



Konduktivitas termal komposit resin epoksi dan serbuk arang tempurung kelapa

Thermal conductivity of composite made of epoxy resin and coconut shell charcoal powder

M. Mirmanto*, S. Sugiman, F. Fathurrahman, M.D., Ramadhani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Manasaja, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 082111738971

* Corresponding author: m.mirmanto@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 12 January 2022

Accepted 05 March 2022

Available online 01 April 2022

Keywords:

Epoxy composite

Thermal conductivity

Weight presentage

Coconut shell powder filler

Composite materials are materials that are widely developed and their use has been widespread in various industrial and household sectors. Epoxy composites filled with coconut shell charcoal powder have been tested for their thermal conductivity properties using the one-dimensional conduction method. The tested specimens had dimensions of 50 mm x 50 mm x 5 mm made of epoxy and coconut shell powder with a percentage of charcoal weight of 0%, 10%, 20% and 30%. The specimen is inserted into a thermal conductivity measuring instrument made of solid aluminum which is insulated around it. The heater is mounted on the aluminum as a heat source, while the other end is left open to the free air in the room. The results showed that the highest average thermal conductivity was a 30% variation of 0.5003 W/m°C, then a 20% variation of 0.3738 W/m°C, a 10% variation of 0.3487 W/m°C. and the lowest at 0% variation without using coconut shell charcoal powder at 0.1364 W/m°C.



Dinamika Teknik Mesin, Vol. 12, No.1, April 2022, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dan rekayasa material telah menunjukkan perubahan dari segi kekuatan ataupun ekonomi. Perkembangan dan rekayasa material merupakan upaya menghemat sumber alam yang terbatas dan merupakan salah satu cara untuk menghemat biaya. Dengan semakin berkurangnya material logam menyebabkan harga meterial logam semakin mahal. Jika material logam yang digunakan dalam proses produksi memiliki harga yang mahal tidak menutup kemungkinan terjadi kesulitan dalam produksi. Material komposit merupakan material yang banyak dikembangkan dan penggunaannya telah meluas dalam berbagai sektor industri dan rumah tangga. Winarno (2015) menerangkan bahwa komposit merupakan material yang dibuat dengan menggabungkan dua material atau lebih dengan skala makroskopis untuk menghasilkan suatu bahan baru yang lebih kuat. Menurut Handoyo (2008), komposit terdiri dari suatu bahan utama (matrik-matrik) dan suatu jenis penguatan/resin (*reinforcement*) yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan ketahanan yang lebih tinggi, tahan korosi dan ketahanan aus, seperti dipaparkan oleh Kristianta (2017). Salah satu material yang bisa dijadikan komposit adalah resin epoksi atau sejenis material polimer untuk mengurangi sifat korosi dari komposit tersebut.

Kristianta (2017) menjelaskan bahwa resin epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok *termoset*, yang dibentuk melalui proses polimerasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakkan kembali atau dibentuk kembali ke keadaan sebelum mengalami pengeringan. Resin epoksi termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai bahan pelapis, perekat, dan sebagai matriks pada material komposit di beberapa bagian struktural, kekuatan perekat epoksi terdegradasi pada suhu 350°F (177°C) yang memiliki sifat yang baik dalam hal reaksi kimia, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, tahan korosi, kekuatan tarik dan kekuatan bending sangat baik berstruktur padat, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali serta memiliki kelemahan pada sifat sensitif menyerap air dan getas. Namun, epoksi merupakan material yang memiliki konduktivitas termal yang rendah. Oleh sebab itu epoksi sering dikelompokkan sebagai isolator.

Salah satu material yang memiliki konduktivitas termal yang baik dan bisa dijadikan bahan komposit adalah arang tempurung kelapa. Tempurung kelapa merupakan bagian dari buah kelapa yang berupa *endocarp* dan diselimuti oleh sabut kelapa. Menurut Matsuzawa, dkk. (2007), tempurung kelapa selama ini hanya dimanfaatkan energinya untuk pembakaran dalam bentuk arang. Sebagai bahan bakar, arang lebih menguntungkan dibanding kayu bakar karena arang memberikan nilai kalor pembakaran yang lebih tinggi. Selanjutnya, Rout, dkk. (2015) menerangkan bahwa kandungan karbon pada arang tempurung kelapa rata-rata sebesar 78% dengan nilai kalor yang mencapai 23,68 MJ/kg dan memiliki kandungan sulfur yang sangat rendah yaitu kurang dari 0,01% serta asap yang lebih sedikit. Pembakaran tidak sempurna pada tempurung kelapa menyebabkan senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi karbon dioksida. Peristiwa tersebut disebut sebagai pirolisis. Menurut Ekalinda (2001), pada saat pirolisis, energi panas mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon atau arang.

Pemanfaatan tempurung kelapa bisa dilakukan dengan mengkombinasikan dengan material lain seperti resin dengan membuat sebagai material komposit sehingga dalam aplikasinya perlu dikaji sifat-sifat yang berkaitan dengan pemakaiannya di lapangan seperti nilai konduktivitas termal bahan tersebut. Menurut aplikasi yang terdapat di lapangan contohnya pada industri otomotif, seperti *dasbor* kendaraan dimana panas cahaya matahari akan menyerap masuk melalui dinding *dasbor*. *Dasbor* adalah panel interior mobil bagian depan yang mana terdapat beberapa fasilitas seperti panel instrumen, lacu, radio/tape, dan AC. Alberto, dkk. (2015) menjelaskan bahwa untuk mengetahui daya serap panas matahari pada *dasbor* komposit maka dilakukan pengujian konduktivitas panas supaya dapat diinginkan nilai konduktivitas yang rendah.

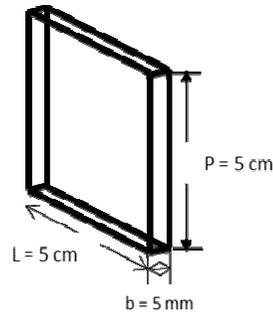
Penelitian mengenai analisa konduktivitas panas komposit sebelumnya telah dilakukan oleh Saad (2015). Saad (2015), meneliti tentang sabut kelapa dan resin *polyester* dengan variasi tekanan dan waktu uji. Hasil percobaan menunjukkan kepadatan komposit sabut kelapa resin berpengaruh terhadap harga konduktivitas panas dan pada waktu awal pengukuran komposit yang kepadatannya tinggi, konduktivitas juga tinggi (28 W/m°C). Pada waktu pengukuran berikutnya, komposit dengan kepadatan tinggi turun drastis dan secara keseluruhan komposit sabut kelapa dan resin kurang stabil konduktivitasnya. Sementara itu, analisa konduktivitas panas komposit tempurung kelapa belum ada yang melakukan penelitian. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai konduktivitas panas material komposit arang tempurung kelapa tersebut.

2. METODE PENELITIAN

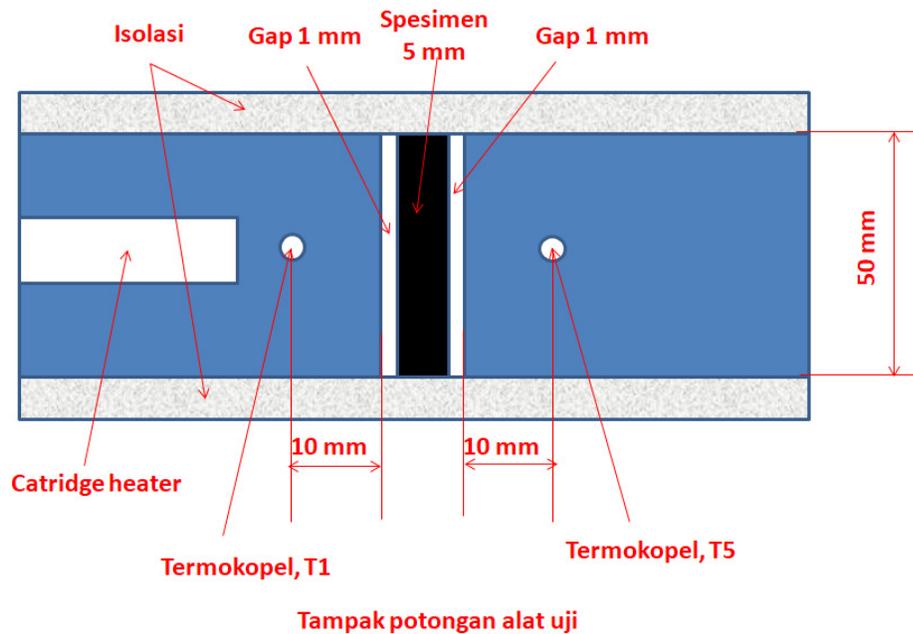
Pengujian terhadap komposit tempurung kelapa dengan epoksi ditujukan untuk mengetahui sifat konduktivitas termal komposit tersebut. Spesimen komposit yang diuji konduktivitas termalnya berukuran panjang 5 cm dan lebar 5 cm dengan ketebalan 5 mm. Konduktivitas termal komposit dengan dengan variasi fraksi massa sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% massa arang tempurung kelapa terhadap komposit berbahan resin epoksi. Ukuran spesimen tersebut sama dengan yang dilakukan oleh Mirmanto dkk. (2021). Cara menentukan prosentase massa arang tempurung kelapa sebagai filler terhadap komposit yang dibuat adalah:

$$P = m_{arang} / (m_{arang} + m_{acetone} + m_{hardener} + m_{resin}) \times 100\% \quad (1)$$

P adalah prosentasi dalam (%), m_{arang} adalah massa serbuk arang tempurung kelapa (kg), $m_{acetone}$ menunjukkan massa acetone (kg), $m_{hardener}$ adalah menyatakan massa hardener (kg), dan m_{resin} adalah massa resin epoksi (kg).



Gambar 1. Spesimen komposit resin epoksi, L = lebar, P = panjang, b = tebal (gambar tanpa skala)



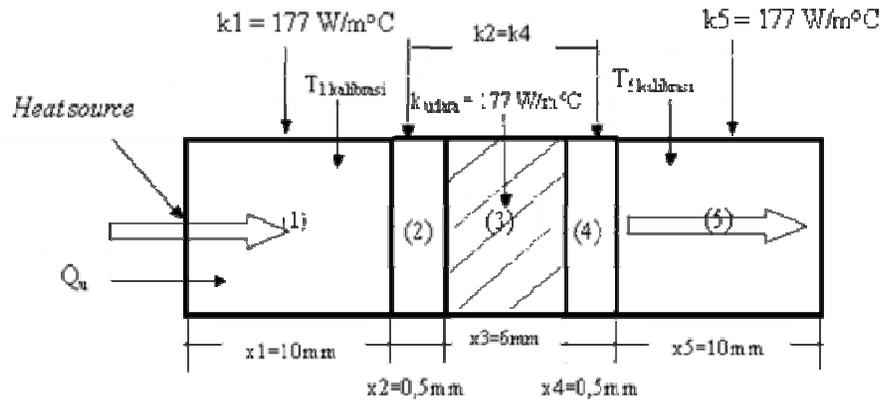
Gambar 2. Alat uji konduktivitas termal (tanpa skala), dengan dua termokopel, T_1 dan T_5 dan ditambah dengan termokopel untuk suhu lingkungan (T_3). Aliran panas konduksi diasumsikan hanya searah (satu dimensi) sebab sekeliling alat diisolasi dengan baik, Mirmanto dkk. (2021).

Gambar 2 adalah alat untuk menguji konduktivitas termal spesimen. Alat tersebut juga digunakan oleh Mirmanto dkk. (2021) untuk uji konduktivitas termal komposit *silicon rubber* dan arang tempurung kelapa. Sebelum proses pembuatan komposit dilakukan, alat dan bahan disiapkan terlebih dahulu. Membuat alat cetakan yang berukuran panjang 5 cm, lebar 5 cm, dan tebal cetakan 5 mm, cetakan menggunakan karet *silicon sheet*. Metode *vacuum-pump* digunakan untuk menghilangkan *void* pada komposit. Serbuk tempurung kelapa, *acetone*, *hardener*, dan resin dengan perbandingan massa 7,1 g serbuk tempurung kelapa, 4 g *acetone*, 20 g *hardener*, dan 40 g resin dicampur untuk membentuk komposit (campuran 10% massa serbuk arang tempurung kelapa). Campuran kemudian diaduk menggunakan sendok supaya pencampuran merata. Setelah campuran komposit merata diaduk lagi menggunakan *mixer* sebelum di *vacuum*. Proses *vacuum* ini bertujuan untuk menghilangkan *void*. Setelah proses *vacuum* selesai, kemudian campuran komposit dicetak. Proses penuangan komposit ini dilakukan searah dan di diamkan selama 1 hari agar komposit benar-benar kering. Variasi yang digunakan pada spesimen berupa 10%, 20%, 30 %, dan variasi tanpa serbuk tempurung kelapa atau 0%. Proses pembuatan komposit yang tidak menggunakan serbuk tempurung kelapa hanya menggunakan pencampuran resin, *hardener*, dan *acetone*. Namun, proses pencampurannya sama seperti yang dilakukan untuk membuat komposit yang dicampur dengan serbuk tempurung kelapa.

Prinsip kerja alat pada gambar 2 adalah sebagai berikut. *Catridge heater* dihidupkan dengan dialiri listrik dan dayanya diukur (W). Setelah beberapa detik *catridge heater* menjadi panas dan balok aluminium di sebelah kiri spesimen menjadi panas juga dengan suhu diukur menggunakan termokopel T_1 ($^{\circ}\text{C}$). Panas selanjutnya merambat ke

kanan melalui spesimen sehingga suhu balok aluminium di sebelah kanan juga suhunya meningkat dan diukur menggunakan termokopel T_5 ($^{\circ}\text{C}$). Sementara itu, ujung paling kanan dari balok aluminium dibiarkan terbuka terkena udara lingkungan. Udara lingkungan diukur suhunya dengan menggunakan termokopel T_3 ($^{\circ}\text{C}$), tetapi tidak digambar posisi atau letak T_3 . Dengan suhu yang diukur pada T_1 dan T_5 , maka dapat diketahui konduktivitas termal spesimen menggunakan persamaan laju aliran panas konduksi satu dimensi.

Sebelum digunakan untuk menguji konduktivitas termal spesimen, maka kerugian panas ke lingkungan harus diketahui terlebih dahulu. Alat diisi dengan spesimen yang terbuat dari aluminium yang sudah diketahui termal konduktivitasnya yaitu $177 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ dengan ukuran $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 6 \text{ mm}$. Heater dihidupkan menggunakan daya tertentu, kemudian tunggu hingga tidak ada perubahan suhu atau steady. Pada kondisi steady ini, suhu T_1 dan T_5 dicatat. Prinsip pengukuran laju aliran panas ke lingkungan ini diilustrasikan pada gambar 3. Dengan menggunakan T_1 dan T_5 maka didapat laju aliran panas yang mengalir melalui spesimen aluminium tersebut dengan menggunakan persamaan konduksi satu dimensi.



Gambar 3. Uji kerugian panas ke lingkungan dengan spesimen aluminium alloy 2024-T6, Mirmanto dkk (2021)

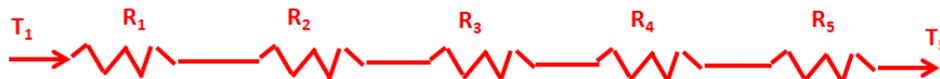
Persamaan umum perpindahan kalor konduksi satu dimensi dinyatakan sebagai:

$$q = -kA \frac{dT}{x} \tag{2}$$

$$A = PL \tag{3}$$

k pada analisis kerugian panas ke lingkungan, gambar 3, adalah konduktivitas termal aluminium ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$), A adalah luasan penampang aluminium tegak lurus arah aliran panas (m^2). x adalah ketebalan spesimen aluminium (m). P adalah panjang spesimen (m), dan L adalah lebar spesimen (m), q adalah laju aliran kalor (W), T adalah suhu ($^{\circ}\text{C}$). Namun harus diingat, bahwa suhu yang diukur adalah tidak persis pada bidang kontak spesimen aluminium, maka konduksinya melalui beberapa lempengan yaitu lempengan aluminium alat itu sendiri dengan tebal 1 cm sebelah kiri dan 1 cm sebelah kanan dari spesimen aluminium. Disamping itu disebelah kiri dan kanan spesimen aluminium juga terdapat gap yang diisi dengan thermal pasta dan rongga udara sebesar 0,5 mm. Oleh sebab itu, konduksinya dapat dianalogikan dengan rangkaian listrik sebagai berikut:

$$q = \frac{T_1 - T_5}{R_{total}} = \frac{T_1 - T_5}{2R_1 + 2R_2 + R_3} \tag{4}$$



Gambar 4. Rangkaian termal perpindahan panas konduksi melalui beberapa pelat yang disusun seri

$$R_1 = R_5 = \frac{x_1}{k_1 A_1} \tag{5}$$

$$R_2 = R_4 = \frac{x_2}{k_2 A_2} \tag{6}$$

$$R_3 = \frac{x_3}{k_3 A_3} \tag{7}$$

$$R_{total} = 2R_1 + 2R_2 + R_3 \tag{8}$$

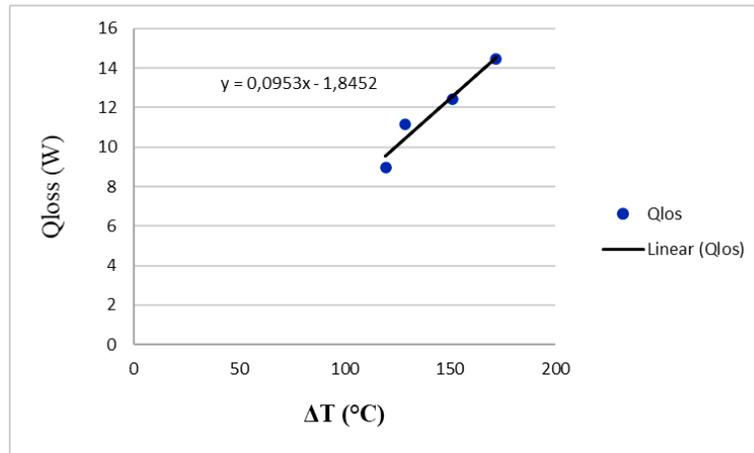
R adalah tahanan termal (°C/W). $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = 0,05 \times 0,05 = 0,25 \text{ m}^2$; $k_1 = k_3 = k_5$; $k_2 = k_4 = 1,003 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ yaitu rata-rata dari konduktivitas termal pasta dan udara. Setelah didapatkan q maka q_{loss} dapat dihitung menggunakan persamaan (9). Semua persamaan diatas dapat diperoleh dari Holman (2002), Incropera dkk. (2006), Cengel dan Ghajar (2015).

$$q_{loss} = q_{in} - q \tag{9}$$

q_{in} adalah daya listrik yang diberikan ke *catridge heater* (W). Pada penelitian ini daya listrik yang digunakan untuk mencari q_{loss} adalah 20, 25, 30 dan 35 W. Hasil perhitungan q_{loss} disajikan pada gambar 5 yang diplotkan terhadap ΔT^* yang merupakan selisih suhu T_1 dan T_3 (suhu lingkungan). k_2 diperoleh dari rata-rata konduktivitas termal udara $0,026 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ dan konduktivitas termal dari termal pasta $1,98 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

$$\Delta T^* = T_1 - T_3 \tag{10}$$

Gambar 5 menunjukkan bahwa q_{loss} memiliki hubungan linear terhadap perbedaan suhu T_1 dengan suhu lingkungan. Grafik q_{loss} tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menentukan q_{loss} pada percobaan menentukan konduktivitas termal dari komposit. Cara menentukan q_{loss} adalah menghitung lebih dulu selisih suhu T_1 dan T_3 , kemudian diplotkan pada grafik atau menggunakan persamaan yang ada di dalam gambar 5, maka akan diperoleh q_{loss} . Setelah memperoleh q_{loss} maka q yang melalui spesimen uji dapat diketahui menggunakan persamaan (9).



Gambar 5. Hubungan antara ΔT^* dengan Q_{loss}

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan menentukan konduktivitas termal komposit, q_{loss} dihitung terlebih dulu menggunakan persamaan:

$$q_{loss} = 0.0953\Delta T^* - 1.8452 \tag{11}$$

Sebagai contoh, pencatatan T_1 , T_3 dan T_5 dan daya heater disajikan pada tabel 1. Dengan menggunakan data pengujian ke 1 dan persamaan (10), maka $\Delta T^* = 238,4^\circ\text{C}$. Kemudian $\Delta T^* = 238,4^\circ\text{C}$ tersebut dimasukan ke persamaan (11) didapatkan $q_{loss} = 20,87 \text{ W}$. Oleh sebab itu diperoleh $q = 30,9 - 20,87 = 10 \text{ W}$. Setelah ketemu q , maka menggunakan persamaan (4) didapatkan R_{total} . Dari R_{total} , nilai R_3 dapat dihitung dan akhirnya konduktivitas termal spesimen dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (7). Namun perlu diketahui, bahwa pencatatan T_1 , T_3 dan T_5 dilakukan setelah suhu-suhu tersebut konstan/stabil. Kestabilan suhu pada komposit saat percobaan perlu dijaga supaya kerugian panas ke lingkungan juga diperoleh setelah stabil atau kerugian kalornya sudah konstan. Kestabilan suhu dapat terjadi pada material komposit jika penggunaan heater dijaga konstan pada daya yang telah ditentukan. Kestabilan suhu pada komposit juga pernah diteliti oleh Sholikah dkk. (2017).

Tabel 1. Hasil pengujian spesimen dengan prosentase massa arang tempurung kelapa 0%

Pengujian	Daya (W)	T1 (°C)	T3 (°C)	T5 (°C)
1	30,9	270	31,6	114
2	30,9	266	31,1	114
3	30,9	264	30,5	113

Hasil perhitungan konduktivitas termal spesimen komposit tersebut ditunjukkan pada tabel 2 untuk berbagai prosen massa serbuk arang tempurung kelapa.

Tabel 2. Hasil hitungan konduktivitas termal komposit pada 0%, 10%, 20% dan 30% massa serbuk arang tempurung kelapa

Prosentase	Rata-rata k_3 (W/m°C)
0%	0,1364
10%	0,3487
20%	0,3738
30%	0,5003

Setelah melakukan penelitian yang berkaitan dengan konduktivitas termal *epoxy* ber-*filler* serbuk arang tempurung kelapa menggunakan alat *thermocouple* didapatkan hasil perpindahan panas dari partikel serbuk arang tempurung kelapa dengan matrik *epoxy* pada tiga variasi yaitu 10%, 20%, 30% dan satu variasi 0% (spesimen tanpa menggunakan serbuk arang tempurung kelapa). Secara detail hasil penelitian ini disajikan pada tabel 3. Variabel-variabel yang dicatat dan dihitung tercantum di tabel tersebut.

Dalam penelitian ini variasi spesimen yang menghasilkan konduktivitas termal yang paling tinggi adalah variasi 30% sebesar 0,5003 W/m°C, kemudian variasi 20% sebesar 0,3738 W/m°C, variasi 10% sebesar 0,3487 W/m°C, dan paling rendah pada variasi 0% tanpa menggunakan serbuk arang tempurung kelapa sebesar 0,1364 W/m°C. Hal ini dikarenakan variasi yang 30% mengandung jumlah karbon yang lebih banyak, dan untuk variasi spesimen tanpa menggunakan serbuk tempurung kelapa menghasilkan konduktivitas termal yang rendah. Sehingga semakin tinggi persentasi serbuk arang tempurung kelapa pada specimen maka semakin besar nilai konduktivitas termalnya. Tren ini sesuai dengan Mirmanto dkk. (2021). Mereka juga menemukan fenomena yang sama walaupun mereka meneliti komposit silicon rubber. Berdasarkan hasil perhitungan pada table 2 nilai rata-rata konduktivitas termal komposit dengan fraksi massa 0%, 10%, 20% dan 30% masing-masing sebesar 0,1579 W/m°C, 0,4614 W/m°C, 0,5836 W/m°C dan 0,7318 W/m°C. Kenaikan nilai konduktivitas termal dipengaruhi oleh ikatan interface antara arang tempurung kelapa dan resin epoksi. Penambahan fraksi massa serbuk arang tempurung kelapa pada komposit menyebabkan perbedaan suhu ($T_1 - T_5$) terlihat semakin rendah dengan bertambahnya kandungan partikel arang. Artinya menambahkan tempurung kelapa semakin banyak, maka laju aliran panas semakin mudah melaluinya. Hal demikian sesuai dengan teori perpindahan panas konduksi, Holman (1991), Incropera dkk. (2006), Cengel dan Ghajar (2015).

Tabel 3. Pencatatan dan hitungan konduktivitas termal spesimen komposit

Prosentase	Daya (W)	R_1 (°C/W)	R_2 (°C/W)	Q_{baca} (W)	Q_{los} (W)	Q_u (W)	R_{total} (°C/W)	R_3 (°C/W)	k_3 (W/m°C)
0%	30	0,0226	0,3988	30,9	20,23	10,67	16,17	15,33	0,131
	30	0,0226	0,3988	30,9	19,90	10,99	15,34	14,49	0,1380
	30	0,0226	0,3988	30,9	19,77	11,13	15,04	14,20	0,1408
10%	30	0,0226	0,3988	30,9	13,67	16,43	6,23	5,39	0,3712
	30	0,0226	0,3988	30,9	13,59	16,61	6,11	5,26	0,3800
	30	0,0226	0,3988	30,9	15,09	15,11	7,62	6,78	0,2950
20%	30	0,0226	0,3988	30,9	13,74	16,76	6,14	5,29	0,3779
	30	0,0226	0,3988	30,9	13,85	16,25	6,36	5,51	0,3627
	30	0,0226	0,3988	30,9	13,80	16,99	6,09	5,25	0,3809

	30	0,0226	0,3988	30,9	11,61	18,99	4,83	3,99	0,5018
30%	30	0,0226	0,3988	30,9	11,51	19,29	4,86	4,01	0,4982
	30	0,0226	0,3988	30,9	11,41	18,59	4,84	3,99	0,5007

4. KESIMPULAN

Eksperimen untuk menentukan konduktivitas termal komposit yang terbuat dari resin epoksi, hardener, acetone dan serbuk arang tempurung kelapa telah dilakukan menggunakan prinsip perpindahan panas konduksi satu dimensi. Beberapa hal yang ditemukan pada penelitian ini adalah metode perpindahan konduksi satu dimensi dapat digunakan sebagai alternatif pengujian konduktivitas termal material, untuk perbedaan suhu yang rendah hasil kurang akurat, dan semakin tinggi prosentase arang tempurung kelapa semakin tinggi konduktivitas termalnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram atas fasilitas yang digunakan pada kegiatan penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

A	: Luasan perpindahan panas (m^2)
k	: Konduktivitas ($W/m^{\circ}C$)
L	: Lebar spesimen (m)
P	: Panjang spesimen (m)
R	: Termal resistansi ($^{\circ}C/W$)
T	: Temperature ($^{\circ}C$)
q	: Laju aliran kalor yang melalui spesimen (W)
q_{loss}	: Laju aliran kalor ke lingkungan (W)
q_{in}	: Laju aliran kalor input yang diberikan oleh heater ke alat uji (W)
x	: Tebal spesimen (m)
ΔT^*	: Perbedaan suhu antara T_1 dengan suhu lingkungan ($^{\circ}C$)

DAFTAR PUSTAKA

- Alberto, D., Koto, B., Suryadimal, S., Analisa konduktivitas thermal material komposit serat sabut kelapa dengan perlakuan alkali dan resin poli ester, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, 2015.
- Cengel, Y.A., Ghajar, A.J., Heat and mass transfer, Penerbit McGraw-Hill Education, New York, 2015.
- Ekalinda, O., Teknologi pembuatan arang tempurung kelapa, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (341), 2001.
- Handoyo, K., Material komposit, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS. Surabaya, 2008.
- Holman, J. P., (1991). Perpindahan Kalor, Ed. 6, Jakarta: Erlangga.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., Fundamental of heat and mass transfer, Sixth Edition, John Wiley and Sons, USA, 2006.
- Matsuzawa, Y., Mae, K., Hasegawa, I., Suzuki, K., Characterization of carbonized municipal waste as substitute for coal fuel, Fuel, 86(1–2), 264–72, 2007.
- Mirmanto, M., Sugiman, S., Ramadhani, M.D., Fathurrahman, F., Variasi persen berat tempurung kelapa terhadap konduktivitas termal komposit silicone rubber, Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin, 11(2), 107-115, 2021.
- Rout, T., Pradhan, D., Singh, R.K., Kumari, N., Exhaustive study of products obtained from coconut shell pyrolysis, Journal of Environmental Chemical Engineering 4(3), 3696–3705, 2015.
- Saad, A., Analisa konduktivitas panas komposit sabut kelapa dan resin polyester dengan variasi tekanan dan waktu uji, Jurnal Teknik Mesin, ITP, 2015.
- Sholikah, R.I., Setyarsih, W., Istiqomah, Hefdea, A., Wulancahayani, E., Rohmawati, L., Stabilitas termal dan kristalinitas komposit polyvinylidene fluoride) PVDF/SiO₂ pasir vulkanik Kelud, Sains & Matematika, 5(2), 42-46, 2017.
- Kristianta, F.X., Kristian, A., Sholahuddin, I., Variasi ukuran terhadap kekerasan dan laju keausan komposit epoxy aluminium-serbuk tempurung kelapa untuk kampas rem, Skripsi Universitas Jember, 2017.
- Winarno, F.D., Pengaruh termal siklik komposit matrik polyester dengan aditif partikel msontmorillonite berpengetat serat sabut kelapa, Skripsi Universitas Jember, 2015.