

## KARAKTERISASI PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) LOKAL INDONESIA

Muhammad Amin<sup>1</sup>, Nandy Putra<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Applied Heat Transfer Research Group, Laboratorium Perpindahan Kalor Departemen Teknik  
Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI - Depok, 16424, Indonesia

\*Email: nandyputra@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Sebagai bahan penyimpan kalor dibutuhkan data sifat termal dari suatu material. Data sifat termal tersebut diperlukan sebagai kajian aplikasi penyimpan energi termal. Tujuan dari riset ini adalah mengkaji tentang karakteristik *Phase Change Material* (PCM) dari beberapa material lokal Indonesia. Karakteristik PCM yang ingin diketahui seperti titik leleh, kalor laten, dan densitas. Sedangkan PCM lokal yang diuji diantaranya adalah lilin lebah, damar, gondorukem, eutektik lilin lebah, lemak kerbau, lemak sapi medan, dan lemak sapi aceh. Karakteristik PCM lokal di uji menggunakan alat ukur *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Titik leleh PCM lokal dapat digunakan untuk *range* temperatur 40-65 °C. lilin lebah memiliki kalor laten tertinggi 141,48 kJ/kg. sedangkan untuk kelompok lemak hewani, lemak sapi medan memiliki kalor laten tertinggi sebesar 162,29 kJ/kg.

**Kata Kunci:** Sifat Termal, PCM Lokal, Titik Leleh, Kalor Laten, Densitas, DSC.

### Pendahuluan

Pada tahun 2025 pola konsumsi energi masyarakat Indonesia masih sangat dominan pada Bahan Bakar Mesin (BBM) dan energi listrik [1]. Penggunaan energi final terbesar ditemukan pada sektor industri (32%), diikuti oleh sektor rumah tangga (29%), dan sektor transportasi (25%), komersial (3%), dan lainnya (2%) [1]. Penggunaan konsumsi energi listrik paling besar pada sektor Industri urutannya adalah *Air Conditioner* (57,36%), penerangan (4,54%), dan peralatan kantor lainnya (38,10%) [2]. Setiap sektor baik industri, rumah tinggal, dan transportasi mengharapkan dalam pemakaian energi listrik tidak dibatasi namun dalam pengeluaran biaya setidaknya lebih ekonomis. *Thermal energy storage* (TES) merupakan salah satu cara mengatasi pengeluaran biaya akan kebutuhan pemakaian energi listrik.

*Thermal energy storage* (TES) yang paling baik untuk saat ini adalah *Phase Change material* (PCM). Dimana *Phase change material* ini mampu menyimpan energi dalam bentuk kalor laten dengan kapasitas lebih besar dibandingkan dengan material lainnya seperti air, batu, logam, dan lainnya [3, 4]. Sebagai contoh jika sebelum beban puncak energi

panas/dingin disimpan oleh PCM sedangkan pada saat beban puncak PCM ini mengeluarkan energi panas/dingin sesuai kebutuhan. PCM ini memiliki kelebihan yaitu dapat digunakan terus menerus selama struktur materialnya tidak berubah.

PCM terdiri dari 3 kelompok yaitu organik, anorganik dan eutektik. Organik merupakan PCM alami, anorganik merupakan PCM bukan alami, dan eutektik merupakan PCM campuran dari organik-organik, organik-anorganik, dan anorganik-anorganik [5-7]. Ada juga PCM yang dijual di industri-industri namanya PCM komersial [3, 8-10]. Semua jenis PCM ini memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing [11]. Diantara kelompok-kelompok tersebut yang paling populer adalah PCM organik.

Untuk menjaga kearifan lokal perlu dicari PCM-PCM lokal di seluruh wilayah Indonesia. Beberapa dari material lokal baik dari tumbuhan maupun hewan ternyata merupakan kelompok PCM organik seperti lilin lebah, damar, gondorukem, lemak hewan, dan lain-lain. Material PCM lokal ini biasanya diaplikasikan pada usaha pengrajin batik yang digunakan sebagai bahan dasar pembuat kain

batik [12]. Jika dirancang dengan baik PCM ini dapat menjadi PCM baru yang menjadi kearifan lokal dan dapat bersaing dengan PCM komersial.

Setiap PCM penting untuk diketahui sifat termalnya terutama sekali titik leleh dan kalor laten. Vasistha D. Bhatt et al. mengatakan bahwa ada beberapa sifat fisik yang sangat mempengaruhi dalam pemilihan material PCM yaitu titik leleh, densitas, dan kalor laten [13]. Oleh karena itu sebelum diaplikasikan PCM lokal ini perlu diketahui karakteristiknya.

Beberapa penelitian yang telah melakukan karakterisasi PCM diantaranya Milan Ostrý et al, melakukan pengujian karakterisasi dari beberapa material organik dan anorganik. Hasil karakterisasi tersebut dapat direkomendasikan untuk aplikasi pada sistem tata udara. Dalam penelitian tersebut alat ukur *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) Perkin Elmer PYRIS1 digunakan untuk melihat besar kalor laten dan titik melting dan sebuah *Thermogravimetric analysis* (TGA) Q500 untuk melihat kestabilan termal dari PCM. Hasil penelitian diperoleh bahwa semua PCM memiliki titik leleh dibawah 30 °C sehingga PCM tersebut dapat diaplikasikan pada sistem tata udara [14]. Ravi Ramnanan-Singh melakukan pengujian karakterisasi pada lilin lebah dengan cara mencampurkan antara air dan lilin lebah. Dengan menggunakan alat ukur DSC Q2000 diperoleh titik leleh dan kalor laten lilin lebah masing-masing sebesar 62 °C dan 185.88 KJ/kg [15]. Mangesh B. Inarkar dan S. S. Lele melakukan pengujian karakterisasi pada lilin dari kulit tebu. Dengan menggunakan alat ukur DSC-60 diperoleh titik leleh 62,21 °C dan kalor laten 41,15 J/g [16]. Ronny Hendra et al. melakukan pengujian secara eksperimental dan analisis untuk material lokal indonesia sebagai PCM mikro. PCM mikro tersebut yaitu 60% parafin, 8% damar (rempah-rempah kayu), 32% kendal (lemak hewani) dan vaseline. Alat ukur yang digunakan adalah V4.1C DuPont 2000 DSC. Pada penelitian ini diperoleh fase transisi (padat-cair) terjadi pada *range* temperatur 42,2°C – 52°C dari kalor sensibel sampai terjadi perubahan kalor laten [17]. Sampai saat ini belum ada hasil kajian karakterisasi dari PCM lokal.

Diketahui bahwa Indonesia memiliki luas daratan 193 juta hektar dan luas hutannya sekitar 143 juta hektar. Jumlah peternakan masyarakat Indonesia juga sangat besar khususnya peternakan sapi, kerbau, kambing, ayam, dan bebek. Semua hasil kearifan lokal ini berpotensi dapat dijadikan menjadi PCM lokal. Akan tetapi sampai saat ini masyarakat Indonesia belum mampu menjadikan bahan lokal ini menjadi PCM.

Berdasarkan kajian diatas dalam penelitian ini akan dilakukan karakterisasi dari PCM berbahan lokal Indonesia. PCM lokal Indonesia tersebut terdiri dari lilin lebah, damar, gondorukem, eutektik lilin lebah, dan lemak hewani.

## Bahan dan Metodologi

### Bahan

Dalam pengujian ini material yang diuji merupakan PCM lokal Indonesia seperti sampel-sampelnya dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** yakni PCM lilin lebah, damar, gondorukem, eutektik lilin lebah, dan lemak hewani. Khusus lemak hewani terdiri dari lemak kerbau dan lemak sapi. Lilin lebah merupakan sarang dari lebah yang dicairkan diperoleh dari Cibubur Jawa Barat. Damar merupakan getah pohon damar yang diperoleh dari Jawa Timur. Gondorukem merupakan getah dari pohon pinus yang diperoleh dari Jawa Timur. Sedangkan eutektik lilin lebah merupakan material campuran dari beberapa lilin lebah, damar, gondorukem. Lemak kerbau dan lemak sapi merupakan lemak yang di didalam tubuh kerbau atau sapi yang dikeringkan kemudian dipanaskan. Lemak kerbau diperoleh dari Aceh sementara lemak sapi diperoleh dari Medan dan dari Aceh.

### Karakterisasi PCM

Seluruh material ini akan diuji untuk mendapatkan karakterisasi dari material PCM. Tahap pertama ingin diperoleh sifat termal PCM menggunakan alat ukur *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) RIGAKU Thermo Plus EVO2 8231. Data yang ingin diperoleh dari alat ukur DSC adalah titik leleh

dan kalor latennya saja. Massa sampel PCM diambil sebesar 5 mg dengan *scan rate* sebesar 10 °C/menit. Untuk merubah fasa pada PCM temperatur diatur pada temperatur kamar sampai 120 °C. Setelah dipastikan PCM sudah meleleh semua, data berupa grafik direkam untuk diperoleh besarnya titik leleh dan kalor laten. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian nilai densitas dari PCM berbahan lokal Indonesia. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium *Applied Heat Transfer Research Group* (AHTRG) Universitas

Indonesia. Alat bantu yang digunakan berupa gelas ukur, penggaris, dan *heater* untuk mencairkan PCM. Pengukuran ini bertujuan untuk mendapatkan densitas cair dan densitas padat pada PCM lokal menggunakan persamaan :

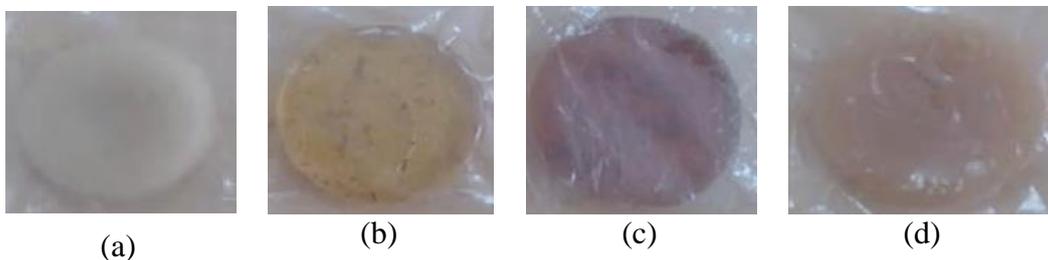
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Dimana :

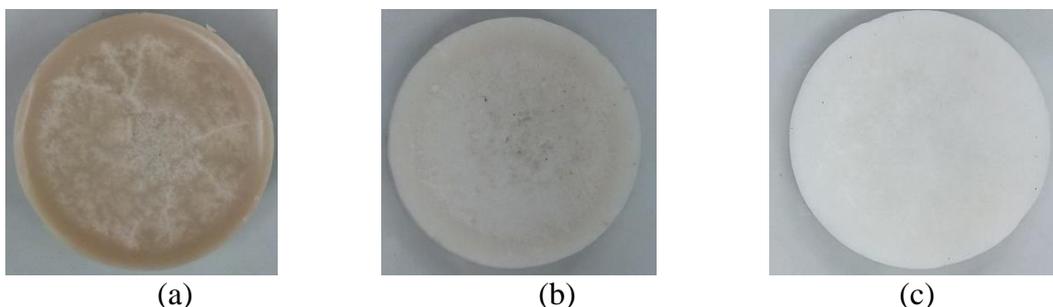
$\rho$  = densitas (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = massa (kg)

$V$  = volume (m<sup>3</sup>)



Gambar 1. PCM lokal Indonesia (a) Lilin lebah (b) Damar (c) Gondorukem (d) Eutektik lilin lebah



Gambar 2. Kelompok Lemak Hewani (a) Lemak kerbau, (b) Lemak Sapi medan, (c) Lemak sapi aceh

## Hasil dan Pembahasan

### Sifat termal PCM lokal menggunakan alat ukur DSC

Pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** merupakan grafik DSC dengan material PCM lokal. Lilin lebah mulai terjadinya pelelehan pada temperatur 44,6 °C. Proses ini dinamakan *onset* temperatur proses pemanasan. Lilin lebah terus meleleh sampai pada titik lelehnya yaitu 61,3 °C. Didaerah tersebut merupakan PCM menyimpan kalor laten tertinggi. Proses ini dinamakan *peak* temperatur proses pemanasan. Pada rentang temperatur 62-66 °C PCM mengalami penurunan kemampuan laju

penyerapan kalor. Di titik 66 °C ini merupakan *endset* temperatur proses pemanasan. Pada temperatur di atas 66 °C PCM sudah tidak dapat menyerap kalor. Setelah diketahui titik *onset*, *peak*, dan *endset* temperatur maka diperoleh luas area. Kalor laten dari lilin lebah diperoleh dari hasil bagi antara luas area dengan ukuran sampel lilin lebah yang di uji. Besar kalor latennya adalah 141,484 J/g atau 141,484 kJ/kg. Sifat termal PCM lainnya telah dirangkum seperti dalam **Tabel 1** sampai **Tabel 7**.

Damar dan gondorukem memiliki kalor laten yang sangat kecil karena damar dan gondorukem merupakan getah dari pohon yang memiliki sifat asam, mudah terisomer oleh panas, dan mudah teroksidasi oleh oksigen dari udara. Eutektik lilin lebah

ternyata tidak memiliki pengaruh kalor laten yang tinggi, ini terjadi karena masih ada pengaruh yang lebih besar dari adanya damar dan gondorukem yang memiliki panas laten yang kecil. Walaupun demikian jika PCM lain dicampurkan dengan damar dapat menaikkan konduktivitas termal [18].

Lemak kerbau, lemak sapi medan dan lemak sapi aceh memiliki titik leleh dan kalor laten yang berbeda, dari analisa DSC diperoleh kalor laten terbesar pada lemak sapi medan yaitu 162,29 kJ/kg. Sementara kalor laten lemak kerbau 131,71 kJ/kg dan kalor laten lemak sapi aceh 84,67 kJ/kg. Titik leleh lemak kerbau 52,29 °C, titik leleh lemak sapi medan 50,96 °C, titik leleh lemak sapi aceh 44,65 °C. lemak hewani dapat juga digunakan sebagai campuran pada PCM lain, seperti dicampurkan kedalam paraffin kalor laten bisa mencapai 114 kJ/kg dan titik lelehnya bisa mencapai 42,2 °C [17]. Oleh karena itu semua material PCM itu penting untuk dianalisis agar dapat direkayasa termalnya sesuai dengan kebutuhan bidang *engineering*.

Tabel 1. Sifat termal lilin lebah

Properti	Lilin lebah	Referensi
Titik leleh [°C]	61,3	59 [12], 62 [15], 64,4 [19], 62-65 ; 60-67 [20], 61-67 [21]
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	141,48	122 [19], 177 [22], 185.88 [15]
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	789,47	970 [15]

- Padat	819,75	950 [22]
---------	--------	----------

Tabel 2. Sifat termal damar

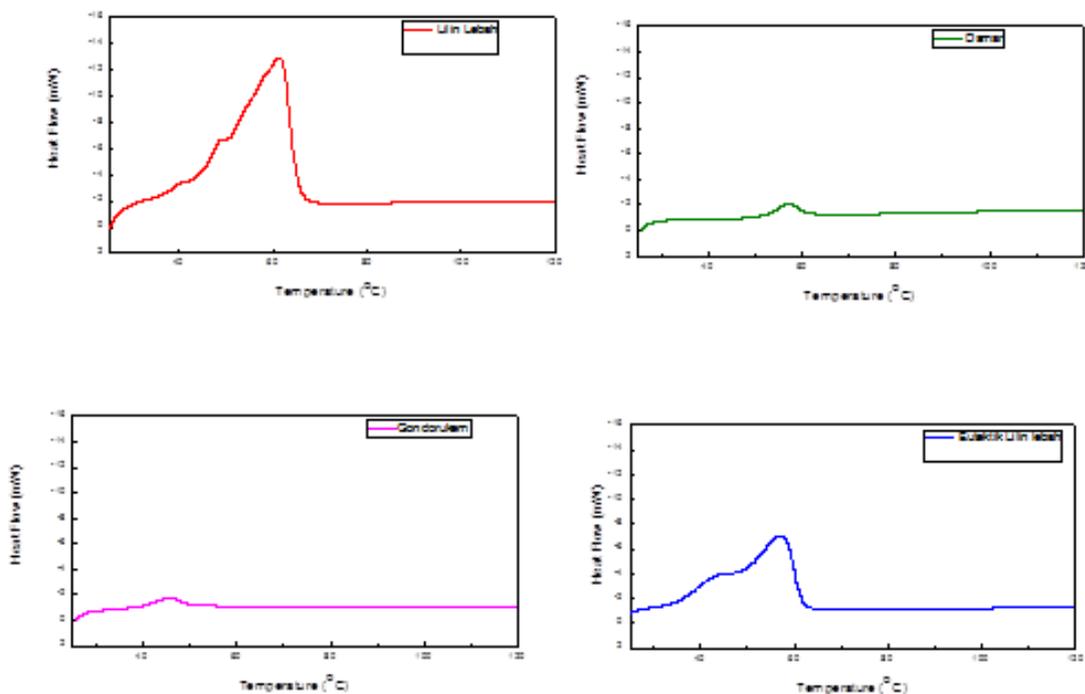
Properti	Damar	Referensi
Titik leleh [°C]	57,2	-
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	5,531	-
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	882,92	-
- Padat	929,04	-

Tabel 3. Sifat termal gondorukem

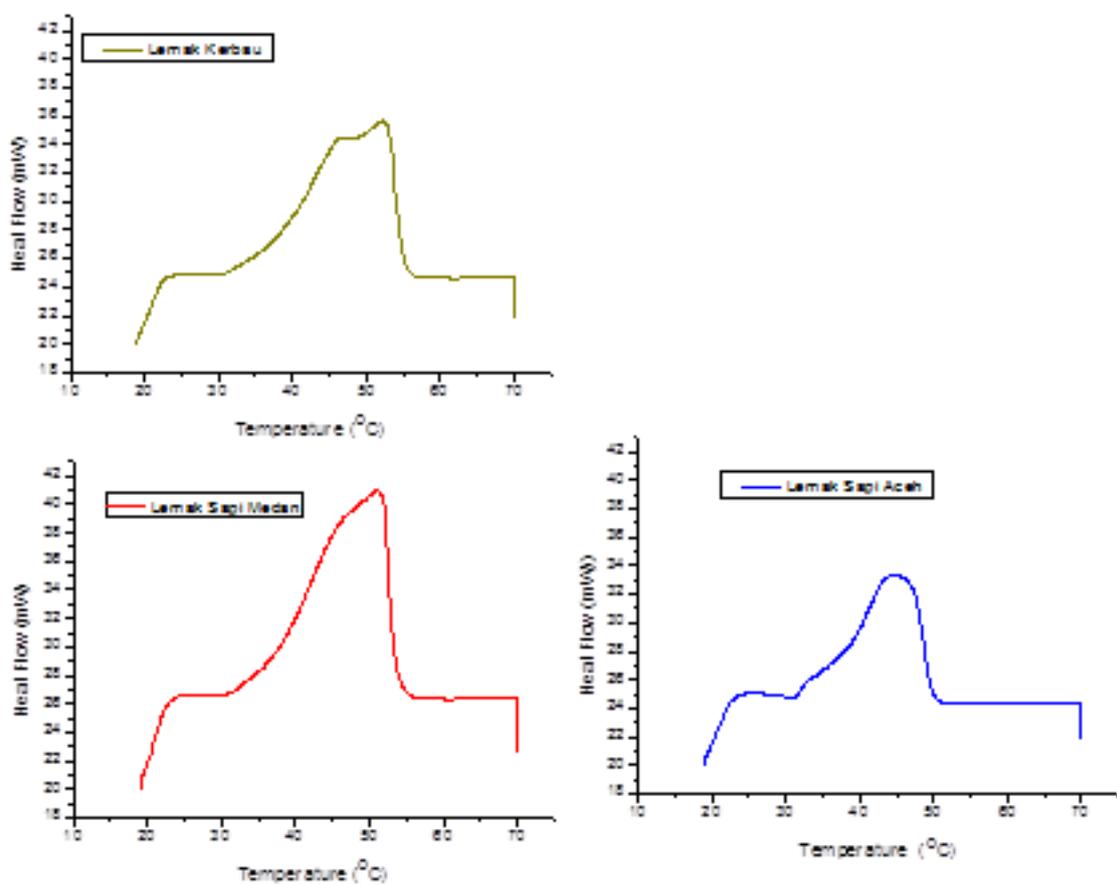
Properti	Gondorukem	Referensi
Titik leleh [°C]	45,6	-
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	5,621	-
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	822,20	-
- Padat	873,91	-

Tabel 4. Sifat termal eutektik lilin lebah

Properti	Eutektik lilin lebah	Referensi
Titik leleh [°C]	57,1	-
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	42,702	-
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	789,39	-
- Padat	831,53	-



Gambar 3. Hasil pengukuran lilin lebah, damar, gondorukem, dan eutektik lilin lebah menggunakan DSC



Gambar 4. Hasil pengukuran lemak kerbau, lemak sapi medan, dan lemak sapi aceh menggunakan DSC

Tabel 5. Sifat termal lemak kerbau

Properti	Lemak kerbau	Referensi
Titik leleh [°C]	52,29	-
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	131,71	-
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	-	-
- Padat	-	-

Tabel 6. Sifat termal lemak sapi medan

Properti	Lemak sapi medan	Referensi
Titik leleh [°C]	50,96	-
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	162,29	-
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	-	-
- Padat	-	-

Tabel 7. Sifat termal lemak sapi aceh

Properti	Lemak sapi aceh	Referensi
Titik leleh [°C]	44,65	-
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	84,67	-
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	-	-
- Padat	-	-

## Kesimpulan

Telah dilakukan uji karakterisasi dari PCM lokal Indonesia berupa lilin lebah dari cibubur Jawa Barat, damar dan gondorukem dari Jawa Timur, eutektik lilin lebah, lemak kerbau dari Aceh, dan lemak sapi dari Aceh dan Medan. Dari hasil alat ukur DSC diperoleh titik leleh dan kalor laten dari PCM lokal Indonesia. Titik leleh PCM lokal ini dapat digunakan untuk *range* temperatur 40-65 °C. Lilin lebah memiliki kalor laten tertinggi sebesar 141,48 kJ/kg sedangkan untuk kelompok lemak hewani, lemak sapi medan memiliki kalor laten tertinggi sebesar 162,29 kJ/kg.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada DRPM Universitas Indonesia melalui penelitian HBAH PUPT.

Properti	Lemak kerbau	Referensi
Titik leleh [°C]	52,29	-
Kalor laten [kJ kg <sup>-1</sup> ]	131,71	-
Densitas [kg m <sup>-3</sup> ]		
- Cair	-	-
- Padat	-	-

## Daftar Pustaka

- [1] M. S. Boedoyo, "Review Kebijakan Energi untuk Mendukung Pemanfaatan Energi Terbarukan."
- [2] A. Marzuki, "Audit Energi pada Bangunan Gedung Direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII (Persero)," 2013.
- [3] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. El Rhafiki, and Y. Zeraouli, "Energy storage: Applications and challenges," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 120, pp. 59-80, 2014.
- [4] T. Whiffen and S. Riffat, "A review of PCM technology for thermal energy storage in the built environment: Part II," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol. 8, pp. 159-164, 2013.
- [5] A. Sharma, V. Tyagi, C. Chen, and D. Buddhi, "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications," *Renewable and Sustainable energy reviews*, vol. 13, pp. 318-345, 2009.
- [6] B. Zalba, J. M. Marín, L. F. Cabeza, and H. Mehling, "Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications," *Applied thermal engineering*, vol. 23, pp. 251-283, 2003.
- [7] A. Abhat, "Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials," *Solar energy*, vol. 30, pp. 313-332, 1983.
- [8] F. Agyenim, N. Hewitt, P. Eames, and M. Smyth, "A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS)," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 615-628, 2010.
- [9] S. E. Kalnæs and B. P. Jelle, "Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities," *Energy and Buildings*, vol. 94, pp. 150-176, 5/1/ 2015.

- [10] A. Waqas and Z. U. Din, "Phase change material (PCM) storage for free cooling of buildings—a review," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 18, pp. 607-625, 2013.
- [11] F. Kuznik, D. David, K. Johannes, and J.-J. Roux, "A review on phase change materials integrated in building walls," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 379-391, 2011.
- [12] J. Ida, "Lilin Batik Tulis Asem," 2014.
- [13] V. D. G. Bhatt, Kuldip; Mishra, Arunabh, "Thermal Energy Storage Capacity of some Phase changing Materials and Ionic Liquids," *International Journal of ChemTech Research*, vol. 2, p. 1771, 2010.
- [14] K. I. M. S. FAZNO, "CHARACTERIZATION OF SELECTED PHASE-CHANGE MATERIALS FOR A PROPOSED USE IN BUILDING APPLICATIONS," *Materiali in tehnologije*, vol. 47, pp. 185-188, 2013.
- [15] R. Ramnanan-Singh, "Formulation & Thermophysical Analysis of a Beeswax Microemulsion & The Experimental Calculation of its Heat Transfer Coefficient," 2012.
- [16] M. B. Inarkar and S. Lele, "Extraction and Characterization of Sugarcane Peel Wax," *ISRN Agronomy*, vol. 2012, 2012.
- [17] R. Hendra, T. Mahlia, and H. Masjuki, "Thermal and melting heat transfer characteristics in a latent heat storage system using mikro," *Applied thermal engineering*, vol. 25, pp. 1503-1515, 2005.
- [18] H. Fauzi, H. S. C. Metselaar, T. M. I. Mahlia, H. Chyuan Ong, Nasruddin, and H. M. Khanlou, "Preparation and thermal characteristics of eutectic fatty acids/Shorea javanica composite for thermal energy storage," *Applied Thermal Engineering*, vol. 100, pp. 62-67, 5/5/ 2016.
- [19] U. Knuutinen and A. Norrman, "Wax analysis in conservation objects by solubility studies, FTIR and DSC," in *Proceedings of the 15th World Conference on Nondestructive Testing*, 2000.
- [20] P. Kuznesof, "Beeswax," *Chemical and Technical Assessment 65th JECFA, Roma, Food and Agriculture Organization of the Union Nations*, 2005.
- [21] A. Tulloch and L. Hoffman, "Canadian beeswax: analytical values and composition of hydrocarbons, free acids and long chain esters," *Journal of the American Oil Chemists Society*, vol. 49, pp. 696-699, 1972.
- [22] W. Su, J. Darkwa, and G. Kokogiannakis, "Review of solid–liquid phase change materials and their encapsulation technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 48, pp. 373-391, 8// 2015.