

Rekayasa Material Komposit Berbasis Limbah Ampas Kopi dan Sekam Padi untuk Aplikasi di Industri Kimia

Sri Risdhiyanti Nuswantari¹, Abdullah Malik Islam Filardli², Mukhammad Himam Isomudin³, Gita Mawadah Yulianna⁴, Rahima Nilansari⁵, Yasyfa Husnan Prahardika⁶, Fadilah Puspita Sari⁷, Muhammad Syukron Lazim⁸, Muhammad Amyra Faiz⁹, Dawamul Khoir¹⁰, Dais Shiddik¹¹

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11} Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

¹sririsdhiyantinuswa@lecturer.undip.ac.id

Submit : 26-11-2025

Revisi : 31-12-2025

Diterima : 31-12-2025

ABSTRACT

The utilization of biomass waste as fillers in polymer composite materials represents a sustainable strategy to enhance the value of agricultural residues and support circular economy principles. This study aims to evaluate the effects of rice husk and spent coffee grounds as biomass fillers on the mechanical properties, as well as the durability and stability, of polypropylene (PP)-based composites. The composites were fabricated with filler weight fractions of 10% and 30% and subjected to tensile testing in accordance with ASTM standards. Durability performance was assessed through immersion tests in NaOH, HCl, and water. Changes in specimen length, width, and weight were statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA) to determine the influence of chemical treatments and physical parameters. The results indicate that increasing the filler content to 30% tends to enhance tensile strength compared to the 10% filler fraction; however, all specimens still exhibit brittle behavior due to suboptimal interfacial bonding between the filler and the polymer matrix. Durability testing further reveals that the type of immersion medium has a statistically significant effect on composite stability, whereas physical parameters show no significant influence. The potential of integrating rice husk and spent coffee grounds as eco-friendly fillers in PP composites for non-structural applications.

Keywords: Circular economy, Chemical resistance, Coffee grounds, Polymer composite, Rice husk, Waste-based polymer.

ABSTRAK

Abstrak

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai filler pada material komposit polimer merupakan strategi berkelanjutan untuk meningkatkan nilai tambah limbah pertanian dan mendukung prinsip ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan sekam padi dan ampas kopi sebagai filler biomassa terhadap sifat mekanik serta ketahanan dan kestabilan komposit berbasis polipropilena (PP). Komposit dibuat dengan variasi fraksi filler 10% dan 30%, kemudian diuji kekuatan tarik menggunakan standar ASTM serta diuji ketahanannya melalui perendaman dalam larutan NaOH, HCl, dan air. Perubahan dimensi panjang, lebar, dan berat dianalisis menggunakan metode ANOVA untuk mengetahui pengaruh perlakuan kimia dan parameter fisik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi filler hingga 30% cenderung meningkatkan kekuatan tarik dibandingkan fraksi 10%, meskipun seluruh spesimen masih menunjukkan karakteristik getas akibat ikatan antarmuka *filler* matriks yang belum optimal. Uji ketahanan menunjukkan bahwa jenis media perendaman berpengaruh signifikan terhadap kestabilan spesimen, sedangkan parameter fisik tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Potensi integrasi sekam padi dan ampas kopi sebagai filler komposit PP untuk aplikasi non struktural berbasis material ramah lingkungan.

Kata kunci: Ampas kopi, Ekonomi sirkuler, Ketahanan kimia, Komposit polimer, Polimer berbasis limbah, Sekam Padi

1 Pendahuluan

Limbah pertanian umumnya dihasilkan dari kegiatan pascapanen dan industri pengolahan hasil pertanian, seperti jerami, sekam, dan residu organik lainnya. Sekam padi merupakan limbah yang dihasilkan dari proses penggilingan padi. Pada tahun 2022, Indonesia memproduksi sekitar 55,6 juta ton gabah kering giling (GKG) (Matin et al., 2023). Sekam padi dihasilkan sebanyak 11 juta ton setiap tahunnya (20% GKG) sebagai sumber energi yang potensial untuk produksi biogas (Lantasi et al., 2020). Proses produksi kopi juga menghasilkan sejumlah limbah yang signifikan. Sebanyak 45% dari total biji kopi yang diproses menjadi limbah, yang mencakup cangkang, kulit, dan limbah pembuangan kopi lainnya seperti ampas kopi (Pramesti et al., 2024). Limbah ini sering kali tidak dikelola dengan baik, meskipun memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai biomaterial dalam banyak aplikasi, termasuk sebagai pupuk organik, sumber energi alternatif, dan bahan baku untuk pembuatan produk baru seperti bioplastik (Syafri & Murnawan, 2025; Nury et al., 2023; Sisti et al., 2021). Limbah pertanian dapat dimanfaatkan kembali dan dikonversi menjadi produk bernilai tambah, seperti bioenergi, energi terbarukan, serta bahan baku industri ramah lingkungan yang mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan (Koul et al., 2022).

Sekam padi merupakan sumber silika potensial, dengan kandungan silika mencapai 87%–97% berat kering setelah proses pembakaran sempurna, serta tersedia dalam jumlah melimpah dengan biaya yang relatif rendah (Hamidu et al., 2025). Ampas kopi merupakan biomassa lignoselulosa yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Ampas kopi dapat membentuk struktur berpori dengan luas permukaan yang tinggi melalui perlakuan termal, sehingga berpotensi meningkatkan interaksi antarmuka antara *filler* dan matriks. Karakteristik tersebut menjadikan ampas kopi sebagai material pengisi ramah lingkungan yang bernilai tambah dalam aplikasi rekayasa material berbasis komposit (Yang et al., 2025).

Filler berperan sebagai material tambahan yang digunakan untuk memodifikasi sifat fisik dan fungsional matriks polimer dalam sistem material komposit. Penambahan *filler* tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik, tetapi juga untuk mengontrol parameter lain seperti kekakuan, stabilitas termal, serta karakteristik permukaan material. Kinerja *filler* dalam komposit sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, luas permukaan, serta kualitas interaksi antarmuka antara *filler* dan matriks polimer. Ramesh et al. (2022), menyatakan bahwa ampas kopi memiliki potensi yang signifikan sebagai *filler* ramah lingkungan dalam sistem komposit polimer.

Pada penelitian ini, sekam padi dan ampas kopi dipilih sebagai *filler* dalam sistem komposit berbasis polipropilena (PP). Polipropilena merupakan matriks polimer yang

memiliki karakteristik ringan, serbaguna, ekonomis, serta ketahanan kimia yang baik, sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi rekayasa material. Berdasarkan potensi limbah biomassa tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan sekam padi dan ampas kopi sebagai *filler* terhadap sifat mekanik serta karakteristik material komposit polipropilena yang dihasilkan.

2 Metode

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Hot Plate, Neraca digital Ohaus kapasitas 220 gram, Oven, *Chopper*, Pengayak, Panci, Baskom, Nampan, Gelas beker ukuran 500 mL dan 250 mL, Pengaduk kaca, Sendok reagen, Termometer, Cetakan komposit, Mesin press hidrolik, Mesin potong spesimen, Mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*), Jangka sorong, dan Lemari asam. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *pellet polipropilena* (PP), limbah ampas kopi, dan sekam padi.

Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi jenis limbah organik, yaitu sekam padi dan ampas kopi, serta fraksi massa *filler* dalam matriks polimer yang ditetapkan sebesar 10%, dan 30% berat terhadap total komposit. Variabel terkontrol dijaga konstan selama proses penelitian, meliputi suhu pencampuran *polimer-filler* sebesar 180 °C, ukuran partikel limbah organik <200 µm, waktu pencampuran selama 15 menit untuk memastikan dispersi partikel yang homogen, serta tekanan pencetakan komposit sebesar 5 MPa.

Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan mempersiapkan limbah organik, yang dimana sekam padi dan ampas kopi dikeringkan di dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam untuk mengurangi kadar air. Limbah kemudian digiling hingga menjadi serbuk halus dengan ukuran partikel <200 mikron. Setelah itu dilakukan pencampuran dan pencetakan komposit dengan melelehkan polimer termoplastik pada suhu 180°C. selanjutnya menambahkan serbuk limbah organik dengan komposisi 10%, atau 30% berat) ditambahkan ke dalam polimer leleh dan diaduk selama 15 menit. Kemudian, campuran dituangkan ke dalam cetakan dan diberi tekanan 5 MPa hingga dingin dan mengeras. Dilakukan pembuatan spesimen uji yang dimana spesimen komposit dipotong sesuai standar ASTM D638 untuk pengujian kekuatan tarik, ketahanan kimia, dan daya serap air (Raj & Michailovich, 2021).

Pengujian dan Analisis Penelitian

Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekuatan tarik yang dimana dilakukan dengan mesin uji tarik sesuai standar ASTM D638 Laboratorium Sipil dan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, dan ASTM E8 di Laboratorium Material Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Kemudian ada uji ketahanan kimia, yang dimana sampel komposit direndam dalam larutan HCl 1M dan NaOH 1 M selama 24 jam pada suhu ruang,

kemudian dicatat perubahan massa dan dimensi. Komposit juga diuji daya serapnya dengan merendamnya dalam air selama 24 jam, lalu ditimbang untuk melihat perubahan massa.

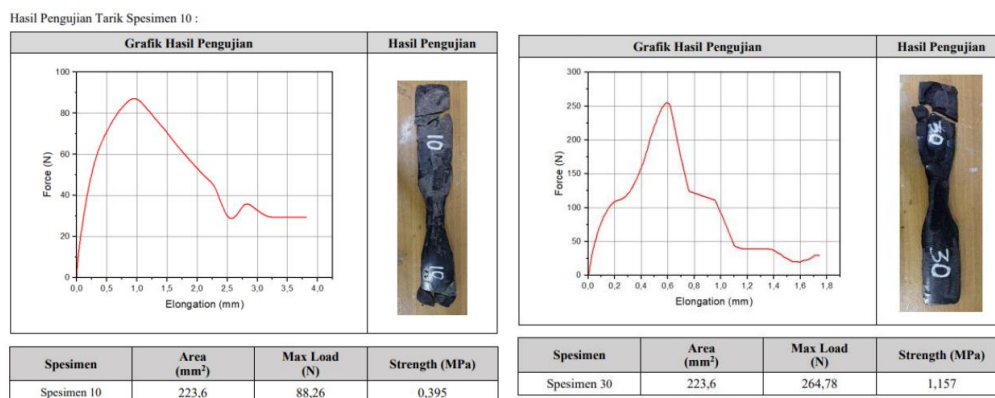
Analisis Data

Hasil uji diolah dengan analisis statistika ANOVA untuk mengevaluasi pengaruh jenis dan komposisi limbah terhadap sifat mekanik dan ketahanan kimia komposit.

3 Hasil

Kekuatan Mekanik Spesimen

Sifat mekanik komposit merupakan kemampuan material dalam menahan beban selama digunakan yang meliputi kekuatan tarik (*tensile strength*), modulus elastisitas (*young's modulus*) dan kekuatan impak (Nugroho, 2024). Berikut hasil uji kekuatan mekanis dari spesimen 10 dan 30.



Gambar 1. Grafik hasil pengujian spesimen 10 dan spesimen 30

Pada awal kurva menunjukkan daerah yang elastis yang mana menunjukkan bahwa material akan kembali ke bentuk semula jika gaya dihilangkan. Kemiringan garis mempresentasikan modulus elastisitas. Puncak kurva menunjukkan Max Load yang dapat ditahan oleh spesimen sebelum mulai mengalami deformasi plastis yang signifikan/patah. Setelah puncak kurva mulai menurun yang menunjukkan daerah plastis, dimana material mengalami deformasi permanen. Grafik menunjukkan kecuraman yang menunjukkan bahwa material relatif getas. Naik dan turunnya grafik disebabkan adanya penguatan atau orientasi internal pada material sebelum akhirnya melemah dan patah.

Perbandingan grafik gaya elongasi antara Spesimen 10 dan Spesimen 30 menunjukkan perbedaan respons mekanik yang signifikan akibat variasi kinerja *filler* biomassa dalam matriks polipropilena. Spesimen 30 memperlihatkan peningkatan gaya tarik yang lebih tajam hingga mencapai beban maksimum sebesar 264,78 N dengan kekuatan tarik 1,157 MPa, yang jauh lebih tinggi dibandingkan Spesimen 10 yang hanya mencapai beban maksimum 88,26 N dan kekuatan tarik 0,39 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa pada Spesimen 30 terjadi transfer tegangan yang lebih efektif antara matriks dan

filler sekam padi dan ampas kopi, sehingga material mampu menahan beban yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan. Menurut Nugroho (2024), kekuatan tarik pada pemanfaatan abu sekam padi sebagai *filler* dalam komposit meningkat sebesar $\pm 18\%$ pada penambahan 10% ASP dibandingkan komposit tanpa *filler*. Nilai kekuatan tarik yang rendah ini mengindikasikan bahwa mekanisme transfer tegangan dari matriks ke *filler* belum berlangsung secara optimal. Fenomena serupa juga dilaporkan pada komposit berpenguat biomassa dengan fraksi dan ikatan antarmuka yang kurang baik, yang cenderung menghasilkan kekuatan tarik rendah sebelum terjadi kegagalan material (Gundara & Rahman, 2019).

Max Load yang ditunjukkan adalah 88,26 N (spesimen 10) dan 264,78 N (spesimen 30) merupakan nilai yang dapat ditahan oleh spesimen sebelum mulai mengalami deformasi plastis yang signifikan atau patah. Setelah melewati puncak, kurva mulai menurun, menunjukkan daerah plastis, di mana material mengalami deformasi permanen (Bruhns, 2021). Spesimen 30 menunjukkan elongasi maksimum yang lebih tinggi dan penurunan gaya yang berlangsung secara bertahap setelah titik maksimum, mengindikasikan mekanisme kegagalan progresif dan perilaku yang relatif lebih ulet. Kondisi ini merupakan kelebihan utama Spesimen 30 karena material tidak langsung mengalami patah getas, melainkan mampu menyerap energi deformasi lebih besar. Sebaliknya, Spesimen 10 menunjukkan penurunan gaya yang lebih cepat setelah mencapai puncak, disertai fluktuasi gaya yang lebih kecil, yang menandakan terjadinya kegagalan dini akibat lemahnya ikatan antarmuka *filler* matriks atau kemungkinan distribusi *filler* yang kurang homogen. Hal tersebut menjadi kelemahan Spesimen 10 karena membatasi kemampuan material dalam menahan deformasi dan beban tarik.

Penurunan yang cukup curam mengindikasikan material yang cenderung getas. Penambahan *filler* biomassa pada fraksi tertentu dapat memperbaiki sifat mekanik komposit akibat berkurangnya rongga (*void*) dan meningkatnya interaksi antarpartikel (Janowski et al., 2025). Sekam padi yang kaya silika serta partikel lignoselulosa dari ampas kopi berkontribusi terhadap peningkatan kekakuan dan kekuatan tarik komposit hingga mencapai kadar *filler* optimum (Fayzullin et al., 2025). Meskipun demikian, seluruh spesimen memiliki kekuatan yang rendah sehingga mudah getas.

Karakteristik Spesimen 10 masih menunjukkan adanya mekanisme kegagalan bertahap yang mengindikasikan peran *filler* biomassa dalam menahan propagasi retak, meskipun belum optimal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Spesimen 30 memiliki keunggulan dalam hal kekuatan tarik dan keuletan, sedangkan Spesimen 10

memiliki keterbatasan pada kemampuan transfer tegangan dan ketahanan deformasi. Perbedaan ini menegaskan pentingnya pengendalian komposisi, dispersi *filler*, dan kualitas interaksi antarmuka dalam pengembangan komposit polimer berbasis biomassa. Bila dibandingkan, material dengan konsentrasi limbah 30% cenderung memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan material dengan kandungan limbah 10%. Peningkatan kekuatan ini dipengaruhi oleh peran sekam padi dan ampas kopi yang berfungsi sebagai *filler* dalam matriks komposit, sehingga meningkatkan kepadatan dan efisiensi transfer beban antar fase.

Ketahanan dan Kestabilan Spesimen

Pengujian ketahanan dan kestabilan spesimen dilakukan melalui perendaman menggunakan larutan NaOH, HCl, dan air untuk mengevaluasi perubahan dimensi panjang, lebar, dan berat spesimen pada konsentrasi 10% dan 30%. Analisis statistik menggunakan metode ANOVA dua arah dilakukan untuk menentukan pengaruh jenis perlakuan kimia dan parameter fisik terhadap perubahan sifat spesimen.

Tabel 1. Anova spesimen konsentrasi 10%

Sumber Variasi	SS	df	MS	F	p-value	F kritis
Perlakuan kimia	1,171756	2	0,585878	2,815216	0,0044	6,944272
Parameter fisik	0,031622	2	0,015811	0,759744	0,525197	6,944272
Galat	0,083244	4	0,020811			
Total	1,286622	8				

Tabel 2. Anova spesimen konsentrasi 30%

Sumber Variasi	SS	df	MS	F	p-value	F kritis
Perlakuan kimia	2,054,022	2	1,027,011	9,546,685	0,030002	6,944,272
Parameter fisik	0,232156	2	0,116078	1,079,013	0,421927	6,944,272
Galat (Error)	0,430311	4	0,107578			
Total	2,716,489	8				

Berdasarkan hasil ANOVA pada spesimen dengan konsentrasi 10% (Tabel 1), faktor perlakuan kimia menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan dan kestabilan spesimen, yang ditunjukkan oleh nilai p-value sebesar 0,0044 ($< 0,05$). Nilai F yang lebih besar dibandingkan F kritis mengindikasikan bahwa perbedaan jenis media perendaman memberikan respons yang berbeda secara nyata terhadap spesimen. Sebaliknya, faktor parameter fisik berupa panjang, lebar, dan berat tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, dengan nilai p-value sebesar 0,525 ($> 0,05$). Hasil ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi 10%, perubahan ketahanan dan kestabilan spesimen lebih dipengaruhi oleh jenis perlakuan kimia dibandingkan variasi parameter fisik awal.

Hasil serupa juga ditunjukkan pada spesimen dengan konsentrasi 30% (Tabel 2), di mana faktor perlakuan kimia memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respon spesimen dengan nilai p-value sebesar 0,030 ($< 0,05$). Sementara itu, faktor parameter fisik kembali tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan (p-value = 0,422). Temuan ini

menegaskan bahwa pada konsentrasi *filler* yang lebih tinggi, jenis media perendaman tetap menjadi faktor dominan yang memengaruhi ketahanan dan kestabilan spesimen.

Tabel 3. Perubahan fisik spesimen konsentrasi 10% setelah uji ketahanan

Parameter	NaOH	HCl	Air
Panjang	-0,2	-0,2	-0,3
Lebar	-0,1	-0,2	0,0
Berat	0,8	0,59	0,38

Tabel 4. Perubahan fisik spesimen konsentrasi 30% setelah uji ketahanan

Parameter	NaOH	HCl	Air
Panjang	0,1	-0,4	-0,9
Lebar	0,0	0,2	0,3
Berat	1,02	0,75	0,54

Perubahan fisik spesimen sebelum dan sesudah perendaman ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 4. Pada konsentrasi 10%, perendaman menggunakan NaOH dan HCl menyebabkan penyusutan dimensi panjang dan lebar spesimen, disertai dengan peningkatan berat. Fenomena ini mengindikasikan terjadinya interaksi kimia antara larutan dan struktur biomassa, yang memungkinkan penetrasi larutan ke dalam matriks material. Pada perendaman menggunakan air, spesimen mengalami penyusutan panjang tanpa perubahan lebar yang signifikan, dengan peningkatan berat yang lebih rendah dibandingkan perlakuan kimia. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun air tidak bersifat reaktif secara kimia, mekanisme difusi dan absorpsi tetap memengaruhi kestabilan fisik spesimen.

Pada konsentrasi 30%, respons spesimen terhadap perendaman menunjukkan pola yang lebih kompleks. Perlakuan NaOH menyebabkan peningkatan panjang dan berat spesimen tanpa perubahan lebar yang signifikan, yang mengindikasikan terjadinya pengembangan struktur akibat peningkatan porositas dan penyerapan larutan. Sebaliknya, perlakuan HCl menyebabkan penyusutan panjang yang disertai peningkatan lebar dan berat spesimen, yang mencerminkan terjadinya perubahan struktur internal material. Pada perendaman menggunakan air, spesimen mengalami penyusutan panjang dengan peningkatan lebar dan berat, yang terutama dipengaruhi oleh mekanisme penyerapan air dan pengembangan pori.

Perbedaan perubahan dimensi dan berat spesimen akibat perlakuan perendaman dapat dijelaskan berdasarkan mekanisme interaksi kimia dan fisik antara larutan dan struktur biomassa. Perlakuan menggunakan NaOH diketahui mampu melarutkan sebagian hemiselulosa dan lignin, sehingga membuka struktur lignoselulosa dan meningkatkan porositas material (Moramarco et al., 2025). Pada kondisi tertentu, peningkatan porositas ini tidak selalu diikuti oleh penurunan massa, melainkan meningkatkan kapasitas penyerapan larutan, yang tercermin dari bertambahnya berat spesimen setelah perendaman.

Perlakuan menggunakan HCl bekerja melalui mekanisme hidrolisis komponen hemiselulosa serta pelarutan mineral anorganik, yang menyebabkan deformasi dimensi spesimen dan pelemahan struktur internal. Namun demikian, terbukanya pori-pori material juga memungkinkan larutan masuk ke dalam matriks, sehingga meningkatkan berat spesimen (Tabish et al., 2024). Sementara itu, perendaman menggunakan air tidak melibatkan reaksi kimia yang signifikan, tetapi tetap menyebabkan perubahan dimensi dan berat akibat mekanisme difusi dan absorpsi air ke dalam struktur material.

Hasil pengujian ketahanan dan kestabilan spesimen menunjukkan bahwa jenis media perendaman lebih menentukan dibandingkan parameter fisik. Peningkatan konsentrasi *filler* biomassa dari 10% menjadi 30% memperkuat respons spesimen terhadap perlakuan kimia, yang tercermin dari perubahan dimensi dan berat yang lebih beragam. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan kondisi perlakuan kimia dalam pengembangan komposit berbasis biomassa agar diperoleh kestabilan dimensi dan ketahanan material yang optimal.

4 Kesimpulan

Sekam padi dan ampas kopi berpotensi dimanfaatkan secara simultan sebagai *filler* biomassa dalam komposit berbasis polipropilena (PP), meskipun kinerja mekanik yang dihasilkan masih relatif rendah. Peningkatan fraksi *filler* hingga 30% menghasilkan peningkatan kekuatan tarik dibandingkan fraksi 10%, yang mengindikasikan peran *filler* dalam meningkatkan kepadatan material dan efisiensi transfer beban. Karakteristik mekanik seluruh spesimen masih cenderung getas yang menandakan bahwa ikatan antarmuka belum optimal. Evaluasi ketahanan melalui pengujian perendaman menunjukkan bahwa parameter fisik tidak memberikan pengaruh signifikan.

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai *filler* komposit merupakan strategi untuk meningkatkan nilai tambah limbah pertanian dan mengurangi ketergantungan pada material berbasis sumber daya tak terbarukan. Meskipun kinerja mekanik yang dihasilkan masih terbatas untuk aplikasi struktural, material komposit ini berpotensi digunakan pada aplikasi non-struktural bernilai rendah hingga menengah. Rekayasa antarmuka, metode pencampuran, dan modifikasi *filler*, komposit berbasis limbah biomassa ini berpeluang menjadi material ramah lingkungan yang mendukung keberlanjutan industri dan pengelolaan limbah secara sirkular.

Daftar Pustaka

- Bruhns, O. T. (2020). Large deformation plasticity: From basic relations to finite deformation. *Acta Mechanica Sinica*, 36(2), 472–492.
<https://doi.org/10.1007/s10409-020-00926-7>
- Fayzullin, I., Gorbachev, A., Volfson, S., Zhakypova, G., Uderbayev, S., Nakyp, A., &

- Akylbekov, N. (2025). Influence of Different Dosages of Rice Husk Particles on Thermal, Physical, Mechanical and Rheological Properties of Polypropylene-Based Composites. *Journal of Composites Science*, 9(8), 443. <https://doi.org/10.3390/jcs9080443>
- Gundara, G., & Rahman, M. B. N. (2019). Sifat Tarik, Bending dan Impak Komposit Serat Sabut Kelapa-Polyester dengan Variasi Fraksi Volume. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 3(1). <https://doi.org/10.18196/jmpm.3132>
- Hamidu, I., Afotey, B., Kwakye-Awuah, B., & Anang, D. A. (2025). Synthesis of silica and silicon from rice husk feedstock: A review. *Heliyon*, 11(4), e42491. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42491>
- Janowski, G., Frącz, W., Bąk, Ł., Sikora, J. W., Tomczyk, A., Mrówka-Nowotnik, G., & Mossety-Leszczak, B. (2025). Effect of Coffee Grounds Content on Properties of PHBV Biocomposites Compared to Similar Composites with Other Fillers. *Polymers*, 17(6), 764. <https://doi.org/10.3390/polym17060764>
- Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206, 112285. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285>
- Lantasi, A. I. D., Syafrudin, & Budiyo. (2020). Rice husk as renewable energy for biogas production from biomass: Prospect and challenges. *E3S Web of Conferences*, 202, 06024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206024>
- Matin, H. H. A., Syafrudin, & Suherman. (2020). Solid State Anaerobic Digestion for Biogas Production from Rice Husk. *E3S Web of Conferences*, 202, 08005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020208005>
- Moramarco, A., Ricca, E., Acciardo, E., Laurenti, E., & Bracco, P. (2025). Cellulose Extraction from Soybean Hulls and Hemp Waste by Alkaline and Acidic Treatments: An In-Depth Investigation on the Effects of the Chemical Treatments on Biomass. *Polymers*, 17(9), 1220. <https://doi.org/10.3390/polym17091220>
- Nugroho. (2024). Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Filler dalam komposit Polimer: Studi Karakteristik Mekanik dan Termal. *Tatal*, 3(1). <https://ejurnal.unisfat.ac.id/index.php/tatal/article/view/72/47>
- Nury, D. F., Luthfi, M. Z., Farohi, A. R., & Widjaja, T. (2023). Pengaruh Pre-Treatment Kimia dan Biologi Terhadap Produksi Biogas dari Kulit Kopi. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, 4(2), 47–53. <https://doi.org/10.52759/reactor.v4i2.99>
- Pramesti, F. S., Firnia, D., Putri, W. E., & Sodik, A. H. (2024). Applying coffee processing waste as an organic material against growth and yield of caisim plant (*Brassica chinensis* var. *Parachinensis*). *Gema Wiralodra*, 15(1), 156–166. <https://doi.org/10.31943/gw.v15i1.669>
- Raj, S. S., Michailovich, K. A., Subramanian, K., Sathiamoorthy, S., & Kandasamy, K. T. (2021). Philosophy of Selecting ASTM Standards for Mechanical Characterization of Polymers and Polymer Composites. *Materiale Plastice*, 58(3), 247–256. <https://doi.org/10.37358/MP.21.3.5523>
- Ramesh, M., Rajeshkumar, L. N., Srinivasan, N., Kumar, D. V., & Balaji, D. (2022). Influence of filler material on properties of fiber-reinforced polymer composites: A review. *E-Polymers*, 22(1), 898–916. <https://doi.org/10.1515/epoly-2022-0080>
- Sisti, L., Celli, A., Totaro, G., Cinelli, P., Signori, F., Lazzeri, A., Bikaki, M., Corvini, P., Ferri, M., Tassoni, A., & Navarini, L. (2021). Monomers, Materials and Energy from Coffee By-Products: A Review. *Sustainability*, 13(12), 6921. <https://doi.org/10.3390/su13126921>

- Syafri, M. H., & Murnawan, H. (2025). Pemanfaatan Optimal Limbah: Inovasi dan Teknologi Pembuatan Briket dari Ampas Kopi dan Kulit Ari Kelapa. *Industrika : Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 9(2), 303–313. <https://doi.org/10.37090/indstrk.v9i2.1974>
- Tabish, A. N., Irfan, M., Irshad, M., Hussain, M. A., Zeb, H., Jahangir, S., Shahzad, A., Siddiqi, M. H., Mujtaba, M. A., Fouad, Y., & Kalam, M. A. (2024). Optimization of waste biomass demineralization through response surface methodology and enhancement of thermochemical and fusion properties. *Scientific Reports*, 14(1), 27246. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63471-4>
- Yang, S. B., Woo, M. J., Lee, D., Kim, J.-H., Nam, S. Y., & Kwon, D.-J. (2025). Mechanical and Anti-Icing Properties of Polyurethane/Carbon Fiber-Reinforced Polymer Composites with Carbonized Coffee Grounds. *Materials*, 18(19), 4533. <https://doi.org/10.3390/ma18194533>