

The Addition of Phase Change Materials in the Wall to Reduce the Overall Thermal Transfer Value (OTTV)

Muhammad Irsyad^{1,*}, Amrizal¹ dan M Dyan Susila¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung – Bandar Lampung

*Corresponding author: muhammad.irsyad@eng.unila.ac.id

Abstract. Electricity consumption in the building sector is among the largest. Air conditioning system (AC) is one of the equipment that has the largest contribution to the increase in electricity consumption. Solar radiation entering through the wall by conduction is one source of cooling load. The greater cooling load has resulted in an increase in the required AC capacity so that it has an impact on the increase in electrical energy. One criterion of evaluating the thermal transfer capability of a wall is the overall thermal transfer value (OTTV). The lower OTTV of a building wall, it is better impact to the cooling load. This research was conducted to determine the effect of adding PCM on the wall to OTTV and compared to standard walls. OTTV calculations are performed on the vertical wall of the north-facing building and located in Jakarta with a position of 6.12° LS, and on August 8, 2017 with area of 1m². The results of the calculation has showed a daily average OTTV decrease due to the addition of PCMs were 9.8% for walls with PCM coconut oil and 14.4% for walls with PCM Paraffin C13 - C24. Whereas if it involves the phase change process, the daily thermal energy that can be absorbed by each PCMs per square meter were 40.2% for PCM coconut oil and 95.8% for PCM Paraffin C13 - C24.

Abstrak. Konsumsi energi listrik pada sektor bangunan termasuk yang terbesar. Sistem pengondisian udara (*air conditioning* disingkat AC) merupakan salah satu peralatan yang memiliki kontribusi terbesar terhadap peningkatan konsumsi energi listrik tersebut. Radiasi matahari yang masuk melalui dinding secara konduksi merupakan salah satu sumber beban pendinginan. Semakin besar beban pendinginan maka semakin besar pula kapasitas AC yang dibutuhkan sehingga juga berdampak teradap kenaikan energi listrik. Salah satu kriteria mengevaluasi kemampuan perpindahan termal pada dinding adalah dengan menghitung nilai perpindahan energi termal keseluruhan (*overall thermal transfer value* dingkat OTTV). Semakin rendah OTTV sebuah dinding bangunan maka semakin bagus dampaknya terhadap beban pendinginan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dampak penambahan PCM pada dinding terhadap OTTV dan dibandingkan dengan dinding standar. Perhitungan OTTV dilakukan pada dinding vertikal bangunan yang menghadap utara yang terletak di Jakarta dengan posisi 6,12° LS, dan pada tanggal 8 Agustus 2017 dan memiliki luas sebesar 1m². Hasil perhitungan menunjukkan terjadi penurunan OTTV rata-rata harian akibat penambahan PCM yakni 9,8% untuk dinding dengan PCM minyak kelapa dan 14,4% untuk dinding dengan PCM Paraffin C13 – C24. Sedangkan apabila melibatkan proses perubahan fasa maka energi termal harian yang dapat diserap oleh masing-masing PCM per meter persegi adalah 40,2% untuk PCM minyak kelapa dan 95,8% untuk PCM Paraffin C13 – C24.

Keywords: OTTV, PCM, minyak kelapa, paraffin, dinding, AC

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

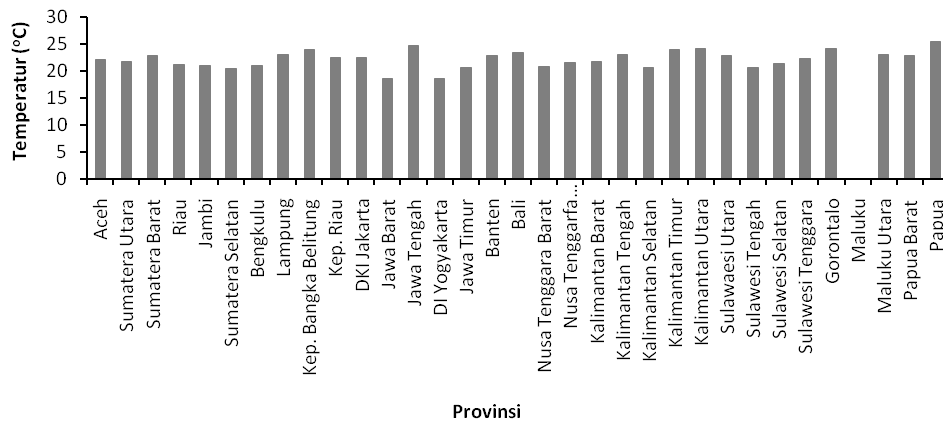
Indonesia dengan radiasi matahari rata-rata setiap hari adalah 4,8 kW/m² memberikan kontribusi terhadap peningkatan beban pendinginan ruangan pada gedung. Besar beban pendinginan ruangan ini berdampak pada kebutuhan energi listrik untuk sistem pengondisian udara. Penggunaan energi listrik pada bangunan komersial termasuk yang terbesar yakni berkisar antar 47 – 65% [1].

Upaya peurunan beban pendinginan yang berasal dari radiasi matahari dan diteruskan melewati dinding adalah dengan penggunaan

lapisan dan warna cat, menambahkan awning di depan dinding, penambahan PCM dan vertikal garden. Penggunaan lapisan cat sebagai insulasi termal dapat menurunkan enegi termal yang masuk sebesar 20% - 40% [2]. Penambahan *awning* di depan dinding untuk mengurangi radiasi matahari langsung ke dinding dapat mengurangi energi termal yang masuk mencapai 23% [3]. Begitu juga dengan penggunaan PCM sebagai material penambah pada dinding dapat mengurangi konsumsi energi bangunan sebesar 15% [4]. *Vertical greening* yang sekarang sedang digiatkan dapat mengurangi temperatur bangunan hingga 6,2% [5].

Temperatur udara rata-rata minimum pada malam hari di Indonesia mencapai 23,7°C meupakan potensi yang bagus untuk aplikasi PCM pada bangunan untuk menyerap energi termal dari radiasi matahari [6]. Namun riset tentang penggunaan PCM pada dinding untuk mengurangi energi termal yang masuk melalui dinding ini di

Indonesia masih sedikit diantaranya adalah sebagai berikut: Indartono 2011 menggunakan PCM dari minyak kelapa yang sudah dienkapsulasi sebagai material batako dapat mengurangi beban puncak. [7]. Irsyad dkk (2017) menggunakan PCM minyak kelapa [8].



Gambar 1. Temperatur udara minimum rata-rata setiap Provinsi di Indonesia [6]

PCM untuk aplikasi sebagai penyerap energi termal pada dinding dipilih dengan memperhatikan temperatur perubahan fasanya yakni tidak lebih rendah dari temperatur udara minimum. Persyaratan ini dipilih agar PCM dapat mengalami perubahan fasa sehingga kemudian dapat berfungsi kembali menyerap energi termal. Beberapa PCM yang cocok untuk kondisi di Indonesia berdasarkan temperatur perubahan fasanya seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. PCM yang potensial diaplikasikan di dinding

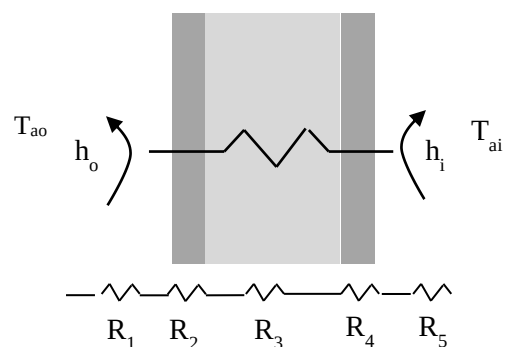
Material	T _f (°C)	L _f (kJ/Kg)	k (W/m.K)	Ref
Paraffin C17–C18	20 - 22	152	-	9
Paraffin C13–C24	22–24	189	0.21 (s)	10
Capric–lauric acid (45%–55%)	21	143	-	11
Dimethyl sabacate	21	120–135	-	12
Mystiric acid–Capric acid (34%–66%)	24	147.7	0.164	13
S23	23	175	0.540	14
S21	22	170	0.540	14
ClimSel C24	24	126	0.5–0.7	15
Minyak Kelapa	22–24	103,2	0,62	16

Energi dari radiasi matahari yang diterima dinding kemudian merambat secara konduksi melewati lapisan daan material dinding. Laju perpindaan panas pada dinding sangat dipengaruhi oleh konduktivitas termal masing-masing lapisan dan material. Laju perpindahan panas pada dinding diperlihatkan dalam bentuk skema pada Gambar 2.

Pada permukaan dinding luar terjadi perpindahan panas secara konveksi. Hal yang sama juga terjadi pada permukaan dinding bagian dalam. Laju perpindahan panas konveksi dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1. Sedangkan pada material dinding terjadi perpindahan panas konduksi. Laju perpindahan panas dipengaruhi oleh konduktivitas termal masing-masing material dinding. Laju perpindahan panas konduksi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.

$$\dot{q} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$q = \frac{k \cdot \Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$



Gambar 2. Skema perpindahan panas melewati dinding

Data konduktivitas termal lapisan dan material dinding diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat-sifat material dinding

Jenis material	k (W/m.K)	C _p (kJ/kg.K)	ρ (kg/m ³)	Ref
Material isolasi	0,17	0,92	1.200	[17]
Beton	1,26	1,00	2.000	[17]
Bata	0,5	0,84	840	[17]
Plester	0,9	0,91	1.800	[17]
Bata berongga	0,32	0,84	1.070	[17]
Semen pelapis/Aci	0,72	0,84	1.860	[18]

Berdasarkan hal di atas, untuk mengurangi perpindahan termal ke ruangan melewati dinding perlu dilakukan kajian pengaruh penggunaan PCM pada dinding terhadap nilai perpindahan energi termal keseluruhan (*overall thermal transfer value* dingkat OTTV). Tujuan penelitian ini adalah memperoleh nilai OTTV pada dinding yang ditambah PCM dan persentase penurunan nilai OTTVnya dibandingkan dengan dinding standar.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah analitik dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang terkait. Sifat material dan geometri material dinding diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data lapisan dinding yang diteliti

Dinding	Lapisan dinding	Δx (m)	k (W/m·K)
Dinding 1 (Standar)	Lapisan cat	0,001	0,170
	Lapisan semen	0,003	0,720
	Plester	0,010	0,900
	Batako	0,140	1,590
	Plester	0,010	0,900
	Lapisan semen	0,003	0,720
Dinding 2 (PCM Minyak kelapa)	Lapisan cat	0,001	0,170
	Lapisan semen	0,003	0,720
	Plester	0,010	0,900
	Batako	0,140	1,590
	Plester	0,010	0,900
	Lapisan semen	0,003	0,720
	Aluminium	0,001	205
	PCM	0,005	0,62
	Aluminium	0,001	205
	Tripleks	0,005	0,22
Dinding 3 (PCM Paraffin C13- C24)	Lapisan cat	0,001	0,170
	Lapisan cat	0,001	0,170
	Lapisan semen	0,003	0,720
	Plester	0,010	0,900
	Batako	0,140	1,590
	Plester	0,010	0,900
	Lapisan semen	0,003	0,720
	Aluminium	0,001	205
	PCM	0,005	0,21
	Aluminium	0,001	205
	Tripleks	0,005	0,22
	Lapisan cat	0,001	0,170

Penempatan PCM yang sudah dimasukkan ke dalam box aluminium adalah pada dinding bagian dalam, dan kemudian ditutup dengan tripleks yang sudah dilapisi cat. Urutan lapisan dan tebal masing-masing lapisan seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 3. Sifat-sifat PCM yang digunakan adalah seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat PCM yang diteliti

Material	T _f (°C)	L _f (kJ/kg)	ρ (kg/m ³)
Minyak kelapa	22 -24	103,2	920
Paraffin C13 – C24	22 - 24	189	900

Perhitungan perpindahan panas pada bagian dinding dapat dilakukan dengan menghitung nilai perpindahan energi termal keseluruhan (*overall thermal transfer value* dingkat OTTV). OTTV digunakan sebagai salah satu kriteria evaluasi kemampuan perpindahan termal dinding. Dinding dengan OTTV yang rendah sangat baik untuk mengurangi beban termal ruangan. Untuk memperoleh OTTV dari sebuah dinding dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan 3.

$$OTTV_w = \frac{(A_w \cdot U_w \cdot T_{Deq}) + (A_f \cdot U_f \cdot \Delta T) + (A_f \cdot SC \cdot SF)}{A_o} \quad (3)$$

Ada beberapa persamaan untuk mendukung perhitungan OTTV ini yakni:

$$U_w = \frac{1}{\sum R} \quad (4)$$

$$T_{Deq} = (T_{ao} + [\alpha \cdot R_{so} \cdot I_t - \epsilon \cdot R_{so} \cdot I_l] - T_{ai}) \quad (5)$$

$$A_o = A_w + A_f \quad (6)$$

Perhitungan OTTV pada dinding ini dilakukan pada bangunan di Jakarta dengan posisi 6,12° LS, dan pada tanggal 8 Agustus 2017. Posisi dinding adalah vertikal dan menghadap ke arah utara dengan luas 1 m².

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan OTTV dimulai dengan menghitung koefisien perpindahan pada total dinding (U_w). Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas total untuk masing-masing dinding diperlihatkan pada Tabel 5.

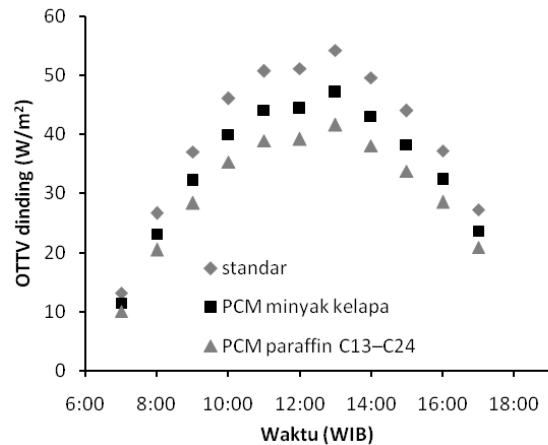
Penambahan lapisan PCM dapat mengurangi koefisien perpindahan panas total dinding dibandingkan dinding standar. Hal ini disebabkan oleh nilai konduktivitas termal PCM dan tripleks yang relatif rendah.

Tabel 3. Koefisien perpindahan panas total dinding

Dinding	Lapisan dinding	R ($\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$)	U_w ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Dinding 1 (standar)	Lapisan cat	0,006	3,517
	Lapisan semen	0,004	
	Plester	0,011	
	Batako	0,088	
	Plester	0,011	
	Lapisan semen	0,004	
	Lapisan cat	0,006	
	Konveksi permukaan luar	0,044	
	Konveksi permukaan dalam	0,110	
Dinding 2 (PCM minyak kelapa)	Lapisan cat	0,006	3,173
	Lapisan semen	0,004	
	Plester	0,011	
	Batako	0,088	
	Plester	0,011	
	Lapisan semen	0,004	
	Aluminium	4,9E-06	
	PCM	0,008	
	Aluminium	4,9E-06	
	Tripleks	0,023	
	Lapisan cat	0,006	
	Konveksi permukaan luar	0,044	
	Konveksi permukaan dalam	0,110	
Dinding 3 (PCM Paraffin C13 – C24)	Lapisan cat	0,006	3,022
	Lapisan semen	0,004	
	Plester	0,011	
	Batako	0,088	
	Plester	0,011	
	Lapisan semen	0,004	
	Aluminium	4,9E-06	
	PCM	0,024	
	Aluminium	4,9E-06	
	Tripleks	0,023	
	Lapisan cat	0,006	
	Konveksi permukaan luar	0,044	
	Konveksi permukaan dalam	0,110	

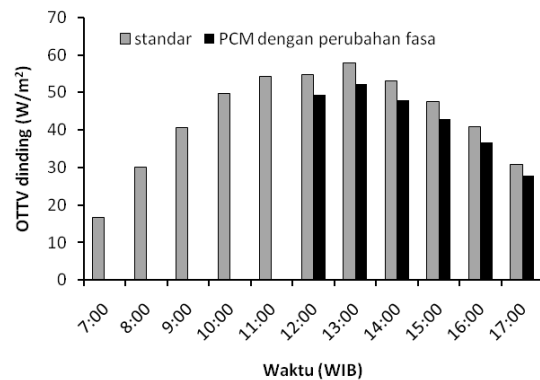
Penambahan lapisan PCM dapat mengurangi koefisien perpindahan panas total dinding dibandingkan dinding standar. Hal ini disebabkan oleh nilai konduktivitas termal PCM dan tripleks yang relatif rendah.

Perhitungan OTTV dilakukan menggunakan Persamaan 3 dengan memperhatikan letak bangunan yakni di Jakarta dengan posisi $6,12^\circ$ LS, dan pada tanggal 8 Agustus 2017. Letak, tanggal dan waktu sangat mempengaruhi sudut penyinaran matahari terhadap dinding. Hasil perhitungan OTTV dari jam 7:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB diperlihatkan pada Gambar 3.

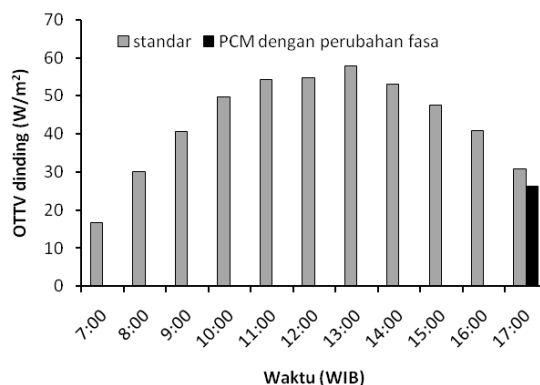


Gambar 3. Perbandingan OTTV dinding

OTTV pada pagi masih rendah dan cenderung meningkat seiring dengan pergerakan matahari dan mencapai puncak pada jam 13:00, serta kembali menurun sampai sore hari. Penggunaan PCM dapat menurunkan OTTV dinding. Rata-rata penurunan OTTV harian adalah 9,8% untuk dinding dengan PCM minyak kelapa dan 14,4% untuk dinding dengan PCM Paraffin C13 – C24. Penurunan OTTV ini adalah akibat penambahan PCM dan lapisan tripleks yang memiliki konduktivitas termal yang relatif rendah. Hasil perhitungan OTTV ini belum melibatkan perubahan fasa pada PCM.



Gambar 4. OTTV dinding dengan PCM minyak kelapa dan melibatkan proses perubahan fasa



Gambar 5. OTTV dinding dengan PCM Paraffin C13 – C24 dan melibatkan proses perubahan fasa

Energi termal yang masuk ke dinding diserap oleh PCM sehingga mengalami proses perubahan fasa. Energi yang diserap oleh PCM sebanding dengan panas laten fusi yang dimilikinya. Dari hasil perhitungan untuk luas 1 m², PCM minyak kelapa dengan massa 4,28 kg mampu menyerap energi termal sebesar 442,04 kJ. Sedangkan PCM Paraffin C13 – C24 dengan massa 4,19 kg mampu menyerap energi termal sebesar 1.122,79 kJ. Energi termal yang masuk melewati dinding akan diserap oleh PCM terlebih dahulu sampai terjadi perubahan fasa. Proses ini dapat menghalangi energi termal masuk ke dalam ruangan. Berdasarkan hal ini maka OTTV dinding yang ditambahkan PCM dengan melibatkan proses perubahan fasa terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Dinding dengan PCM Paraffin C13 – C14 memiliki kemampuan peyerapan energi termal yang lebih besar dibandingkan dinding dengan PCM minyak kelapa. Persentase energi termal yang dapat diserap masing-masing PCM dari energi termal harian yang masuk melewati dinding per meter persegi adalah 40,2% untuk PCM minyak kelapa dan 95,8% untuk PCM Paraffin C13 – C24.

Kesimpulan

Penambahan PCM pada bagian dalam dinding dapat mengurangi OTTV rata-rata harian dinding yakni 9,8% untuk dinding dengan PCM minyak kelapa dan 14,4% untuk dinding dengan PCM Paraffin C13 – C24. Dengan melibatkan proses perubahan fasa PCM dalam menyerap energi termal yang masuk ke dalam dinding maka dapat memperlambat masuknya energi termal ke dalam ruangan. Energi termal yang dapat diserap masing-masing PCM dari energi termal harian yang masuk melewati dinding per meter persegi adalah 40,2% untuk PCM minyak kelapa dan 95,8% untuk PCM Paraffin C13 – C24.

Penghargaan

Tim penulis mengucapkan terima kasih pada Universitas Lampung yang telah membiayai penelitian ini dengan skim Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) tahun 2018

Referensi

- [1] JICA Study on Energy Efficiency and Conservation Improvement in Indonesia 2007-2008
<http://eneken.iecee.or.jp/en/data/pdf/491.pdf>
- [2] Buckmaster, D.J. and Abramson, A.R., 2014. Characterization of the effects of insulating

wall paint on space conditioning room, *Journal of Thermal Engineering* Vol.1, No.1. 322-329

- [3] Dubois, M.C. and Arch, M., 1998. Awning and solar-protective glazing for efficient energy use in cold climates, *Proc. of the Renewable Energy Technologies in Cold Climates '98 Conf.*, 4-6 May, Montreal (Canada), 380-385
- [4] Castell, A., et al., 2010. Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, *Energi and Buildings* 42 534–540
- [5] Othman, A.R. and Sahidin, N., 2016. Vertical Greening Façade as Passive Approach in Sustainable Design, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 222 845 – 854
- [6] Statistik Indonesia 2015, Badan Pusat Statistik
- [7] Indartono, Y.S. et al., 2011. Application of Phase Change Material to Save Air Conditioning Energi in Building”, *Proceeding of 7th Fluid and Thermal Energi Conversion (FTEC)* 2011, 24-27 September 2011, Zhengzhou, China
- [8] Irsyad, M. et al., 2017. Heat transfer characteristics of building walls using phase change material, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 60 012028
- [9] Dadgostar, N. and Shaw, J.M., 2012. A predictive correlation for the constant-pressure specific heat capacity of pure and ill-defined liquid hydrocarbons. *Fluid Phase Equilibria* 313 211–26.
- [10] Zhou, D. et al., 2012. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. *Applied Energy* 92 593–605.
- [11] Hawes, D.W. Feldman, D. Banu, D., 1993. Latent heat storage in building materials. *Energy and Buildings* 20 77–86.
- [12] Feldman, D. Shapiro, M.M. Banu, D., 1986. Organic phase change materials for thermal energy storage, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 13 1–10.
- [13] Lane, G.A., 1980. Low temperature heat storage with phase change materials. *The International Journal of Ambient Energy* 1 155–68.
- [14] Environmental Process Limited. Available from: (<http://www.pcmproducts.net/>).

- [15] Climator. Available from:
(<http://www.climator.com/en/climsel>).
- [16] Mettaweea, E.S. and Ead, A.I., 2013. Energy Saving in Building with Latent Heat Storage, International Journal of Thermal & Environmental Engineering, 5 21 – 30.
- [17] Vollaroa, R.D. et al., 2014. An Integrated Approach for an Historical Buildings Energy Analysis in a Smart Cities Perspective, Energy Procedia, 45 372 – 378.
- [18] Huang, Y. Niu, J. Chung, T., 2013. Study on performance of energy efficient retrofitting measures on commercial building external walls in cooling-dominant cities, Applied Energy, 103 97 – 108.