

Karakteristik Termal Material Komposit Berbahan Dasar Polipropilena dan Batang Pisang

Gusti Umindya Nur Tajalla¹, Prisky Andriansyah¹, Ilham Tri Riyadi¹,
Mei Lisa Nur Vadila¹, dan Andromeda Dwi Laksono¹

¹Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

gusti.unt@lecturer.itk.ac.id, 06151034@student.itk.ac.id, 06161028@student.itk.ac.id,
06191032@student.itk.ac.id, andromeda@lecturer.itk.ac.id

Abstrak

Penggunaan insulasi termal pada hunian dapat menjadi solusi untuk menjaga suhu di dalam ruangan agar kenyamanan dalam bekerja dan beristirahat dapat optimum. Salah satu bahan ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai insulasi termal adalah serat batang pisang (BP) karena nilai konduktivitas termalnya yang rendah, yaitu 0,1166 W/mK, sedangkan matriksnya menggunakan polipropilena (PP). Produksi polipropilena yang tinggi dapat menyebabkan pencemaran lingkungan sehingga polipropilena daur ulang (PPDU) perlu dipelajari untuk dapat dijadikan matriks pada insulasi termal. Penelitian ini menggunakan *compression molding* pada tekanan 8 MPa dan temperatur 170°C selama 60 menit dengan variasi fraksi volume serat batang pisang sebesar 10%, 30% dan 50% dan variasi jenis matriks, yaitu PP dan PPDU. Kemudian, hasil manufaktur dikarakterisasi menggunakan uji densitas dan uji konduktivitas termal. Hasil pengujian densitas pada BP/PP dan BP/PPDU menurun seiring dengan penambahan fraksi volume berturut-turut. Hal ini dapat terjadi akibat pembentukan *void* selama proses manufaktur berlangsung. Selain itu, nilai konduktivitas termal masing-masing meningkat dari 0,37 ke 0,89 W/mK untuk BP/PP dan dari 0,58 ke 0,94 W/mK untuk BP/PPDU. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil fraksi volume serat akan menghasilkan nilai konduktivitas termal lebih rendah. Begitu pula dengan penggunaan PP murni yang lebih diminati karena memberikan nilai konduktivitas yang lebih rendah dibanding PPDU.

Kata kunci: material insulasi panas, komposit, batang pisang, polipropilena, polipropilena daur ulang

Abstract

Thermal insulation in a residence can help keep the room's temperature stable, allowing maximum comfort at work and relaxation. Because of its low thermal conductivity value of 0.1166 W/mK, banana stem fiber (BP) is an environmentally friendly thermal insulation material, while the matrix uses polypropylene (PP). Because excessive polypropylene production can pollute the environment, recycled polypropylene (PPDU) should be investigated as a candidate matrix. This study employs compression molding at a pressure of 8 MPa and a temperature of 170 °C for 60 minutes, with volume fractions of banana stem fibers varying by 10%, 30%, and 50%, as well as different matrix types, namely PP and PPDU. The manufacturing results were then evaluated using density and thermal conductivity tests. The density testing results for BP/PP and BP/PPDU decreased as more volume fractions were added. This phenomenon can occur as a result of void formation during the manufacturing process. Furthermore, the thermal conductivity values for BP/PP increased from 0.37 to 0.89 W/mK and from 0.58 to 0.94 W/mK for BP/PPDU, respectively. The lower the thermal conductivity value, the smaller the volume fraction of fiber. Similarly, pure PP is preferable because it has lower conductivity values than PPDU.

Keywords: thermal insulation material, composite, banana stem, polypropylene, recycled polypropylene

1. Pendahuluan

Konsep *green building* dalam pembangunan infrastruktur saat ini menjadi perhatian khusus dalam rangka mengimplementasikan *sustainability development goals* (SDGs). Konsep ini mengutamakan kenyamanan dan kesehatan orang-orang yang tinggal di dalamnya. Salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan adalah sirkulasi temperatur antara di luar dan di dalam ruangan, karena temperatur dalam ruangan dipengaruhi oleh cuaca yang terjadi. Sebagai contoh, ketika musim panas temperatur di dalam ruangan akan cenderung naik dan ketika musim dingin temperatur di dalam ruangan cenderung menurun. Hal ini dapat mempengaruhi kenyamanan dalam bekerja dan beristirahat. Jika kenyamanan ini tidak terpenuhi, dampak yang lebih buruk akan terjadi, seperti kelelahan, kehilangan fokus, dan depresi. Oleh sebab itu, sebagian besar masyarakat menggunakan *air conditioner* (AC) untuk mengatur

temperatur ruangan sesuai dengan kebutuhan. Namun, penggunaan teknologi tersebut dapat meningkatkan konsumsi energi dan gas emisi rumah kaca yang dapat memperparah pemanasan global (Rosmayanti, 2019).

Penggunaan insulasi termal pada bangunan dapat menjadi solusi yang dapat dipertimbangkan. Insulasi termal ini berguna untuk menjaga temperatur di dalam ruangan agar secara minimum terpengaruh oleh temperatur di luar ruangan. Insulasi berusaha untuk menjaga sebaik mungkin temperatur di dalam

Info Makalah:

Dikirim : 07-21-23;

Revisi 1 : 01-25-24;

Diterima : 02-13-24.

Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : gusti.unt@lecturer.itk.ac.id

tetap nyaman dan stabil (Pavel & Blagoeva, 2018). Penggunaan insulasi termal cukup diminati di Eropa dimana cuaca panas dan dingin yang ekstrim terjadi. Rusia menjadi salah satu negara dengan permintaan insulasi termal terbanyak saat ini. Pada 2015, total belanja untuk insulasi termal mencapai USD 25.000. Lebih dari 50% penggunaan insulasi termal berjenis *mineral wool* yang lebih diminati karena kualitas menghambatnya yang baik atau memiliki konduktivitas termal rendah, yaitu 0,035 W/m.K (Yunianto, 2020). Walaupun demikian, insulasi jenis ini diproduksi dengan menggunakan temperatur tinggi, yaitu 1.350–1.500°C (Berber, 2020). Temperatur yang tinggi akan melepaskan karbondioksida (CO₂) sehingga dapat menyebabkan efek rumah kaca (Pratama, 2019). Selain itu, pelepasan gas beracun dapat memicu permasalahan pada pernapasan. Konsumsi energi yang tinggi juga memberi dampak pada biaya produksi yang meningkat. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif material insulasi termal yang baik untuk kesehatan dan ramah lingkungan untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Selain itu, proses manufaktur insulasi termal juga dapat diturunkan agar biaya produksi lebih rendah dan dapat dijangkau oleh semua lapisan masyarakat. Salah satu solusi yang dapat ditawarkan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan serat alam dan limbah polimer yang sudah tidak lagi digunakan untuk dijadikan komposit.

Menurut *Indonesia National Carbon Accounting System* tahun 2020, Indonesia memiliki 23% spesies tumbuhan dan menempati urutan ketujuh di dunia dengan jumlah spesies tanaman tertinggi mencapai 20.000 spesies. Kalimantan, khususnya Provinsi Kalimantan Timur, memiliki luas hutan sebesar 13 Ha memiliki potensi kekayaan hayati yang melimpah menjadikan hasil perkebunan menjadi komoditi utama yang dapat dikelola, seperti kelapa, pisang, karet, dan lainnya. Pisang menjadi tumbuhan yang sering dijumpai di Kalimantan. Data yang diambil dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia tahun 2019 mencatat bahwa total produksi/hektar dari pisang di Provinsi Kalimantan Timur sebanyak 103.888 ton. Selain ketersediaannya yang melimpah, batang pisang juga memiliki struktur berpori yang dapat dimanfaatkan sebagai penghambat perpindahan panas. Batang pisang selalu dipotong dan menjadi limbah biomassa setelah pisang dipanen. Sehingga, batang pisang ini sudah tidak lagi digunakan. Menurut penelitian (Manohar, 2016) batang pisang memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 0,04415 W/mK. Hal ini yang melatarbelakangi batang pisang dapat dijadikan material insulasi panas (Muthukumar dkk., 2020).

Pemilihan matriks dalam pembuatan komposit juga menjadi bahan pertimbangan yang tidak kalah penting. Diantara semua jenis termoplastik, polipropilena (PP) memiliki nilai konduktivitas termal yang paling rendah, yaitu 0,11–0,17 W/mK. Selain itu, jumlah produksi polipropilena di Indonesia mencapai 38.000 ton/tahun pada tahun 2020 (OKTIOLA & FAUZIAH, 2021). Dengan tingginya produksi polipropilena, diprediksikan akan menghasilkan limbah yang dapat merugikan lingkungan bila tidak dilakukan langkah penanganan yang tepat. Untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan, maka pada penelitian ini akan memanfaatkan limbah PP, yaitu tutup botol dari kemasan minuman yang kemudian disebut polipropilena daur ulang (PPDU) yang kemudian akan dibandingkan dengan PP.

Untuk menghasilkan insulasi dengan sifat termal yang baik, pembuatan komposit batang pisang dan polipropilena (BP/PP dan BP/PPDU) dipengaruhi oleh beberapa faktor terutama fraksi volume. Pujari dkk., (2018) melakukan penambahan fraksi volume fiber batang pisang pada matriks Epoksi sebesar 30, 40 dan 60%. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh nilai konduktivitas termalnya menurun seiring dengan penambahan fraksi volume, yaitu 0,243 W/mK, 0,230 W/mK dan 0,228 W/mK untuk masing-masing variabel. Selain itu, panjang fiber yang digunakan juga dapat mempengaruhi konduktivitas termal yang dihasilkan. Menurut penelitian Subramanya, dkk. (2022), penambahan serat batang pisang dengan panjang 5, 8, dan 10 mm dapat menghasilkan nilai konduktivitas termal sebesar 0,342 W/mK, 0,321 W/mK, dan 0,308 W/mK. Dengan demikian, penambahan fraksi volume dan panjang fiber batang pisang dapat menurunkan konduktivitas termal. Sehingga, kemampuan menghantarkan panas pada material komposit batang pisang dan polipropilena menjadi sulit, sehingga cocok dijadikan sebagai material insulasi panas.

Metode pembuatan komposit dengan jenis polimer termoplastik lebih kompleks dibandingkan dengan jenis termoset. Hal ini dikarenakan pelet polimer harus dilelehkan terlebih dahulu dan impregnasi ke celah-celah seratnya. Namun, metode *compression molding* menambahkan tekanan pada saat proses pemanasan yang memudahkan proses impregnasi polimer. Keuntungan lain menggunakan metode *compression molding* adalah serat penguat yang tidak bergeser pada saat proses manufaktur. Selain itu, persentase serat penguat dapat disesuaikan atau ditambahkan hingga 60% untuk menghasilkan nilai yang akurat (Annie Paul dkk., 2008).

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibuat komposit berbahan dasar polipropilena dan batang pisang dengan menggunakan metode *compression molding*. Penelitian ini akan difokuskan pada analisis pengaruh fraksi volume batang pisang terhadap karakteristik termal.

2. Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang pisang dan polipropilena. Jenis pisang yang digunakan adalah jenis Pisang Kepok (*Musa acuminata* × *balbisiana*). Batang pisang yang diambil memiliki umur di atas 1 tahun atau setelah pisang dipanen. Polipropilena murni komersial dibeli dan digunakan tanpa perlakuan tambahan. Sedangkan, polipropilena bekas yang digunakan adalah tutup botol minuman bekas dengan merk yang sama.

Tabel 1. Sifat Material Penyusun Komposit.

| Sifat Material | Batang Pisang | Polipropilena Murni (PP) | Polipropilena Daur Ulang (PPDU) |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Densitas (gr/ml) | 0,67-1,50 ^a | 0,91 ^b | 0,90 ^c |
| Temperatur Leleh (°C) | 501 ^d | 165 ^e | 163 ^f |
| Konduktivitas Panas (W/mK) | 0,1166 ^g | 0,1 – 0,22 ^h | - |

^a(Assis dkk., 2015), ^c(Cirplus, t.t.), ^{e,f}(Achilias dkk., 2008), ^{b,g}(Annie Paul dkk., 2008), ^h(Maier & Calafut, 1998; Wang dkk., 2020)

Serat batang pisang dipotong kecil dengan ukuran 10 mm × 2 mm. Serat batang pisang lalu dioven pada temperatur 90°C selama 60 menit untuk menghilangkan kadar airnya. Batang pisang diketahui memiliki kadar air dalam rentang 10-15%. Kandungan air ini dapat mempengaruhi nilai konduktivitas termal. Hal ini karena air mempunyai sifat konduktor yang mampu merambatkan panas dengan baik. Semakin banyak air di dinding sel akan mempermudah perambatan panas di dalam kayu. Menurut (Siau, 1995), konduktivitas panas dari kayu akan meningkat searah dengan kadar air yang meningkat, terutama bila dihitung berdasarkan fraksi volume dari dinding sel. Konduktivitas air jauh lebih tinggi dibandingkan dengan serat batang pisang yaitu 0,59 W/mK, sehingga semakin tinggi kadar air pada batang pisang maka semakin tinggi nilai konduktivitas termal yang dihasilkan (Adha & Mora, 2023). Pemanasan batang pisang dilakukan berulang hingga mendapatkan massa konstan yang mengindikasikan serat telah kering dan siap diproses ke tahapan selanjutnya.

Selanjutnya, pembuatan komposit serat batang pisang dan polipropilena dilakukan dengan menggunakan mesin *compression molding*. Mula-mula, cetakan logam dibuat dengan ukuran 200 × 200 × 10 mm³ (panjang × lebar × tebal). Serat batang pisang yang telah dipotong dicampur dengan polipropilena secara acak dan homogen dengan fraksi volume serat sebesar 0%, 10%, 30% dan 50%. Perancangan komposit dimulai dengan menggunakan persamaan (1). Persamaan (1) menghitung volume fiber (v_f) yang dibutuhkan untuk membuat volume sesuai ukuran cetakan atau komposit utuh (v_c). Setelah volume diketahui, massa serat yang dibutuhkan (w_f) dalam pembuatan spesimen dapat dihitung melalui persamaan (2). Perhitungan volume dan serat matriks juga dapat dihitung sesuai persamaan (3) dan (4). Dalam perhitungan tersebut, densitas yang digunakan menggunakan data pada Tabel 1, yaitu 0,69 gr/ml untuk batang pisang, 0,731 gr/ml untuk PP, dan 0,90 gr/ml untuk PPDU. Satuan yang digunakan untuk volume adalah mililiter (ml), massa adalah gram (gr), dan densitas adalah gram/mililiter (gr/ml). Sehingga, didapatkan perhitungan massa serat dan polimer yang digunakan dalam pembuatan sampel yang dapat dilihat pada Tabel 2. Kemudian, campuran tersebut ditekan dengan tekanan sebesar 8 MPa dan dipanaskan pada temperatur 170°C selama 60 menit. Persamaan 5 digunakan untuk menghitung densitas teori yang akan dijelaskan pada subab selanjutnya.

$$v_f = V_f \times \rho_f \quad (1)$$

$$w_f = v_f \times \rho_f \quad (2)$$

$$v_m = V_m \times \rho_m \quad (3)$$

$$w_m = v_m \times \rho_m \quad (4)$$

$$\rho_c = \rho_c V_f + \rho_m V_m \quad (5)$$

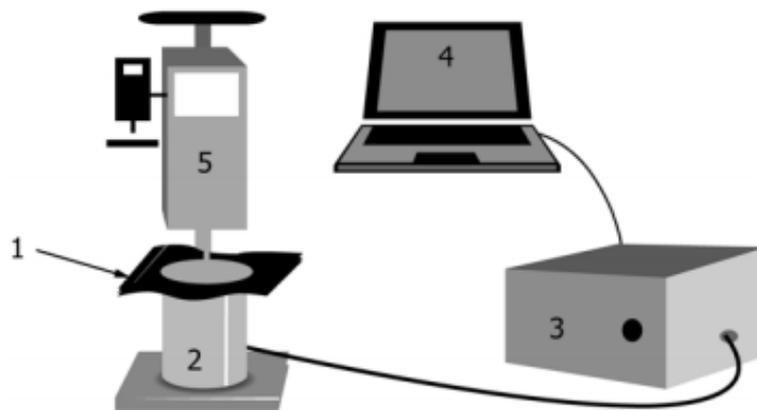
Tabel 2. Komposisi Massa Serat dan Matriks pada Spesimen BP/PP dan BP/PPDU.

| Komposisi BP/PP | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|----------------|-------------|------------|
| Serat (BP) | | | Matriks (PP) | | |
| Fraksi Volume | Volume (ml) | Massa (gr) | Fraksi Volume | Volume (ml) | Massa (gr) |
| 0 | 0 | 0 | 100 | 400 | 292,40 |
| 0,1 | 40 | 27,60 | 0,9 | 360 | 263,16 |
| 0,3 | 120 | 82,80 | 0,7 | 280 | 204,68 |
| 0,5 | 200 | 138,00 | 0,5 | 200 | 146,20 |
| Komposisi BP/PPDU | | | | | |
| Serat (BP) | | | Matriks (PPDU) | | |
| Fraksi Volume | Volume (ml) | Massa (gr) | Fraksi Volume | Volume (ml) | Massa (gr) |
| 0 | 0 | 0 | 100 | 400 | 292,40 |
| 0,1 | 40 | 27,60 | 0,9 | 360 | 263,16 |
| 0,3 | 120 | 82,80 | 0,7 | 280 | 204,68 |
| 0,5 | 200 | 138,00 | 0,5 | 200 | 146,20 |

Hasil manufaktur komposit kemudian diukur *bulk density*-nya. Pengukuran densitas dilakukan dengan persamaan (6) dimana massa yang diukur adalah massa yang tertimbang (m) dan volume (v) yang digunakan adalah volume spesimen. Diketahui bahwa spesimen memiliki ukuran dimensi 20 × 20 × 10 mm³. Selanjutnya, perhitungan *void* dilakukan dengan menghitung selisih antara densitas teori dan *bulk density*-nya yang kemudian dijelaskan pada subab selanjutnya.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (6)$$

Setelah itu, pengujian konduktivitas termal juga dilakukan dengan menggunakan *C-Therm TCi Thermal Conductivity Analyzer*. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D7984 yang dapat dilihat pada Gambar 1. Secara garis besar, spesimen yang telah dipotong (1) diletakkan di atas pemanas sebagai sumber panas pada satu sisi permukaan yang menyebabkan temperatur permukaan spesimen naik 1–3°C dan sensor untuk mengukur temperatur permukaan spesimen dengan akurasi ±0,01°C (2). *Controller* (3) digunakan untuk mengatur masuknya panas pada pemanas agar temperatur pada permukaan dapat diatur. Spesimen ditekan dengan menggunakan *constant pressure applicator* (5) untuk menjaga kestabilan spesimen. Sinyal yang dihasilkan dari sensor kemudian diproses dan ditampilkan di dalam sebuah *device* (4). Nilai konduktivitas kemudian digunakan untuk menghitung tahanan termal (persamaan (7)) dan resistan termal (persamaan (8)).



Gambar 1. Ilustrasi Apparatus Pengujian Konduktivitas Termal (ASTM D7984 – 16, t.t.).

$$R = \frac{L}{Ak} \quad (7)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (8)$$

3. Hasil dan Pembahasan

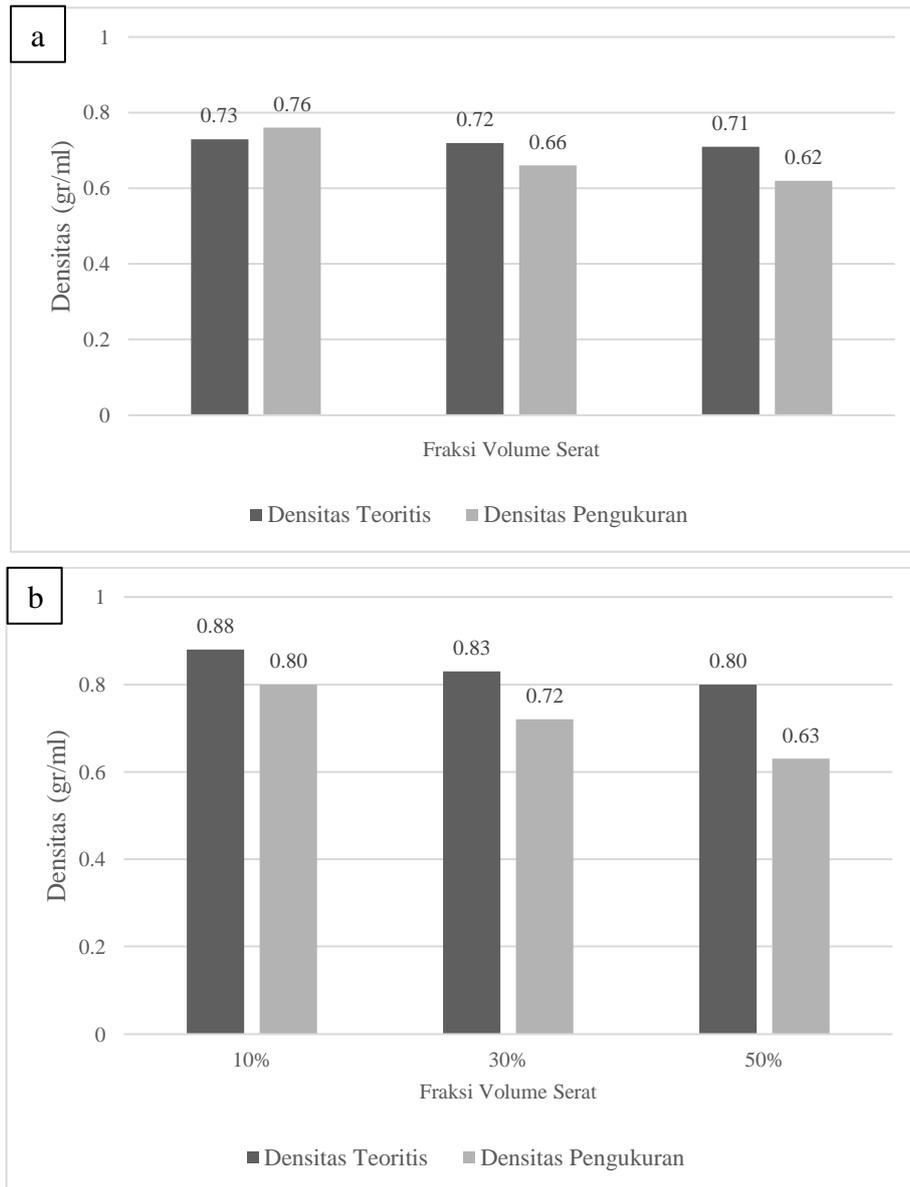
Pembuatan komposit berbahan dasar batang pisang dan polipropilena telah dilakukan. Pengukuran densitas dilakukan untuk membandingkan komposit desain dan hasil manufaktur. Perbandingan densitas teori yang dihitung melalui persamaan (5) dan pengukuran yang dihitung melalui persamaan (6) dapat dilihat pada Gambar 2 (a) untuk spesimen BP/PP dan (b) untuk spesimen BP/PPDU. Berdasarkan grafik tersebut, akurasi densitas paling tepat diperlihatkan pada fraksi volume 10% dari hasil manufaktur menggunakan *compression molding*. Lebih dari itu, densitas yang dihasilkan tidak sesuai dengan densitas teoritisnya. Selisih densitas antara densitas teoritis dan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3. Selisihnya meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume dan selisih lebih besar nilainya terjadi pada spesimen dengan PPDU. Ketidaksesuaian densitas ini terjadi akibat adanya *void* atau pori.

Pori terbentuk karena adanya udara yang terperangkap selama preparasi resin dan *moisture adsorption* ketika proses pengerjaan atau penyimpanan (Zulfikar dkk., 2023). Salah satu alasan yang menyebabkan cacat ini terbentuk dapat disebabkan oleh parameter proses yang berhubungan dengan tekanan kompresi. Lama penekanan pada proses pembuatan komposit mempengaruhi densitas dan jumlah pori yang dihasilkan. Menurut penelitian Setiajit dkk., (2016) nilai densitas komposit kenaf-PP naik sebesar 1,010-1,099 g/cm³ dengan waktu penekanan 5-25 menit. Waktu pengepresan yang semakin lama maka pori akan berkurang sehingga menghasilkan densitas yang tinggi. Selain waktu penekanan, besar tekanan yang digunakan pada *compression moulding*, juga menghasilkan komposit yang lebih padat. Dengan menggunakan tekanan yang berkisar 15-20 MPa dapat menghasilkan densitas sebesar 1,88-1.9 gr/ml (Hasanah & Muslimin, 2020). Tekanan ini berdampak pada proses impregnasi polimer ke dalam celah polimer juga meningkat. Hal ini karena kehadiran tekanan pada prinsipnya berfungsi sebagai gaya pendorong yang mempercepat laju penetrasi tersebut (Masturi dkk., 2012)

Gambar 2 juga menunjukkan bahwa densitas spesimen menurun seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat baik menggunakan PP maupun PPDU. Hal ini dikarenakan densitas batang pisang lebih rendah daripada matriksnya. Sedangkan, spesimen dengan PPDU menghasilkan densitas yang lebih tinggi dikarenakan densitas PPDU lebih tinggi daripada PP. Hal ini sesuai dengan penelitian Irnawan dkk., (2022) yang menyebutkan bahwa dengan penambahan fraksi volume serat akan menurunkan densitasnya.

Spesimen dengan PPDU cenderung memiliki pori yang lebih tinggi daripada polipropilena murni seiring dengan meningkatnya fraksi volume serat. Menurut literatur, polipropilena yang telah melalui proses daur ulang memiliki berat molekul dan polidispersitas yang lebih rendah daripada yang murni. Hal ini dikarenakan adanya radikal bebas yang memotong rantai molekul. Degradasi pada polipropilena mengubah entalpi polipropilena murni (78,5 J/g) menjadi 83,7 J/g (Hernández-Sánchez & Herrera-Franco, 2001). Sehingga, untuk melelehkan PPDU membutuhkan energi yang lebih tinggi. Namun, pembuatan komposit BP/PPDU pada penelitian ini menggunakan temperatur proses yang sama dengan polipropilena murni. Alhasil proses impregnasi polimer menjadi kurang sempurna. Alasan ini yang memungkinkan pembentukan *void* pada komposit polipropilena daur ulang lebih besar.

Selain itu, meningkatnya jumlah pori juga dipengaruhi oleh fraksi volume serat yang ditambahkan. Pori-pori dalam struktur batang pisang juga ikut berkontribusi dalam pembentukan *void* secara keseluruhan. Pori-pori pada batang pisang berkisar antara 5 – 20 μm (Subagyo & Chafidz, 2018).



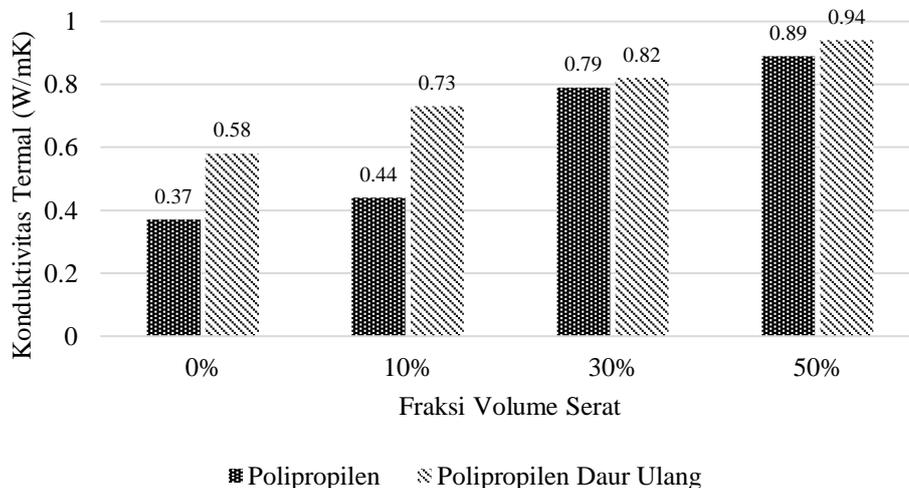
Gambar 2. Perbandingan Nilai Densitas Komposit dari (a) BP/PP dan (b) BP/PPDU.

Tabel 3. Data *Void* pada Spesimen BP/PP dan BP/PPDU.

| Jenis Spesimen | <i>Void</i> (%) | | |
|----------------|-----------------|-------|-------|
| | 10% | 30% | 50% |
| BP/PP | ~ | 8.33 | 12.68 |
| BP/PPDU | 9 | 13.25 | 21.25 |

Namun demikian, cacat pori yang terbentuk ini dapat dimanfaatkan menjadi penghambat perambatan panas yang kemudian berpengaruh pada konduktivitas panas. Pori yang terdiri dari udara merupakan isolator panas yang baik

dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,026 W/mK (Mirmanto dkk., 2021). Beberapa produk komersial juga didesain memiliki pori untuk menghambat perpindahan panas. Namun, hasil penelitian kami tidak sesuai dengan teori yang ada. Semakin tinggi pori pada komposit, semakin tinggi juga nilai konduktivitas termalnya berdasarkan Gambar 3, yaitu dari 0,37 hingga 0,89 W/mK untuk BP/PP dan 0,58 hingga 0,94 W/mK untuk BP/PPDU. Padahal untuk aplikasi insulasi panas, dibutuhkan konduktivitas panas yang rendah.



Gambar 3. Nilai Konduktivitas Termal pada Komposit dari Batang Pisang/ Polipropilena dan Batang Pisang/Polipropilena Daur Ulang.

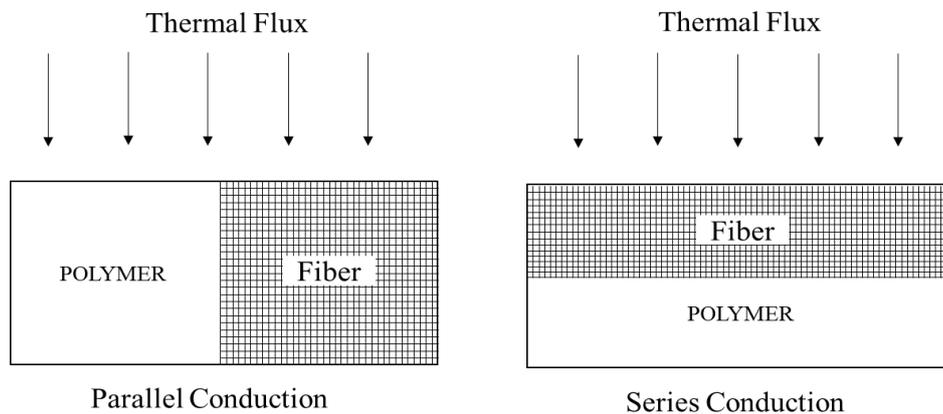
Hal ini juga tidak sesuai dengan beberapa penelitian terdahulu yang mengombinasikan bahan alam dengan polimer (Tabel 4). Bahan alam yang digunakan adalah serat batang pisang (Pujari dkk., 2017; Subramanya dkk., 2022), serat rami (Nath dkk., 2019), serbuk kayu ulin (Bustomi & Ghofur, 2021), dan serat daun nanas (P dkk., 2023). Berdasarkan penelitian terdahulu, nilai konduktivitas termal komposit semakin menurun seiring dengan penambahan fraksi volume serat. Hal ini diakibatkan oleh tingginya kandungan selulosa pada serat alam yang buruk dalam menghantarkan panas atau dengan kata lain serat alam memiliki nilai konduktivitas yang rendah (Nath dkk., 2019; Subramanya dkk., 2022). Selain itu, berdasarkan penelitian P dkk. (2023), nilai konduktivitas termal menurun diakibatkan oleh pori pada serat alam yang digunakan. Pori alami yang dimiliki oleh serat akan menghambat transmisi panas sehingga menurunkan nilai konduktivitas termal baik menggunakan polimer termoset maupun termoplast walaupun polimer termoplastik menghasilkan nilai konduktivitas panas yang lebih rendah (Bustomi & Ghofur, 2021).

Tabel 4. Perbandingan Nilai Konduktivitas Insulasi Panas Berbasis Serat Alam.

| Material | Variasi | Konduktivitas Termal (W/mK) | Penulis |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Serat Batang Pisang – Epoksi | Fraksi volume fiber : | | (Pujari dkk., 2017) |
| | 30% | 0,243 | |
| | 40% | 0,230 | |
| Serat Rami – Epoksi | Fraksi volume fiber : | | (Nath dkk., 2019) |
| | 15% | 0,380 | |
| | 25% | 0,370 | |
| | 35% | 0,360 | |
| Serbuk Kayu Ulin – Poliester | Fraksi volume fiber: | | (Bustomi & Ghofur, 2021) |
| | 20% | 0,049 | |
| | 25% | 0,046 | |
| Serat Batang Pisang – Epoksi | Panjang fiber : | | (Subramanya dkk., 2022) |
| | 5 mm | 0,342 | |
| | 8 mm | 0,321 | |
| Serat Daun Nanas – Epoksi | Fraksi volume fiber: | | (P dkk., 2023) |
| | 10% | 0,2526 | |
| | 15% | 0,2453 | |

Beberapa alasan mengapa hasil penelitian ini tidak sesuai dengan penelitian sebelumnya. Satu, hal ini dapat disebabkan oleh posisi serat batang pisang dan polipropilena dengan arah fluks termal. Menurut Annie Paul, dalam komposit polimer, jika posisi serat sejajar dengan arah fluks termal, konduktivitas termal akan tinggi (konduksi paralel) dan jika posisi serat tegak lurus terhadap arah fluks termal, konduktivitas termal akan menjadi rendah (konduksi seri) (Annie Paul dkk., 2008). Pada penelitian ini serat batang pisang dan polimer diletakkan secara acak dalam pencetakannya menjadi komposit. Oleh karena itu, fluks termal antara arah serat dan polimer menjadi tidak beraturan dan mengakibatkan nilai konduktivitas termal justru meningkat. Kondisi ini diilustrasikan pada Gambar 4.

Kedua, kandungan air yang terkandung di alam batang pisang tidak bisa hilang sempurna karena sifat serat yang secara alamiah bersifat hidrofilik walaupun telah dikeringkan dalam oven. Hal ini karena air mempunyai sifat konduktor yang mampu merambatkan panas dengan baik. Semakin banyak air di dinding sel akan mempermudah perambatan panas di dalam kayu. Namun, perlu adanya studi lebih lanjut untuk mengoptimalkan karakteristik termal pada pengembangan material insulasi termal, karena batang pisang telah memiliki konduktivitas termal yang sangat rendah, yaitu 0,1166 W/mK (Annie Paul dkk., 2008).



Gambar 4. Arah Flux Termal pada Posisi Paralel dan Seri (Annie Paul dkk., 2008).

Selain itu, jika dibandingkan dengan polipropilena daur ulang, polipropilena murni memiliki kecenderungan menghambat panas yang baik dilihat dari nilai konduktivitasnya yang rendah di semua spesimen. Hal ini dikarenakan fluks panas pada polipropilena murni lebih rendah daripada yang didaur ulang (Hernández-Sánchez & Herrera-Franco, 2001).

Selain konduktivitas termal, sifat tahanan termal juga mempengaruhi performa material insulasi panas. Tahanan panas merupakan perbedaan temperatur per unit fluks panas yang digunakan untuk menjaga satu unit fluks panas tetap berada di antara permukaan yang panas dan lebih dingin dalam kondisi tunak atau biasa disebut R-value. Sedangkan, U-value atau koefisien perpindahan panas secara keseluruhan dapat dihitung melalui inversi R-value ($1/R$). Kedua nilai ini penting dalam membandingkan produk insulasi termal di pasaran. Semakin tinggi R-value atau semakin rendah U-value, maka semakin baik kemampuan insulasi termalnya.

Tabel 5. Perbandingan Sifat Tahanan Termal dan Resistan Termal pada Material Komposit Batang Pisang/Polipropilena dan Produk Komersial.

| Material Insulasi | Tahanan Termal, K/W (R-Value) | Transmitansi Termal, W/K (U-Value) |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| PP Murni-BP 0% | 0,68 | 1,47 |
| PP Murni-BP 10% | 0,57 | 1,76 |
| PP Murni-BP 30% | 0,32 | 3,16 |
| PP Murni-BP 50% | 0,28 | 3,57 |
| PP Daur Ulang-BP 0% | 0,43 | 2,32 |
| PP Daur Ulang-BP 10% | 0,34 | 2,92 |
| PP Daur Ulang-BP 30% | 0,30 | 3,28 |
| PP Daur Ulang-BP 50% | 0,27 | 3,76 |
| Expanded Polystyrene (EPS)* | 1,32 | 0,76 |
| Polyurethane (PU)* | 2,36 | 0,42 |
| Polyisocyanurate (PIR) | 2,42 | 0,38 |
| Rockwool* | 1,30 | 0,72 |

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan R-value (persamaan (7)) dan U-value (persamaan (8)) pada komposit batang pisang dan polipropilena baik murni maupun daur ulang dengan memasukkan nilai konduktivitas yang telah diukur sebelumnya. Selain itu, kami juga membandingkan nilainya dengan produk komersial. Berdasarkan Tabel 5,

sifat tahanan termal yang dimiliki oleh material komposit berbahan dasar serta batang dan polipropilena masih rendah jika dibandingkan dengan produk komersial saat ini, begitu juga dengan resistansi termalnya.

Kesimpulan

Pembuatan komposit polipropilena dan batang pisang untuk aplikasi insulasi suara telah dilakukan. Semakin kecil fraksi volume serat batang pisang yang ditambahkan secara garis besar menghasilkan konduktivitas panas yang lebih rendah, begitu pula yang terjadi pada pemakaian limbah polipropilena. Jika dibandingkan dengan limbah polipropilena, penggunaan polipropilena murni lebih disukai karena konduktivitasnya lebih rendah. Walaupun komposit polipropilena dan batang pisang belum memenuhi standar, tetapi upaya untuk mengembangkan komposit ini masih memungkinkan karena pada dasarnya batang pisang memiliki konduktivitas rendah menurut penelitian sebelumnya. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah menyusun serat dan polimer tegak lurus dengan arah fluks. Dengan begitu, diharapkan pengembangan insulasi termal berbahan baku serat alam, terutama batang pisang, bisa berkembang dengan baik.

Daftar Notasi

| | | |
|----------|---|--|
| ρ | = | Densitas [gr/ml] |
| w | = | Massa [gr] |
| c | = | Komposit |
| f | = | Fiber |
| m | = | Polimer |
| V_f | = | Fraksi Volume |
| ρ_f | = | Densitas serat secara teoritis [gr/ml] |
| V_m | = | Fraksi volume matriks |
| ρ_m | = | Densitas matriks secara teoritis [gr/ml] |
| v_f | = | Volume fiber |
| v_c | = | Volume komposit utuh |
| R | = | Tahanan termal [$W/m^2.K$] |
| L | = | Tebal/lintasan kalor [m] |
| A | = | Luas permukaan [m^2] |
| k | = | konduktivitas termal [$W/m.K$] |
| U | = | resistan termal [$m^2.K/W$] |
| V | = | Volume [ml] |

Daftar Pustaka

- Achilias, D., Antonakou, E., Roupakias, C., Megalokonomos, G. P., & Lappas, A. (2008). RECYCLING TECHNIQUES OF POLYOLEFINS FROM PLASTIC WASTES. *Global NEST Journal*, 10(1), 114–122.
- Adha, D. K. Z. A., & Mora, M. (2023). Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel Serbuk Batang Pisang dan Kulit Buah Kakao Bertulang Ayam Lidi Kelapa. *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), 291–297. <https://doi.org/10.25077/JFU.12.2.290-296.2023>
- Annie Paul, S., Boudenne, A., Ibos, L., Candau, Y., Joseph, K., & Thomas, S. (2008). Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(9), 1582–1588. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.06.004>
- Assis, F. S., Margem, F. M., Cordeiro, T. C., Figueiredo, A. B. H., Braga, F. O., & Monteiro, S. N. (2015). Photoacoustic Thermal Characterization of Banana Fibers. *Materials Research*, 18, 240–245. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.368914>
- ASTM D7984 – 16. (t.t.). *Standard Test Method for Measurement of Thermal Effusivity of Fabrics Using a Modified Transient Plane Source (MTPS) Instrument 1*. <https://doi.org/10.1520/D7984-16>
- Berber, N. (2020). INDUSTRIAL TRIAL to PRODUCE of ENVIRONMENTALLY FRIENDLY INSULATION MATERIAL with INORGANIC RESIN. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(1).
- Bustomi, F., & Ghofur, A. (2021). Uji Konduktivitas Termal Komposit Poliester Filler Serbuk Kayu Ulin (Eusideroxylon Zwageri). *JTAM ROTARY*, 3(2), 233–244. https://doi.org/10.20527/JTAM_ROTARY.V3I2.4367
- Cirplus. (t.t.). *Procure Recycled PP via Cirplus Online Platform | CIRPLUS.COM*. Diambil 29 April 2024, dari <https://www.cirplus.com/materials/R-PP>
- Hasanah, U., & Muslimin, M. (2020). Pengaruh Tekanan Compression Moulding terhadap Kinerja Pelat Bipolar Komposit Grafit/Resin Epoksi Komposisi 20% Karbon Tempurung Kelapa. *Jurnal Mekanik Terapan*, 1(1), 71–80. <https://doi.org/10.32722/jmt.v1i1.3335>

- Hernández-Sánchez, F., & Herrera-Franco, P. J. (2001). Electrical and thermal properties of recycled polypropylene-carbon black composites. *Polymer Bulletin*, 45(6). <https://doi.org/10.1007/s002890170105>
- Irnawan, D., Hendarti, L., & Primantari, L. (2022). Kajian Pemanfaatan Limbah Jerami yang Berpotensi sebagai Wet Covering Beton. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(2), 136–144. <https://doi.org/10.30630/JIRS.V19I2.886>
- Maier, C., & Calafut, T. (1998). Polypropylene Chemistry. Dalam *Polypropylene The Definitive User's Guide and Databook* (First ed.). William Andrew. <http://www.sciencedirect.com:5070/book/9781884207587/polypropylene>
- Manohar, K. (2016). A Comparison of Banana Fiber Insulation with Biodegradable Fibrous Thermal Insulation. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 5, 249–255. www.ajer.org
- Masturi, M., Mikrajuddin, M., & Khairurrijal, K. (2012). Efektivitas Polyvinyl Acetate (PVAc) Sebagai Matriks Pada Komposit Sampah. *BERKALA FISIKA*, 13(2), 61–66. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MINJS>
- Mirmanto, M., Sugiman, S., Ramadhani, M. D., & Fathurrahman, F. (2021). Variasi persen berat tempurung kelapa terhadap konduktivitas termal komposit silicone rubber. *Dinamika Teknik Mesin*, 11(2), 107–115. <https://doi.org/10.29303/dtm.v11i2.450>
- Muthukumar, K., Sabariraj, R. V., Dinesh Kumar, S., & Sathish, T. (2020). Investigation of thermal conductivity and thermal resistance analysis on different combination of natural fiber composites of Banana, Pineapple and Jute. *Materials Today: Proceedings*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.140>
- Nath, S., Jena, H., Priyanka, & Sahini, D. (2019). Analysis of Mechanical Properties of Jute Epoxy Composite with Cenosphere Filler. *Silicon*, 11(2), 659–671. <https://doi.org/10.1007/S12633-018-9941-X/METRICS>
- OKTIOLA, A. T. S., & FAUZIAH, Q. (2021). *Pra Rancangan Pabrik Propilen Glikol Dari Propilen Oksida Dan Air Dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37177>
- P, N., C Subramanian, S., & K R, R. (2023). Pineapple Fiber Reinforced Epoxy Composite for Thermal Insulation Application. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4507269>
- Pavel, C., & Blagoeva, D. (2018). *Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings – Revised edition*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2760/750646>
- Pratama, R. (2019). Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Buletin Utama Teknik*, 14(2).
- Pujari, S., Venkatesh, T., & Seeli, H. (2017). Experimental investigations on thermal conductivity of fenugreek and banana composites. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 99(1), 51–55. <https://doi.org/10.1007/S40033-017-0146-Z/METRICS>
- Rosmayanti, D. (2019). Analisis Performansi Air Conditioning 1 PK Dengan 3 Fluida Kerja. *Teknobiz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 9(3).
- Setiajit, S. B., Sukanto, H., & Raharjo, W. W. (2016). Pengaruh waktu pengepresan terhadap sifat mekanik komposit kenaf / polypropylene. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 11(2), 89–93. <https://doi.org/10.36289/JTMI.V11I2.60>
- Siau, J. F. (1995). Wood : Influence of Moisture on Physical Properties. *Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University*, 143–188. <https://search.worldcat.org/title/807261164>
- Subagyo, A., & Chafidz, A. (2018). Banana Pseudo-Stem Fiber: Preparation, Characteristics, and Applications. *Banana Nutrition - Function and Processing Kinetics*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.82204>
- Subramanya, R., Sathyanarayana, P., Kn, M., & Naik, S. (2022). The manufacture and characterisation of short banana fibre-reinforced polymer composites. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(1), 797–807. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1833403>
- Wang, W., Zeng, Y., Wang, W., & Zeng, Y. (2020). Polypropylene - Polymerization and Characterization of Mechanical and Thermal Properties. *Polypropylene - Polymerization and Characterization of Mechanical and Thermal Properties*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.73995>
- Yunianto, B. (2020). Uji Prestasi Pemanas Air Tenaga Matahari Jenis Tabung dengan Variasi Arah Kolektor Terhadap Datangnya Sinar Matahari. *Rotasi : Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*, 22(2).
- Zulfikar, M., Setiawan, F., & Wicaksono, D. (2023). PERBANDINGAN METODE VACUUM INFUSION & VACUUM BAGGING PADA KOMPOSIT BERPENGUAT FIBER KARBON KEVLAR. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(1). <https://doi.org/10.56521/teknika.v9i1.860>