Jurnal Ilmiah jurutera
Journal of Applied Engineering
ISSN 2356-5438

Experimental Investigation of Thermal Performance of Concrete Walls Incorporating Paraffin-Aluminum Phase Change Material

Muhammad Idris[1], Muhammad Amin[2], Zainal Arif[3]
[1,2,3)] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Samudra, Langsa 24416, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2025
Direvisi dari 20 Juli 2025
Diterima 29 Oktober 2025
Dipublikasi 30 Desember 2025

***Keywoard's*:**
Paraffin PCM, Aluminum, Heat Absorption, Concrete Wall, Energy Efficiency, Thermal Experiment

DOI:
doi.org/10.55377/jurutera.v12i02.13324

A B S T R A C T

High ambient temperatures in tropical regions contribute to increased energy consumption for indoor cooling systems. One passive thermal control method that can be applied is the use of Phase Change Material (PCM) as a latent heat storage medium. This study aims to analyze the effect of paraffin-aluminum PCM incorporation on the thermal performance of concrete walls through experimental testing. Four concrete wall prototypes with dimensions of 30 cm × 30 cm × 15 cm were prepared, consisting of a control wall without PCM and walls containing PCM layers with thicknesses of 2 cm, 3 cm, and 5 cm. The experiment was conducted under 200-watt lamp radiation for 16 hours, with temperature measurements recorded at three observation points using K-type thermocouples connected to a data logger. The results indicate that the incorporation of PCM reduced the wall surface temperature compared to the control wall. The 2 cm PCM specimen reduced the temperature by 18–22%, while the 3 cm PCM specimen achieved a 24.6% reduction. The best thermal performance was obtained from the 5 cm PCM specimen, with temperature reductions of 26.8% at the upper point, 22.9% at the middle point, and 19.2% at the lower point. Increasing PCM thickness improved the heat storage capacity and enhanced the wall's ability to suppress surface temperature rise. The paraffin-aluminum PCM combination demonstrates potential as a passive thermal control material for building walls in tropical climates.

A B S T R A K

Peningkatan temperatur pada bangunan di wilayah beriklim tropis menyebabkan tingginya kebutuhan energi untuk sistem pendingin ruangan. Salah satu metode pengendalian temperatur pasif yang dapat diterapkan adalah penggunaan *Phase Change Material* (PCM) sebagai media penyimpan panas laten. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan PCM berbasis parafin dan aluminium terhadap performa termal dinding beton melalui pengujian eksperimental. Penelitian dilakukan menggunakan empat prototipe dinding beton berukuran 30 cm × 30 cm × 15 cm, terdiri atas dinding tanpa PCM dan dinding dengan ketebalan PCM 2 cm, 3 cm, dan 5 cm. Pengujian dilakukan menggunakan sumber panas lampu 200 watt selama 16 jam dengan pengukuran temperatur pada tiga titik pengamatan menggunakan thermocouple tipe K yang terhubung dengan data logger. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan PCM mampu menurunkan temperatur permukaan dinding dibandingkan dinding tanpa PCM. Variasi PCM 2 cm menghasilkan penurunan temperatur sebesar 18–22%, PCM 3 cm sebesar 24,6%, dan PCM 5 cm memberikan hasil terbaik dengan penurunan temperatur mencapai 26,8% pada titik atas, 22,9% pada titik tengah, dan 19,2% pada titik bawah. Peningkatan ketebalan PCM meningkatkan kemampuan penyimpanan energi panas sehingga kenaikan temperatur permukaan dapat dikendalikan lebih efektif. Kombinasi parafin dan aluminium menunjukkan potensi sebagai material pendukung pengendalian temperatur pasif pada dinding bangunan di wilayah tropis.

© 2025 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

E-mail Coresponden : muhammadamin@unsam.ac.id
© 2025 ISSN. 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi pada sektor bangunan menjadi salah satu isu penting dalam era modern, terutama di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Suhu udara yang tinggi menyebabkan kenyamanan termal di dalam ruangan berkurang, sehingga penggunaan sistem pendingin udara (*air conditioner*) meningkat secara signifikan. Konsumsi energi listrik dari sistem pendingin mencapai 50–70% dari total energi bangunan, yang berdampak pada meningkatnya biaya operasional serta emisi karbon dioksida ke atmosfer. Oleh karena itu, diperlukan strategi efisien untuk mengendalikan suhu bangunan tanpa meningkatkan konsumsi energi listrik secara berlebihan [1].

Salah satu inovasi yang dapat diterapkan dalam pengendalian suhu bangunan adalah penggunaan *Phase Change Material* (PCM). PCM merupakan bahan penyimpan panas laten yang mampu menyerap dan melepaskan energi panas pada suhu tertentu tanpa mengalami perubahan suhu yang signifikan [2]. Ketika diaplikasikan pada elemen bangunan seperti dinding, PCM dapat menstabilkan fluktuasi temperatur harian dengan menyerap panas berlebih pada siang hari dan melepaskannya kembali pada malam hari. Penggunaan PCM terbukti efektif dalam mengurangi beban pendinginan bangunan dan meningkatkan efisiensi energi. Penelitian Hasan et al. [3] menunjukkan bahwa penggunaan PCM lilin parafin dengan ketebalan 1 cm mampu menurunkan beban pendinginan hingga 20,9%. Penelitian serupa oleh Memon et al. [4] membuktikan bahwa campuran PCM pada beton mampu menurunkan temperatur ruang secara signifikan.

Meskipun demikian, PCM berbasis parafin memiliki kelemahan utama yaitu konduktivitas termal yang rendah sehingga menghambat proses penyerapan panas. Untuk mengatasi permasalahan ini, kombinasi PCM dengan material logam seperti aluminium diperlukan guna meningkatkan daya hantar panas dan efisiensi perpindahan kalor. Penambahan aluminium diharapkan dapat mempercepat laju perpindahan panas sehingga PCM lebih cepat menyerap energi termal dari lingkungan. Kombinasi parafin dan aluminium dalam campuran beton menjadi alternatif potensial untuk menciptakan material dinding yang mampu beradaptasi terhadap perubahan suhu lingkungan dengan performa termal yang lebih baik [5].

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengkaji kemampuan dinding beton dengan campuran PCM parafin dan aluminium dalam menyerap kalor. Fokus utama penelitian adalah menganalisis pengaruh variasi ketebalan PCM terhadap distribusi suhu pada permukaan dinding serta menentukan ketebalan optimal yang memberikan kemampuan penyerapan panas tertinggi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material bangunan hemat energi yang sesuai untuk kondisi iklim tropis. Berdasarkan uraian tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: *bagaimana pengaruh penambahan PCM parafin dan aluminium terhadap kemampuan dinding beton dalam menyerap panas dan menurunkan suhu permukaan?*

2. Metode

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Kota Langsa, Aceh. Pemilihan lokasi laboratorium ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas uji termal yang memadai, seperti alat pengukur suhu digital, *data logger*, dan peralatan beton eksperimental. Penelitian berlangsung selama bulan Februari hingga Maret 2025 dengan jadwal pengujian yang dilakukan secara berulang untuk memperoleh data yang konsisten dan reliabel.

Seluruh proses eksperimen dilakukan dalam ruangan tertutup yang memiliki ventilasi terbatas untuk meminimalkan pengaruh kondisi eksternal seperti suhu udara, kelembapan, dan arah aliran udara. Hal ini penting agar panas yang diterima oleh sampel dinding benar-benar berasal dari sumber panas buatan (lampu pijar 200 watt) yang digunakan selama penelitian. Dengan demikian, setiap data temperatur yang diukur dapat merepresentasikan kemampuan dinding dalam menyerap dan menahan panas secara akurat.

Sebelum dilakukan pengujian utama, dilakukan pula pengukuran awal terhadap suhu ruang laboratorium untuk menentukan kondisi awal (baseline temperature) pada setiap siklus eksperimen. Hal ini dimaksudkan agar semua

percobaan dimulai pada kondisi awal yang sama dan dapat dibandingkan secara ilmiah antara satu sampel dengan sampel lainnya.

2.2. Desain Penelitian

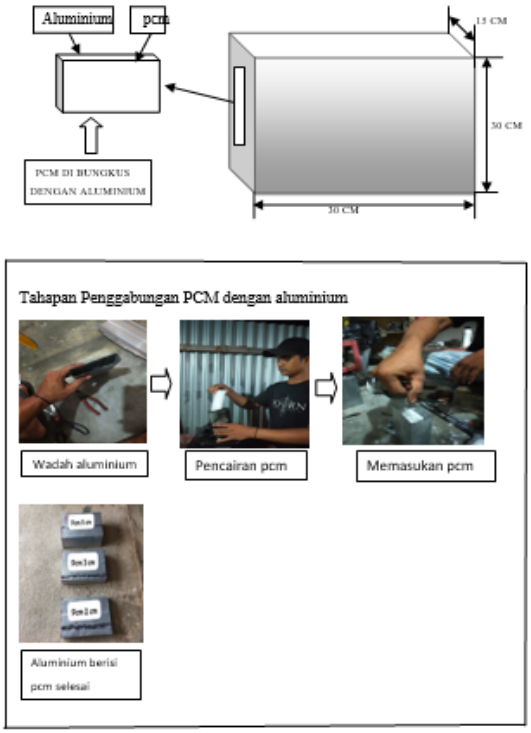
Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan rancangan kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan *Phase Change Material* (PCM) terhadap kemampuan penyerapan kalor dinding beton. Terdapat empat variasi sampel yang digunakan, yaitu dinding beton tanpa PCM (sebagai kontrol), dan tiga dinding dengan lapisan PCM parafin-aluminium masing-masing setebal 2 cm, 3 cm, dan 5 cm. Setiap sampel dibuat dengan ukuran standar 30 cm × 30 cm × 15 cm agar hasil pengujian dapat dibandingkan secara langsung.

Desain penelitian ini didasarkan pada prinsip perbandingan langsung, di mana setiap variabel bebas (ketebalan PCM) diuji terhadap variabel terikat (suhu dinding) dalam kondisi termal yang seragam. Pemilihan variasi ketebalan PCM didasarkan pada literatur terdahulu yang menyebutkan bahwa peningkatan ketebalan PCM dapat memperbesar kapasitas penyimpanan panas, namun berpotensi menghambat laju perpindahan kalor jika terlalu tebal [1]. Dengan demikian, penelitian ini juga bertujuan mencari ketebalan PCM optimal yang menghasilkan penyerapan kalor paling efisien.

2.3. Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi cetakan beton, *thermocouple* tipe K, *data logger*, lampu pijar 200 Watt sebagai sumber panas, termometer digital, stopwatch, dan alat pengaduk beton. *Thermocouple* dipilih karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan suhu dan mampu merekam data secara kontinu. *Data logger* digunakan untuk merekam suhu setiap 30 menit selama 16 jam pengujian.

Bahan utama penelitian adalah semen Portland tipe I, pasir halus, air, parafin murni sebagai PCM, dan serbuk aluminium dengan ukuran partikel 200 mesh. Parafin berfungsi sebagai media penyimpan panas laten, sedangkan serbuk aluminium digunakan untuk meningkatkan konduktivitas termal. Komposisi campuran ditentukan berdasarkan hasil uji pendahuluan agar diperoleh campuran homogen yang stabil tanpa pemisahan fase saat proses pemanasan [2].



Gambar 1. Tahapan Penggabungan PCM dengan aluminium

Setiap bahan diukur secara presisi menggunakan timbangan digital untuk memastikan rasio campuran yang konsisten. Sebelum pencampuran, parafin dilelehkan terlebih dahulu pada suhu 60°C kemudian dicampur dengan serbuk aluminium hingga merata. Setelah campuran homogen, bahan dituangkan ke dalam lapisan tengah beton sesuai ketebalan yang ditentukan.



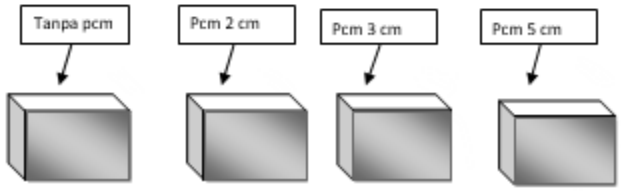
Gambar 2. Desain Prototipe Dinding Bangunan

2.4. Prosedur Penelitian

Proses penelitian diawali dengan pembuatan sampel dinding beton sesuai variasi ketebalan PCM yang telah dirancang. Campuran beton disiapkan dengan perbandingan 1:2:3 untuk semen, pasir, dan kerikil. Campuran PCM parafin-aluminium dituangkan di bagian tengah cetakan agar berfungsi sebagai lapisan penyerap panas. Setelah proses pencetakan selesai, semua sampel dikeringkan selama 7 hari agar mencapai kekuatan awal dan stabilitas struktural sebelum diuji.

Setelah proses pengeringan, dilakukan pemasangan *thermocouple* di tiga titik strategis: bagian atas, tengah, dan bawah setiap dinding. Sensor ini dihubungkan ke *data logger* untuk merekam suhu secara otomatis. Posisi sensor ditentukan berdasarkan hasil simulasi awal agar mampu merepresentasikan distribusi panas di seluruh permukaan dinding.

Pengujian dilakukan dengan menempatkan sampel dinding pada jarak 20 cm dari sumber panas berupa lampu pijar 200 watt. Setiap pengujian berlangsung selama 16 jam, dimulai pukul 08.00 hingga 24.00. Suhu diukur setiap 30 menit untuk melihat tren kenaikan dan penurunan suhu permukaan. Setelah pengujian selesai, data dari *data logger* diunduh untuk dianalisis menggunakan *Microsoft Excel* dan *MATLAB*.



Gambar 3. Gambar Detail Prototipe

2.5. Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas adalah ketebalan lapisan PCM (2 cm, 3 cm, dan 5 cm). Variabel terikat adalah temperatur dinding pada tiga titik pengukuran. Sedangkan variabel kontrol mencakup jarak antara sumber panas dan dinding (20 cm), intensitas lampu (200 W), waktu pemanasan (16 jam), serta kondisi lingkungan laboratorium.

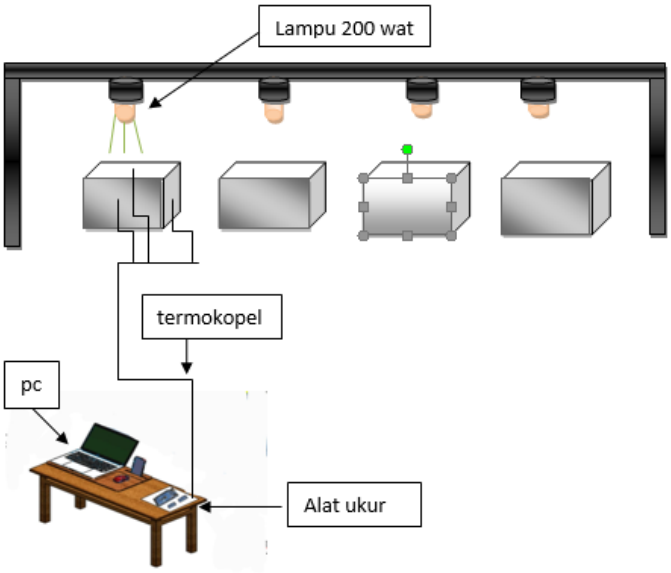
Penetapan variabel kontrol sangat penting untuk menjaga validitas eksperimen. Jika salah satu variabel ini berubah, maka dapat memengaruhi hasil dan menyebabkan perbedaan yang tidak disebabkan oleh perlakuan PCM. Oleh karena itu, setiap kali pengujian dimulai, suhu awal ruangan diukur terlebih dahulu dan dijaga agar tetap konstan antara 29–30°C.

Analisis variabel dilakukan secara komparatif, yaitu dengan membandingkan suhu rata-rata antar sampel. Penurunan suhu yang lebih besar menunjukkan kemampuan penyerapan panas yang lebih baik dari material tersebut [3].

2.6. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan menggunakan sistem pencatatan otomatis melalui *data logger* yang terhubung ke *thermocouple* tipe K. Setiap sensor merekam suhu pada interval waktu 30 menit selama proses pemanasan 16 jam. Sistem ini dipilih karena mampu mengurangi kesalahan manusia dalam pencatatan data dan menghasilkan data kontinu untuk analisis tren termal.

Selain data temperatur, diamati pula waktu pencapaian suhu puncak dan waktu pendinginan pasca pemanasan untuk mengetahui kemampuan PCM dalam menyimpan panas. Semua data mentah dikompilasi dan diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* untuk menghitung rata-rata, simpangan baku, dan persentase penurunan suhu.



Gambar 4. Skema Alat Pengujian

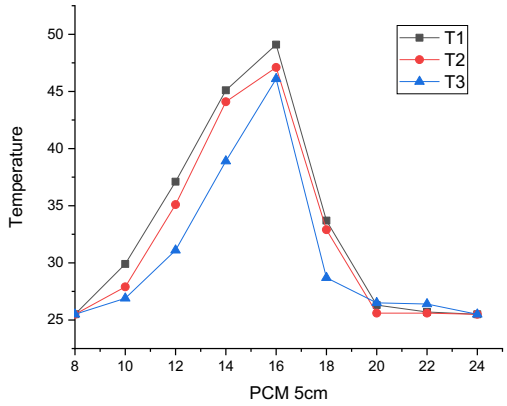
2.7. Analisis Data

Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif. Perbandingan temperatur antar dinding digunakan untuk menentukan efisiensi PCM dalam menyerap kalor. Rumus dasar yang digunakan adalah:

$$n = \frac{Ttanpa\ PCM - TdenganPCM}{TtanpaPCM} 100\%$$

di mana η adalah efisiensi penyerapan panas (%). Analisis grafik digunakan untuk menggambarkan hubungan antara waktu pemanasan dan perubahan suhu pada masing-masing titik pengukuran (atas, tengah, bawah).

Data hasil pengujian menunjukkan bahwa ketebalan PCM berpengaruh signifikan terhadap distribusi suhu permukaan. Analisis statistik sederhana digunakan untuk menentukan rata-rata penurunan suhu pada setiap variasi. Selain itu, perbandingan antara hasil pengujian dengan penelitian terdahulu dilakukan untuk menilai konsistensi temuan penelitian ini [4].



Gambar 5. Pengujian pada Ukuran PCM 5 cm

2.8. Validasi Data

Validasi data dilakukan untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil eksperimen. Setiap pengujian diulang sebanyak tiga kali untuk setiap variasi sampel dengan kondisi dan waktu pengujian yang sama. Data dari ketiga pengujian kemudian dibandingkan untuk menentukan tingkat keseragaman.

Standar deviasi digunakan untuk mengukur tingkat penyimpangan data terhadap nilai rata-rata. Nilai error rata-rata yang diperoleh berada di bawah 5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa data bersifat konsisten dan layak digunakan dalam analisis. Selain itu, dilakukan juga pengecekan silang antara hasil pengukuran *thermocouple* dan termometer digital sebagai upaya verifikasi alat ukur.

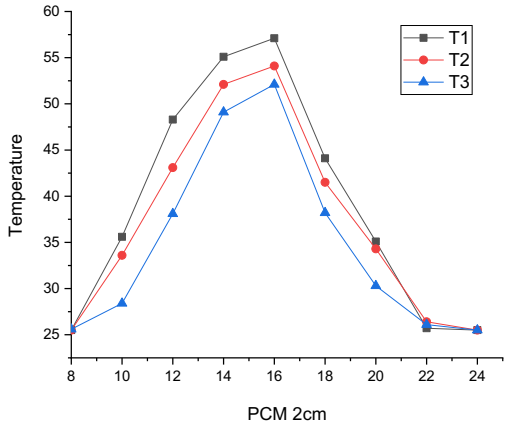
Proses validasi ini penting untuk memastikan bahwa hasil penelitian tidak dipengaruhi oleh kesalahan alat maupun faktor eksternal, sehingga hasil yang diperoleh benar-benar mencerminkan kemampuan material dalam menyerap kalor secara nyata.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pada dinding beton dengan campuran PCM parafin dan aluminium setebal 2 cm menunjukkan penurunan temperatur yang cukup signifikan dibandingkan dinding tanpa PCM. Suhu rata-rata maksimum pada titik atas tercatat sebesar **49,5°C**, titik tengah **46,2°C**, dan titik bawah **44,0°C**. Penurunan suhu berkisar antara **18–22%** terhadap sampel kontrol.

Penurunan ini menunjukkan bahwa PCM mampu menyerap sebagian energi panas dari sumber radiasi dan menyimpannya dalam bentuk energi laten selama proses fasa padat–cair. Parafin yang digunakan sebagai bahan utama PCM memiliki titik leleh sekitar 55°C, sehingga pada suhu di bawah titik tersebut, parafin masih berwujud padat dan berfungsi sebagai penahan panas. Ketika suhu meningkat, sebagian energi digunakan untuk mengubah fasa parafin menjadi cair tanpa menaikkan temperatur permukaan secara drastis [2].

Kombinasi dengan serbuk aluminium juga berperan penting dalam mempercepat laju perpindahan kalor dari permukaan luar beton menuju lapisan PCM, sehingga penyerapan panas berlangsung lebih efisien. Hasil ini konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Hasan et al. [3], yang menyatakan bahwa penambahan material logam konduktif ke dalam PCM dapat meningkatkan laju penyerapan kalor secara signifikan.



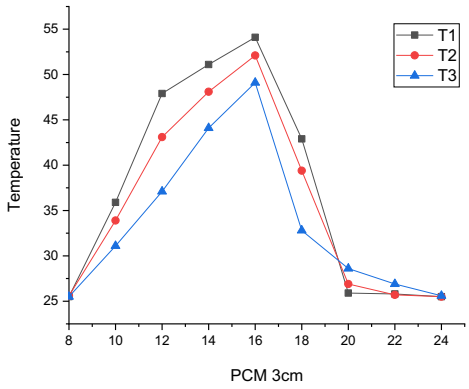
Gambar 6. Pengujian pada Ukuran PCM 2 cm

3.1. Hasil Pengujian Dinding dengan PCM Parafin-Aluminium Ketebalan 3 cm

Sampel dinding dengan PCM setebal 3 cm menunjukkan performa termal yang lebih baik dibandingkan variasi 2 cm. Suhu maksimum pada titik atas mencapai 46,3°C, titik tengah 43,8°C, dan titik bawah 41,5°C. Rata-rata penurunan suhu mencapai 24,6% dibandingkan dengan dinding tanpa PCM.

Lapisan PCM yang lebih tebal memungkinkan kapasitas penyimpanan energi laten meningkat, sehingga mampu menahan panas lebih lama. Selama proses pemanasan, PCM pada ketebalan ini menyerap kalor lebih banyak sebelum mencapai titik leleh total, sehingga fluktuasi temperatur menjadi lebih terkendali. Setelah fase cair tercapai, PCM tetap menyimpan energi tanpa menaikkan suhu permukaan beton secara signifikan [4].

Namun demikian, ketebalan PCM yang terlalu besar juga berpotensi memperlambat laju transfer panas dari lapisan luar ke dalam, yang pada akhirnya dapat menurunkan kecepatan respon termal sistem. Oleh karena itu, meskipun lapisan 3 cm memberikan penurunan suhu lebih baik daripada 2 cm, efisiensi transfer panas masih perlu dikaji lebih lanjut.



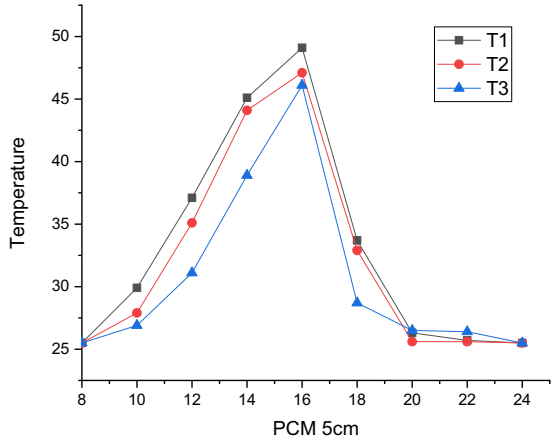
Gambar 7. Pengujian pada Ukuran PCM 3 cm

3.2. Hasil Pengujian Dinding dengan PCM Parafin-Aluminium Ketebalan 5 cm

Pada variasi PCM setebal 5 cm, penurunan temperatur lebih signifikan terjadi dibandingkan seluruh variasi sebelumnya. Suhu maksimum pada titik atas turun hingga 44,8°C, titik tengah 41,0°C, dan titik bawah 39,8°C. Nilai penurunan rata-rata mencapai 26,8% di titik atas, 22,9% di titik tengah, dan 19,2% di titik bawah.

Ketebalan 5 cm memungkinkan PCM menyerap lebih banyak energi panas sebelum seluruh material mengalami perubahan fasa, sehingga temperatur permukaan dapat dipertahankan lebih stabil. Aluminium yang bercampur dalam PCM berperan sebagai jembatan termal yang mempercepat penyerapan energi dari beton ke parafin. Hasil ini sejalan dengan penelitian Memon et al. [5], yang menunjukkan bahwa peningkatan konduktivitas termal PCM mampu mempercepat distribusi energi panas dan memperbaiki kestabilan suhu bangunan.

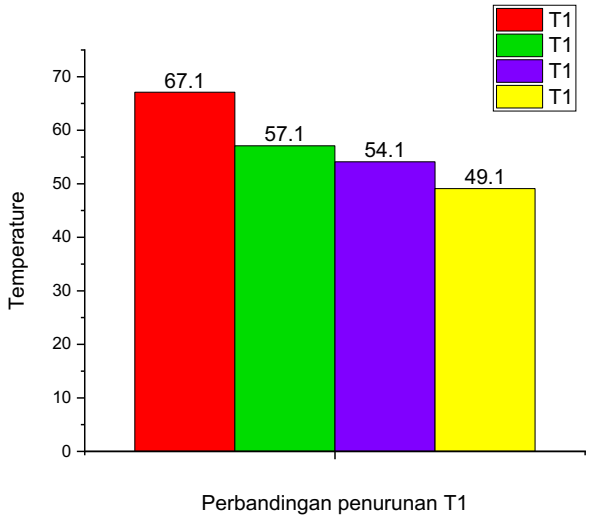
Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa lapisan PCM 5 cm merupakan variasi paling efisien dalam menyerap dan menyimpan panas pada dinding beton. Namun, efektivitas ini juga harus mempertimbangkan faktor berat jenis dan biaya material, karena ketebalan yang berlebihan dapat meningkatkan massa dinding secara signifikan.



Gambar 8. Pengujian pada Ukuran PCM 5 cm

3.3. Analisis Perbandingan Penyerapan Kalor

Perbandingan antara seluruh variasi sampel menunjukkan tren penurunan suhu seiring dengan bertambahnya ketebalan PCM. Dinding tanpa PCM mengalami kenaikan suhu tertinggi, sedangkan dinding dengan PCM 5 cm memiliki kemampuan terbaik dalam meredam kenaikan temperatur. Grafik perbandingan keseluruhan menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan PCM, semakin kecil kenaikan suhu yang terjadi selama proses pemanasan 16 jam [6].



Gambar 9. Perbandingan Temperatur titik T1 (temperatur atas)

Fenomena ini sesuai dengan teori penyimpanan energi laten, di mana semakin besar volume PCM, semakin tinggi kapasitas energi yang dapat diserap tanpa peningkatan temperatur signifikan. Kombinasi parafin dan aluminium terbukti efektif memperbaiki kelemahan PCM murni yang memiliki konduktivitas rendah. Aluminium berfungsi sebagai konduktor panas internal, mempercepat perpindahan kalor menuju inti PCM.

Secara keseluruhan, penerapan PCM parafin-aluminium dalam dinding beton memberikan kontribusi besar terhadap pengendalian suhu bangunan, khususnya di wilayah tropis. Hasil penelitian ini memperkuat temuan-temuan sebelumnya dan memberikan bukti empiris bahwa teknologi PCM dapat diimplementasikan sebagai alternatif material bangunan hemat energi.

3.4. Diskusi Umum

Hasil penelitian menunjukkan hubungan langsung antara ketebalan PCM dan penurunan temperatur permukaan dinding. Mekanisme yang terjadi adalah proses penyerapan energi panas oleh parafin selama perubahan fasa padat ke cair. Energi panas yang seharusnya menaikkan suhu beton justru tersimpan dalam bentuk energi laten di dalam PCM. Ketika sumber panas dihentikan, PCM secara perlahan melepaskan energi tersebut, sehingga suhu permukaan tetap stabil lebih lama.

Penerapan kombinasi PCM dan aluminium ini dapat dianggap sebagai inovasi material konstruksi yang berorientasi pada konservasi energi. Material ini memiliki potensi besar diterapkan pada dinding bangunan tropis, atap rumah, serta elemen struktural lain yang sering terpapar radiasi matahari langsung. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teoritis terhadap pengembangan ilmu perpindahan panas, tetapi juga aplikatif terhadap desain bangunan berkelanjutan [7].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, penggunaan Phase Change Material (PCM) berbasis parafin dan aluminium pada dinding beton mampu menurunkan temperatur permukaan dibandingkan dinding beton tanpa PCM. Penurunan temperatur terjadi karena PCM menyerap dan menyimpan energi panas selama proses perubahan fasa, sedangkan aluminium membantu meningkatkan perpindahan kalor ke lapisan PCM sehingga proses penyerapan panas menjadi lebih efektif. Variasi ketebalan PCM memberikan pengaruh terhadap kemampuan termal dinding beton. Sampel dengan ketebalan PCM 2 cm menunjukkan penurunan temperatur sebesar 18–22%, sedangkan PCM 3 cm menghasilkan rata-rata penurunan temperatur sebesar 24,6%. Hasil terbaik diperoleh pada variasi PCM 5 cm dengan penurunan temperatur mencapai 26,8% pada titik atas, 22,9% pada titik tengah, dan 19,2% pada titik bawah. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan PCM meningkatkan kemampuan dinding dalam meredam kenaikan temperatur selama proses pemanasan. Dalam kondisi pengujian laboratorium menggunakan sumber panas lampu 200 watt selama 16 jam, kombinasi PCM parafin dan aluminium menunjukkan potensi sebagai material pendukung pengendalian temperatur pasif pada bangunan. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa PCM 5 cm merupakan variasi yang memberikan performa termal paling baik dibandingkan variasi lainnya pada kondisi pengujian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bassiouny R, Ali MRO, Noureldeen ESH. Modeling the thermal behavior of Egyptian performance masonry red brick filled with material of low thermal conductivity. *J Build Eng.* 2016;5:158–164. doi:10.1016/j.jobe.2015.12.002.
2. Naik TR. Sustainability of Concrete Construction. *Pract Period Struct Des Constr.* 2008;13(2):98–103. doi:10.1061/(asce)1084-0680(2008)13:2(98).
3. Khairuzzaman MQ. Statistik Indonesia 2016. *Badan Pusat Statistik (BPS)*. Jakarta; 2016.
4. Suntoro KA, Darmawan RS. Perhitungan Beban Pendinginan Pada Ruangan di Perkantoran PT Indonesia Power UPJP Pesanggaran Bali. *J Tek Mesin.* 2018;17(1):19–30.

5. Mahlia TMI, Taufiq BN, Ismail H, Masjuki HH. Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. *Energy Build.* 2007;39(2):182–187. doi:10.1016/j.enbuild.2006.06.002.
6. Mei J, Xia X. Energy-efficient predictive control of indoor thermal comfort and air quality in a direct expansion air conditioning system. *Appl Energy.* 2017;195:439–452. doi:10.1016/j.apenergy.2017.03.076.
7. Hasan A, Banerjee R, Reddy BVV. Thermal performance enhancement of buildings using phase change materials: A review. *Energy Build.* 2018;158:454–480. doi:10.1016/j.enbuild.2017.10.033.
8. Memon SA, Cui H, Lo TY, Barbhuiya S. Development of form-stable composite phase change material by incorporation of dodecanol into ground granulated blast furnace slag. *Energy Build.* 2015;87:238–245. doi:10.1016/j.enbuild.2014.11.049.
9. Sharma A, Tyagi VV, Chen CR, Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renew Sustain Energy Rev.* 2009;13(2):318–345. doi:10.1016/j.rser.2007.10.005.
10. Abhat A. Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials. *Sol Energy.* 1983;30(4):313–332. doi:10.1016/0038-092X(83)90186-X.