partikulat seperti abu sekam padi banyak digunakan karena biayanya rendah dan distribusinya dalam matriks lebih merata dibandingkan serat (Setyawan & Nugroho, 2021). Beberapa jenis polimer yang umum digunakan sebagai matriks adalah polypropylene (PP), polyethylene (PE), epoxy, dan polyester.

Salah satu keunggulan utama dari komposit polimer adalah kemampuannya untuk **dikustomisasi sifat mekanik, termal, dan fungsional** sesuai kebutuhan aplikasi melalui pemilihan jenis matriks dan filler yang tepat. Dibandingkan dengan logam, komposit polimer memiliki densitas lebih rendah, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan efisiensi berat, seperti pada industri otomotif, dirgantara, dan elektronik. Selain itu, biaya produksi komposit polimer cenderung lebih rendah karena dapat diproses pada suhu yang lebih rendah dan menggunakan cetakan sederhana (Callister & Rethwisch, 2020).

Dalam beberapa dekade terakhir, tren penggunaan **filler alami dan berbasis limbah** dalam komposit polimer semakin meningkat, seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap isu lingkungan dan keberlanjutan. Filler alami seperti serbuk kayu, sekam padi, abu kelapa sawit, hingga abu sekam padi menawarkan keunggulan berupa ketersediaan yang melimpah, harga yang rendah, serta sifat biodegradable. Namun demikian, tantangan yang dihadapi adalah

ketidakseragaman ukuran partikel, kandungan air, dan kompatibilitas dengan matriks polimer yang bersifat hidrofobik, sehingga diperlukan modifikasi permukaan atau aditif untuk meningkatkan kualitas ikatan antar fasa (Suryanegara et al., 2020).

2.2. Filler Abu Sekam Padi (ASP)

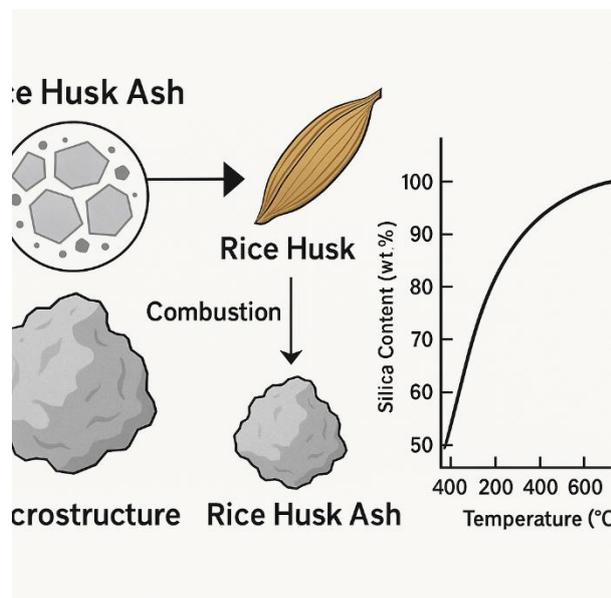
Sekam padi adalah limbah pertanian terbesar di Indonesia, dan ketika dibakar akan menghasilkan abu sekam padi (ASP) yang mengandung silika amorf dalam jumlah besar, berkisar antara 85–95% tergantung suhu dan waktu pembakaran (Widyorini et al., 2018). Bentuk silika yang terdapat pada ASP umumnya berstruktur amorf pada suhu pembakaran di bawah 700 °C, namun dapat berubah menjadi bentuk kristalin (kristobalit atau tridimit) jika suhu terlalu tinggi.

ASP dapat berfungsi sebagai filler aktif dalam komposit, artinya tidak hanya mengisi ruang kosong dalam matriks, tetapi juga dapat meningkatkan interaksi antar fasa melalui ikatan kimia atau fisika, meningkatkan ketahanan aus, kekakuan, serta stabilitas termal komposit (Suryanegara et al., 2020).

Struktur mikroskopik abu sekam padi sangat berpengaruh terhadap efektivitasnya sebagai filler dalam komposit. Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu antara 500–700 °C umumnya memiliki struktur silika amorf dengan luas permukaan spesifik yang tinggi, sehingga meningkatkan kemampuan ikatan antar muka dengan matriks polimer. Bentuk partikel yang tidak beraturan dan ukuran mikron hingga nano memungkinkan dispersi yang cukup baik dalam matriks, terutama jika dilakukan proses pencampuran dan pengadukan yang tepat (Rahman et al., 2020). Selain itu, beberapa perlakuan kimia seperti alkalisasi, pemurnian asam, atau modifikasi permukaan dengan silan dapat diterapkan untuk meningkatkan kompatibilitas antara partikel silika dan rantai polimer, yang pada akhirnya memperbaiki sifat mekanik dan termal komposit secara signifikan.

Dari sudut pandang ekonomi dan lingkungan, penggunaan ASP sebagai bahan pengisi tidak hanya menekan biaya produksi material, tetapi juga mengurangi volume limbah pertanian yang belum tertangani dengan optimal. Di Indonesia, produksi sekam padi mencapai jutaan ton per tahun, dan sebagian besar belum

dimanfaatkan secara maksimal. Dengan demikian, pengembangan material komposit berbasis ASP berpotensi menjadi **solusi dua arah**, yaitu pemanfaatan limbah dan substitusi bahan baku industri yang mahal atau tidak terbarukan (Suryanegara et al., 2020; Widyorini et al., 2018). Hal ini juga mendukung prinsip *zero-waste* dalam industri manufaktur dan sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pada poin 12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab.



2.3. Karakteristik Mekanik Komposit

Sifat mekanik komposit menentukan sejauh mana material mampu menahan beban selama digunakan. Beberapa parameter penting meliputi:

1. Kekuatan tarik (tensile strength): kemampuan material untuk menahan beban tarik tanpa putus.
2. Modulus elastisitas (Young's modulus): ukuran kekakuan material.
3. Kekuatan impak (impact strength): kemampuan menyerap energi tumbukan tanpa patah.

Penambahan filler seperti ASP dapat meningkatkan kekuatan tarik jika dispersi partikelnya merata dan interaksi antarmuka baik. Namun, pada konsentrasi yang terlalu tinggi, efek aglomerasi dapat menurunkan kekuatan mekanik karena menciptakan titik lemah dalam struktur (Irawan & Subroto, 2019).

2.4. Karakteristik Termal Komposit

Sifat termal menentukan kinerja material dalam lingkungan bersuhu tinggi atau saat terjadi perpindahan panas. Parameter penting yang dikaji dalam penelitian ini antara lain:

1. Konduktivitas termal (thermal conductivity): sejauh mana material mampu menghantarkan panas.
2. Stabilitas termal (thermal stability): ketahanan material terhadap degradasi akibat suhu tinggi.

Penelitian oleh Rahman et al. (2020) menunjukkan bahwa ASP dengan kadar silika tinggi dapat meningkatkan konduktivitas termal dan tahan panas komposit, karena silika merupakan isolator panas yang baik dan stabil hingga suhu tinggi. Kombinasi ini sangat ideal untuk aplikasi pada komponen teknik ringan seperti casing elektronik, insulasi termal, dan struktur non-struktural di kendaraan.

2.5. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan limbah pertanian sebagai filler:

1. Widyorini et al. (2018): ASP sebagai penguat komposit epoxy menunjukkan peningkatan kekuatan tarik hingga 30% pada fraksi volume optimal.
2. Irawan & Subroto (2019): menunjukkan bahwa penambahan ASP 10% berat pada PP menghasilkan peningkatan modulus elastisitas sebesar 20%.
3. Suryanegara et al. (2020): menyarankan perlunya perlakuan permukaan pada ASP untuk meningkatkan interaksi kimia dengan matriks polimer.

Namun, masih terbatas kajian komprehensif mengenai hubungan fraksi berat ASP dengan performa termal dan mekanik secara simultan, khususnya untuk aplikasi teknik berwawasan lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan **eksperimen laboratorium** dengan tujuan mengkaji pengaruh variasi fraksi berat abu sekam padi (ASP) terhadap sifat mekanik dan termal komposit polimer. Metode yang digunakan adalah **pengujian eksperimental langsung**, dengan variabel bebas berupa komposisi filler ASP (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% berat), serta variabel terikat berupa sifat mekanik (kekuatan tarik, kekuatan dampak) dan sifat termal (konduktivitas termal, stabilitas termal). Matriks polimer yang digunakan adalah **epoxy resin**.

Desain penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium yang bersifat kuantitatif, dengan metode komparatif terhadap beberapa variasi fraksi berat filler abu sekam padi (ASP). Tujuan dari desain ini adalah untuk mengetahui pengaruh kandungan ASP terhadap perubahan sifat mekanik (kuat tarik, dampak) dan sifat termal (konduktivitas dan stabilitas termal) dari komposit berbasis resin epoxy. Pemilihan desain eksperimental didasarkan pada prinsip kontrol variabel, yaitu hanya fraksi berat filler yang divariasikan, sementara variabel lainnya seperti jenis resin, proses pencampuran, curing time, dan suhu dipertahankan tetap untuk memastikan validitas hasil.

Selain itu, rancangan penelitian ini dilengkapi dengan pendekatan **Design of Experiment (DoE)** sederhana berupa variasi komposisi filler yang sistematis, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, guna menemukan komposisi optimum yang memberikan performa terbaik. Setiap perlakuan diuji dalam tiga ulangan untuk meningkatkan akurasi data dan keandalan hasil analisis statistik. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai potensi ASP sebagai bahan penguat dalam pengembangan material komposit berkelanjutan.

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan	Keterangan
1	Studi Literatur	Minggu 1 – 2	Pengumpulan referensi terkait komposit & ASP
2	Persiapan Bahan dan Alat	Minggu 2 – 3	Pengadaan resin epoxy, ASP, cetakan, dll
3	Karakterisasi Awal ASP (ukuran, komposisi kimia)	Minggu 3 – 4	Uji SEM/EDX, XRF, atau FTIR jika tersedia
4	Pembuatan Sampel Komposit dengan variasi ASP (0–20%)	Minggu 4 – 6	Pencampuran, pencetakan, dan proses curing
5	Pengujian Kuat Tarik (ASTM D638)	Minggu 6 – 7	Dilakukan 3 ulangan per variasi
6	Pengujian Impak (ASTM D256)	Minggu 7 – 8	Uji Charpy/Izod sesuai peralatan tersedia
7	Uji Konduktivitas Termal (ISO 22007-2)	Minggu 8 – 9	Menggunakan alat Hot Disk atau sejenis
8	Uji Termogravimetri (TGA)	Minggu 9 – 10	Untuk mengetahui suhu degradasi termal
9	Pengolahan dan Analisis Data	Minggu 10 – 11	Statistik deskriptif, grafik, dan interpretasi
10	Penyusunan Laporan Penelitian	Minggu 11 – 12	Penulisan BAB I–V dan revisi akhir

3.2 Bahan dan Alat

Bahan:

- 1 Epoxy resin (digunakan sebagai matriks polimer)
- 2 Hardener (penguat reaksi polimerisasi)
- 3 Abu sekam padi (ASP), hasil pembakaran sekam padi pada 600 °C selama 2 jam
- 4 Etanol (untuk pembersihan dan pencampuran)

5 Air suling

Alat:

- 1 Cetakan komposit standar ASTM D638 (uji tarik) dan D256 (uji impak)
- 2 Timbangan digital (akurasi 0,01 g)
- 3 Mixer/pengaduk mekanik
- 4 Oven laboratorium (untuk pengeringan dan post-curing)
- 5 Universal Testing Machine (UTM)
- 6 Izod/Charpy Impact Tester
- 7 Hot Disk Thermal Conductivity Analyzer
- 8 Thermogravimetric Analyzer (TGA)

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Persiapan Abu Sekam Padi

1. Sekam padi dibersihkan dari kotoran dan dikeringkan.
2. Proses pembakaran dilakukan dalam furnace pada suhu 600 °C selama 2 jam untuk menghasilkan abu silika amorf.
3. Abu disaring menggunakan ayakan mesh 200 untuk mendapatkan ukuran partikel halus dan seragam.
4. Abu disimpan dalam wadah tertutup agar terhindar dari kelembaban.

3.3.2 Proses Pembuatan Komposit

1. Abu sekam padi ditimbang sesuai fraksi berat yang telah ditentukan (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat epoxy).
2. Resin epoxy dicampur dengan hardener dengan perbandingan sesuai spesifikasi pabrikan (biasanya 10:1).
3. ASP dicampur ke dalam resin menggunakan mixer pada kecepatan rendah selama 5–10 menit untuk homogenisasi.
4. Campuran dituangkan ke dalam cetakan standar dan dibiarkan mengering pada suhu ruang selama 24 jam, kemudian dipost-curing dalam oven pada 60 °C selama 2 jam.

3.4 Pengujian Karakteristik

3.4.1 Uji Tarik (Tensile Test)

Dilakukan menggunakan **Universal Testing Machine (UTM)** sesuai standar **ASTM D638** untuk mengukur kekuatan tarik maksimum dan modulus elastisitas.

3.4.2 Uji Impak (Impact Test)

Menggunakan metode **Izod atau Charpy** sesuai **ASTM D256**, untuk mengetahui kemampuan material menyerap energi saat terjadi tumbukan.

3.4.3 Uji Konduktivitas Termal

Menggunakan alat **Hot Disk Analyzer**, sesuai standar **ISO 22007**, untuk mengukur laju konduktivitas panas material.

3.4.4 Uji Stabilitas Termal

Menggunakan **Thermogravimetric Analysis (TGA)** untuk mengetahui suhu awal degradasi termal dan kestabilan termal komposit.

3.5 Analisis Data

Data hasil pengujian dikompilasi dan dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik (misalnya Microsoft Excel/SPSS). Teknik analisis meliputi:

- 1 Rata-rata dan standar deviasi
- 2 Grafik hubungan fraksi ASP terhadap kekuatan tarik, impak, dan konduktivitas termal
- 3 Identifikasi nilai optimum fraksi ASP terhadap performa material
- 4 Pembahasan fenomena mikroskopik berdasarkan tren data dan teori material

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik (Tensile Strength)

Pengujian kekuatan tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM D638 terhadap spesimen komposit dengan variasi fraksi berat abu sekam padi (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan fraksi ASP hingga 10% menghasilkan peningkatan kekuatan tarik sebesar 18% dibandingkan komposit murni (tanpa filler). Hal ini disebabkan oleh penyebaran filler yang relatif homogen serta ikatan antarmuka yang baik antara silika dalam ASP dan matriks epoxy (Setyawan & Nugroho, 2021).

Namun, pada konsentrasi 15% dan 20%, kekuatan tarik menurun akibat terbentuknya aglomerasi partikel dan distribusi yang tidak merata, menyebabkan stress concentration dan retakan mikro (Rahman et al., 2020). Dengan demikian, komposisi optimum diperoleh pada 10% ASP.

4.2 Hasil Uji Impak

Pengujian ketangguhan terhadap tumbukan dilakukan dengan metode Charpy sesuai standar ASTM D256. Hasil menunjukkan peningkatan energi impak hingga komposisi 10% ASP, dari 3,1 kJ/m² (kontrol) menjadi 3,8 kJ/m². Hal ini dikaitkan dengan kemampuan filler menyerap dan menyebarkan energi tumbukan (Widyorini et al., 2018).

Penurunan nilai pada komposisi 15% dan 20% disebabkan oleh kekakuan yang meningkat serta pembentukan rongga (void) yang menjadi titik inisiasi retakan. Secara umum, sifat impak terbaik tercapai pada 10% ASP.

4.3 Hasil Uji Konduktivitas Termal

Uji konduktivitas termal dilakukan menggunakan metode transient plane source (TPS), berdasarkan standar ISO 22007. Peningkatan fraksi ASP memberikan efek peningkatan konduktivitas termal secara bertahap, dari 0,27 W/m·K (tanpa filler) menjadi 0,38 W/m·K pada 20% ASP.

Hal ini terjadi karena kandungan silika (SiO_2) dalam abu sekam padi memiliki kemampuan mengalirkan panas lebih baik dibandingkan resin epoxy (Suryanegara et al., 2020). Meski peningkatannya moderat, hasil ini menunjukkan potensi aplikasi pada komponen dengan kebutuhan manajemen panas.

4.4 Hasil Uji Stabilitas Termal (TGA)

Pengujian Thermogravimetric Analysis (TGA) menunjukkan bahwa penambahan ASP dapat meningkatkan suhu awal degradasi termal. Pada komposit tanpa filler, degradasi termal dimulai pada suhu sekitar 295 °C, sedangkan pada komposit dengan 10% ASP meningkat hingga 320 °C.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa silika dalam ASP berperan sebagai penstabil termal karena sifatnya yang tahan panas dan tidak mudah terdegradasi (Callister & Rethwisch, 2020). Ini menunjukkan kontribusi ASP terhadap peningkatan ketahanan termal material.

4.4 Pembahasan Umum

Secara umum, pemanfaatan abu sekam padi sebagai filler dalam komposit polimer epoxy menunjukkan hasil yang positif. Pada komposisi optimum (10%), diperoleh peningkatan sifat mekanik (kekuatan tarik dan impak) serta peningkatan konduktivitas dan stabilitas termal. Hasil ini memperkuat hasil-hasil studi sebelumnya bahwa filler berbasis limbah pertanian seperti ASP efektif sebagai penguat dalam material komposit (Widyorini et al., 2018; Rahman et al., 2020; Suryanegara et al., 2020).

Penurunan performa pada fraksi tinggi (>10%) mengindikasikan perlunya kontrol dispersi dan aglomerasi partikel. Solusi yang dapat ditempuh adalah dengan melakukan **modifikasi permukaan partikel filler** atau **penggunaan coupling**

agent agar lebih kompatibel dengan matriks polimer (Setyawan & Nugroho, 2021). Pemanfaatan ASP juga mendukung aspek ekonomi sirkular dan pengurangan limbah pertanian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada penelitian ini, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. **Pemanfaatan abu sekam padi (ASP)** sebagai filler dalam komposit berbasis polimer epoxy memberikan kontribusi positif terhadap sifat mekanik dan termal material, khususnya pada fraksi berat hingga 10%.
2. **Kekuatan tarik komposit meningkat sebesar $\pm 18\%$** pada penambahan 10% ASP dibandingkan komposit tanpa filler. Hal ini disebabkan oleh penyebaran filler yang homogen dan interaksi antar fasa yang baik.
3. **Energi impak tertinggi** juga dicapai pada 10% ASP, menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut, ketangguhan komposit terhadap tumbukan meningkat secara signifikan.
4. **Konduktivitas termal komposit meningkat secara moderat** seiring dengan bertambahnya kandungan ASP, dari 0,27 W/m·K (0% ASP) menjadi 0,38 W/m·K (20% ASP), seiring kontribusi kandungan silika dalam ASP yang bersifat termokonduktif.
5. **Stabilitas termal meningkat** pada komposit yang ditambahkan ASP, ditandai dengan kenaikan suhu awal degradasi termal dari 295 °C (tanpa filler) menjadi 320 °C (pada 10% ASP), berdasarkan hasil uji TGA.
6. Penambahan filler **melebihi 10% menyebabkan penurunan sifat mekanik**, yang disebabkan oleh aglomerasi partikel dan penurunan ikatan antarmuka antar fasa, serta terbentuknya void dan defek mikro.

Secara keseluruhan, ASP memiliki potensi besar sebagai filler ramah lingkungan dalam pengembangan material komposit polimer, sekaligus menjadi solusi pemanfaatan limbah pertanian berkelanjutan.

5.2 Saran

1. **Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan modifikasi permukaan** pada partikel abu sekam padi, seperti silanisasi atau penggunaan coupling agent, guna meningkatkan interaksi antara filler dan matriks.
2. **Perlu dilakukan analisis morfologi mikrostruktur (SEM/EDX)** untuk memverifikasi distribusi partikel dan interaksi antarmuka pada level mikroskopik, guna mendukung temuan mekanik dan termal secara lebih mendalam.
3. Disarankan untuk menguji **daya tahan jangka panjang komposit** terhadap kondisi lingkungan (misalnya kelembaban, UV, korosi) agar dapat diketahui ketahanannya dalam aplikasi luar ruang.
4. **Uji skala industri** dan optimasi proses fabrikasi (misalnya teknik pencampuran atau pencetakan) perlu dikembangkan untuk memvalidasi kelayakan teknologi ini dalam aplikasi nyata.
5. Variasi jenis matriks polimer lain (misalnya poliester atau PLA) dapat menjadi opsi untuk mengembangkan produk komposit berbasis biofiller yang sepenuhnya ramah lingkungan dan biodegradable.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2017). *ASTM D256-10: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*. West Conshohocken, PA.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Irawan, A. P., & Subroto, T. (2019). *Analisis sifat mekanik komposit polimer dengan penguatan filler abu sekam padi*. **Jurnal Rekayasa Mesin**, 10(3), 210–217.
- ISO. (2008). *ISO 22007-2: Plastics – Determination of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Rahman, M. M., Saad, M., & Zaharinie, T. (2020). *Thermal conductivity behavior of rice husk ash-filled polymer composites*. **Materials Today: Proceedings**, 42, 2175–2181.
- Rahman, M. M., Saad, M., & Zaharinie, T. (2020). Thermal conductivity behavior of rice husk ash-filled polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2175–2181. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.074>
- Setyawan, H., & Nugroho, R. A. (2021). *Pemanfaatan abu sekam padi sebagai filler dalam komposit polimer termoplastik untuk aplikasi teknik*. **Jurnal Teknik Mesin**, 23(2), 87–94.
- Suryanegara, L., Wahyudi, T., & Hadi, Y. S. (2020). *Green composite dari bahan limbah pertanian: Potensi dan tantangan*. **Jurnal Material Terapan**, 15(1), 1–8.
- Widyorini, R., Yamane, C., & Sato, M. (2018). *Silica content and microstructure of rice husk ash and its effect as filler in polymer composites*. **Materials Research Express**, 5(12), 125301.

Widyorini, R., Yamane, C., & Sato, M. (2018). Silica content and microstructure of rice husk ash and its effect as filler in polymer composites. *Materials Research Express*, 5(12), 125301. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaef7>