EMPD 5 (2) Nopember 2026, 424-432 ISSN 2964-6987
Energy, Materials and Product Design
https://journal.unram.ac.id/index.php/empd

ANALISA KONDUKTIVITAS TERMAL SERAT BATANG JAGUNG SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF ISOLATOR PADA ALAT PENUKAR KALOR

ANALYSIS OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF CORN STALK FIBERS AS AN ALTERNATIVE INSULATION MATERIAL FOR HEAT EXCHANGERS

Rudy Sutanto*, I Gede Bawa Susana

Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62 Mataram NTB Indonesia

**Corresponding author*
E-mail addresses: r.sutanto@unram.ac.id
https://doi.org/10.29303/empd.v5n2.424-432
Received 2 July 2026; Received in revised form 11 August 2026; Accepted 18 August 2026

ABSTRACT

The utilization of agricultural waste as environmentally friendly engineering materials has attracted increasing attention due to the growing demand for sustainable thermal insulation. Corn stalk fiber is a promising lignocellulosic biomass with potential application as a thermal insulating material. This study investigates the effect of material density on the thermal conductivity of corn stalk fiber to evaluate its feasibility as an alternative insulation material for heat exchanger applications. Thermal conductivity was measured using the steady-state radial heat transfer method based on Fourier's law. A total of nine specimens were prepared, consisting of three density levels (100, 150, and 200 kg/m³), each tested at inlet temperatures of 40°C, 60°C, and 80°C. Thermal conductivity was determined from the heat transfer rate, specimen thickness, heat transfer area, and temperature difference across the insulation material. The results showed that thermal conductivity increased with increasing material density. The lowest thermal conductivity, 0.084 W/mK, was obtained at a density of 100 kg/m³ and an inlet temperature of 40°C, indicating the best thermal insulation performance. At densities of 150 and 200 kg/m³, thermal conductivity increases to ranges of 0.113–0.118 W/mK and 0.122–0.125 W/mK, respectively, due to the reduction of air voids within the fiber structure. The influence of testing temperature on thermal conductivity was relatively small compared with the effect of material density. These findings demonstrate that low-density corn stalk fiber offers promising thermal insulation characteristics and has potential for application as a sustainable insulation material to reduce heat loss and improve the thermal efficiency of heat exchanger systems.

Keywords: *Agricultural waste, Lignocellulosic biomass, Steady-state method, Fourier's law, Thermal efficiency*

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi pada sektor industri terus mengalami peningkatan seiring dengan perkembangan aktivitas manufaktur dan proses produksi yang memanfaatkan energi termal dalam jumlah besar. Salah satu peralatan yang memiliki peranan penting dalam sistem konversi energi termal adalah alat penukar kalor (*heat exchanger*). Peralatan ini digunakan secara luas pada industri pengolahan pangan, petrokimia, pembangkit listrik, sistem pendingin, dan berbagai proses manufaktur lainnya karena kemampuannya dalam memindahkan energi panas secara efektif dari satu fluida ke fluida lainnya. Efisiensi operasi alat penukar kalor sangat dipengaruhi oleh besarnya kehilangan panas (*heat loss*) yang terjadi selama proses perpindahan energi. Kehilangan panas yang tidak terkendali dapat menyebabkan penurunan efisiensi termal, peningkatan konsumsi energi, serta biaya operasional yang

lebih tinggi. Oleh karena itu, penggunaan material isolasi termal yang efektif menjadi salah satu strategi penting untuk meningkatkan kinerja sistem penukar kalor dan mendukung upaya konservasi energi [1].

Dalam beberapa dekade terakhir, material isolasi termal yang umum digunakan masih didominasi oleh bahan sintetis seperti *fiberglass*, *polyurethane foam*, dan *polystyrene*. Material tersebut memiliki kemampuan isolasi yang baik, namun proses produksinya membutuhkan energi yang relatif tinggi serta berpotensi menimbulkan dampak lingkungan selama siklus hidup material. Selain itu, sebagian besar bahan isolasi sintetis berasal dari sumber daya tak terbarukan sehingga keberlanjutannya menjadi perhatian dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Meningkatnya kesadaran terhadap isu perubahan iklim dan pengurangan emisi karbon telah mendorong berbagai penelitian untuk mengembangkan material isolasi berbasis biomassa yang lebih ramah lingkungan dan berasal dari sumber daya terbarukan [1]. Material isolasi berbasis serat alami memperoleh perhatian yang semakin besar karena memiliki sejumlah keunggulan, antara lain densitas rendah, kemampuan isolasi termal yang baik, *biodegradabilitas* tinggi, ketersediaan melimpah, serta jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan material sintetis. Berbagai penelitian melaporkan bahwa struktur berpori yang dimiliki serat alami mampu memerangkap udara di dalam rongga material sehingga dapat menghambat perpindahan panas secara konduksi. Karakteristik tersebut menjadikan serat alami sebagai kandidat yang menjanjikan untuk aplikasi isolasi termal pada berbagai sistem teknik maupun bangunan hemat energi [2].

Pengembangan material isolasi dari limbah pertanian juga sejalan dengan konsep ekonomi sirkular yang menekankan pemanfaatan kembali residu biomassa menjadi produk bernilai tambah. Limbah pertanian yang sebelumnya hanya dibakar, dibuang, atau dimanfaatkan secara terbatas dapat diolah menjadi material teknik yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi. Pendekatan ini tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan volume limbah, tetapi juga mendukung efisiensi pemanfaatan sumber daya dan pengurangan dampak lingkungan akibat penanganan limbah yang kurang tepat. Berbagai kajian terkini menunjukkan bahwa residu pertanian memiliki potensi besar sebagai bahan baku isolasi termal karena kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang membentuk struktur serat berpori dengan konduktivitas termal relatif rendah [3]. Salah satu limbah pertanian yang tersedia dalam jumlah sangat besar di Indonesia adalah batang jagung. Jagung merupakan komoditas pangan strategis yang dibudidayakan hampir di seluruh wilayah Indonesia. Setelah panen, sebagian besar batang jagung umumnya dibiarkan membusuk di lahan atau dibakar untuk membersihkan area pertanian. Praktik tersebut tidak hanya mengurangi potensi pemanfaatan limbah biomassa, tetapi juga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan akibat emisi hasil pembakaran terbuka. Di sisi lain, batang jagung memiliki kandungan serat *lignoselulosa* yang tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku produk komposit maupun material isolasi termal [4].

Secara struktur, serat batang jagung tersusun atas jaringan seluler yang mengandung rongga-rongga mikro. Rongga tersebut berfungsi sebagai media penjebak udara yang secara alami memiliki konduktivitas termal sangat rendah. Keberadaan udara statis di dalam pori-pori material menjadi faktor penting yang menentukan kemampuan isolasi termal suatu bahan. Semakin besar volume udara yang terperangkap dan semakin kecil jalur perpindahan panas melalui padatan, maka semakin rendah nilai konduktivitas termal material tersebut [1, 2]. Penelitian mengenai material isolasi berbasis serat alami telah dilakukan pada berbagai jenis biomassa, seperti jerami, serat kelapa, eceng gondok, serbuk kayu, dan limbah pertanian lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material berbasis serat alami umumnya memiliki nilai konduktivitas termal yang berada pada rentang material isolasi komersial ringan. Selain itu, faktor densitas atau kerapatan material terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan isolasi termal. Peningkatan kerapatan biasanya menyebabkan berkurangnya jumlah rongga udara dalam material sehingga nilai konduktivitas termal cenderung meningkat [5].

Hubungan antara kerapatan dan konduktivitas termal merupakan fenomena yang banyak dilaporkan pada material serat alami. Ketika densitas meningkat, jarak antarserat menjadi lebih rapat sehingga kontak antarpartikel padatan bertambah. Kondisi tersebut memperbesar jalur perpindahan panas melalui mekanisme konduksi pada fase padat. Sebaliknya, pada densitas yang lebih rendah, jumlah rongga udara relatif lebih besar sehingga hambatan termal meningkat. Oleh karena itu, pengkajian pengaruh kerapatan terhadap konduktivitas termal serat batang jagung sangat diperlukan untuk memperoleh konfigurasi material yang memberikan performa isolasi terbaik [6]. Selain faktor kerapatan, temperatur operasi juga dapat memengaruhi karakteristik perpindahan panas suatu material. Pada aplikasi nyata, isolator termal pada alat penukar kalor bekerja pada rentang temperatur yang

bervariasi sesuai kondisi proses. Oleh karena itu, evaluasi konduktivitas termal pada beberapa tingkat temperatur menjadi penting untuk mengetahui kestabilan performa material dalam kondisi operasi yang berbeda. Material isolasi yang baik diharapkan mampu mempertahankan nilai konduktivitas termal yang relatif rendah meskipun mengalami perubahan temperatur kerja [7]. Meskipun berbagai penelitian mengenai isolator berbasis biomassa telah banyak dilakukan, kajian yang secara khusus mengevaluasi karakteristik konduktivitas termal serat batang jagung sebagai kandidat isolator pada alat penukar kalor masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak difokuskan pada aplikasi material bangunan, panel komposit, atau karakteristik mekanik serat alami. Padahal, kebutuhan akan material isolasi ramah lingkungan untuk aplikasi industri terus meningkat seiring dengan tuntutan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon [4, 5, 8, 9].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis nilai konduktivitas termal serat batang jagung pada beberapa tingkat kerapatan material dan temperatur pengujian. Pengujian dilakukan menggunakan metode perpindahan panas tunak dengan mengamati perbedaan temperatur, kehilangan panas, serta karakteristik perpindahan kalor yang terjadi pada spesimen. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai pengaruh kerapatan terhadap konduktivitas termal serat batang jagung serta menilai potensinya sebagai bahan alternatif isolator pada alat penukar kalor. Selain memberikan kontribusi terhadap pengembangan material teknik berbasis biomassa, penelitian ini juga diharapkan dapat mendukung pemanfaatan limbah pertanian secara lebih produktif, meningkatkan nilai ekonomi residu tanaman jagung, dan memperkuat upaya pengembangan teknologi yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan dan efisiensi energi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menentukan nilai konduktivitas termal serat batang jagung pada berbagai tingkat kerapatan menggunakan metode perpindahan panas tunak (*steady-state heat transfer*). Pengujian dilakukan dengan memberikan sumber panas pada satu sisi spesimen dan mengukur distribusi temperatur serta laju kehilangan panas yang terjadi hingga kondisi tunak tercapai. Metode ini banyak digunakan dalam karakterisasi sifat termal material isolasi karena mampu menghasilkan nilai konduktivitas termal yang representatif melalui pengukuran langsung parameter perpindahan panas.

2.1 Bahan dan Peralatan

a. Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah serat batang jagung yang diperoleh dari limbah pertanian pascapanen. Serat batang jagung dibersihkan dari kotoran dan dikeringkan hingga mencapai kondisi kadar air yang relatif stabil. Selanjutnya serat dibentuk menjadi lapisan isolasi dengan variasi kerapatan:

- 100 kg/m³
- 150 kg/m³
- 200 kg/m³

b. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

1. Pipa tembaga sebagai media aliran fluida panas.
2. Isolator serat batang jagung.
3. Tangki pemanas air.
4. *Heater* listrik.
5. Pompa sirkulasi.
6. *Flowmeter*.
7. *Thermocouple* tipe-K.
8. Data *logger* temperatur.
9. Timbangan digital.
10. Jangka sorong digital.

2.2 Prosedur Penelitian

Tahapan pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Memasang spesimen pada ruang pengujian (Gambar 1).
2. Menempatkan *thermocouple* pada sisi panas dan sisi dingin spesimen (Gambar 1).
3. Mengaktifkan pemanas listrik hingga mencapai temperatur yang ditentukan.
4. Pengujian dilakukan pada temperatur air masuk masing-masing 40°C, 60°C, dan 80°C.
5. Menunggu sistem mencapai kondisi tunak (*steady state*), ditandai dengan perubahan temperatur yang relatif konstan.
6. Mencatat temperatur masuk (Tin), temperatur keluar (Tout), temperatur permukaan panas (T1), dan temperatur permukaan dingin (T2).
7. Menghitung kehilangan panas (*heat loss*) berdasarkan perubahan temperatur udara yang melewati sistem.
8. Mengulangi pengujian untuk setiap variasi temperatur dan kerapatan material.

Setiap pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan yang sama untuk meminimalkan pengaruh faktor eksternal terhadap hasil pengukuran [4].

2.3 Variabel Penelitian

Variabel bebas

1. Kerapatan serat batang jagung:
   - 100 kg/m³
   - 150 kg/m³
   - 200 kg/m³
2. Temperatur pengujian:
   - 40°C
   - 60°C
   - 80°C

Variabel terikat

- Konduktivitas termal (W/mK).
- Perbedaan temperatur material (ΔT solid).
- Laju kehilangan panas (*heat loss*).

Laju kehilangan panas (*heat loss*) dihitung menggunakan Persamaan 1 [10].

$$Q_{loss} = \dot{m}\, C_p\, \Delta T \quad (1)$$

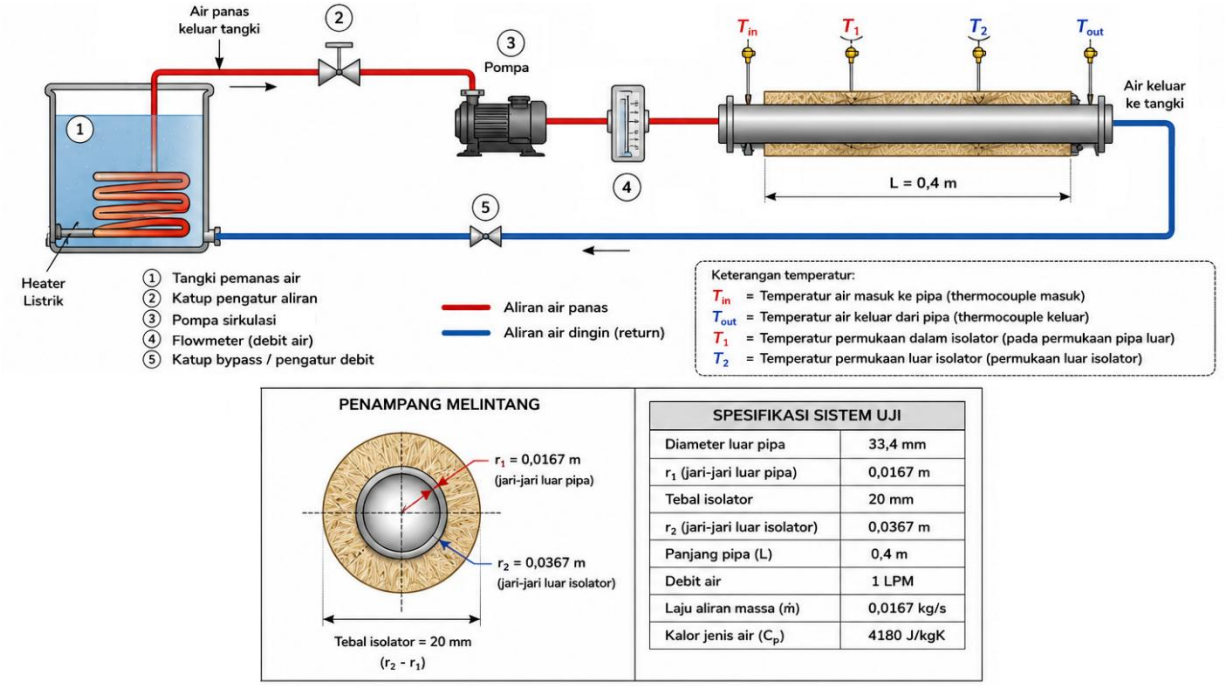
dengan, Q_{loss} = laju kehilangan panas (W), $\dot{m}$ = laju aliran massa udara (kg/s), C_p = kalor jenis udara (J/kg°C), ΔT = perbedaan temperatur udara masuk dan keluar (°C). Nilai konduktivitas termal material dihitung menggunakan Hukum Fourier untuk perpindahan panas konduksi satu dimensi [10].

$$Q = \frac{2\,\pi\, K\, L\, \Delta T_s}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2)$$

$$Q = Q_{loss} \quad (3)$$

$$K = \frac{Q_{loss}\, x \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\,\pi\, L\, \Delta T_s} \quad (4)$$

dengan, k = konduktivitas termal (W/mK), Q = laju perpindahan panas (W), L = ketebalan spesimen (m), A = luas penampang perpindahan panas (m²), ΔTs = perbedaan temperatur permukaan spesimen ($T_1 - T_2$) (°C), r_1 = jari-jari luar pipa, r_2 = jari-jari luar isolator. Perhitungan dilakukan untuk seluruh kombinasi temperatur dan kerapatan sehingga diperoleh karakteristik konduktivitas termal masing-masing spesimen.

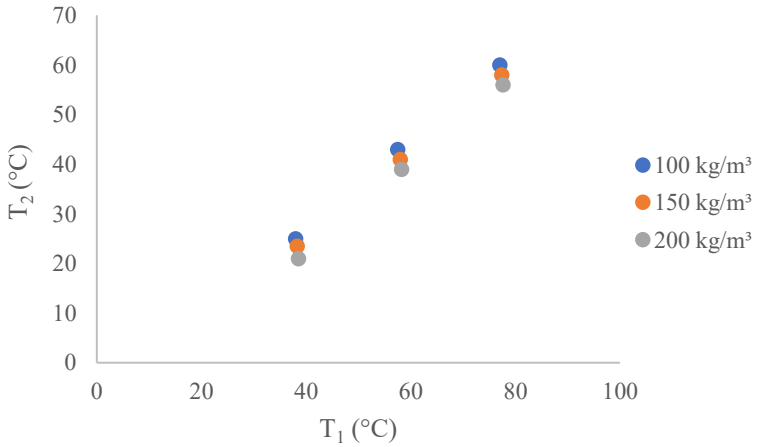


SPESIFIKASI SISTEM UJI	
Diameter luar pipa	33,4 mm
r_1 (jari-jari luar pipa)	0,0167 m
Tebal isolator	20 mm
r_2 (jari-jari luar isolator)	0,0367 m
Panjang pipa (L)	0,4 m
Debit air	1 LPM
Laju aliran massa ($\dot{m}$)	0,0167 kg/s
Kalor jenis air (C_p)	4180 J/kgK

Gambar 1 Skematik alat uji konduktivitas termal serat batang jagung pada pipa tunggal terisolasi

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara temperatur permukaan dalam isolator (T_1) dan temperatur permukaan luar isolator (T_2) pada variasi kerapatan serat batang jagung sebesar 100 kg/m³, 150 kg/m³, dan 200 kg/m³. Secara umum terlihat bahwa peningkatan temperatur permukaan dalam menyebabkan kenaikan temperatur permukaan luar pada seluruh variasi kerapatan. Hubungan tersebut memperlihatkan kecenderungan hampir linier yang menunjukkan bahwa selama pengujian, perpindahan panas berlangsung pada kondisi tunak (*steady-state heat conduction*), sehingga fluks panas yang mengalir melalui isolator relatif konstan [1].

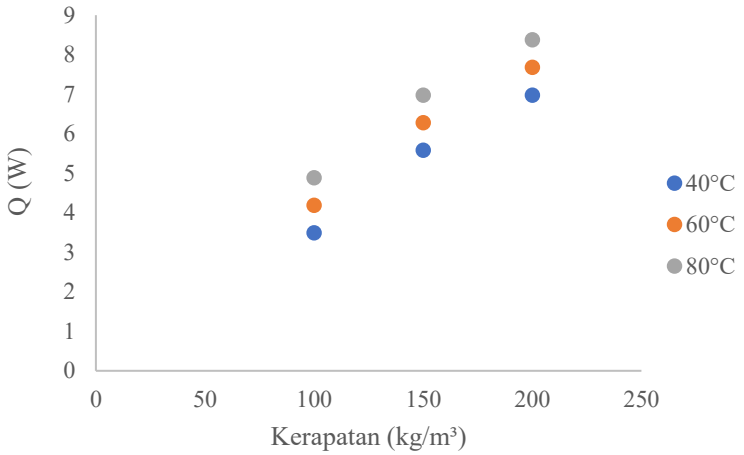


Gambar 2 Hubungan temperatur permukaan dalam (T_1) dan temperatur permukaan luar (T_2)

Pada temperatur permukaan dalam yang hampir sama, temperatur permukaan luar cenderung lebih rendah pada material dengan kerapatan yang lebih tinggi. Sebagai contoh, ketika T_1 berada pada kisaran 77°C, temperatur permukaan luar mencapai sekitar 60°C untuk kerapatan 100 kg/m³, menurun menjadi sekitar 58°C pada kerapatan 150 kg/m³, dan sekitar 56°C pada kerapatan 200 kg/m³. Penurunan temperatur permukaan luar tersebut menunjukkan bahwa beda temperatur sepanjang ketebalan isolator

semakin besar seiring meningkatnya kerapatan material. Kondisi ini mengindikasikan meningkatnya gradien temperatur di dalam lapisan isolator. Peningkatan gradien temperatur tersebut berkaitan dengan perubahan struktur internal serat. Bertambahnya massa serat per satuan volume menyebabkan susunan serat menjadi lebih rapat sehingga distribusi panas di dalam material berubah. Material yang lebih padat memiliki kapasitas panas volumetrik yang lebih besar sehingga sebagian energi panas diserap oleh material sebelum mencapai permukaan luar. Akibatnya, temperatur permukaan luar meningkat lebih lambat dibandingkan temperatur pada permukaan yang bersentuhan langsung dengan pipa seperti disajikan pada Gambar 2.

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara kerapatan serat batang jagung dan laju kehilangan panas (Q) pada temperatur masuk 40°C, 60°C, dan 80°C. Terlihat bahwa peningkatan kerapatan dari 100 kg/m³ menjadi 200 kg/m³ selalu diikuti oleh peningkatan nilai kehilangan panas pada seluruh temperatur pengujian. Pada temperatur masuk 40°C, kehilangan panas meningkat dari sekitar 3,5 W menjadi hampir 7 W. Pola yang sama juga terjadi pada temperatur 60°C dan 80°C.

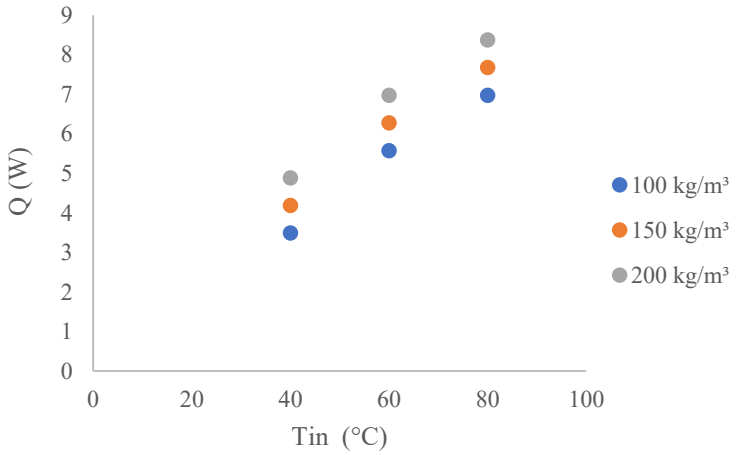


Gambar 3 Hubungan pengaruh kerapatan terhadap laju kehilangan panas (Q)

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kerapatan material, semakin besar energi panas yang mampu dihantarkan melewati lapisan isolator. Secara mikroskopis, peningkatan densitas menyebabkan jumlah titik kontak antarserat bertambah sehingga jalur perpindahan panas melalui fase padat menjadi lebih kontinu. Berkurangnya volume rongga udara di dalam material juga menyebabkan hambatan terhadap perpindahan panas menurun. Karena udara memiliki konduktivitas termal yang jauh lebih rendah dibandingkan padatan lignoselulosa, pengurangan rongga udara menyebabkan panas lebih mudah mengalir melalui material [1, 6]. Selain dipengaruhi oleh kerapatan, kehilangan panas juga meningkat seiring bertambahnya temperatur fluida. Peningkatan temperatur masuk memperbesar beda temperatur antara fluida dan lingkungan sehingga gaya pendorong (*driving force*) perpindahan panas menjadi lebih besar. Berdasarkan Hukum Fourier, laju perpindahan panas berbanding lurus dengan gradien temperatur. Oleh karena itu, peningkatan temperatur operasi menghasilkan kehilangan panas yang lebih besar meskipun ketebalan isolator tetap [10]. Hasil ini menunjukkan bahwa material dengan kerapatan rendah memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghambat aliran panas. Dengan demikian, dari aspek efisiensi termal, penggunaan serat batang jagung berkepadatan rendah lebih menguntungkan untuk aplikasi isolasi pada alat penukar kalor.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara temperatur masuk (Tin) dan laju kehilangan panas pada setiap variasi kerapatan serat batang jagung. Terlihat bahwa kenaikan temperatur masuk dari 40°C menjadi 80°C menyebabkan peningkatan kehilangan panas yang hampir linier pada seluruh variasi kerapatan. Hubungan linier tersebut menunjukkan bahwa mekanisme perpindahan panas selama pengujian masih berada pada daerah konduksi tunak sehingga perubahan temperatur memberikan pengaruh yang proporsional terhadap laju perpindahan panas. Pada setiap temperatur, material dengan kerapatan 200 kg/m³ selalu menghasilkan kehilangan panas paling tinggi, sedangkan kerapatan 100 kg/m³ menghasilkan kehilangan panas paling rendah. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pengaruh kerapatan tetap dominan meskipun temperatur operasi berubah. Dengan kata lain, perubahan temperatur

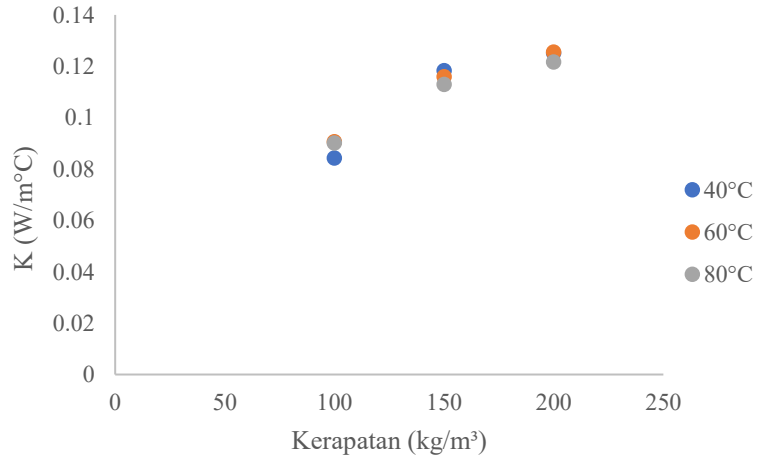
hanya meningkatkan besarnya energi panas yang mengalir, sedangkan karakteristik dasar material tetap ditentukan oleh struktur internal serat.



Gambar 4 Pengaruh temperatur masuk terhadap laju kehilangan panas

Secara teoritis, kenaikan temperatur meningkatkan energi kinetik molekul sehingga laju perpindahan energi melalui tumbukan antarpartikel juga meningkat. Pada material dengan struktur lebih padat, jalur penghantaran panas menjadi lebih efektif sehingga peningkatan temperatur menghasilkan kenaikan kehilangan panas yang lebih besar dibandingkan material dengan kerapatan rendah [10, 11]. Konsistensi pola pada seluruh variasi temperatur menunjukkan bahwa serat batang jagung memiliki perilaku termal yang stabil pada rentang temperatur 40-80°C. Stabilitas tersebut merupakan karakteristik yang penting bagi material isolasi karena menunjukkan bahwa perubahan temperatur operasi tidak menyebabkan perubahan mekanisme perpindahan panas secara signifikan.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kerapatan serat batang jagung dan nilai konduktivitas termal pada temperatur pengujian 40°C, 60°C, dan 80°C. Nilai konduktivitas termal meningkat dari sekitar 0,084 W/mK pada kerapatan 100 kg/m³ menjadi sekitar 0,125 W/mK pada kerapatan 200 kg/m³. Peningkatan tersebut terjadi secara konsisten pada seluruh temperatur pengujian.



Gambar 5 Pengaruh kerapatan terhadap konduktivitas termal

Kenaikan konduktivitas termal menunjukkan bahwa bertambahnya kerapatan menyebabkan kemampuan material dalam menghantarkan panas semakin besar. Fenomena ini terjadi karena peningkatan densitas memperbesar fraksi padatan di dalam material sehingga jumlah kontak antarserat meningkat. Jalur perpindahan panas melalui fase padat menjadi lebih kontinu, sedangkan volume udara

yang berfungsi sebagai hambatan termal berkurang. Akibatnya, resistansi termal material menurun dan nilai konduktivitas termal meningkat [1, 6].

Perubahan temperatur pengujian pada jarak 40-80°C hanya memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap nilai konduktivitas termal batang jagung. Pada setiap variasi kerapatan, perubahan nilai konduktivitas termal hanya berada pada kisaran beberapa persen, sehingga menunjukkan bahwa karakteristik pergerakan material panas lebih dipengaruhi oleh struktur serat internal dibandingkan dengan perubahan suhu operasi. Fenomena ini disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, perubahan sifat termofisik udara yang terperangkap di dalam pori-pori serat, seperti konduktivitas termal, jenis kalor, dan kepadatan, pada rentang suhu 40-80°C relatif kecil, sehingga tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap mekanisme perpindahan panas secara. Kedua, struktur *lignoselulosa* penyusun serat batang jagung masih berada pada kondisi stabil pada rentang suhu tersebut sehingga tidak terjadi perubahan struktur mikro, degradasi termal, maupun penyusutan pori yang dapat mempengaruhi jalur konduksi panas. Ketiga, kapasitas panas material yang relatif tinggi memungkinkan sebagian energi panas diserap terlebih dahulu oleh serat sebelum diteruskan melalui material, sehingga perubahan suhu operasi lebih banyak mempengaruhi jumlah energi yang tersimpan daripada mengubah kemampuan material dalam menghantarkan panas. Oleh karena itu, peningkatan pengujian suhu hanya menyebabkan sedikit perubahan pada nilai konduktivitas termal, sedangkan kerapatan bahan tetap menjadi faktor dominan yang menentukan karakteristik isolasi termal serat batang jagung. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa pada isolasi material berbasis serat alami, pengaruh densitas terhadap konduktivitas termal lebih dominan dibandingkan pengaruh suhu operasi pada rentang suhu sedang [2, 8].

Nilai konduktivitas termal yang diperoleh, yaitu sekitar 0,084-0,125 W/mK, masih berada dalam rentang karakteristik material isolasi berbasis biomassa yang telah banyak dilaporkan pada penelitian terdahulu. Oleh karena itu, serat batang jagung memiliki potensi sebagai bahan alternatif isolator termal. Namun demikian, berdasarkan hasil penelitian ini, kerapatan 100 kg/m³ merupakan kondisi optimum karena menghasilkan nilai konduktivitas termal paling rendah sehingga memberikan hambatan panas yang paling besar.

4. Kesimpulan

Meningkatkan kepadatan serat batang jagung meningkatkan kehilangan panas dan konduktivitas termal karena peningkatan jalur konduksi melalui fase padat. Material dengan kepadatan 100 kg/m³ memiliki nilai konduktivitas termal terendah, yaitu 0,084 W/mK, sehingga menunjukkan kinerja isolasi termal terbaik di antara semua variasi yang diuji. Kepadatan material merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap karakteristik termal serat batang jagung, sedangkan variasi suhu pengujian memiliki pengaruh yang relatif kecil. Berdasarkan hasil penelitian, serat batang jagung memiliki nilai konduktivitas termal yang berada dalam kisaran karakteristik material isolasi berbasis serat alami, sehingga berpotensi digunakan sebagai isolator termal alternatif dalam sistem pertukaran panas. Pemanfaatan limbah pertanian ini juga mendukung pengembangan material berkelanjutan, meningkatkan efisiensi energi, dan memberikan nilai tambah pada biomassa pertanian. Untuk aplikasi praktis, serat batang jagung dengan kepadatan 100 kg/m³ direkomendasikan sebagai material isolasi termal dalam sistem pertukaran panas suhu rendah hingga menengah dan pada pipa terisolasi yang membutuhkan pengurangan kehilangan panas dan peningkatan efisiensi energi. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menguji stabilitas termal jangka panjang, ketahanan terhadap kelembaban, sifat mekanik, dan daya tahan material di bawah kondisi operasi industri untuk mendukung penerapannya yang lebih luas.

Daftar Pustaka

[1] L. Cosentino, J. Fernandes, R. Mateus, A review of natural bio-based insulation materials, Energies, 16 (12) (2023) 4676. https://doi.org/10.3390/en16124676

[2] A. Ulutaş, F. Balo, A. Topal, Identifying the most efficient natural fibre for common commercial building insulation materials with an integrated PSI, MEREC, LOPCOW and MCRAT model, Polymers, 15 (6) (2023) 1500. https://doi.org/10.3390/polym15061500

[3] M.A. Shakir, M.I. Ahmad, N.K. Ramli, Y. Yusup, A.M. Alosaimi, H.S. Alorfi, M.A. Hussein, M. Rafatullah, Review on the influencing factors towards improving properties of composite insulation panel made of natural waste fibers for building application, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 42 (17-18) (2023) 763-787. https://doi.org/10.1177/15280837231151440

[4] M. Andzs, R. Tupciauskas, A. Berzins, G. Pavlovics, J. Rizikovs, U. Milbreta, L. Andze, Flammability of plant-based loose-fill thermal insulation: insights from wheat straw, corn stalk, and water reed, Fibers, 13 (3) (2025) 24. https://doi.org/10.3390/fib13030024

[5] R. Anantanukulwong, N. Maruekeh, A. Sadiyamu, N. Pi, The study of the thermal insulation properties of the waste materials of agriculture: sawdust, coconut fiber, and water hyacinth fiber, YRU Journal of Science and Technology, 9 (2) (2024).

[6] D. Csanády, O. Fenyvesi, B. Nagy, An empirical model of heat-treated straw bulks' thermal conductivity based on changes in mass and chemical composition, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 148 (2023) 3731-3749. https://doi.org/10.1007/s10973-023-11945-4

[7] D. Bastien, M. Winther-Gaasvig, J.Z. Andersson, Z. Xiao, H. Ge, Hygrothermal performance of natural building materials: simulations and field monitoring of a case study home made of wood fiber insulation and clay, Indoor and Built Environment, 47 (3) (2023). https://doi.org/10.1177/17442591231195639

[8] M.C. Branciforti, I. Hafez, From waste to warmth: a review on insulating materials from industrial, agricultural, and forest residues, Biomass and Bioenergy, 194 (2025) 108576. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108576

[9] L. Chen, Z. Chen, Z. Xie, L. Wei, J. Hua, L. Huang, Pow-Seng Yap, Recent developments on natural fiber concrete: a review of properties, sustainability, applications, barriers, and opportunities, Developments in the Built Environment, 16 (2023) 100255. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100255

[10] Y.A. Çengel, A.J. Ghajar, Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 7th ed, McGraw-Hill, 2024.

[11] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 8th ed, John Wiley & Sons, 2019.