



Perancangan dan Karakterisasi Papan Komposit Tahan Panas Berbasis Abu Sekam Padi dan Bubuk Cangkang Kerang Semping Sebagai Material Tatakan Setrika

Ayusika Yumna Agil Nabillah^{1*}, R Hari Setyanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

*Penulis Korespondensi: ayusikayumnaaa@student.uns.ac.id, setyanto@staff.uns.ac.id

Abstract. *The utilization of agro-maritime waste as composite material feedstock is one of the efforts to produce functional materials with added value while supporting environmental sustainability. This study aims to analyze the effect of composition variations of rice husk ash and scallop shell (*Amusium pleuronectes*) powder on the thermal resistance of waterglass (sodium silicate) matrix composite boards and to evaluate their potential as iron rest material. Composite boards were fabricated using the hand lay-up method with two composition variations: Variation 1 (50% waterglass, 30% rice husk ash, 20% scallop shell powder) and Variation 2 (50% waterglass, 20% rice husk ash, 30% scallop shell powder), with 200 mesh fillers and three replications per variation. Thermal conductivity was measured using a Pasco TD-8561 apparatus, and thermal resistance was calculated accordingly, then statistically analyzed through Shapiro-Wilk, Levene, and independent samples T-tests. Results showed that Variation 1 produced a higher average thermal resistance of 2.77 K/W compared to Variation 2 at 2.31 K/W, with a T-test significance value of 0.024 ($p < 0.05$), confirming that filler composition significantly affects thermal resistance. The optimal composition, Variation 1, achieved a thermal resistance range of 2.65–2.87 K/W, demonstrating strong potential as a sustainable waste-based iron rest material.*

Keywords: *Rice Husk Ash; Scallop Shell Powder; Waterglass; Composite Board; Thermal Resistance.*

Abstrak. Pemanfaatan limbah agro-maritim sebagai bahan baku material komposit merupakan salah satu upaya untuk menghasilkan material fungsional yang bernilai tambah sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang semping (*Amusium pleuronectes*) terhadap nilai hambat panas papan komposit bermatriks *waterglass* (natrium silikat) serta mengevaluasi potensinya sebagai material tatakan setrika. Papan komposit dibuat menggunakan metode *hand lay-up* dengan dua variasi komposisi, yaitu Variasi 1 (50% *waterglass*, 30% abu sekam padi, dan 20% bubuk cangkang kerang semping) serta Variasi 2 (50% *waterglass*, 20% abu sekam padi, dan 30% bubuk cangkang kerang semping). Seluruh *filler* diayak hingga ukuran 200 *mesh* dan pembuatan spesimen dilakukan sebanyak tiga replikasi per variasi. Spesimen diuji konduktivitas termalnya menggunakan *Thermal Conductivity Apparatus* Pasco TD-8561. Nilai konduktivitas termal yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai hambat panas, kemudian dianalisis secara statistik melalui uji normalitas Shapiro-Wilk, uji homogenitas Levene, dan uji T dua sampel independen menggunakan Minitab. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Variasi 1 menghasilkan nilai hambat panas rata-rata sebesar 2,77 K/W, lebih tinggi dibandingkan Variasi 2 sebesar 2,31 K/W. Hasil uji T menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,024 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa perbedaan komposisi *filler* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai hambat panas papan komposit. Penelitian ini menyimpulkan bahwa peningkatan proporsi abu sekam padi terbukti meningkatkan nilai hambat panas karena kandungan silika yang tinggi dan struktur partikelnya yang berpori, dengan komposisi terbaik diperoleh pada Variasi 1 dengan rentang nilai hambat panas 2,65–2,87 K/W yang berpotensi dikembangkan sebagai material tatakan setrika berbasis limbah yang berkelanjutan.

Kata kunci: Abu Sekam Padi; Bubuk Cangkang Kerang Samping; *Waterglass*; Papan Komposit; Hambat Panas.

1. LATAR BELAKANG

Pemanfaatan limbah sebagai bahan baku material rekayasa saat ini menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan teknologi manufaktur dan ilmu material berkelanjutan. Peningkatan aktivitas industri, pertanian, dan konsumsi masyarakat menyebabkan volume limbah yang dihasilkan terus meningkat dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut mendorong munculnya konsep *circular economy* yang menekankan pemanfaatan kembali limbah menjadi produk bernilai tambah sehingga dapat mengurangi tekanan terhadap lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya (Ghosh et al., 2023). Dalam konteks rekayasa material, berbagai jenis limbah biomassa mulai banyak dikembangkan sebagai bahan penyusun komposit karena memiliki ketersediaan yang melimpah, biaya yang relatif rendah, serta berpotensi menghasilkan karakteristik material yang kompetitif dibandingkan material konvensional (Turku et al., 2023).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil padi terbesar di dunia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi Indonesia pada tahun 2025 mencapai 71,95 juta ton GKP dengan luas panen sekitar 11,32 juta hektar (BPS, 2026). Besarnya produksi padi nasional berbanding lurus dengan jumlah limbah sekam padi yang dihasilkan selama proses penggilingan, yaitu diperkirakan lebih dari 11 juta ton per tahun. Abu sekam padi yang merupakan residu pembakaran sekam diketahui memiliki kandungan silika (SiO_2) yang sangat tinggi, berkisar antara 86,90% hingga 97,30%, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku material rekayasa bernilai tambah (Anisyah dkk., 2023). Tingginya kandungan silika tersebut menjadikan abu sekam padi sebagai sumber material fungsional yang berpotensi digunakan dalam pengembangan komposit tahan panas dan material insulasi termal (Taiye et al., 2024).

Selain limbah pertanian, Indonesia juga menghasilkan limbah perikanan dalam jumlah besar, salah satunya dari kerang sumping (*Amusium pleuronectes*) yang tersebar di perairan Pantai Utara Jawa, Laut Jawa, Laut Flores, dan wilayah lainnya (Nursalim dkk., 2012). Cangkang kerang menyusun sekitar 60–70% dari berat total kerang dan mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai filler pada material komposit (Owuamanam & Cree, 2020). Penelitian Abdul

Rachman dkk. (2019) menunjukkan bahwa cangkang kerang simping memiliki kandungan mineral berbasis kalsium yang tinggi dan dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai filler pada berbagai produk rekayasa material.

Matriks yang digunakan dalam penelitian ini adalah *waterglass* atau natrium silikat (Na_2SiO_3), yaitu bahan anorganik yang banyak dimanfaatkan sebagai perekat pada material refraktori, material tahan api, dan produk insulasi panas. *Waterglass* dipilih karena memiliki stabilitas termal yang baik, tidak mudah terbakar, serta mampu membentuk ikatan yang kuat dengan material berbasis silika (Hop et al., 2021). Secara konseptual, kombinasi abu sekam padi sebagai *filler* utama yang kaya silika dan bubuk cangkang kerang simping sebagai *filler* tambahan yang kaya kalsium karbonat dalam matriks *waterglass* berpotensi menghasilkan papan komposit dengan karakteristik termal yang baik.

Salah satu produk rumah tangga yang membutuhkan karakteristik material tahan panas adalah tatakan setrika. Pada kondisi operasional, suhu alas setrika dapat mencapai kisaran 100°C hingga lebih dari 200°C . Material tatakan setrika yang beredar di pasaran umumnya menggunakan bahan berbasis plastik, silikon, dan *stainless steel* yang masing-masing masih memiliki keterbatasan tertentu terkait ketahanan panas, harga, maupun konduktivitas termal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang simping terhadap nilai hambat panas papan komposit bermatriks *waterglass* serta mengevaluasi potensinya sebagai material tatakan setrika yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Bagian Material komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material yang secara sinergis menghasilkan sifat yang lebih unggul dibandingkan masing-masing komponen penyusunnya. Dalam konteks keberlanjutan, pengembangan komposit berbasis limbah biomassa telah mendapat perhatian luas karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya yang relatif rendah (Turku et al., 2023). Komposit papan berbasis limbah agro-maritim menjadi salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam menghasilkan material fungsional bernilai tambah sekaligus mengurangi volume limbah yang tidak termanfaatkan.

Abu sekam padi merupakan residu hasil pembakaran sekam padi yang memiliki kandungan silika (SiO_2) sangat tinggi, berkisar antara 86,90% hingga 97,30% (Anisyah dkk., 2023). Silika merupakan material anorganik dengan karakteristik kekerasan tinggi, stabilitas kimia yang baik, ketahanan terhadap abrasi, serta kemampuan mempertahankan sifatnya pada temperatur tinggi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kandungan silika pada abu sekam padi mampu meningkatkan kekakuan material, memperbaiki stabilitas termal, serta menurunkan laju perpindahan panas pada sistem komposit tertentu (Osman dkk., 2021). Selain itu, struktur partikel abu sekam padi yang relatif berpori berkontribusi dalam meningkatkan hambatan termal komposit.

Cangkang kerang samping (*Amusium pleuronectes*) mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai *filler* pada material komposit (Owuamanam & Cree, 2020). Penelitian Agustini dkk. (2011) menyebutkan bahwa cangkang kerang samping merupakan sumber kalsium alami yang potensial dan dapat diolah menjadi berbagai produk berbasis material fungsional. Kalsium karbonat memiliki struktur yang lebih padat dibandingkan silika, sehingga peningkatan proporsinya dalam komposit dapat memengaruhi kemampuan material dalam menghantarkan panas.

Waterglass atau natrium silikat (Na_2SiO_3) adalah bahan anorganik yang banyak dimanfaatkan sebagai perekat pada material refraktori dan produk insulasi panas. *Waterglass* memiliki stabilitas termal yang baik, tidak mudah terbakar, serta mampu membentuk ikatan yang kuat dengan material berbasis silika melalui reaksi kondensasi dehidrasi yang membentuk kerangka tiga dimensi amorf (Hop et al., 2021). Kesamaan karakteristik kimia antara *waterglass* dan abu sekam padi yang sama-sama kaya akan unsur silika diharapkan dapat meningkatkan ikatan antarfase dalam sistem komposit yang dikembangkan.

3. METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi *filler* terhadap nilai hambat panas papan komposit. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi *filler* abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang samping, sedangkan variabel terikat adalah nilai konduktivitas

termal dan nilai hambat panas papan komposit yang dihasilkan. Variabel kontrol yang ditetapkan meliputi ukuran partikel *filler* (200 *mesh*), persentase *waterglass* (50%), dan waktu *curing*.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi abu sekam padi sebagai filler utama sumber silika, bubuk cangkang kerang simping (*Amusium pleuronectes*) sebagai *filler* tambahan sumber kalsium karbonat, dan *waterglass* (natrium silikat) sebagai matriks pengikat. Massa jenis *waterglass* diukur secara langsung sebesar 1,59 g/cm³, massa jenis abu sekam padi sebesar 1,30 g/cm³, dan massa jenis bubuk cangkang kerang simping sebesar 1,48 g/cm³. Peralatan utama yang digunakan adalah timbangan digital, ayakan mesh 200, cetakan spesimen, oven laboratorium, dan *Thermal Conductivity Apparatus* Pasco TD-8561.

Variasi Komposisi

Penelitian menggunakan dua variasi komposisi dengan proporsi *waterglass* tetap sebesar 50%, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. Setiap variasi dibuat sebanyak tiga replikasi sehingga total spesimen berjumlah enam buah.

Variasi	<i>Waterglass</i> (%)	Abu Sekam Padi (%)	Bubuk Cangkang Kerang (%)
Variasi 1	50	30	20
Variasi 2	50	20	30

Tabel 1. Variasi Komposisi Papan Komposit

Prosedur Pembuatan Spesimen

Spesimen uji dibuat dengan dimensi 12,8 cm × 12,8 cm × 0,7 cm menggunakan metode hand lay-up. Abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang simping terlebih dahulu diayak menggunakan ayakan standar ukuran *mesh* 200 untuk memastikan keseragaman ukuran partikel. Selanjutnya, kedua *filler* dicampurkan dalam kondisi kering hingga partikel terdistribusi merata, kemudian *waterglass* dituangkan secara

bertahap sambil diaduk hingga terbentuk adonan komposit yang homogen. Adonan dituangkan ke dalam cetakan dan diratakan menggunakan spatula untuk meminimalisir terbentuknya rongga udara. Spesimen didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam, kemudian dilakukan proses curing dalam oven pada suhu 60°C selama 30 menit dilanjutkan 80°C selama 30 menit.

Pengujian Konduktivitas Termal dan Perhitungan Hambat Panas

Pengujian konduktivitas termal dilakukan menggunakan *Thermal Conductivity Apparatus* Pasco TD-8561 di Laboratorium Terpadu Universitas Sebelas Maret. Pengujian dilakukan dengan metode lelehan es melalui dua tahap, yaitu pengukuran massa air lelehan tanpa pemanasan (m_1) dan dengan pemanasan (m_2) masing-masing selama 10 menit. Nilai konduktivitas termal dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$k = (R_o \times L_{es} \times h) / (A \times \Delta T)$$

Keterangan:

k = konduktivitas termal (cal/cm.sec.°C);

R_o = laju pelelehan es (g/s);

h = ketebalan spesimen (cm);

A = luas penampang (cm²);

ΔT = selisih temperatur (°C).

Nilai k kemudian dikonversi ke satuan W/m.K menggunakan faktor konversi 418,68 (1 cal/cm.s.°C = 418,68 W/m.K).

Nilai hambatan panas (R) dihitung menggunakan persamaan:

$$R = L / (k \times A)$$

Keterangan:

R = hambatan termal (K/W);

L = tebal spesimen (m);

k = konduktivitas termal (W/m.K);

A = luas penampang (m²).

Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan melalui tiga tahap menggunakan perangkat lunak Minitab. Pertama, uji normalitas Shapiro-Wilk untuk mengetahui distribusi data ($p > 0,05 = \text{normal}$). Kedua, uji homogenitas Levene untuk mengetahui kesamaan varians antar kelompok ($p > 0,05 = \text{homogen}$). Ketiga, uji T dua sampel independen untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara nilai hambat panas kedua variasi komposisi ($p < 0,05 = \text{berbeda signifikan}$).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN (Sub judul level 1)

Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Pengujian konduktivitas termal dilakukan terhadap enam spesimen yang terdiri dari tiga replikasi per variasi. Hasil pengujian dan konversi nilai konduktivitas termal disajikan pada Tabel 2.

Spesimen	Kode	h (cm)	A (cm ²)	k ($\times 10^{-4}$ cal/cm.s. ^{°C})	k (W/m.K)
Variasi 1 (50% WG, 30% AS, 20% BC)	1A	0,7	44,8	14,1	0,59
	1B	0,7	43,6	13,3	0,56
	1C	0,7	44,2	13,7	0,57
Variasi 2 (50% WG, 20% AS, 30% BC)	2A	0,7	44,8	15,8	0,66
	2B	0,7	44,8	16,2	0,68
	2C	0,7	43,0	17,2	0,72

5. Tabel 2. Nilai Konduktivitas Termal Papan Komposit

Berdasarkan Tabel 2, nilai konduktivitas termal terendah diperoleh pada spesimen 1B dengan komposisi 50% *waterglass*, 30% abu sekam padi, dan 20% bubuk cangkang kerang simping sebesar 0,56 W/m.K. Sebaliknya, nilai konduktivitas termal tertinggi diperoleh pada spesimen 2C dengan komposisi 50% *waterglass*, 20% abu sekam padi, dan 30% bubuk cangkang kerang simping sebesar 0,72 W/m.K. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi abu sekam padi cenderung menurunkan nilai konduktivitas

termal, sedangkan peningkatan proporsi bubuk cangkang kerang simping cenderung meningkatkan nilai konduktivitas termal material.

Hasil Perhitungan Nilai Hambat Panas

Nilai hambat panas dihitung berdasarkan nilai konduktivitas termal yang telah diperoleh. Hasil perhitungan nilai hambat panas disajikan pada Tabel 3.

Spesimen	Kode	A (m ²)	k (W/m.K)	L (m)	R (K/W)
Variasi 1	1A	0,00448	0,59	0,007	2,65
	1B	0,00436	0,56	0,007	2,87
	1C	0,00442	0,57	0,007	2,78
Variasi 2	2A	0,00448	0,66	0,007	2,37
	2B	0,00448	0,68	0,007	2,30
	2C	0,00430	0,72	0,007	2,26

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai Hambat Panas

Berdasarkan Tabel 3, nilai hambat panas terbesar diperoleh pada spesimen 1B sebesar 2,87 K/W dengan komposisi 50% *waterglass*, 30% abu sekam padi, dan 20% bubuk cangkang kerang simping. Secara rata-rata, Variasi 1 menghasilkan nilai hambat panas sebesar 2,77 K/W, lebih tinggi dibandingkan Variasi 2 sebesar 2,31 K/W.

Hasil Analisis Statistik

Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata nilai hambat panas Variasi 1 sebesar 2,77 K/W dengan standar deviasi 0,11, sedangkan Variasi 2 sebesar 2,31 K/W dengan standar deviasi 0,06. Rentang nilai hambat panas Variasi 1 berada antara 2,65–2,87 K/W, sedangkan Variasi 2 berada antara 2,26–2,37 K/W. Nilai standar deviasi yang relatif kecil pada kedua variasi menunjukkan tingkat konsistensi data yang baik.

Hasil uji normalitas Shapiro-Wilk menunjukkan nilai p-value pada Variasi 1 dan Variasi 2 lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data pada kedua variasi berdistribusi normal. Hasil uji homogenitas Levene menunjukkan nilai p-value sebesar 0,446 ($> 0,05$), yang mengindikasikan bahwa varians kedua kelompok data adalah

homogen. Berdasarkan terpenuhinya asumsi normalitas dan homogenitas, analisis dilanjutkan dengan uji T dua sampel independen. Hasil uji T menunjukkan nilai p-value sebesar 0,024 ($p < 0,05$), sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai hambat panas Variasi 1 dan Variasi 2.

Analisis Pengaruh Komposisi terhadap Nilai Hambat Panas

Perbedaan nilai hambat panas antara kedua variasi menunjukkan bahwa perubahan proporsi abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang simping memengaruhi kemampuan papan komposit dalam menghantarkan panas. Peningkatan proporsi abu sekam padi dari 20% menjadi 30% menyebabkan kenaikan nilai hambat panas rata-rata sebesar 0,46 K/W. Hal ini disebabkan oleh kandungan silika yang tinggi pada abu sekam padi yang memiliki sifat insulasi termal yang baik. Selain itu, keberadaan pori-pori mikro pada partikel abu sekam padi dapat meningkatkan hambatan terhadap perpindahan panas di dalam komposit (Taiye et al., 2024).

Sebaliknya, peningkatan proporsi bubuk cangkang kerang simping dari 20% menjadi 30% menyebabkan penurunan nilai hambat panas. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) pada cangkang kerang memiliki struktur yang lebih padat sehingga dapat membentuk jalur perpindahan panas yang lebih kontinu di dalam material (Owuamanam & Cree, 2020). Kondisi ini sejalan dengan nilai konduktivitas termal Variasi 2 yang lebih tinggi dibandingkan Variasi 1, yakni rata-rata 0,69 W/m.K berbanding 0,57 W/m.K.

Potensi Papan Komposit sebagai Material Tatakan Setrika

Berdasarkan hasil pengujian, Variasi 1 dengan komposisi 50% waterglass, 30% abu sekam padi, dan 20% bubuk cangkang kerang simping ditetapkan sebagai komposisi terbaik karena menghasilkan nilai hambat panas tertinggi dalam rentang 2,65–2,87 K/W. Tatakan setrika memerlukan material yang mampu mengurangi perpindahan panas dari permukaan setrika menuju permukaan penyangga. Nilai hambat panas yang relatif tinggi pada papan komposit menunjukkan bahwa material ini memiliki kemampuan untuk memperlambat aliran panas sehingga dapat membantu melindungi permukaan di bawahnya dari paparan temperatur tinggi. Selain itu, pemanfaatan limbah abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang simping memberikan nilai tambah dari sisi keberlanjutan

lingkungan karena dapat mengurangi jumlah limbah agro-maritim yang tidak termanfaatkan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa variasi komposisi abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang samping berpengaruh signifikan terhadap nilai hambat panas papan komposit bermatriks *waterglass* ($p\text{-value} = 0,024$; $p < 0,05$). Variasi 1 dengan komposisi 50% *waterglass*, 30% abu sekam padi, dan 20% bubuk cangkang kerang samping menghasilkan nilai hambat panas rata-rata tertinggi sebesar 2,77 K/W dengan rentang 2,65–2,87 K/W, dibandingkan Variasi 2 sebesar 2,31 K/W dengan rentang 2,26–2,37 K/W. Peningkatan proporsi abu sekam padi terbukti meningkatkan nilai hambat panas karena kandungan silika yang tinggi dan struktur partikelnya yang berpori, sedangkan peningkatan proporsi bubuk cangkang kerang samping cenderung menurunkan nilai hambat panas akibat struktur kalsium karbonat yang lebih padat. Komposisi terbaik yang diperoleh berpotensi dikembangkan sebagai material tatakan setrika berbasis limbah yang berkelanjutan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah variasi komposisi abu sekam padi dan bubuk cangkang kerang samping yang lebih beragam guna memperoleh komposisi optimum dengan nilai hambat panas yang lebih tinggi. Selain itu, perlu dilakukan pengujian sifat mekanik seperti kekuatan tekan dan kekerasan, serta pengujian ketahanan terhadap temperatur tinggi agar karakteristik papan komposit dapat diketahui secara lebih menyeluruh. Pengujian langsung pada aplikasi tatakan setrika dalam kondisi penggunaan nyata juga sangat direkomendasikan untuk mengevaluasi kinerja material secara nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulis dalam penyusunan artikel ini. Artikel ini merupakan bagian dari skripsi Program Studi Sarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, tahun 2026.

DAFTAR REFERENSI

- Abdul Rachman, M., dkk. (2019). Karakterisasi mineral cangkang kerang simping (*Amusium pleuronectes*) sebagai prekursor material biokeramik kalsium fosfat. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 9(2), 45–52.
- Agustini, S., dkk. (2011). Cangkang kerang simping sebagai sumber kalsium alami untuk produk berbasis material fungsional. *Jurnal Perikanan Indonesia*, 13(1), 12–20.
- Anisyah, dkk. (2023). Kandungan silika abu sekam padi dan potensinya sebagai material fungsional. *Jurnal Rekayasa Material*, 7(1), 10–18.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Produksi padi Indonesia tahun 2024*. <https://www.bps.go.id>
- Badan Pusat Statistik. (2026). *Produksi padi Indonesia tahun 2025*. <https://www.bps.go.id>
- Ghosh, S., dkk. (2023). Circular economy and waste valorization in manufacturing: A review. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135>
- Hop, T., dkk. (2021). Sodium silicate-based inorganic binders for refractory applications: A review. *Ceramics International*, 47(12), 16200–16215. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.045>
- Nursalim, dkk. (2012). Distribusi dan kelimpahan kerang simping (*Amusium pleuronectes*) di perairan Semarang dan Kendal. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 17(2), 89–96.
- Osman, dkk. (2021). Effect of rice husk ash as filler on thermal and mechanical properties of composite materials. *Construction and Building Materials*, 278, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122>
- Owuamanam, S., & Cree, D. (2020). Progress of bio-calcium carbonate waste eggshell and seashell fillers in polymer composites. *Journal of Composites Science*, 4(2), 70. <https://doi.org/10.3390/jcs4020070>
- Taiye, M., dkk. (2024). Rice husk ash as thermal insulation material: Properties and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 47, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102>

- Turku, I., dkk. (2023). Agro-industrial waste as raw material for composite manufacturing: A systematic review. *Resources, Conservation and Recycling*, 192, 106–120. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106>
- Widowati, dkk. (2025). Potensi dan sebaran kerang simping di sepanjang Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Perairan*, 19(1), 34–42.