



KINERJA PANEL INSULASI BERBAHAN LIMBAH SELULOSA DALAM MENGURANGI SUHU RUANGAN

Gigih Dutyma Fiddien¹, Alexander Rani Suryandono²

Universitas Gadjah Mada

E-mail: gigihdutymafiddien@mail.ugm.ac.id, alexanderr@ugm.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:

13 Juni 2026

Direvisi:

24 Juni 2026

Disetujui terbit:

8 Juli 2026

Diterbitkan:

Cetak:

29 September 2026

Online

29 September 2026

Abstract: Global warming has increased indoor temperatures in buildings, particularly in tropical climate regions. This study aimed to evaluate the thermal performance of composite insulation panels made from cellulose-based waste materials, namely newspaper, cardboard, and sawdust, using polyvinyl acetate (PVAc) and tapioca starch as binders, in reducing indoor temperatures. A comparative experiment was conducted using four test boxes measuring 240 mm × 220 mm × 340 mm, made of 9 mm thick calcium silicate board, with one side wall replaced by a metal sheet oriented toward the west. The air temperature inside the test boxes was continuously measured using a data logger during the peak heat load period from 12:00 to 16:00 Western Indonesian Time (WIB). The results showed that all tested panels reduced indoor temperatures compared with the control box without insulation. The newspaper-based panel bonded with PVAc exhibited the best thermal performance, with an average temperature reduction of 1.2 °C and a peak temperature reduction of 1.9 °C. In contrast, using tapioca starch as a binder with cardboard resulted in the lowest temperature reduction. These findings indicate that composite panels made from cellulose-based waste have potential as alternative thermal insulation materials for mitigating indoor temperature increases in tropical climates.

Keyword: Global warming, Cellulose-based waste, Experiment

Abstrak: Pemanasan global meningkatkan suhu ruang pada bangunan, terutama di wilayah beriklim tropis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja termal panel insulasi komposit berbahan limbah selulosa, yaitu kertas koran, karton, dan serbuk kayu, dengan perekat PVAc dan tapioka dalam menurunkan suhu ruang. Eksperimen komparatif dilakukan menggunakan empat kotak uji ukuran 240 mm x 220 mm x 340 mm berbahan kalsiboard ketebalan 9 mm dengan salah satu sisinya dindingnya diganti dengan lembaran seng yang diorientasikan ke arah Barat. Suhu udara di dalam kotak uji diukur secara kontinu menggunakan data logger selama periode beban panas puncak pada pukul 12.00-16.00 WIB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh panel uji mampu menurunkan suhu ruang dibandingkan kotak kontrol tanpa insulasi. Panel berbasis kertas koran dengan perekat PVAc menunjukkan kinerja termal terbaik, dengan penurunan suhu rata-rata 1,2 °C dan suhu puncak sebesar 1,9 °C. Sebaliknya, penggunaan perekat tapioka dengan material karton menunjukkan penurunan suhu yang paling rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa panel komposit berbahan limbah selulosa berpotensi sebagai material insulasi termal alternatif untuk mengurangi peningkatan suhu ruang pada iklim tropis.

Kata Kunci: Pemanasan global, Limbah selulosa, Eksperimen

PENDAHULUAN

Pemanasan global meningkatkan risiko kenaikan suhu ruang dalam bangunan, terutama di wilayah tropis. Berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), suhu ekstrem di Indonesia mencapai 37,6 °C pada Oktober 2025. Kondisi ini menjadi perhatian pada permukiman padat penduduk karena sebagian bangunan masih menggunakan dinding konvensional tanpa insulasi, seperti dinding seng (*metal sheet*) atau asbes (Ramadhan et al., 2022). Material dengan konduktivitas termal tinggi dapat mempercepat masuknya panas ke ruang pada siang hari. Akibatnya, suhu di dalam hunian dapat meningkat

dan mengganggu kenyamanan penghuni. Dalam kondisi tertentu, paparan panas yang berlangsung lama juga berdampak pada kesehatan, seperti menurunkan kemampuan berpikir dan meningkatkan risiko *heat stroke*, terutama pada kelompok rentan seperti lansia dan anak-anak (Kenny et al., 2024; Beckmann et al., 2021; Nurmayanti et al., 2024).

Upaya pengurangan panas ruang dapat dilakukan melalui strategi pasif, salah satunya adalah penggunaan panel insulasi. Beberapa material insulasi modern, seperti *Phase Change Material* (PCM), telah terbukti memiliki kinerja termal yang baik. Namun, biaya produksi dan penerapannya

masih relatif tinggi, sehingga belum mudah digunakan oleh masyarakat luas (Sharma et al., 2024; Al-Absi et al., 2023; Busher & Govindarajulu, 2023; Gamal & Saadi, 2022; Aravind et al., 2020). Oleh karena itu, material alternatif yang lebih murah dan mudah diperoleh perlu dikembangkan. Limbah selulosa perkotaan, seperti kertas koran, karton, dan serbuk kayu, berpotensi digunakan sebagai bahan insulasi karena struktur pori selulosanya dapat menahan udara dan membantu menghambat perpindahan panas (Dewi et al., 2021; Sarbin et al., 2021; IPPA, 2001).

Majumder et al. (2021) melakukan karakterisasi termal berbagai material daur ulang dan serat alam yang digunakan pada plester dan material bangunan, dan melaporkan bahwa plester dengan bahan daur ulang menunjukkan nilai konduktivitas termal pada 20 °C di kisaran 0,430-0,475 W/(m.K), lebih rendah dibandingkan plester tradisional berbasis gipsium yang umumnya melebihi 0,7 W/(m.K). Sejalan dengan itu, Mathews et al. (2022) mengembangkan panel insulasi termal untuk bangunan dari agregat karton daur ulang dengan berbagai perekat *biodegradable* yaitu tepung jagung, kapur, dan tanah liat, kemudian melakukan karakterisasi fisik, termal, mekanik, dan mikrostrukturnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hampir seluruh panel memiliki nilai konduktivitas termal kurang dari 0,1 W/(m.K), dengan nilai rata-rata sekitar 0,09 W/(m.K), sehingga diklasifikasikan sebagai insulator termal yang baik untuk aplikasi bangunan. Secara lebih umum, Anh dan Pásztor (2021) menyajikan tinjauan komprehensif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi konduktivitas termal bahan insulasi bangunan, mencakup material konvensional, alternatif, dan material maju. Mereka menegaskan bahwa kelembapan, perbedaan suhu, dan densitas *bulk* merupakan faktor utama yang menentukan nilai konduktivitas termal, sementara faktor lain seperti kecepatan aliran udara, ketebalan, tekanan, dan penuaan material juga berperan dalam kondisi tertentu. Tinjauan tersebut, merangkum berbagai studi eksperimental yang menunjukkan bahwa material turunan selulosa memiliki rentang konduktivitas termal antara 0,035-0,060 W/(m.K).

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, material daur ulang dan berbasis selulosa telah terbukti memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah, sebagian bahkan berada di bawah 0,1 W/(m.K), sehingga layak dipertimbangkan sebagai insulasi termal bangunan yang berkelanjutan. Meskipun demikian, mayoritas kajian masih berfokus pada karakterisasi sifat termal dan fisik di skala laboratorium atau pada kondisi uji terkontrol, serta pada analisis konduktivitas termal material secara terpisah dari konteks ruang uji bangunan. Informasi terkait bagaimana panel komposit berbasis limbah selulosa, seperti kertas koran, karton, dan serbuk kayu, berperforma dalam menurunkan suhu udara ruang ketika diaplikasikan pada dinding seng di iklim tropis yang mengalami fluktuasi suhu dan radiasi matahari harian masih sangat terbatas.

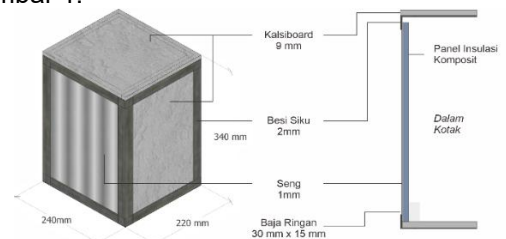
Kesenjangan ini penting, khususnya untuk hunian di kawasan tropis di mana dinding bangunan yang sederhana dan minim insulasi membuat penghuni lebih rentan terhadap peningkatan suhu ruang dan dampak kesehatannya.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja termal ruang pada penggunaan panel komposit berbahan kertas koran, karton, dan serbuk kayu dengan variasi perekat lem putih (PVAc) dan tapioka. Pengujian dilakukan menggunakan kotak uji tertutup berdinding seng pada kondisi iklim tropis, sehingga dapat mempresentasikan situasi hunian sederhana yang umum ditemukan di kawasan perkotaan berpendapatan rendah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan sejauh mana panel komposit limbah koran, karton, dan serbuk kayu mampu menurunkan suhu rata-rata dan suhu maksimum ruang dibandingkan kondisi tanpa insulasi, serta memberikan gambaran awal kelayakan material tersebut sebagai insulasi alternatif yang terjangkau.

METODOLOGI PENELITIAN

Spesifikasi Kotak Uji Eksperimental

Penelitian ini menggunakan metode komparatif untuk menguji kinerja termal ruang pada kotak uji yang diberi panel insulasi komposit. Sebanyak empat kotak uji berukuran 240 mm x 220 mm x 340 mm digunakan dalam penelitian ini. Struktur kotak uji dibuat dari rangka besi dengan dinding kalsiboard dengan ketebalan 9 mm. Salah satu sisi dinding menggunakan material seng untuk mensimulasikan masuknya panas ke dalam ruang. Bagian skematik model kotak uji ditampilkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Bagian skematik model kotak uji (Sumber: Data Penulis, 2026)

Pada skematik model kotak uji, tinggi kotak dibuat sekitar 1 cm lebih tinggi dibandingkan tinggi panel insulasi komposit. Perbedaan dimensi ini disengaja untuk memudahkan proses pemasangan dan pelepasan panel selama tahapan pengujian. Selain itu, pada bagian bawah sistem dipasang baja ringan hollow berukuran 15 mm x 30 mm yang berfungsi sebagai pengunci atau penahan panel agar tidak bergerak bebas maupun terjatuh saat ditempatkan pada posisi pengujian.

Preparasi dan Fabrikasi Panel Insulasi

Panel insulasi dibuat menggunakan metode fabrikasi sederhana berbasis pencampuran manual dengan kontrol komposisi bahan. Variasi panel dibuat dari tiga jenis limbah, yaitu kertas koran, karton, dan serbuk kayu, dengan dua jenis perekat, yaitu lem putih (PVAc) dan lem tapioka. Pada varian

kertas koran dan karton, bahan utama dicampur dengan air dan perekat hingga homogen, kemudian diperas menggunakan kain berpori kasar untuk memperoleh ampas padat siap cetak. Pada varian tapioka, tepung tapioka dilarutkan dengan air dan dipanaskan hingga mengalami gelatinisasi sebelum dicampurkan ke dalam bahan utama. Sementara itu, pada varian serbuk kayu, perekat dicampurkan langsung ke dalam serbuk kayu dan diaduk secara manual hingga merata. Adapun komposisi setiap varian panel ditampilkan pada Tabel 1.

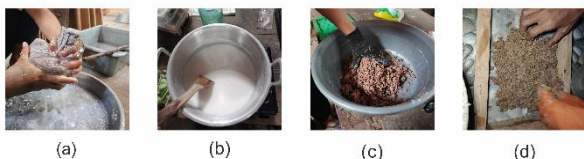
Tabel 1. Komposisi variasi panel insulasi (Sumber: Data Pribadi, 2026)

Varian Panel	Perekat	Komposisi Bahan
Kertas koran	PVAc	6000 g bubur kertas, 3000 g air bersih, 400 g PVAc
Kertas koran	Tapioka	6000 g bubur kertas, 3000 g air bersih, 400 g tepung tapioka + 1500 g air
Karton	PVAc	6000 g bubur karton basah, 3000 g air bersih, 400 g PVAc
Karton	Tapioka	6000 g bubur karton, 1500 g air bersih, 400 g tepung tapioka + 1500 g air
Serbuk kayu	PVAc	200 g serbuk kayu, 200 g air bersih, 400 g PVAc
Serbuk kayu	Tapioka	200 g serbuk kayu, 400 g air bersih, 400 g tepung tapioka

Seluruh adonan dicetak menggunakan *screen* sablon berukuran 200 mm x 300 mm. Proses cetak dan pemadatan dilakukan secara manual dengan ketebalan 10 mm. Setelah dicetak, panel dikeringkan di ruang teduh berangin selama tujuh hari. Variasi model tersebut ditampilkan dalam Tabel 2. Adapun tahapan-tahapannya ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Dimensi model yang diuji (Sumber: Data Penulis, 2026)

Model	Material	Jenis Perekat	Ukuran Panel (mm)	Ketebalan (mm)
BC	Tanpa Insulasi	-	-	-
KP-PVAc	Kertas Koran	PVAc	200 x 300	10
KT-PVAc	Karton	PVAc	200 x 300	10
SK-PVAc	Serbuk Kayu	PVAc	200 x 300	10
KP-TAP	Kertas Koran	Tapioka	200 x 300	10
KT-TAP	Karton	Tapioka	200 x 300	10
SK-TAP	Serbuk Kayu	Tapioka	200 x 300	10



Gambar 2. Tahapan fabrikasi panel insulasi komposit: (a) pemerasan ampas basah setelah bahan tercampur, (b) pembuatan perekat tapioka melalui pemanasan, (c) pencampuran bahan utama dan perekat, dengan contoh varian serbuk kayu, dan (d) pencetakan adonan panel

menggunakan *screen* sablon (Sumber: Data Penulis, 2026)

Skema Pengujian

Pengujian ini dilakukan di Sleman, Yogyakarta pada Mei 2026 menggunakan instrumen *thermal data logger* seri RC-5+ dengan sensor temperatur internal dengan versi *firmware* V2.5. Sebelum pengujian utama, dilakukan kontrol awal terhadap data logger RC-5+ dan kotak uji untuk memastikan bahwa setiap alat berfungsi normal dan menunjukkan pembacaan yang konsisten. Data logger RC-5+ merupakan alat *factory calibrated* dengan akurasi pengukuran $\pm 0,5$ °C. Pengujian kontrol dilakukan pada 19 Mei 2026 pukul 14.30 WIB hingga 21 Mei 2026 pukul 12.30 WIB dengan interval perekaman 10 menit, menggunakan seluruh kotak uji tanpa insulasi yang ditempatkan satu ruangan, dengan tujuan untuk memastikan bahwa semua kotak menerima perlakuan lingkungan awal yang sama. Dari 277 data pada masing-masing kotak, diperoleh suhu rata-rata 28,6 °C, 28,5 °C, 28,4 °C, dan 28,5 °C yang disajikan pada Tabel 3, dengan selisih antarkotak sebesar 0,1-0,2 °C. Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi alat, sehingga instrumen dan kondisi awal kotak uji dinyatakan seragam untuk digunakan pada eksperimen utama.

Tabel 3. Pengujian kontrol awal dilakukan pada 19-21 Mei 2026 dalam kondisi lingkungan yang sama (Sumber: Data Penulis, 2026)

Kotak Uji	Kondisi Pengujian	Interval Log-ging (menit)	Jumlah Data	Suhu rata-rata
1	Tanpa insulasi,	10	277	28,6 °C
2	dalam	10	277	28,5 °C
3	satu	10	277	28,4 °C
4	ruangan	10	277	28,5 °C



Gambar 3. Tahap kalibrasi awal dan penyamaan kondisi kotak uji sebelum eksperimen utama (Sumber: Data Penulis, 2026)

Setelah keseragaman kondisi awal kotak uji dan konsistensi pembacaan data logger terverifikasi, pengujian utama dilakukan untuk mengevaluasi kinerja panel insulasi komposit berdasarkan jenis bahan selulosa dan variasi perekat yang digunakan. Pemantauan suhu interior dilakukan secara kontinu setiap 10 menit selama empat hari pada masing-masing periode, yaitu tanggal 22-25 Mei 2026 untuk varian lem putih (PVAc) dan tanggal 27-30 Mei 2026 untuk varian perekat tapioka. Perangkat data

logger diletakkan di titik tengah bawah bagian dalam setiap kotak uji agar suhu ruang dapat terbaca konsisten. Semua kotak tetap tertutup selama eksperimen agar perubahan suhu di dalam ruang dapat diamati secara lebih terkontrol. Empat kotak uji terdiri atas tiga kotak dengan intervensi panel insulasi komposit dan satu kotak kontrol tanpa insulasi sebagai kasus dasar ditempatkan secara simultan dengan orientasi seragam menghadap ke arah Barat, serta diatur jarak dengan antar kotak sebesar 80cm untuk menghindari bias radiasi termal antar-material seng. Orientasi Barat dipilih karena bidang vertikal yang menghadap Barat menerima paparan matahari sore yang kuat di wilayah tropis, sehingga sesuai untuk mengevaluasi kemampuan panel dalam menahan peningkatan suhu ruang pada periode beban panas tinggi.

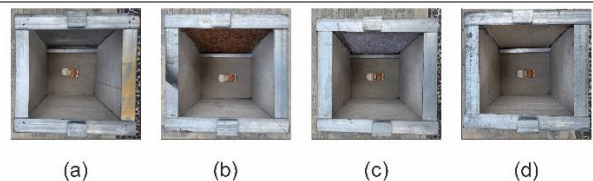
Meskipun perekaman dilakukan secara kontinu selama 24 jam penuh, analisis data difokuskan secara spesifik pada periode beban panas puncak (*peak thermal load*) antara pukul 12.00-16.00 WIB guna mengevaluasi efektivitas maksimum panel dalam menahan penetrasi suhu tertinggi. Dengan interval perekaman 10 menit pada rentang pukul 12.00-16.00 WIB, diperoleh 25 titik data per hari untuk setiap model. Selama empat hari pengujian, setiap model menghasilkan 100 titik data analisis. Dengan empat kotak uji pada setiap periode, jumlah data yang dianalisis adalah 400 titik data per periode pengujian.

HASIL EKSPERIMEN

Pengujian kinerja termal panel insulasi komposit dilakukan menggunakan empat kotak uji yang disusun secara simultan pada area terbuka dengan orientasi menghadap ke arah Barat agar menerima paparan matahari secara seragam. Susunan kotak uji pada eksperimen ditunjukkan pada Gambar 4. Setiap kotak ditempatkan dengan jarak 80 cm untuk meminimalkan pengaruh radiasi termal antarpemukaan seng. Selama pengujian, seluruh kotak berada dalam kondisi tertutup agar perubahan suhu ruang di dalam kotak dapat diamati secara lebih terkontrol. Adapun posisi termal data logger pada bagian kotak uji ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Eksperimen pengujian kotak uji dengan orientasi arah barat (Sumber: Data Penulis, 2026)



Gambar 5. Posisi termal data logger pada bagian tengah bawah ruang dalam masing-masing kotak uji: (a) kotak kontrol tanpa insulasi; (b) kotak dengan panel serbuk kayu, (c) kotak dengan panel kertas koran, dan (d) kotak dengan panel karton (Sumber: Data Penulis, 2026)

Hasil pengujian panel komposit dengan perekat PVAc disajikan pada Tabel 3. Tabel tersebut menampilkan perbandingan suhu rata-rata dan suhu puncak antara kotak kontrol tanpa insulasi dengan kotak uji yang menggunakan panel berbahan serbuk kayu, kertas koran, dan karton yang dilakukan selama 4 hari pada 22-25 Mei 2026. Secara umum, data menunjukkan adanya perbedaan suhu antara kotak kontrol dan kotak yang diberi panel insulasi pada periode pengamatan.

Tabel 4. Hasil eksperimen menggunakan panel insulasi komposit dengan perekat lem putih (PVAc) pada 22-25 Mei 2026 (Sumber: Data Penulis, 2026)

Model	Jenis Peneduh	Suhu rata-rata (°C)	Suhu puncak (°C)
BC	Tanpa insulasi	35,1	39,1
SK-PVAc	Serbuk Kayu	34,4	37,9
KP-PVAc	Kertas Koran	33,9	37,2
KT-PVAc	Karton	34,9	38,3

Eksperimen kedua yaitu panel insulasi komposit dengan perekat tapioka pada 27-30 Mei 2026 yang ditampilkan pada Tabel 3. Data pada table juga sama menunjukkan variasi performa termal pada masing-masing jenis panel selama periode pengujian.

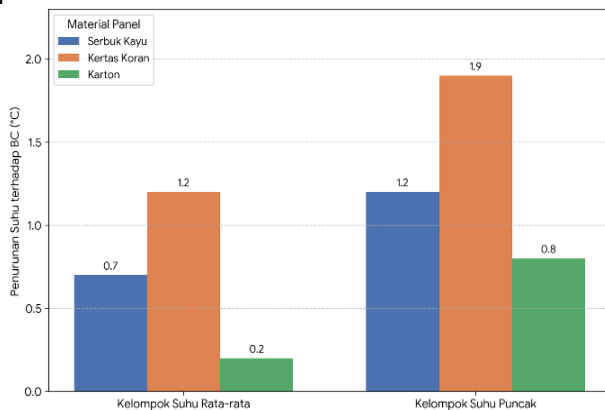
Tabel 5. Hasil eksperimen menggunakan panel insulasi komposit dengan perekat tapioka pada 27-30 Mei 2026 (Sumber: Data Penulis, 2026)

Model	Jenis Peneduh	Suhu rata-rata (°C)	Suhu puncak (°C)
BC	Tanpa insulasi	34,9	38,3
SK-TAP	Serbuk Kayu	34,4	37,5
KP-TAP	Kertas Koran	34,4	37,8
KT-TAP	Karton	34,7	38,3

DISKUSI

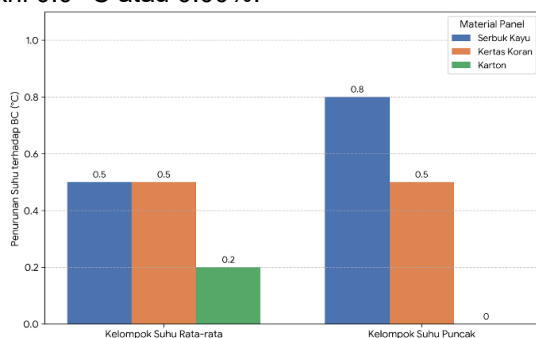
Berdasarkan perbandingan terhadap model BC sebagai kontrol, seluruh panel uji menunjukkan kemampuan menurunkan suhu rata-rata maupun suhu puncak, meskipun besarnya penurunan berbeda menurut jenis material dan perekat yang digunakan. Pada kelompok

perekat PVAc, panel KP menunjukkan kinerja termal terbaik dengan penurunan suhu rata-rata sebesar 1.2 °C atau sekitar 3.42% dan penurunan suhu puncak sebesar 1.9 °C atau sekitar 4.86% terhadap BC. Kinerja ini lebih tinggi dibandingkan SK-PVAc yang menurunkan suhu rata-rata sebesar 0.7 °C atau sekitar 1.99% dan suhu puncak sebesar 1.2 °C atau sekitar 3.07%, serta KT-PVAc yang hanya menurunkan suhu rata-rata sebesar 0.2 °C atau sekitar 0.57% dan suhu puncak sebesar 0.8 °C atau sekitar 2.05%.



Gambar 6. Perbandingan kinerja panel komposit dengan perekat PVAc dalam mengurangi suhu rata-rata (kelompok sisi kiri) dan suhu puncak (kelompok sisi kanan) terhadap kasus dasar (Model BC) (Sumber: Data Penulis, 2026)

Pada kelompok perekat tapioka, kemampuan penurunan suhu cenderung lebih rendah dibandingkan PVAc. Panel SK-tapioka dan KP-tapioka sama-sama menurunkan suhu rata-rata sebesar 0.5 °C atau sekitar 1.42%, tetapi untuk suhu puncak, SK-tapioka masih lebih baik dengan penurunan sebesar 0.8 °C atau sekitar 2.05%, sedangkan KP-tapioka hanya mencapai 0.5 °C atau sekitar 1.28%. Panel KT-tapioka menunjukkan performa paling rendah, dengan penurunan suhu rata-rata sebesar 0.2 °C atau sekitar 0.57% dan tidak menunjukkan penurunan pada suhu puncak yakni 0.0 °C atau 0.00%.



Gambar 7. Perbandingan kinerja panel komposit dengan perekat tapioka dalam mengurangi suhu rata-rata (kelompok sisi kiri) dan suhu puncak (kelompok sisi kanan) terhadap kasus dasar (Model BC) (Sumber: Data Penulis, 2026)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh panel insulasi komposit mampu menurunkan suhu ruang dibandingkan model BC, meskipun dengan tingkat

efektivitas yang berbeda. Data ini menunjukkan bahwa panel berbasis KP dengan perekat PVAc merupakan konfigurasi yang paling efektif dalam mereduksi beban panas, baik dilihat dari temperatur rata-rata mencapai 3,42% dengan penurunan 1,2 °C maupun temperatur puncak sebesar 4,86% dengan penurunan 1,9 °C dibandingkan dengan model BC. Kinerja panel insulasi komposit dengan perekat PVAc lebih baik dibandingkan dengan perekat tapioka. Temuan ini memperkuat bahwa jenis bahan penyusun panel dan jenis perekat berpengaruh nyata terhadap performa termal panel insulasi berbasis limbah selulosa.

Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa panel berbasis limbah selulosa memiliki potensi sebagai material insulasi termal, dengan konfigurasi KP-PVAc sebagai varian paling efektif untuk aplikasi pada iklim tropis. Namun, karena pengujian dilakukan dalam periode terbatas, penelitian lanjutan dengan durasi pengamatan lebih panjang dan pengendalian variabel lingkungan yang lebih rinci tetap diperlukan untuk memperkuat validitas temuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada orang tua yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat tanpa henti dalam setiap tahap pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada tim workshop yang telah membantu secara teknis dalam pembuatan dan perakitan kotak uji, sehingga eksperimen dapat terlaksana dengan baik. Penghargaan yang tulus diberikan kepada rekan-rekan yang membantu dalam pembuatan panel insulasi dan tim Seleksi Alam atas dukungan fasilitas, bantuan di lapangan, serta sokongan moral yang sangat berarti selama penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Absi, Z., Hafizal, M., & Ismail, M. (2023). *Innovative PCM-incorporated foamed concrete panels for walls' exterior cladding: An experimental assessment in real-weather conditions*. Energy and Buildings. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113003>
- Anh, L., & Pásztor, Z. (2021). *An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials*. Journal of building engineering, 44, 102604. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2021.102604>
- Aravind, N., Sathyan, D., & Mini, K. (2020). *Rice husk incorporated foam concrete wall panels as a thermal insulating material in buildings*. Indoor and Built Environment, 29, 721 - 729. <https://doi.org/10.1177/1420326X19862017>
- Beckmann, S., Hiete, M., & Beck, C. (2021). *Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany*. Climate Risk Management. <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2021.100286>
- Busher, S., & Govindarajulu, K. (2023). *Thermal performance and reduced carbon footprint of precast concrete sandwich wall panels (PCSWPs) with composite shear connector an experimental assessment*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 45, 12201 - 12214. <https://doi.org/10.1080/15567036.2023.227049>

- Dewi, I., Johannes, A., Pingak, R., Bukit, M., & Sutaji, H. (2021). *PEMBUATAN BIOPLASTIK BERBAHAN DASAR PATI JAGUNG DENGAN PENAMBAHAN SERAT SELULOSA DARI LIMBAH KERTAS*. Jurnal Fisika : Fisika Sains dan Aplikasinya. <https://doi.org/10.35508/fisa.v6i2.6838>
- Gamal, E., & Saadi, A. (2022). *Developing of lightweight concrete sandwich wall panels with good thermal insulation properties for sustainable buildings*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1026/1/012014>
- IPPA. (2001). Directory 2001. *Indonesian Pulp and Paper Industry*. Indonesian Pulp and Paper Association. Jakarta: PT. Gramedia.
- Kenny, G., Tetzlaff, E., Journeay, W., Henderson, S., & O'Connor, F. (2024). *Indoor overheating: A review of vulnerabilities, causes, and strategies to prevent adverse human health outcomes during extreme heat events*. Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal, 11, 203 - 246. <https://doi.org/10.1080/23328940.2024.2361223>
- Majumder, A., Canale, L., Mastino, C., Pacitto, A., Frattolillo, A., & Dell'Isola, M. (2021). *Thermal Characterization of Recycled Materials for Building Insulation*. Energies. <https://doi.org/10.3390/en14123564>.
- Mathews, Jemi Merrin, et al. "Thermal Insulation Panels for Buildings using Recycled Cardboard: Experimental Characterization and Optimum Selection". Energy and Buildings, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112747>
- Nurmayanti, D., Rusmiati, R., Suprijandani, S., & Setiawan, M. (2024). *Peningkatan Pengetahuan dan Pelaksanaan Keselamatan Kesehatan Kerja Tenaga Kerja di Lingkungan Panas Home Industri Aksesoris*. Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM). <https://doi.org/10.33024/jkpm.v7i5.14139>
- Ramadhan, T., Paramita, B., & Srinivasan, R. (2022). *Study of Cost and Construction Speed of Cladding Wall for Lightweight Steel Frame (LSF)*. Buildings. <https://doi.org/10.3390/buildings12111958>
- Sarbin, Iskandar, Zarta, A. R., Noorhamsyah, & Rajab, A. (2021). *Limbah Kayu dan Kertas Bekas Untuk Pulp Kertas*. Buletin Poltanesa, 22(2), 197–203. <https://doi.org/10.51967/tanesa.v22i2.894>
- Sharma, P., Krishnaraj, L., Brindha, A., & Kumar, V. (2024). *Thermal performance assessment of sandwich wall panel fabricated with polyurethane foam and natural husk*. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138054>
- Suhu Panas Landa Sejumlah Wilayah Indonesia, BMKG Ungkap Penyebab dan Potensinya ke Depan. (2025, October 15). BMKG - Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika. <https://www.bmkg.go.id/siaran-pers/suhu-panas-landa-sejumlah-wilayah-indonesia-bmkg-ungkap-penyebab-dan-potensinya-ke-depan>