

Analisis Laju Perpindahan Panas Pada Berbagai Material Dinding Bangunan

Ade Usra Berli¹⁾, Dytchia Septi Kesuma²⁾, Aggrivina Dwiharzandis³⁾, Wiwin Lovita⁴⁾, Desmarita Leni⁵⁾

¹⁾Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Padang, Indonesia, adeusra@gmail.com

²⁾Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Padang, Indonesia, dytchia@gmail.com

³⁾Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Padang, Indonesia, aggrivina@gmail.com

⁴⁾Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Padang, Indonesia, lovitawihin21@gmail.com

⁵⁾Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Padang, Indonesia, desmaritaleni@gmail.com

ABSTRAK

Efisiensi energi termal merupakan faktor kunci dalam perancangan bangunan di wilayah tropis, di mana suhu udara cenderung tinggi sepanjang tahun. Penelitian ini menganalisis karakteristik perpindahan panas pada tiga material dinding bangunan yang umum digunakan di Indonesia, yaitu beton, bata merah dan kayu, dengan memanfaatkan data suhu udara harian Kota Padang pada bulan Agustus 2025 yang dihimpun dari BMKG. Pendekatan kuantitatif digunakan dengan mengolah data suhu minimum, maksimum, dan rata-rata harian untuk menghitung laju aliran energi panas melalui mekanisme konduksi pada masing-masing material.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa suhu rata-rata bulanan mencapai 26,9 °C dengan standar deviasi 0,999 °C, menggambarkan kondisi termal yang relatif stabil di kawasan tropis lembap. Perhitungan laju aliran energi panas mengindikasikan bahwa beton memiliki nilai tertinggi sebesar 0,0249 kWh/m² per hari, diikuti oleh bata merah sebesar 0,0187 kWh/m², sementara kayu menunjukkan nilai terendah yaitu 0,0037 kWh/m². Total energi panas bulanan memperkuat pola yang sama, di mana beton mencapai 0,748 kWh/m², bata merah 0,561 kWh/m², dan kayu 0,112 kWh/m². Temuan ini menunjukkan bahwa beton merupakan penghantar panas yang paling besar, sedangkan kayu memiliki kemampuan isolasi panas paling baik di antara material yang dikaji.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan gambaran komparatif mengenai kinerja termal material dinding di iklim tropis dan dapat menjadi dasar dalam pemilihan material bangunan yang lebih efisien secara energi. Hasil studi ini diharapkan mendukung upaya peningkatan kenyamanan termal sekaligus optimalisasi penggunaan energi pada bangunan di kawasan tropis.

Kata kunci: perpindahan panas, material bangunan, efisiensi termal, data BMKG, iklim tropis.

ABSTRACT

Thermal energy efficiency is a key factor in building design in tropical regions, where air temperatures tend to remain high throughout the year. This study analyzes the heat transfer characteristics of three building wall materials commonly used in Indonesia concrete, red brick, and wood by utilizing daily air temperature data for the city of Padang in August 2025 obtained from BMKG. A quantitative approach was employed by processing daily minimum, maximum, and average temperature data to

calculate the rate of heat energy flow through conduction mechanisms for each material.

The data analysis results indicate that the monthly average temperature reached 26.9 °C with a standard deviation of 0.999 °C, reflecting relatively stable thermal conditions in a humid tropical environment. The calculated heat energy flow rates show that concrete exhibits the highest value at 0.0249 kWh/m² per day, followed by red brick at 0.0187 kWh/m², while wood demonstrates the lowest value at 0.0037 kWh/m². The total monthly heat energy further confirms the same pattern, with concrete reaching 0.748 kWh/m², red brick 0.561 kWh/m², and wood 0.112 kWh/m². These findings indicate that concrete acts as the most significant heat conductor, whereas wood provides the best thermal insulation performance among the materials studied.

Overall, this research offers a comparative overview of the thermal performance of wall materials in tropical climates and can serve as a basis for selecting more energy-efficient building materials. The results are expected to support efforts to enhance thermal comfort while optimizing energy use in buildings located in tropical regions.

Keywords: *heat transfer, building materials, thermal efficiency, BMKG data, tropical climate.*

PENDAHULUAN

Efisiensi energi pada bangunan merupakan salah satu isu penting dalam perancangan arsitektur modern, terutama di wilayah beriklim tropis. Salah satu komponen bangunan yang berperan besar dalam keseimbangan energi termal adalah dinding, karena dinding menjadi media utama perpindahan panas antara lingkungan luar dan ruang dalam. Besarnya energi panas yang masuk ke dalam ruangan sangat dipengaruhi oleh sifat termal material penyusunnya, seperti konduktivitas termal, ketebalan, dan kapasitas panas. Pemilihan material dinding yang tepat dapat menurunkan beban pendinginan, meningkatkan kenyamanan termal, serta mengurangi konsumsi energi bangunan (ASHRAE, 2017).

Dalam konteks iklim tropis lembap seperti di Kota Padang, suhu udara relatif tinggi sepanjang tahun dengan perbedaan mencolok antara suhu siang dan malam. Berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG, 2025), suhu maksimum harian pada bulan Agustus 2025 tercatat mencapai lebih dari 32 °C, menjadikannya salah satu periode dengan beban panas tertinggi dalam setahun. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemahaman terhadap karakteristik termal material bangunan menjadi hal yang penting, terutama untuk bangunan hunian dan perkantoran di wilayah perkotaan yang padat.

Meskipun telah banyak penelitian terkait perpindahan panas pada material bangunan, sebagian besar studi di Indonesia masih terbatas pada pengujian laboratorium atau simulasi berbasis asumsi suhu ideal, tanpa menggunakan data suhu aktual lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan data sekunder suhu udara harian dari BMKG sebagai dasar analisis termal. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai kondisi termal dinding

bangunan di wilayah tropis serta memungkinkan analisis kuantitatif berbasis data empiris.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis laju perpindahan panas pada berbagai material dinding bangunan yang umum digunakan di Indonesia yaitu beton, bata merah, dan kayu berdasarkan data suhu udara harian di Kota Padang pada bulan Agustus 2025. Melalui perhitungan dan analisis perbandingan, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman tentang perbedaan kemampuan tiap material dalam menahan panas serta rekomendasi pemilihan material yang lebih efisien secara termal untuk iklim tropis.

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi akademik dalam pengembangan kajian fisika bangunan, khususnya pada aspek perpindahan panas konduksi, sekaligus manfaat praktis bagi perencana dan insinyur sipil dalam merancang bangunan hemat energi yang sesuai dengan karakter iklim lokal. Dengan demikian, penelitian ini berperan dalam mendukung upaya menuju pembangunan berkelanjutan di sektor konstruksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif yang menggunakan data sekunder. Tujuannya adalah untuk menganalisis laju perpindahan panas pada berbagai material dinding bangunan berdasarkan data suhu udara harian. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan karakteristik termal material secara terukur dan objektif dengan memanfaatkan data suhu udara dari BMKG sebagai dasar perhitungannya. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kota Padang untuk periode Agustus 2025. Data tersebut mencakup suhu maksimum, suhu minimum, dan suhu rata-rata harian selama 30 hari. Nilai-nilai suhu ini dijadikan sebagai perhitungan laju aliran energi panas harian pada setiap jenis material dinding. Suhu rata-rata harian dipilih karena dianggap mewakili kondisi termal lingkungan yang diterima bangunan dalam satu siklus harian penuh.

Material yang dianalisis dalam penelitian ini terdiri atas tiga jenis, yaitu beton, bata merah, dan kayu. Ketiga material tersebut dipilih karena umum digunakan pada bangunan di wilayah tropis, termasuk di Kota Padang. Setiap material memiliki nilai konduktivitas termal (k) yang berbeda sehingga mempengaruhi kemampuan material dalam menghantarkan panas. Nilai konduktivitas termal (k) untuk material beton, bata merah, dan kayu diambil dari tabel konduktivitas termal yang tercantum dalam Sears and Zemansky's University Physics edisi ke-10 (Young & Freedman, 2002) yaitu beton sebesar 0,8 W/m.K, bata merah 0,6 W/m.K dan kayu 0,12 W/m.K. Penggunaan satu sumber referensi dipilih untuk menjaga konsistensi data fisik antar material.

Suhu dalam ruangan diasumsikan konstan sebesar 25 °C, yang merupakan nilai suhu kamar (*room temperature*) yang secara luas digunakan dalam buku - buku fisika dan kimia, termasuk Serway & Jewett (2004) sebagai acuan standar pada berbagai perhitungan termodinamika. Selain itu, ketebalan dinding (L) diambil sebesar 0,15 m, sesuai dengan rentang umum ketebalan dinding rumah di Indonesia (100 – 150 mm) sebagaimana dijelaskan oleh Tim Riset Ukur dan Uji (2025). Nilai ini dianggap representatif dalam analisis perpindahan panas tanpa dipengaruhi variasi ketebalan dinding. Untuk menjaga konsistensi perbandingan antar material, luas permukaan dinding (A) ditetapkan sebesar 1 m². Dengan demikian, seluruh

perhitungan laju aliran panas dapat dibandingkan secara objektif tanpa dipengaruhi oleh variasi ukuran bidang atau ketebalan dinding.

Tahapan penelitian dilakukan melalui beberapa langkah. Pertama, dilakukan pengumpulan data suhu udara harian dari BMKG untuk Kota Padang pada bulan Agustus 2025. Data tersebut kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel untuk memperoleh nilai suhu rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum, serta standar deviasi harian. Langkah selanjutnya adalah menghitung laju aliran panas (P) pada masing-masing material dinding dengan menggunakan persamaan konduksi panas :

$$P = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

Dimana ΔT adalah perbedaan suhu antara sisi luar dan dalam dinding. Persamaan ini merupakan bentuk satu dimensi *steady-state* dari hukum Fourier untuk konduksi panas. Perhitungan laju aliran panas dilakukan dengan asumsi keadaan tunak (*steady-state*) pada setiap hari pengamatan, di mana variasi suhu harian diasumsikan berlangsung secara bertahap sehingga sistem dapat dianggap mencapai keseimbangan termal pada setiap kondisi harian. Hasil perhitungan ini dikonversi ke satuan kWh/m² untuk menunjukkan besarnya energi panas harian yang mengalir melalui material.

Setelah diperoleh nilai P harian, data kemudian dianalisis secara statistik untuk mendapatkan nilai rata-rata, maksimum, minimum, dan standar deviasi untuk setiap material. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel ringkasan agar memudahkan perbandingan dan interpretasi performa termal antar material dinding. Analisis difokuskan pada perbandingan nilai rata-rata energi panas dan total energi selama satu bulan guna menilai perbedaan kemampuan tiap material dalam menghantarkan panas. Seluruh proses pengolahan dan perhitungan data dilakukan menggunakan microsoft excel, mulai dari penyusunan data suhu hingga perhitungan dan penyajian hasil dalam tabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data suhu udara harian pada bulan Agustus 2025 di Kota Padang diperoleh dari hasil pengolahan data sekunder BMKG. Data ini mencakup suhu maksimum, suhu minimum, serta suhu rata-rata harian selama 30 hari pengamatan. Rangkuman hasilnya disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Suhu Udara Harian Kota Padang Bulan Agustus 2025

Tanggal	Suhu Rata-rata (°C)	Suhu Maksimum (°C)	Suhu Minimum (°C)
1 Agustus 2025	24,8	29,6	22,5
2 Agustus 2025	27,1	31,1	22,6
3 Agustus 2025	28,1	32,2	23,9
4 Agustus 2025	28,1	32,1	23,8
5 Agustus 2025	27,8	32,0	23,8
6 Agustus 2025	27,9	31,8	23,9
7 Agustus 2025	27,0	31,7	24,1
8 Agustus 2025	24,0	28,4	22,1
9 Agustus 2025	27,2	31,2	22,4

10 Agustus 2025	25,6	29,2	23,0
11 Agustus 2025	25,3	29,9	23,2
12 Agustus 2025	27,4	31,0	23,2
13 Agustus 2025	27,6	31,4	23,8
14 Agustus 2025	27,4	31,6	23,4
15 Agustus 2025	26,8	31,2	22,8
16 Agustus 2025	27,1	31,3	23,0
17 Agustus 2025	26,6	31,7	22,3
18 Agustus 2025	26,8	31,6	21,8
19 Agustus 2025	27,4	32,3	21,9
20 Agustus 2025	26,6	32,9	22,7
21 Agustus 2025	27,3	32,8	21,9
22 Agustus 2025	28,1	32,4	22,3
23 Agustus 2025	25,9	28,7	23,7
24 Agustus 2025	27,1	31,2	23,1
25 Agustus 2025	27,3	31,1	23,3
26 Agustus 2025	28,0	31,6	23,6
27 Agustus 2025	28,1	31,6	24,0
28 Agustus 2025	26,5	31,7	23,3
29 Agustus 2025	26,8	30,6	23,6
30 Agustus 2025	26,7	29,5	24,0

Sumber: Data sekunder Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)

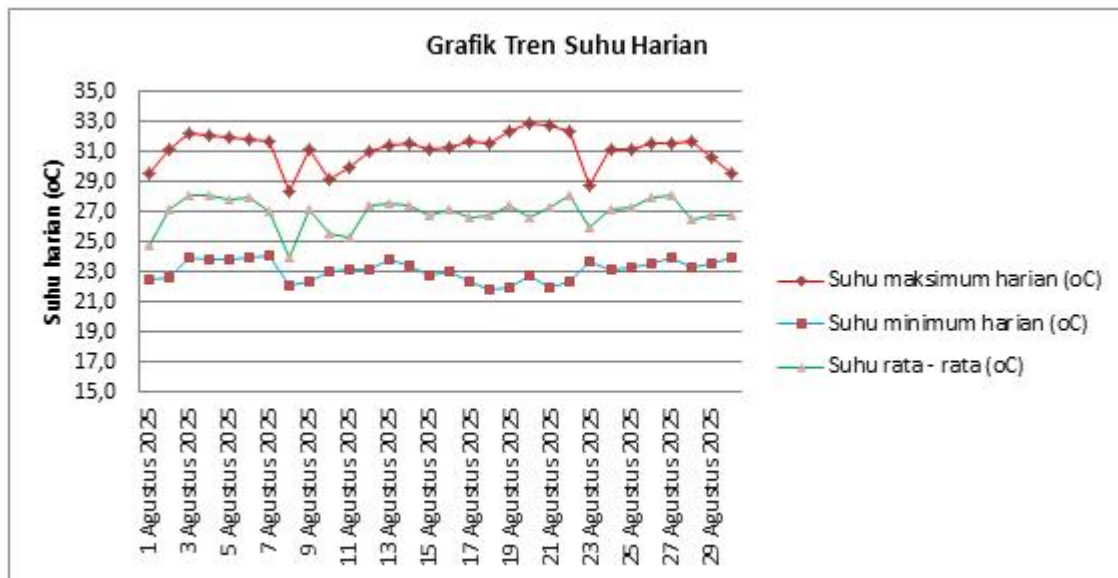
Untuk memperoleh gambaran yang lebih ringkas mengenai karakteristik suhu udara selama bulan Agustus 2025, data suhu harian pada Tabel 1 kemudian diolah secara statistik untuk menentukan nilai suhu minimum, suhu maksimum, suhu rata-rata bulanan, serta standar deviasi suhu rata-rata harian. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Ringkasan statistik suhu udara harian Kota Padang bulan Agustus 2025

Parameter	Nilai (°C)
Suhu minimum harian	21,8
Suhu maksimum harian	32,9
Suhu rata-rata bulanan	26,9
Std Dev (Suhu rata - rata)	0,9995631

Dari Tabel 2 terlihat bahwa suhu udara di Kota Padang selama bulan Agustus 2025 memiliki suhu minimum harian sebesar 21,8°C, sedangkan suhu maksimum hariannya mencapai 32,9°C. Nilai suhu rata-rata bulanan yang diperoleh adalah 26,9°C, yang menggambarkan nilai tengah dari variasi suhu harian selama periode pengamatan. Selain itu, nilai standar deviasi sebesar 0,999°C menunjukkan besarnya penyebaran suhu harian terhadap nilai rata-ratanya. Nilai standar deviasi tersebut mengilustrasikan bahwa variasi suhu harian selama bulan tersebut berada dalam rentang yang relatif dekat dengan nilai rata-rata.

Data suhu maksimum, minimum, dan rata-rata yang telah disajikan pada Tabel 1 kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk melihat pola perubahan suhu udara harian secara lebih jelas. Grafik ini menunjukkan bagaimana fluktuasi suhu harian terjadi sepanjang bulan Agustus 2025 di Kota Padang. Grafik tren perubahan suhu harian ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Tren Suhu Harian

Dari Gambar 1 terlihat bahwa suhu maksimum harian cenderung berada pada kisaran 28 – 33°C, sedangkan suhu minimum berkisar antara 22–24°C. Suhu rata-rata harian relatif di sekitar 24 –28°C dengan sedikit fluktuasi.

Pola suhu harian yang telah ditunjukkan pada Grafik 1 kemudian dijadikan dasar untuk menghitung laju aliran energi panas pada berbagai jenis material dinding. Nilai suhu rata-rata harian digunakan sebagai parameter utama dalam menentukan besarnya energi panas yang berpindah melalui permukaan material bangunan. Dengan demikian, dapat diperoleh gambaran mengenai kemampuan masing-masing material dalam merespons perubahan suhu lingkungan sepanjang bulan Agustus 2025. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Laju Aliran Energi Panas Harian (Agustus 2025)

Tanggal	Suhu rata - rata harian	Laju Aliran Kalor (P) harian (kWh/m ²)		
		Beton	Bata Merah	Kayu
01/08/2025	24,8	-0,00256	-0,00192	-0,00038
02/08/2025	27,1	0,02688	0,02016	0,00403
03/08/2025	28,1	0,03968	0,02976	0,00595
04/08/2025	28,1	0,03968	0,02976	0,00595
05/08/2025	27,8	0,03584	0,02688	0,00538
06/08/2025	27,9	0,03712	0,02784	0,00557
07/08/2025	27	0,02560	0,01920	0,00384

08/08/2025	24	-0,01280	-0,00960	-0,00192
09/08/2025	27,2	0,02816	0,02112	0,00422
10/08/2025	25,6	0,00768	0,00576	0,00115
11/08/2025	25,3	0,00384	0,00288	0,00058
12/08/2025	27,4	0,03072	0,02304	0,00461
13/08/2025	27,6	0,03328	0,02496	0,00499
14/08/2025	27,4	0,03072	0,02304	0,00461
15/08/2025	26,8	0,02304	0,01728	0,00346
16/08/2025	27,1	0,02688	0,02016	0,00403
17/08/2025	26,6	0,02048	0,01536	0,00307
18/08/2025	26,8	0,02304	0,01728	0,00346
19/08/2025	27,4	0,03072	0,02304	0,00461
20/08/2025	26,6	0,02048	0,01536	0,00307
21/08/2025	27,3	0,02944	0,02208	0,00442
22/08/2025	28,1	0,03968	0,02976	0,00595
23/08/2025	25,9	0,01152	0,00864	0,00173
24/08/2025	27,1	0,02688	0,02016	0,00403
25/08/2025	27,3	0,02944	0,02208	0,00442
26/08/2025	28	0,03840	0,02880	0,00576
27/08/2025	28,1	0,03968	0,02976	0,00595
28/08/2025	26,5	0,01920	0,01440	0,00288
29/08/2025	26,8	0,02304	0,01728	0,00346
30/08/2025	26,7	0,02176	0,01632	0,00326

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa nilai laju aliran energi panas harian (P) dapat bernilai positif maupun negatif. Nilai P negatif pada beberapa hari menunjukkan bahwa suhu luar lebih rendah dibandingkan suhu dalam (25°C), sehingga aliran panas bergerak dari dalam ruangan ke lingkungan. Sebaliknya, nilai P positif mengindikasikan perpindahan panas dari luar ke dalam bangunan. Variasi tanda dan besar nilai P ini mencerminkan respons termal material terhadap fluktuasi suhu lingkungan harian.

Berdasarkan data laju aliran energi panas harian yang disajikan pada Tabel 1, selanjutnya dilakukan pengolahan statistik untuk memperoleh nilai rata-rata, standar deviasi, serta nilai maksimum dan minimum dari setiap material. Analisis ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih ringkas dan komprehensif mengenai karakteristik perpindahan panas selama periode pengamatan. Ringkasan hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Statistik Energi Panas Harian

Material	P rata - rata bulanan (kWh/m ²)	Std Dev P	Min P	Max P	Total P Sebulan (kWh/m ²)
Beton	0,0249	0,0128	- 0,0128	0,0397	0,748
Bata Merah	0,0187	0,0096	- 0,0096	0,0298	0,561

Kayu	0,0037	0,0019	- 0,0019	0,0060	0,112
------	--------	--------	-------------	--------	-------

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa nilai rata-rata laju aliran energi panas (P rata-rata bulanan) bervariasi antar material. Beton memiliki nilai rata-rata tertinggi yaitu sebesar 0,0249 kWh/m², diikuti oleh bata merah 0,0187 kWh/m², dan kayu 0,0037 kWh/m². Nilai ini menunjukkan bahwa beton merupakan material yang paling banyak menghantarkan energi panas ke dalam bangunan, sedangkan kayu memiliki kemampuan isolasi termal paling baik karena laju aliran panasnya paling rendah. Standar deviasi (Std Dev P) menggambarkan fluktuasi harian dari energi panas yang diterima. Nilai standar deviasi tertinggi dimiliki oleh beton yaitu 0,0128 kWh/m², sementara kayu memiliki standar deviasi paling kecil yaitu 0,0019 kWh/m². Nilai standar deviasi yang lebih besar menunjukkan bahwa laju aliran panas pada material tersebut lebih dipengaruhi oleh perubahan suhu harian. Sebaliknya, nilai standar deviasi yang lebih kecil menunjukkan bahwa perubahan suhu harian menghasilkan variasi laju panas yang relatif lebih kecil pada material tersebut.

Jika dilihat dari total energi panas bulanan (Total P sebulan), pola yang sama terlihat: beton menempati posisi tertinggi dengan 0,748 kWh/m², diikuti oleh bata merah sebesar 0,561 kWh/m², sedangkan kayu menjadi yang terendah dengan 0,112 kWh/m². Artinya, dinding dari bahan beton cenderung menyerap dan menghantarkan panas lebih besar dibandingkan material lainnya, sehingga berpotensi meningkatkan beban pendinginan ruangan. Sebaliknya, dinding kayu lebih efektif dalam menahan perpindahan panas dari luar ke dalam bangunan. Secara keseluruhan, urutan performa termal material dari yang paling mudah menghantarkan panas hingga yang paling baik sebagai isolator adalah beton > bata merah > kayu. Hasil ini sejalan dengan karakteristik fisik material, di mana beton memiliki konduktivitas termal tinggi sedangkan kayu memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih rendah.

PENUTUP

Penelitian ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai perpindahan panas pada material dinding bangunan dengan menggunakan data sekunder suhu udara harian Kota Padang pada bulan Agustus 2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa beton memiliki laju aliran panas dan total energi panas bulanan tertinggi, sedangkan kayu menunjukkan nilai yang paling rendah serta karakteristik yang lebih stabil secara termal. Temuan ini menguatkan bahwa jenis material dinding berperan penting dalam menentukan efisiensi energi bangunan, terutama pada iklim tropis yang memiliki beban panas relatif tinggi.

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi perencana dan insinyur sipil dalam memilih material dinding yang lebih efisien untuk meningkatkan kenyamanan termal dan mengurangi penggunaan energi pendinginan. Di sisi lain, secara akademik penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan studi fisika bangunan, khususnya pada aspek perpindahan panas konduksi berbasis data empiris lokal yang relevan dengan kondisi iklim tropis lembap.

Penelitian lanjutan disarankan untuk melibatkan simulasi numerik yang mempertimbangkan orientasi bangunan, ketebalan variasi dinding, serta pengaruh kelembaban udara guna memperoleh model termal bangunan yang lebih komprehensif. Dengan demikian, hasil studi ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan konsep desain bangunan berkelanjutan di wilayah beriklim tropis.

DAFTAR PUSTAKA

BMKG. (2025). Data Iklim Harian Kota Padang Bulan Agustus 2025. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Republik Indonesia.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2004). *Physics for Scientists and Engineers* (6th ed.). Thomson Brooks/Cole.

Young, Hugh D., dan Roger A. Freedman. 2002. *Fisika Universitas: Edisi Kesepuluh*, Jilid I. Alih bahasa: Endang Juliastuti. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Mitech NDT. (2023). Standar Ketebalan Dinding Bata untuk Konstruksi Bangunan. Diakses dari <https://mitech-ndt.co.id> pada tanggal 11 Desember 2025.

Tim Riset Ukur dan Uji. (2025). Standar Ketebalan Dinding Rumah Ideal di Indonesia & Bahayanya Jika Dilanggar. Mitech NDT. Diakses dari <https://mitech-ndt.co.id> pada tanggal 11 Desember 2025.

ASHRAE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.