

## *Analisis Temperatur Dan Entalpi Peleburan Sarang Lebah Di Kabupaten Aceh Besar Provinsi Aceh Menggunakan Metode T-History*

Ully Muzakir

Program Studi Pendidikan Matematika, STKIP Bina Bangsa Getsempena Banda Aceh  
Email : ully@stkipgetsempena.ac.id

### **Abstract**

The capacity of energy storage and temperature storage has come into consideration in choosing thermal energy storage system. Absorbed or released material either big or small can be determined by finding the value of the specific heat ( $C_p$ ) and the latent heat fusion ( $H_L$ ). The selection of materials suitable for Phase Change Materials (PCM) latent heat storage system is the most difficult but the most important thing. The determination of specific heat ( $C_p$ ), latent heat ( $H$ ) and thermal conductivity ( $k$ ) of the PCM is very important in order to assess its performance for the process of developing a good and superior PCM. with a lot of bee-wax materials which is in the district of Aceh Besar province of Aceh, the bee-wax materials of this need to be investigated for long-term goals as a PCM. In this study, T-history method is used to determine of specific heat ( $C_p$ ), latent heat ( $H$ ) and thermal conductivity ( $k$ ) of the bee-wax materials. The results of calculations using the T-History for bee-wax materials obtained  $C_{ps}$  at 0,03 KJ/Kg.K ;  $C_{p,l}$  at 3,45 KJ/Kg.K ;  $H_m$  at 307,15 KJ/Kg ;  $k$  at 0,262 W/mK. Based on these data, the bee-wax in Aceh Besar district can be used as a Phase Change Materials (PCM).

**Keywords** : bee-wax materials, T-history method, specific heat, latent heat, thermal conductivity

### **1. PENDAHULUAN**

Para peneliti sampai dengan saat ini masih terus mengembangkan bahan atau material sebagai media penyimpan panas yang mampu meningkatkan efisiensi energi, ekonomis dan ramah lingkungan. Penyimpanan energi panas laten masih memiliki banyak permasalahan tentang bahan yang digunakan untuk melakukan proses penyimpanan energi seperti biaya yang tinggi, konduktivitas termal dan stabilitas yang rendah pada sifat-sifat termofisik suatu material setelah mengalami proses siklus yang berulang.

Phase Change Materials (PCM) sebagai material penyimpan panas laten telah digunakan dan terus dikembangkan untuk menstabilkan sifat-sifat termofisik tanpa mengalami penurunan sifat penyimpan panas. Untuk beberapa hal, pemilihan atau penyusunan bahan PCM yang sesuai untuk sistem penyimpanan panas laten adalah yang paling sulit namun merupakan hal yang paling penting. Dalam proses mengembangkan PCM yang baik dan unggul, penentuan panas spesifik ( $C_p$ ), panas laten ( $H$ ) dan konduktivitas termal ( $k$ ) dari PCM adalah sangat penting agar dapat menilai kinerjanya. Namun dalam penentuan nilai dari sifat-sifat termofisik ini masih adanya kelemahan-kelemahan yang signifikan dari berbagai metode yang telah dikembangkan oleh para peneliti selama ini.

Material penyimpan panas dapat dikembangkan dengan menggunakan beberapa material-material yang tersedia di wilayah Kabupaten Aceh Besar Provinsi Aceh. Potensi material yang dapat digunakan sebagai PCM dan tersedia di wilayah Kabupaten Aceh

Besar adalah Sarang Lebah yang dapat melebur pada temperatur  $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan membeku pada temperatur  $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

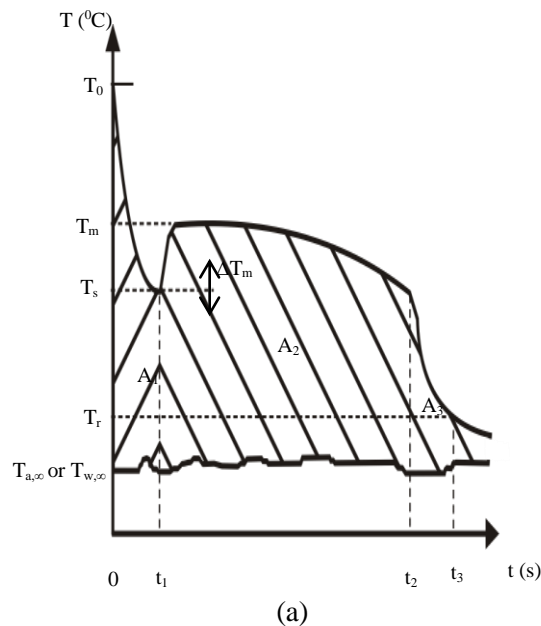
Sehubungan dengan banyaknya bahan baku sarang lebah di Kabupaten Aceh Besar maka potensi ini dapat dimanfaatkan nantinya sebagai bahan untuk membuat Material penyimpan panas (PCM) dari sarang lebah.

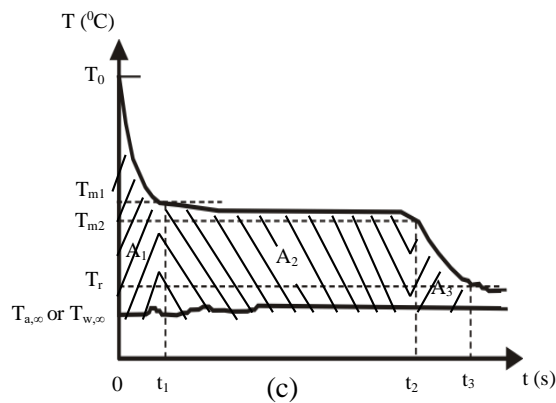
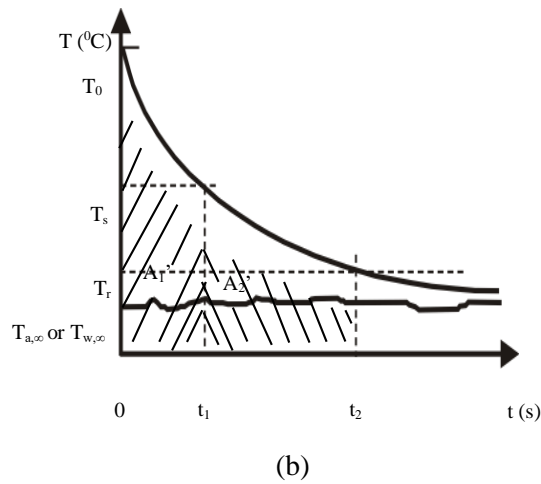
Penelitian ini menggunakan metode T-History untuk menentukan panas spesifik ( $C_p$ ), panas laten ( $H$ ) dan konduktivitas termal ( $k$ ) dari Sarang Lebah. Peneliti memilih material sarang lebah dari wilayah Kabupaten Aceh Besar Provinsi Aceh dikarenakan ketersediaan material yang mudah diperoleh dari pedagang madu lebah di Kabupaten Aceh Besar.

## 2. METODE T-HISTORY

Zhang Yinping et al [2] merupakan kelompok peneliti pertama yang melakukan dan mempublikasikan pada tahun 1999 sebuah metode sederhana untuk menentukan titik lebur, panas peleburan, panas spesifik dan konduktivitas termal dari Phase Change Materials (PCM) dengan sebutan Metode T-History dimana beliau membandingkan Metode T-History dengan 3 (tiga) metode sebelumnya yaitu metode kalorimetri konvensional, differential thermal analysis (DTA) dan metode differential scanning calorimetry (DSC). Hasil pengujian dan perhitungan memberikan hasil pendekatan yang cukup baik serta menunjukkan perbedaan dan kelebihan yang dimiliki oleh Metode T-History diantaranya menggunakan sampel yang tidak sedikit, pengambilan data atau pengukuran bisa dilakukan secara bersamaan dengan jumlah sampel lebih dari satu jenis dan pengujiannya dapat dilakukan secara berulang terus menerus terhadap sampel pengujian.

Jika tabung yang berisi cairan PCM memiliki temperatur yang seragam dan sama dengan  $T_0$  ( $T_0 > T_m$ ),  $T_m$  adalah temperatur peleburan pada PCM), selanjutnya diletakkan pada temperatur lingkungan  $T_{\infty,a}$  (tergantung dengan waktu) sehingga akan membentuk kurva temperatur terhadap waktu pada PCM yang disebut dengan kurva T-History seperti yang terlihat pada Gambar 1, dimana  $\Delta T_m = (T_m - T_s)$  adalah derajat pendinginan cepat.





Gambar 1. PCM dengan pendinginan cepat (a), air dengan pendinginan alami (b) dan PCM tanpa pendinginan cepat (c). [2]

Dengan menerapkan bahwa analisis dilakukan pada material tergumpal dengan Biot Number  $< 0,1$ , maka distribusi temperatur pada sampel dapat dianggap seragam dan metode penyamaan kapasitasansi dapat digunakan. Maka dapat ditulis :

$$(m_t C_{p,t} + m_p C_{p,l})(T_0 - T_s) = hA_c A_1 \quad (1)$$

Dimana  $m_p$  dan  $m_t$  adalah massa PCM dan massa tube, kemudian masing-masing  $C_{p,l}$  dan  $C_{p,t}$  adalah panas spesifik pada PCM cair dan panas spesifik pada tube,  $A_c$  adalah luas area perpindahan panas konveksi pada tube.

$$A_1 = \int_0^{t_2} (T - T_{\infty,a}) dt$$

Didapat :

$$m_p H_m = hA_c A_2 \quad (2)$$

Dimana :

$H_m$  adalah panas peleburan pada PCM dan

$$A_2 = \int_{t_1}^{t_2} (T - T_{\infty,a}) dt$$

$t_1 \rightarrow t_2$  adalah waktu selama proses perubahan fase terjadi dan

$$(m_t C_{p,t} + m_p C_{p,s})(T_s - T_r) = hA_c A_3 \quad (3)$$

dimana :  $C_{p,s}$  adalah panas spesifik PCM pada saat padat,

$$A_3 = \int_{t_2}^{t_3} (T - T_{\infty,a}) dt$$

Dan “ $T_r$ ” adalah temperatur referensi.

Jika tube (tabung) berisi air murni tiba-tiba dibuka seperti yang disebutkan di atas, kurva pendinginan dapat dilihat pada Gambar 1(b). Menimbang  $Bi < 0,1$  ; Diperoleh :

$$(m_t C_{p,t} + m_w C_{p,w})(T_0 - T_s) = h A_c A'_1 \quad (4)$$

$$(m_t C_{p,t} + m_w C_{p,w})(T_s - T_r) = h A_c A'_2 \quad (5)$$

Dimana  $m_w$  dan  $C_{p,w}$  adalah massa dan panas spesifik dari air.

$$A'_1 = \int_0^{t'_1} (T - T_{\infty,a}) dt$$

Dan

$$A'_2 = \int_1^{t'_2} (T - T_{\infty,a}) dt$$

Dengan menggunakan Persamaan (4) dengan koefisien perpindahan panas konveksi alami dari udara luar tube (tabung), ( $h$ ) dapat diperoleh. Nilai “ $h$ ” ini sekitar  $5 - 6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$ , sehingga kondisi sekitar  $Bi \leq 0,1$  dapat dipenuhi ketika  $k_s > 0,2 \text{ W/m} \cdot \text{°K}$  ( $k_s$  pada garam hidrat semua lebih besar dari  $0,3 \text{ W/m} \cdot \text{°K}$ ). Dari persamaan (1) s/d (5) diperoleh [2] :

$$C_{p,s} = \frac{m_w C_{p,w} + m_t C_{p,t} \frac{A_3}{A'_2}}{m_p} - \frac{m_t}{m_p} C_{p,t} \quad (6)$$

$$C_{p,l} = \frac{m_w C_{p,w} + m_t C_{p,t} \frac{A_1}{A'_1}}{m_p} - \frac{m_t}{m_p} C_{p,t} \quad (7)$$

$$H_m = \frac{m_w C_{p,w} + m_t C_{p,t} \frac{A_2}{A'_1}}{m_t} (T_0 - T_s) \quad (8)$$

Untuk PCM tanpa pendinginan cepat dilihat pada Gambar 1(c), di mana kisaran temperatur dari proses perubahan fase adalah antara  $T_{m,1}$  dan  $T_{m,2}$ , perhitungan untuk  $c_{p,l}$  dan  $c_{p,s}$  sama dengan menggunakan persamaan di atas, tetapi panas peleburan harus ditulis ulang dengan hubungan sebagai berikut [2] :

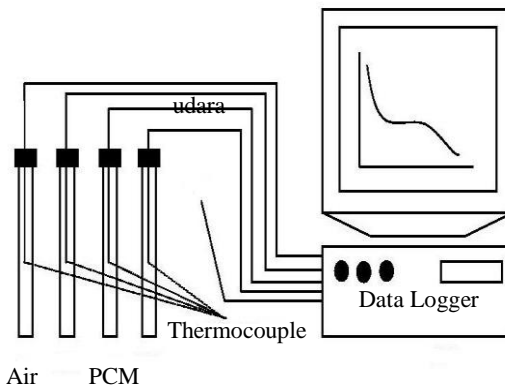
$$H_m = \frac{m_w C_{p,w} + m_t C_{p,t} \frac{A_2}{A'_1}}{m_p} (T_0 - T_{m,1}) - \frac{m_t C_{p,t} (T_{m,1} - T_{m,2})}{m_p} \quad (9)$$

### 3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini bahan yang digunakan untuk dilakukan pengukuran sifat-sifat termofisiknya adalah beberapa PCM yang memungkinkan untuk digunakan sebagai material penyimpan panas laten yaitu Parafin dan Sarang Lebah.

Pada pelaksanaan penelitian ini digunakan beberapa peralatan yaitu Data Logger Agilent 34970A, Thermocouple, Thermometer, Tabung kaca (tube) Pyrex glass dan Timbangan digital. Rangkaian eksperimental berdasarkan pada prinsip pemasangan seperti terlihat pada Gambar 1. Dalam uji coba 3 (tiga) sampel dan air yang terisi di dalam 4

(empat) tabung kaca (tube) berdiameter 16 mm dan panjang 135 mm dengan massa sampel dan massa air dan massa sample ditetapkan sebesar 12,7 gr. Untuk massa tube 18,98 gr,  $C_p$  tube 0,753 KJ/kg.K. Kemudian juga diketahui bahwa  $C_p$  air sebesar 4,178 KJ/kg.K. Sebuah termokopel dengan panjang 108 mm dan berdiameter 0,7 mm ditempatkan di sepanjang masing-masing sumbu tabung (tube). Pengambilan data dilakukan dengan sistem PC berbasis data logger.



Gambar 2. Diagram skema pemasangan alat ekperimental

Keuntungan dari sistem semacam ini adalah sebagai berikut :

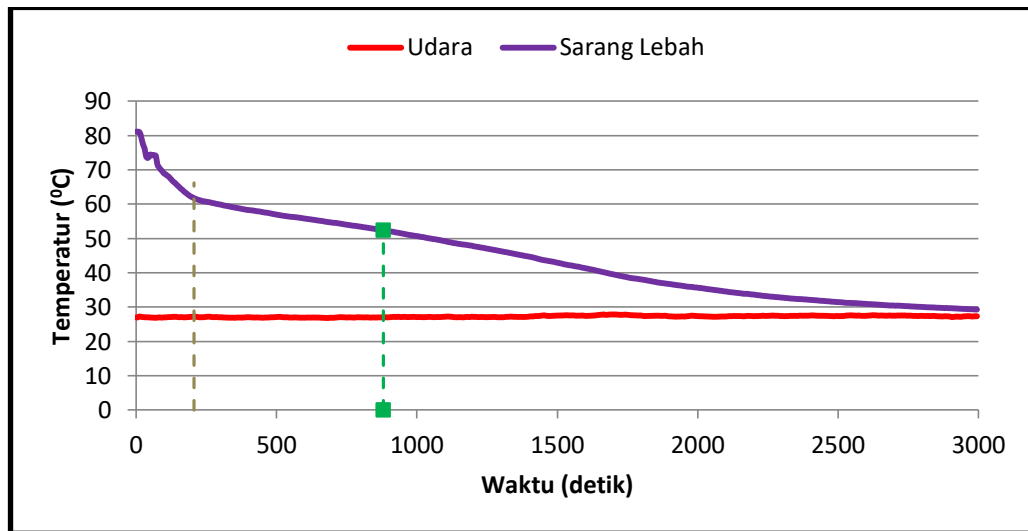
1. Menggunakan tabung (tube) kaca sebagai wadah sampel PCM membuat proses pengukuran menjadi mudan dan proses perubahan fase dari setiap sampel PCM dapat diamati dengan jelas.
2. Mampu mengukur beberapa sampel secara bersamaan selama percobaan (jumlah sampel yang diukur dalam pengujian tergantung pada jumlah saluran/channel dari data logger).

Pengujian ini dilakukan dengan pendinginan secara alami dengan menggunakan media pendingin udara pada temperatur lingkungan antara 26 – 32 °C. Pengukuran temperatur PCM, air dan udara dilakukan pada saat proses pendinginan sehingga diperoleh data temperatur terhadap waktu dengan interval waktu 5 detik setiap pengambilan datanya.

Pelaksanaan penelitian dimulai dari penelusuran literatur dan penyusunan proposal penelitian, setting alat pengujian, pemanasan air dan PCM hingga temperatur 85 °C, pendinginan air dan PCM dengan udara secara alamiah. Pada proses pendinginan dilakukan pengukuran temperatur dengan interval waktu 5 detik setiap pengambilan data oleh data logger. Semua data hasil pengukuran akan diolah dengan komputasi yang selanjutnya diperoleh kesimpulan yang berupa jawaban dari tujuan penelitian.

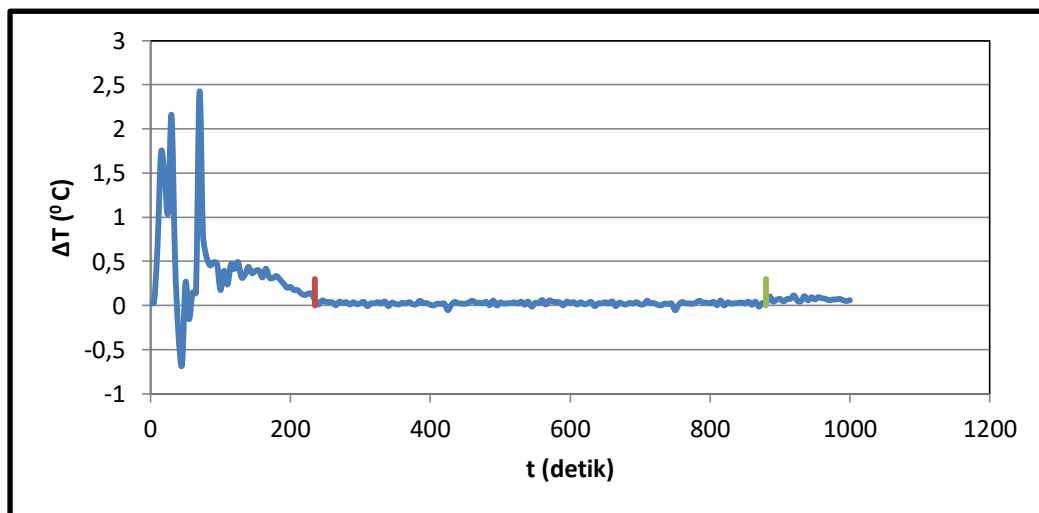
#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data-data yang diperoleh dari pengukuran temperatur PCM terhadap waktu, temperatur air dan udara terhadap waktu dianalisa dengan menggunakan persamaan yang diberikan dalam bab-bab sebelumnya. Hasil pengukuran dan analisa data dibahas dalam bentuk grafik. Pengukuran temperatur PCM, air dan udara terhadap waktu dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. Grafik temperatur terhadap waktu pada pengukuran temperatur Sarang Lebah dan Udara.

Dari gambar 3 dapat diperhatikan bahwa sarang lebah juga memiliki sifat penyimpan panas laten yang diperlihatkan dari grafik temperatur terhadap waktu. Untuk menentukan temperatur beku atau lebur ( $T_{m1}$  dan  $T_{m2}$ ), maka dapat ditentukan dengan menganalisa grafik hubungan perubahan temperatur  $\Delta T$  terhadap waktu ( $t$ ) berikut ini.



Gambar 4. Grafik perubahan temperatur ( $\Delta T$ ) Sarang Lebah terhadap waktu ( $t$ ).

Pada gambar 4 juga memperlihatkan bahwa proses peyerapan dan pelepasan panas laten terjadi antara temperatur  $52,4^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $61,79^{\circ}\text{C}$  sehingga sarang lebah juga merupakan salah satu PCM. Sama dengan halnya pada paraffin bahwa sarang lebah juga mempunyai perubahan temperatur ( $\Delta T$ ) yang mendekati konstan atau nol antara  $52,4^{\circ}\text{C}$  dan  $61,79^{\circ}\text{C}$ . Hal ini juga yang menyatakan bahwa proses perubahan fasa atau proses penyerapan dan pelepasan panas laten terjadi pada temperatur tersebut.

Berdasarkan persamaan 6, 7, 8, 9 dan 13 dengan metode T-History di atas dapat dihitung  $C_p$ ,  $H$ , dan  $k$  dari Parafin dan Sarang Lebah seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Data hasil perhitungan dengan menggunakan metode T-History.

No	PCM	T – History				DSC
		Tm ( <sup>0</sup> C)	Cp (KJ/kg.K)	k (W/mK)	Hm (KJ/kg)	Hm (KJ/kg)
1	Parafin	52,72 – 59,9	2,54 – 3,57	0,18	249,42	251
2	Sarang Lebah	52,4 – 61,79	2,65 – 3,45	0,234	171	-

### 5. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menginventarisasi karakteristik sarang lebah sebagai material penyimpan panas (PCM) dengan menggunakan metode T-History, dari hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan metode T-History maka dapat disimpulkan :

1. Sarang lebah di Kabupaten Aceh Besar memiliki panas laten (Hm) yang baik sebagai PCM.
2. Sarang lebah di Kabupaten Aceh Besar memiliki konduktivitas termal (k) yang baik dibandingkan dengan paraffin yaitu sebesar 0,234 W/mK.
3. Sarang lebah di Kabupaten Aceh Besar dapat digunakan sebagai PCM berdasarkan analisis sifat-sifat termofisik material penyimpan kalor yang dilakukan menggunakan metode T-history.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohamed Rani Hamdi Ahmed Abdel Salam, 2011, Simulation and Optimization of Solar Thermal System Integrated with PCM Thermal Energy Storage for Seawater Desalination, *A Thesis Submitted to the Faculty of Engineering, Kassel University, Kassel, Germany*
- [2] Zhang Jinping and Jiang Yi, 1999, A simple method, the T-history method, of determining the heat of fusion, specific heat and thermal conductivity of phase-change materials, *publikasi jurnal : <http://iopscience.iop.org/0957-0233/10/3/015>*.
- [3] Sharma Atul, Tyagi V.V., Chen C.R., and Buddhi D., 2009 , Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials and Applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, pp. 318–345*.