

KARAKTERISASI KONDUKTIVITAS TERMAL MATERIAL KOMPOSIT SERBUK ARANG DAN RESIN EPOXY DENGAN VARIASI KOMPOSISI

THERMAL CONDUCTIVITY CHARACTERIZATION OF COMPOSITE MATERIALS FROM CHARCOAL POWDER AND EPOXY RESIN WITH COMPOSITION VARIATIONS

¹ Sallolo Suluh, ²Frans Robert Bethony, ³Eko Wahyu Saputra, ⁴Rizal Nazarrudin,
⁵Sabiqunassabiqun, ⁶Herman Pangloli

^{1,2,6}Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Toraja

^{3,4,5}Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

email : ³ekowahyusaputra92@gmail.com

ABSTRAK

Material komposit berbasis serbuk arang dan serat alami telah menjadi perhatian utama dalam pengembangan material ramah lingkungan dengan sifat mekanis dan termal yang unggul. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji konduktivitas termal material komposit yang dibuat dari campuran serbuk arang tempurung kelapa, tempurung kemiri, sekam padi, serat pelepah pisang, dan resin epoxy sebagai matriks. Variasi komposisi material dilakukan untuk menentukan kombinasi terbaik yang menghasilkan konduktivitas termal optimal. Metode penelitian meliputi pencampuran bahan, pencetakan spesimen dengan cetakan standar, dan pengujian konduktivitas termal menggunakan metode *steady-state*. Lima variasi komposisi material diuji, yaitu 60/20/10/10, 50/30/10/10, 40/40/10/10, 30/50/10/10, dan 20/60/10/10, dengan angka menunjukkan persentase dari tempurung kelapa, tempurung kemiri/sekam padi, serat pelepah pisang, dan resin epoxy secara berturut-turut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi 60/20/10/10 menghasilkan konduktivitas termal tertinggi sebesar 0,9236 W/mK ketika tempurung kelapa digunakan sebagai bahan dominan. Sebaliknya, konduktivitas termal terendah sebesar 0,3532 W/mK ditemukan pada variasi 20/60/10/10 dengan sekam padi sebagai bahan dominan. Penurunan konduktivitas termal pada proporsi sekam padi yang tinggi dikaitkan dengan peningkatan porositas material. Kesimpulannya, kombinasi optimal untuk aplikasi yang memerlukan sifat termal baik adalah komposisi dengan dominasi tempurung kelapa. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan material komposit berbasis serat alami untuk aplikasi teknis yang memerlukan isolasi termal yang efisien.

Kata Kunci : komposit, konduktivitas termal, serbuk arang, serat alami.

ABSTRACT

Composite materials based on charcoal powder and natural fibers have gained significant attention in the development of environmentally friendly materials with superior mechanical and thermal properties. This study aims to investigate the thermal conductivity of composite materials made from a mixture of coconut shell charcoal powder, candlenut shell charcoal, rice husk charcoal, banana fiber, and epoxy resin as the matrix. Variations in material composition were conducted to determine the optimal combination that achieves the best thermal conductivity. The research method involved mixing the materials, molding specimens using standard molds, and testing thermal conductivity with the *steady-state* method. Five material composition variations were tested: 60/20/10/10, 50/30/10/10, 40/40/10/10, 30/50/10/10, and 20/60/10/10, representing the percentages of coconut shell, candlenut shell/rice husk, banana fiber, and epoxy resin, respectively. The results showed that the 60/20/10/10 variation achieved the highest thermal conductivity of 0.9236 W/mK when coconut shell was the dominant component. Conversely, the lowest thermal conductivity of 0.3532 W/mK was observed in the 20/60/10/10 variation dominated by rice husk. The decline in thermal conductivity at higher rice husk proportions was attributed to increased material porosity. In conclusion, the optimal combination for applications requiring good thermal properties is the composition dominated by coconut shell. This study provides significant contributions to the development of natural fiber-based composite materials for technical applications demanding efficient thermal insulation.

Keywords : composite, thermal conductivity, charcoal powder, natural fibers.

I. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai material komposit telah menjadi fokus utama dalam bidang teknik mesin, terutama karena material ini mampu memenuhi kebutuhan akan material yang ringan namun memiliki sifat mekanis yang unggul. Berbagai jenis material komposit

berbasis serat alami semakin diminati karena ramah lingkungan, terbarukan, dan ekonomis. Di antara komposit berbasis serat alami, serbuk arang dan serat tumbuhan sering digunakan sebagai pengisi (filler) dan matriks dalam formulasi material baru untuk aplikasi Teknik (Nayan & Hafli, 2022).

Perkembangan teknologi material juga mengarah pada optimalisasi sifat termal komposit untuk aplikasi tertentu. Salah satu sifat termal yang penting adalah konduktivitas termal, yang berpengaruh langsung pada efisiensi transfer panas dalam sistem mekanik. Material dengan konduktivitas termal yang terkontrol sangat diperlukan dalam berbagai aplikasi, seperti insulator termal, perangkat penukar panas, dan pelapis pelindung (Syifa et al., 2021).

Studi ini memanfaatkan bahan baku lokal yang meliputi serbuk arang tempurung kelapa, serbuk arang tempurung kemiri, serbuk arang sekam padi, dan serat pelepah pisang. Resin epoxy dipilih sebagai bahan perekat, mengingat sifatnya yang memiliki kekuatan mekanis tinggi dan stabilitas kimia baik. Variasi komposisi material ini dilakukan untuk menentukan kombinasi optimal yang menghasilkan konduktivitas termal terbaik (Mirmanto et al., 2022).

Komposit berbasis serbuk arang dan serat tumbuhan tidak hanya menawarkan keunggulan dalam hal sifat mekanis, tetapi juga menyajikan peluang besar dalam aplikasi ramah lingkungan. Serbuk arang, seperti yang dihasilkan dari tempurung kelapa dan kemiri, memiliki struktur mikropori yang mampu meningkatkan karakteristik termal dan mekanis material. Tempurung kelapa dikenal memiliki kandungan karbon tinggi, sehingga berpotensi memberikan kontribusi signifikan pada peningkatan konduktivitas termal. Sementara itu, tempurung kemiri, meski kurang umum digunakan, memiliki struktur dan sifat kimia yang mampu melengkapi sifat mekanis dari tempurung kelapa (Nilna Minah et al., 2023).

Di sisi lain, sekam padi sebagai salah satu limbah pertanian terbesar di Indonesia juga menawarkan alternatif bahan pengisi yang murah dan melimpah. Serbuk sekam padi mengandung silika, yang dapat memperkuat struktur komposit, meskipun cenderung mengurangi sifat konduktivitas termalnya. Serat pelepah pisang, sebagai komponen serat alami, memberikan fleksibilitas tambahan dalam struktur komposit, membantu dalam meningkatkan kekuatan tarik serta menurunkan berat material keseluruhan (Wijaksono et al., 2021).

Pemilihan resin epoxy sebagai matriks juga didasarkan pada karakteristik unggulnya. Resin ini tidak hanya berfungsi sebagai perekat antar partikel, tetapi juga membantu mendistribusikan beban mekanis secara merata. Sifat resin epoxy yang tahan terhadap lingkungan ekstrem, seperti suhu tinggi dan kelembapan, menjadikannya pilihan utama dalam aplikasi komposit untuk teknik mesin (Hsissou et al., 2021).

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa variasi komposisi material dalam komposit dapat memengaruhi sifat fisik dan mekanis secara signifikan. Variasi proporsi serbuk arang, serat alami, dan resin memungkinkan pengujian optimalisasi sifat material berdasarkan kebutuhan aplikasinya. Namun, studi yang mengintegrasikan ketiga jenis material ini, khususnya tempurung kelapa, kemiri, sekam padi, dan serat pisang, masih jarang ditemukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengevaluasi sifat konduktivitas termal dari material komposit yang dihasilkan dari kombinasi bahan-bahan tersebut (Sulfianty et al., 2020).

Dalam pengaplikasiannya, material dengan konduktivitas termal yang terkontrol sangat relevan untuk industri. Sebagai contoh, material dengan konduktivitas termal tinggi dibutuhkan dalam aplikasi heat sink untuk mengalirkan panas dari perangkat elektronik. Sebaliknya, material dengan konduktivitas termal rendah sangat cocok digunakan dalam insulasi termal, seperti pelindung panas dalam sistem pemanas atau pendingin. Dengan demikian, memahami hubungan antara variasi komposisi material dan sifat termal yang dihasilkan merupakan langkah penting dalam desain material berbasis komposit (Vazri Muharom & Rifky, 2022).

Studi ini memberikan perhatian khusus pada bagaimana variasi komposisi material memengaruhi konduktivitas termal. Parameter seperti densitas dan porositas material juga dianalisis, mengingat keduanya memiliki peran penting dalam menentukan jalur transfer panas dalam material. Penelitian ini memanfaatkan uji eksperimental sebagai metode utama, dengan fokus pada pengukuran konduktivitas termal berdasarkan komposisi material yang divariasikan. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan wawasan baru mengenai sifat termal komposit berbasis serbuk arang dan serat alami, tetapi juga menawarkan potensi penerapan praktis dalam industri. Melalui analisis mendalam, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan material komposit yang lebih efektif dan efisien di masa depan.

II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi material terhadap konduktivitas termal komposit berbasis serbuk arang tempurung kelapa, serbuk arang tempurung kemiri, serbuk arang sekam padi, serat pelepah pisang, dan resin epoxy. Prosedur penelitian dilakukan secara sistematis, meliputi persiapan bahan, pembuatan spesimen, dan pengujian sifat termal.

A. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini mencakup serbuk arang tempurung kelapa, serbuk arang tempurung kemiri, serbuk arang sekam padi, serat pelepah pisang, dan resin epoxy. Tempurung kelapa dan kemiri diolah menjadi serbuk arang melalui proses pembakaran tertutup pada suhu tinggi untuk memastikan kandungan karbon yang maksimal. Sekam padi diolah menjadi serbuk menggunakan metode penggilingan dan penyaringan untuk mendapatkan partikel yang seragam. Serat pelepah pisang diproses melalui pengeringan dan pemotongan hingga mencapai ukuran seragam yang sesuai untuk pencampuran dengan bahan lainnya.

Resin epoxy digunakan sebagai matriks dengan hardener sebagai bahan pengeras. Komposisi resin dan hardener diatur berdasarkan rasio tertentu sesuai dengan rekomendasi pabrik untuk memastikan pencampuran optimal. Alat utama yang digunakan meliputi timbangan analitik, alat pengaduk mekanis, cetakan komposit berbentuk silinder, dan alat uji konduktivitas termal.

B. Persiapan dan Pembuatan Spesimen

Tahap pertama dalam pembuatan spesimen adalah mencampur bahan pengisi (serbuk arang dan serat pelepah pisang) dengan resin epoxy. Komposisi bahan divariasikan menjadi lima kelompok, yaitu:

1. Komposisi 60/20/10/10 (serbuk arang tempurung kelapa/kemiri/serat pelepah pisang/resin epoxy).
2. Komposisi 50/30/10/10.
3. Komposisi 40/40/10/10.
4. Komposisi 30/50/10/10.
5. Komposisi 20/60/10/10.

Setiap komposisi dicampur secara merata menggunakan alat pengaduk mekanis selama 10 menit. Campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan berbentuk silinder dan dibiarkan mengeras selama 24 jam pada suhu kamar. Setelah

itu, spesimen dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 6 jam untuk memastikan penghilangan kelembapan yang optimal.

C. Pengujian Konduktivitas Termal

Pengujian dilakukan menggunakan alat uji konduktivitas termal berbasis metode steady-state untuk memastikan hasil yang akurat dan konsisten. Spesimen ditempatkan di antara dua pelat logam dengan perbedaan suhu yang dikontrol secara presisi. Pelat atas dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, sementara pelat bawah didinginkan untuk menjaga gradien suhu stabil. Suhu di bagian atas dan bawah spesimen diukur menggunakan termokopel tipe-K yang terhubung ke sistem akuisisi data. Selama pengujian, fluks panas yang melewati spesimen diukur secara langsung menggunakan sensor aliran panas. Nilai konduktivitas termal (k) dihitung berdasarkan data suhu dan fluks panas yang diperoleh. Rumus yang digunakan adalah:

$$k = \frac{q}{A \cdot \Delta T}$$

di mana q adalah fluks panas (W/m^2), A adalah luas penampang spesimen (m^2), dan ΔT adalah perbedaan suhu antara kedua sisi spesimen (K). Proses pengukuran dilakukan selama kondisi steady-state tercapai, yaitu ketika fluks panas dan suhu pada setiap sisi spesimen tidak lagi berubah secara signifikan. Pendekatan ini memberikan hasil yang sangat akurat untuk mengevaluasi sifat termal material komposit, termasuk identifikasi variasi konduktivitas termal berdasarkan komposisi material yang diuji.

D. Analisis Data

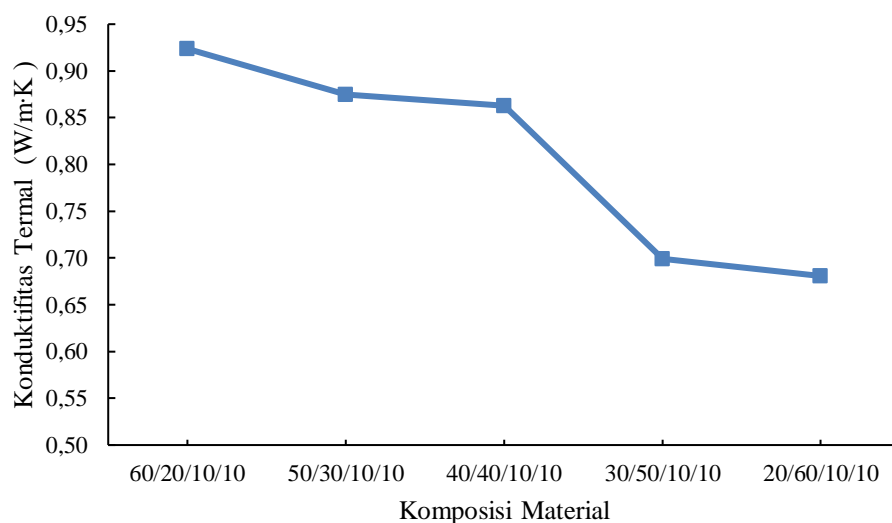
Data hasil pengujian dianalisis untuk menentukan hubungan antara variasi komposisi material dengan konduktivitas termal yang dihasilkan. Nilai konduktivitas termal dari masing-masing komposisi dibandingkan, dan grafik hubungan konduktivitas termal terhadap variasi komposisi dibuat untuk memvisualisasikan tren. Selain itu, parameter seperti densitas dan porositas juga dihitung untuk menilai pengaruhnya terhadap sifat termal material. Analisis statistik dilakukan untuk memastikan validitas data, dan pengulangan pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap komposisi guna meminimalkan kesalahan eksperimental.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian konduktivitas termal dari material komposit berbasis serbuk arang tempurung kelapa, kemiri, sekam padi, serat pelepah pisang, dan resin epoxy disajikan dalam tiga grafik utama, yaitu Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3. Setiap grafik menggambarkan hubungan antara variasi komposisi material dengan nilai konduktivitas termal yang diperoleh. Berikut adalah analisis mendetail untuk masing-masing grafik:

A. Pengaruh Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Kemiri

Pada Gambar 4.3, konduktivitas termal tertinggi ditemukan pada komposisi 60/20/10/10, yaitu sebesar 0,923644 W/m·K. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase serbuk arang tempurung kelapa hingga 60% memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan konduktivitas termal. Tempurung kelapa yang memiliki kandungan karbon tinggi mampu membentuk jalur transfer panas yang lebih baik dalam struktur komposit, terlihat pada gambar 1

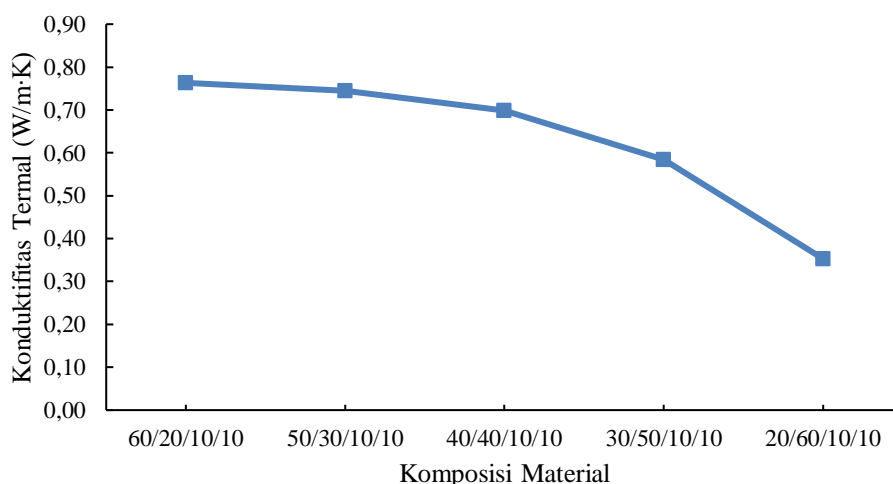


Gambar 1. Pengaruh Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Kemiri Terhadap Konduktivitas Termal

Sebaliknya, komposisi dengan persentase arang kelapa terendah, yaitu 20/60/10/10, memiliki konduktivitas termal sebesar 0,68073 W/m·K. Penurunan nilai ini disebabkan oleh dominasi arang kemiri, yang meskipun memberikan sifat mekanis tertentu, memiliki efisiensi transfer panas yang lebih rendah dibandingkan arang tempurung kelapa.

B. Pengaruh Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kemiri dan Sekam Padi

Pada Gambar 2, nilai konduktivitas termal tertinggi sebesar $0,7632 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ dicapai pada komposisi 60/20/10/10 (tempurung kemiri/sekam padi/serat pisang/resin epoxy). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sekam padi hanya hadir sebanyak 20%, kontribusi tempurung kemiri yang dominan memberikan efisiensi jalur panas lebih baik. Struktur tempurung kemiri yang relatif padat membantu mengurangi hambatan termal, sementara keberadaan sekam padi pada jumlah terbatas tidak terlalu mengganggu aliran panas. Sebaliknya, pada komposisi 20/60/10/10, nilai konduktivitas termal terendah sebesar $0,353176 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ditemukan. Tingginya persentase sekam padi pada komposisi ini meningkatkan porositas material. Porositas yang tinggi menciptakan lebih banyak ruang udara dalam struktur komposit, yang dikenal sebagai isolator termal yang buruk. Hal ini menyebabkan hambatan dalam jalur transfer panas, sehingga mengurangi efisiensi termal material, terlihat pada gambar 2



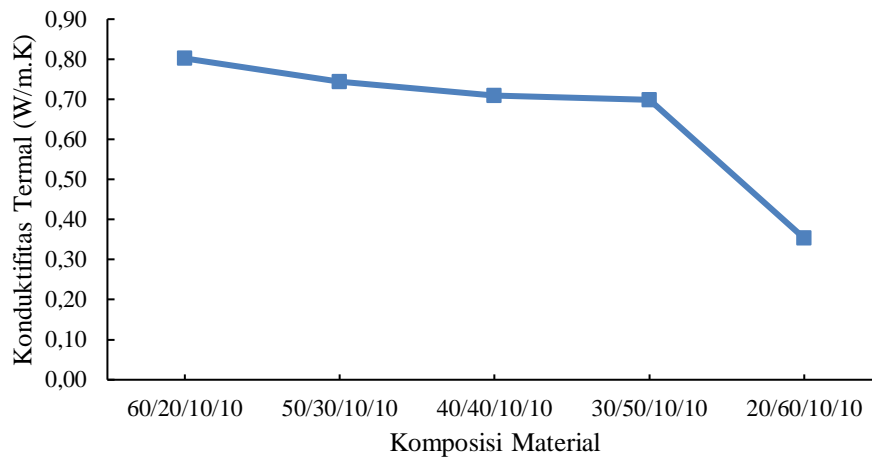
Gambar 2. Pengaruh Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kemiri dan Sekam Padi Terhadap Konduktivitas Termal

Hasil ini juga menunjukkan bahwa meskipun sekam padi kaya akan kandungan silika, sifat isolatifnya lebih dominan daripada sifat mekanisnya. Kombinasi proporsi bahan yang terlalu tinggi untuk sekam padi tidak ideal jika tujuan utama adalah meningkatkan konduktivitas termal.

C. Pengaruh Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Sekam Padi

Pada Gambar 3, komposisi 60/20/10/10 menghasilkan konduktivitas termal tertinggi sebesar $0,802003 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Dominasi tempurung kelapa pada proporsi 60%

memberikan jalur karbon yang kontinu, sehingga meningkatkan kemampuan transfer panas. Sekam padi pada proporsi 20% dalam komposisi ini tidak terlalu memengaruhi jalur transfer panas secara signifikan, karena masih memungkinkan tempurung kelapa untuk mendominasi struktur material, terlihat pada gambar 3



Gambar 3. Pengaruh Komposisi Serbuk Arang Tempurung Kelapa dan Sekam Padi Terhadap Konduktivitas Termal

Pada komposisi 20/60/10/10, nilai konduktivitas termal menurun drastis menjadi 0,353179 W/m.K. Peningkatan sekam padi hingga 60% menghasilkan material dengan porositas yang sangat tinggi, serupa dengan temuan pada Gambar 2. Kombinasi sekam padi yang dominan dan rendahnya jumlah tempurung kelapa menciptakan struktur material yang memiliki hambatan termal besar, mengurangi efisiensi transfer panas.

D. Analisis Tren Keseluruhan

Tren umum dari ketiga grafik menunjukkan bahwa dominasi tempurung kelapa dalam komposisi material menghasilkan peningkatan konduktivitas termal. Hal ini konsisten dengan sifat karbon aktif dalam tempurung kelapa, yang menyediakan jalur termal efektif karena struktur mikro yang padat. Sebaliknya, peningkatan sekam padi atau tempurung kemiri, terutama pada proporsi tinggi, mengurangi efisiensi transfer panas akibat peningkatan porositas material. Secara spesifik, keberadaan resin epoxy sebagai matriks juga memainkan peran penting. Resin membantu mengisi ruang di antara partikel, sehingga mengurangi porositas dan memperbaiki distribusi panas. Namun, sifat termal resin itu sendiri tidak signifikan dibandingkan bahan pengisi, sehingga dominasi bahan pengisi menjadi faktor utama dalam menentukan nilai konduktivitas termal. Selain itu, interaksi antara densitas dan porositas material

memengaruhi jalur panas. Komposisi seperti 60/20/10/10 di semua grafik menunjukkan densitas yang tinggi dan porositas yang rendah, menghasilkan jalur transfer panas yang lebih kontinu dan efisien. Sebaliknya, komposisi seperti 20/60/10/10 memiliki densitas rendah dan porositas tinggi, menghambat transfer panas secara signifikan.

IV. KESIMPULAN & SARAN

A. KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan bahwa variasi komposisi material komposit berbasis serbuk arang tempurung kelapa, kemiri, sekam padi, serat pelepah pisang, dan resin epoxy memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai konduktivitas termal. Komposisi dengan proporsi tempurung kelapa yang dominan, yaitu 60/20/10/10, menunjukkan konduktivitas termal tertinggi di semua grafik, membuktikan bahwa kandungan karbon dalam tempurung kelapa memberikan jalur termal yang efektif. Sebaliknya, peningkatan persentase sekam padi atau tempurung kemiri menghasilkan nilai konduktivitas termal yang lebih rendah, terutama karena peningkatan porositas material.

B. SARAN

Hasil ini menunjukkan pentingnya pemilihan proporsi bahan dalam desain material komposit untuk aplikasi tertentu. Kombinasi optimal bahan seperti pada komposisi 60/20/10/10 dapat digunakan dalam aplikasi teknik yang membutuhkan efisiensi termal tinggi, sementara komposisi lain dengan konduktivitas rendah dapat diarahkan untuk aplikasi isolasi termal.

DAFTAR PUSTAKA

- Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., & Elharfi, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 262(January), 0–3.
- Gustiani, Amelia, and Ahmad Zamheri. "Analisis Keausan, Koefisien Gesek Dan Konduktivitas Termal Kampas Rem Tromol Pada Sepeda Motor Berbahan Komposit Kulit Kopi Dan Mgo." *Machinery Jurnal Teknologi Terapan* 5.2 (2024): 100-107.
- Mirmanto, M., Sugiman, S., Fathurrahman, F., & M.D., R. (2022). *Konduktivitas termal komposit resin epoksi dan serbuk arang tempurung kelapa*. 12(1), 29–35.
- Nayan, A., & Hafli, T. (2022). Analisa Stuktur Mikro Material Komposit Polimer Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science*

- and Technology*, 6(1), 15.
- Nilna Minah, F., Mutiara Septani, C., & Hudha, M. I. (2023). Porositas Biochar Tempurung Kelapa. *Prosiding SENIATI*, 7(1), 106–111.
- Sulfianty, Nurhayati, & Subaer. (2020). Studi Tentang Konduktivitas Dan Resistansi Termal Geopolimer Berpori Berbasis Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 16(02), 161–170.
- Suluh, Sallolo, and Hengki Lungan. "Pengaruh Variasi Komposisi Cangkang Kemiri Dan Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Silinder Partikel Komposit." *Prosiding Universitas Kristen Indonesia Toraja 2.3 (2022): 22-27*.
- Syifa, N. H., Yulianto, A., & Nurbaiti, U. (2021). Pembuatan dan Karakterisasi Sifat Fisis Komposit Multilayer Serat Rami. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 7(2), 87–95.
- Vazri Muharom, & Rifky. (2022). Pengaruh Sifat Konduktivitas Termal Material Isolator (Kayu, Karet Dan Styrofoam) Terhadap Perpindahan Panas Dan Daya Keluaran Sistem Generator Thermoelectric. *METALIK : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, 1(1), 8–15.
- Wijaksono, T., Rakhmawati, A., & Arnandha, Y. (2021). Sekam Padi Dan Batang Bambu Sebagai Bahan Balok Komposit Dengan Menggunakan Matriks Resin Polyester. *Reviews in Civil Engineering*, 5(2), 83.