



**PAPER – OPEN ACCESS**

# Kajian Peleburan Dan Pembekuan Material Berubah Fasa Pada Thermal Storage

Author : Chandra A Siregar  
DOI : 10.32734/ee.v1i1.122  
ISSN : 2654-7031  
E-ISSN : 2654-704X

*Volume 1 Issue 1 – 2018 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



# Kajian Peleburan Dan Pembekuan Material Berubah Fasa Pada *Thermal Storage*

Chandra A Siregar<sup>a\*</sup>, Ilmi Abdullah<sup>b</sup>, Himsar Ambarita<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan*

<sup>b</sup>*Magister Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Medan*

<sup>c</sup>*Pusat Riset Sustainable Energy, Universitas Sumatera Utara, Medan*

ndra\_mei86@yahoo.co.id

## Abstrak

Kajian fenomena peleburan dan pematatan material berubah fasa (Phasa Change Material/PCM) dilakukan untuk mengamati proses peleburan dari Paraffin Wax dan Stearic Acid. Percobaan dilakukan pada temperatur 90 °C, 85 °C, dan 80 °C dengan menggunakan kotak kaca dan durasi waktu peleburan 600 menit. Pengamatan visualisasi dilakukan dalam bentuk foto. Hasil pengamatan visualisasi menyatakan bahwa temperatur Thermal Energy Storage (TES) yang lebih tinggi bergerak keatas. Oleh karena itu, proses peleburan terlebih dahulu terjadi pada bagian atas. Selain itu, dalam proses pembekuan TES dimulai dari bagian bawah menuju ke atas. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa Paraffin Wax lebih efektif digunakan daripada Stearic Acid karena mampu menyerap panas lebih tinggi. Pada temperatur pengujian 90 °C diperoleh nilai panas tersimpan pada Paraffin sebesar 61,84 kJ sedangkan pada Stearic Acid 57,392 kJ.

*Kata Kunci:* Thermal Energy Storage; peleburan dan pembekuan;

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan Negara tropis yang mendapat sinar atau radiasi matahari dengan intensitas cukup tinggi. Intensitas radiasi matahari yang sampai ke bumi dapat dimanfaatkan sebagai penyedia energi alternatif dan berkesinambungan dan tidak habis (renewable energy). Pemanfaatan energi matahari tersebut dapat dilakukan dengan konversi panas dan konversi pembangkit listrik tenaga surya (fotovoltaik).

Jaisankar, dkk [1] menyebutkan Pemanfaatan energi matahari melalui konversi panas jauh lebih efisien daripada dengan menggunakan teknologi fotovoltaik. Sistem fotovoltaik hanya memiliki efisiensi sekitar 17%, sedangkan efisiensi konversi panas matahari dapat mencapai sekitar 70%.

Salah satu penggunaannya pada aplikasi pemanas air tenaga matahari (Solar Water Heater). Namun pada prakteknya pemanas air membutuhkan sumber energi energi tambahan yakni energi listrik untuk menjaga konsistensi temperatur air. Rekayasa teknologi terus dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satunya dengan melakukan penambahan material penyimpanan panas (Thermal Energy Storage/TES).

TES merupakan material berubah fasa (Phasa Change Material/PCM) yang dapat melebur dan membeku. S.A Khot,dkk [2] mengungkapkan PCM merupakan suatu zat dengan kapasitas penyimpanan panas laten yang tinggi, melebur dan padat pada suhu tertentu. Memiliki kemampuan menyimpan dan melepaskan energi. PCM dianggap mampu untuk menyerap panas. Kriteria konduksi dan konveksi perpindahan panas memungkinkan PCM untuk menyimpan panas ini sebagai panas laten.

Material ini dianggap merupakan sebuah solusi untuk mengganti peran energi listrik pada aplikasi Solar Water Heater sehingga dapat mengatasi/mengurangi penggunaan energi listrik. Hal ini sesuai dengan kebijakan pemerintah Republik Indonesia terkait kebijakan penghematan energi nasional sehingga subsidi BBM dan Listrik dapat dikurangi.

Mettawe, dkk [3] menyatakan lilin (*paraffin wax*) merupakan salah satu jenis PCM yang berfungsi sebagai penyimpanan panas laten pada pemanas air tenaga surya. Hasil percobaan dengan penerapan kolektor surya untuk pemanas air menunjukkan proses penyerapan energi matahari, koefisien perpindahan panas rata-rata meningkat dengan meningkatnya ketebalan lapisan cairan lilin.

Dalam penelitian ini diberikan pembatasan masalah terkait PCM yang akan digunakan yakni *Paraffin Wax* dan *Stearic Acid*. Sehingga dapat memberikan informasi terkait fenomena/proses peleburan dan karakteristik *paraffin wax*, *stearic acid* pada saat berubah fasa dari cair ke padat dan dari padat ke cair. Selain itu, juga untuk mengkonfirmasi kesesuaian *paraffin wax*, *stearic acid* dalam meningkatkan kinerja termal serta memberikan informasi terkait analisis kecepatan penyerapan dan pelepasan panas dari dua jenis PCM yakni *paraffin wax*, *stearic acid*.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Rancangan Alat Uji

Pada penelitian ini, material PCM yang digunakan adalah *Paraffin Wax* dan *Stearic Acid*. Pengujian dilakukan pada tiga temperatur yang berbeda yakni pada 90 oC, 85 oC dan 80 oC. PCM yang akan diuji masing-masing 0,8 Kg. Sebagai tempat alat uji digunakan wadah berbahan kaca guna memudahkan melakukan pengamatan peleburan dan pembekuan. Wadah berbentuk persegi panjang dengan ukuran 300 mm x 100 mm x 100 mm yang terbagi dalam tiga bagian dan dibatasi/disekat oleh sebuah plat aluminium dengan tebal 2 mm dan dimensi 100 mm x 100 mm. Menurut C.A. Bauer, dkk [5] penambahan plat aluminium dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan laju perpindahan panas dari sumber panas ke PCM.

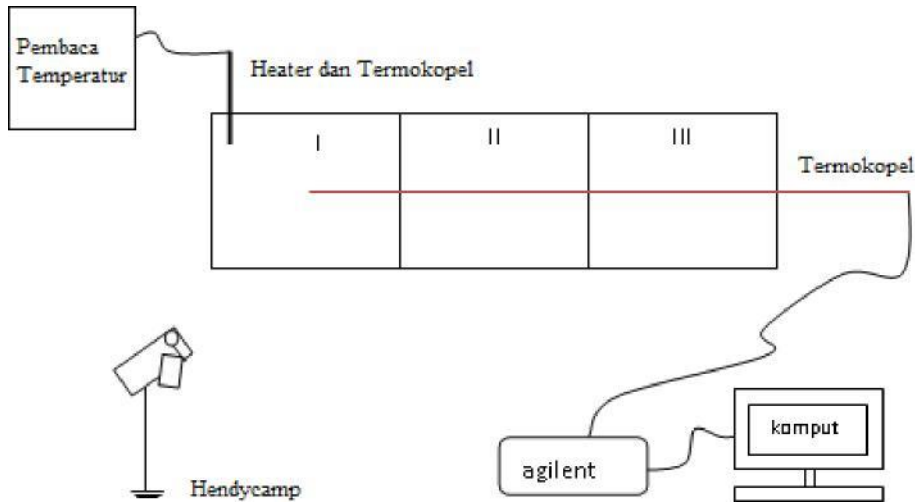
Pada bagian kotak I, air akan dipanaskan dengan menggunakan alat pemanas air (heater) yang dilengkapi dengan sistem kontrol temperatur. Air panas tersebut akan mentransferkan panas ke bagian II yang didalamnya terdapat material uji. Sehingga material uji akan berubah fasanya dari fasa padat ke cair (melting).

Pada bagian kotak II diberikan termokopel sebanyak 9 titik yang terhubung dengan agilent yang berfungsi untuk merekam data-data temperatur per menit. Penempatan titik – titik termokopel tersebut ditampilkan pada tabel 1 dibawah ini. Sedangkan pada kotak III hanya diisi air pada temperatur lingkungan (27 – 28 OC) dan tidak diberikan sumber panas lain.

Tabel 1. Koordinat penempatan titik-titik termokopel

No	Termokopel	X (mm)	sumbu koordinat Y (mm)	Z (mm)
1	T1	25	25	25
2	T2	50	25	25
3	T3	75	25	25
4	T4	25	50	50
5	T5	50	50	50
6	T6	75	50	50
7	T7	25	75	75
8	T8	50	75	75
9	T9	75	75	75

Pengamatan secara visual berupa foto dan video dilakukan dengan menggunakan kamera. Pengujian yang dilakukan akan memberikan informasi terkait analisis kecepatan penyerapan dan pelepasan panas dari kedua jenis PCM yang digunakan. Secara umum, rancangan alat penelitian ditampilkan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Susunan Wadah kaca sebagai tempat alat uji.

Tabel 2. Sifat-sifat termophysical material berubah fasa yang digunakan dalam penelitian.

Sifat-sifat	<i>Paraffin wax</i> (S.A Khot, 2011)	<i>Stearic acid</i> (Sharma, 2009)
<i>Melting temperature</i> (°C)	59,8	55,1
<i>Latent heat of fusion</i> (kJ/kg)	190	160
<i>Density</i> (kg/m <sup>3</sup> )		
<i>Solid</i>	910	965
<i>Liquid</i>	790	848
<i>Specific heat</i> (kJ/(kg.°C))		
<i>Solid</i>	2,0	1,6
<i>Liquid</i>	2,15	2,2
<i>Thermal conductivity</i> (W/m.K)		
<i>Solid</i>	0,24	0,36 (Heri, 2012)
<i>Liquid</i>	0,22	0,172

## 2.2. Prinsip Kerja

Pada kotak kaca I diberikan pemanas dengan kapasitas Daya 500 Watt (pabrikasi) dan Tegangan 220 volt, pemanas tersebut dirangkai dengan satu unit termokopel yang berfungsi untuk menjaga dan mengatur temperatur. Sebagai contoh, pada pengujian 90 °C pemanas akan berhenti berfungsi apabila termokopel sudah menunjukkan temperatur 92 °C dan akan kembali berfungsi pada temperatur 88 °C. Prinsip yang sama juga akan terjadi pada pengujian 85 °C dan 80 °C .

Kotak pertama akan mengairkan panas ke kotak kedua melalui dinding aluminium karena pada prinsipnya panas dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lain atau dari suatu benda ke benda yang lain atau dari suatu zat ke zat yang lain karena adanya perbedaan temperatur. Dengan kata lain, panas hanya akan berpindah dari suatu benda ke benda yang lain jika terdapat perbedaan temperatur antara dua benda tersebut. Panas akan berpindah dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah [7].

*Latent heat storage* (LHS) atau penyimpanan panas laten didasarkan pada penyerapan panas ketika bahan penyimpanan mengalami perubahan fase dari padat ke cair atau cair ke cair. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengubah material dari satu fasa ke fasa lainnya dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_c = m \cdot a_m \cdot \Delta h_m \quad (1)$$

Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan Hukum Fourier [8]. Laju perpindahan panas secara konduksi dan konveksi dirumuskan dalam persamaan 2 dan 3 sebagai berikut:

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

$$Q_{konv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Nilai koefisien konveksi dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini:

$$h = \frac{Nu k}{L} \quad (4)$$

Jumlah panas yang tersimpan dapat dirumuskan sebagai berikut

$$qm = m \cdot cp \cdot (Tf - Ti) \quad (5)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

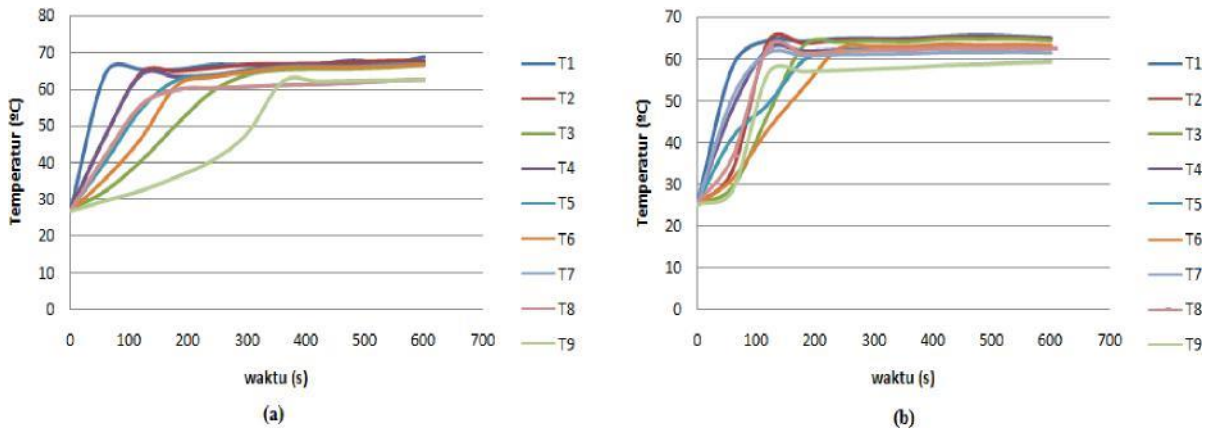
Pada paper ini yang akan ditampilkan hanya hasil pengujian pada temperatur 90 °C dengan durasi waktu 600 menit. Pengukuran temperatur untuk melihat laju perpindahan panas dilakukan dengan 9 titik pengukuran.

Tabel 3: Hasil pengukuran temperatur Paraffin Wax per 60 menit pada proses peleburan pada temperatur 90 °C

No	Waktu (menit)	Temperatur (°C)								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	1	26,879	26,994	26,954	26,865	26,996	26,776	26,876	26,876	26,887
2	60	64,545	47,332	32,186	47,501	40,234	35,756	42,079	42,079	29,753
3	120	65,521	64,464	40,314	63,75	54,486	46,547	55,58	55,58	32,45
4	180	65,45	64,873	50,239	63,255	62,344	60,972	59,737	59,737	36,216
5	240	66,779	65,775	59,243	63,623	63,376	63,301	60,124	60,124	40,606
6	300	66,616	66,766	63,86	65,017	64,835	64,696	60,519	60,519	48,074
7	360	66,717	66,827	65,237	66,195	66,075	65,902	60,993	60,993	62,236
8	420	66,845	66,943	65,491	66,286	66,119	66,05	61,192	61,192	62,244
9	480	67,953	67,342	65,545	66,193	66,093	65,948	61,649	61,649	62,456
10	540	67,118	67,725	65,89	66,595	66,459	66,355	62,184	62,184	62,567
11	600	68,889	67,667	66,636	66,833	66,541	66,669	62,544	62,488	62,628

Tabel 4: Hasil pengukuran temperatur Stearic Acid per 60 menit pada proses peleburan pada temperatur 90 °C

No	Waktu	TERMOKOPEL								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	0	25,467	25,177	25,159	25,246	25,252	25,229	25,235	25,293	25,217
2	60	58,218	33,456	29,367	48,161	41,182	31,382	50,792	36,557	28,634
3	120	64,355	64,124	46,618	62,351	49,161	43,12	61,295	62,887	56,403
4	180	64,119	63,699	62,98	61,74	59,709	53,034	60,634	61,377	56,832
5	240	64,793	64,476	63,94	62,046	62,076	62,356	60,86	61,886	57,134
6	300	64,793	64,544	64,154	62,27	62,31	62,884	60,964	62,194	57,489
7	360	64,826	64,482	64,039	62,369	62,403	62,894	61,073	62,201	57,812
8	420	65,317	65,163	64,737	62,745	62,818	63,47	61,399	62,708	58,358
9	480	65,59	65,243	64,652	62,681	62,708	63,207	61,36	62,522	58,552
10	540	65,321	65,085	64,734	62,812	62,859	63,352	61,459	62,665	58,943
11	600	64,947	64,7	64,296	62,564	62,631	63,143	61,306	62,448	59,202



Gambar 2. Grafik hubungan temperatur pada pengujian peleburan dengan waktu pada Paraffin Wax (a) dan Stearic Acid (b) pada pengujian peleburan temperatur 90 °C.

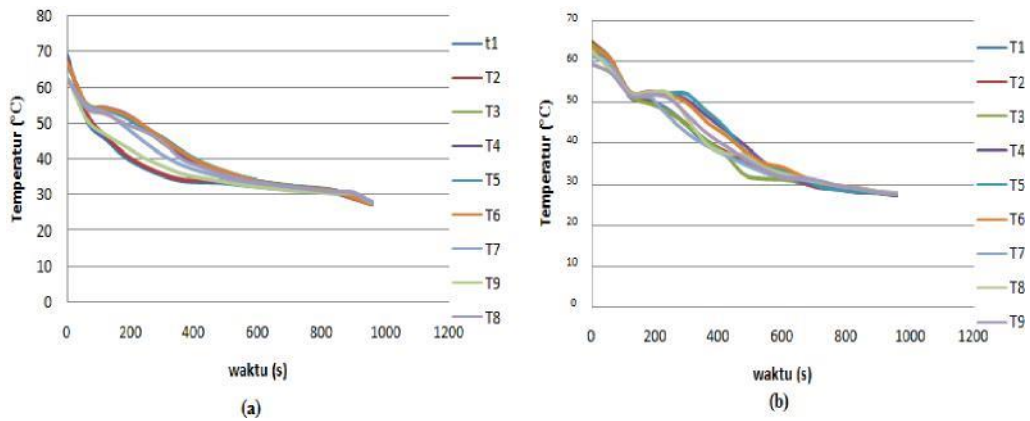
Dengan demikian diperoleh temperatur tertinggi rata-rata yakni pada pengujian temperatur 90 °C, Paraffin Wax memiliki temperatur rata-rata 65,655 °C sedangkan pada Stearic Acid 62,82 °C. Pada pengujian dengan temperatur 85 °C, Paraffin Wax memiliki temperatur rata-rata 64,24 °C sedangkan pada Stearic Acid 62,29 °C. Pada pengujian dengan temperatur 80 °C, Paraffin Wax memiliki temperatur rata – rata 62,54 °C, sedangkan pada Stearic Acid 57,10 °C.

Tabel. 5. Hasil pengukuran temperatur Paraffin Wax per 60 menit pada proses pembekuan dari temperatur pengujian 90 °C

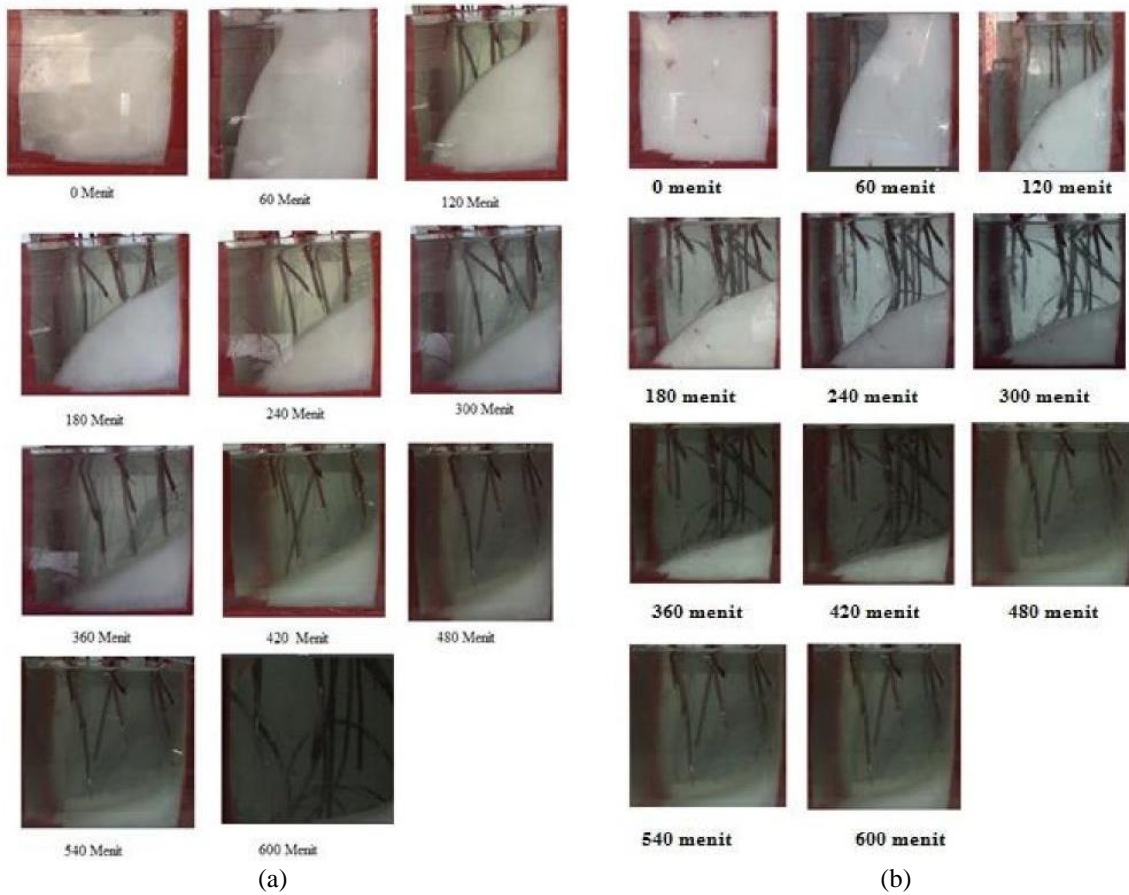
No	Waktu (menit)	TERMOKOPEL								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	0	68,889	67,667	66,636	66,833	66,541	66,669	62,544	62,488	62,628
2	60	50,848	52,918	55,397	55,254	55,154	55,17	55,011	54,208	51,008
3	120	45,534	46,469	54,258	54,344	53,904	54,116	53,028	52,667	46,733
4	180	40,669	41,463	52,123	52,753	51,724	52,429	49,207	50,007	43,569
5	240	37,528	38,13	48,548	49,291	48,76	49,375	44,919	47,99	40,36
6	300	35,357	35,766	44,357	44,982	46,101	45,736	41,082	44,968	37,951
7	360	33,919	34,258	40,769	41,242	42,383	42,026	38,286	40,124	35,819
8	420	33,548	34,122	38,298	38,444	39,323	39,052	36,417	37,984	34,72
9	480	33,437	33,812	36,591	36,663	37,148	37,046	35,003	36,012	33,86
10	540	32,872	33,114	35,005	35,071	35,342	35,293	33,779	34,651	32,948
11	600	32,284	32,525	33,812	33,837	33,985	33,889	32,861	33,667	32,153
12	660	31,756	32,069	33,059	32,963	33,046	33,006	32,27	32,932	31,643
13	720	31,502	31,689	32,363	32,364	32,417	32,279	31,712	32,237	31,053
14	780	31,242	31,432	31,973	31,895	31,876	31,889	31,316	31,567	30,843
15	840	30,638	30,685	31,265	31,293	31,256	31,233	30,824	30,913	30,258
16	900	28,968	28,936	29,579	29,643	29,63	29,332	30,712	30,667	30,342
17	960	27,288	27,196	27,869	27,933	27,974	27,43	27,872	27,781	27,621

Tabel. 6. Hasil pengukuran temperatur Stearic Acid per 60 menit pada proses pembekuan dari temperatur pengujian 90 °C

No	Waktu (Menit)	TERMOKOPEL (°C)								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	0	64,947	64,7	64,296	62,564	62,631	63,143	61,306	62,448	59,402
2	60	60,339	60,431	60,493	60,062	60,159	60,388	59,032	57,634	57,249
3	120	51,421	51,771	51,847	52,56	52,479	52,395	52,153	52,053	51,796
4	180	50,674	50,037	49,881	52,566	52,474	52,39	51,491	52,21	51,934
5	240	48,359	47,61	47,993	52,147	52,254	51,911	46,629	52,135	51,239
6	300	44,428	44,561	44,412	50,656	52,065	49,701	42,441	45,91	46,988
7	360	39,975	40,738	40,874	46,821	47,983	45,204	39,397	39,772	42,637
8	420	37,638	37,991	37,345	43,377	43,891	41,924	37,12	37,456	39,372
9	480	35,145	36,325	32,403	39,633	38,098	38,009	34,801	36,98	36,357
10	540	33,074	33,094	31,469	35,589	34,987	35,012	32,893	34,091	33,616
11	600	31,908	31,892	31,286	32,738	33,324	33,987	31,629	32,479	31,747
12	660	30,301	30,547	30,67	30,761	31,891	31,761	31,098	31,342	31,542
13	720	29,984	29,123	29,879	29,345	29,341	30,124	30,435	30,536	30,871
14	780	29,342	28,98	29,098	28,769	28,674	29,561	29,563	29,412	29,563
15	840	28,78	28,091	28,567	28,067	28,12	28,967	28,761	28,901	28,976
16	900	28,102	27,98	28,032	27,943	27,934	28,032	28,036	28,121	28,034
17	960	27,56	27,312	27,651	27,329	27,564	27,671	27,783	27,732	27,56



Gambar 4. Grafik hubungan temperatur pada pengujian pembekuan dengan waktu pada Paraffin Wax (a) dan Stearic Acid (b) dari temperatur pengujian temperatur 90 °C.



Gambar 5. Bentuk — bentuk visualisasi peleburan Paraffin Wax (a) dan Stearic Acid (b) setiap 60 menit.

Hasil perhitungan jumlah panas tersimpan pada setiap pengujian ditampilkan pada tabel 7 dibawah ini.



Tabel 7. Hasil perhitungan jumlah panas tersimpan

Material	T	Pegujian		Tf (°C)	Ti (°C)	qm (kj)
	(°C)	m (kg)	cp (kJ/Kg °C)			
Paraffix Wax	90	0,8	2	65,65	27	61,84
Paraffix Wax	85	0,8	2	62,87	27	57,392
Paraffix Wax	80	0,8	2	60,63	27	53,808
Stearic Acid	90	0,8	1,6	63,101	27	46,20928
Stearic Acid	85	0,8	1,6	58,15	27	39,872
Stearic Acid	80	0,8	1,6	57,753	27	39,36384

#### 4. Kesimpulan

Dari percobaan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Paraffin Wax memiliki efektifitas penyerapan panas yang lebih tinggi daripada Stearic Acid. Hal ini juga sejalan dengan temperatur hasil pengukuran, diperoleh bahwa temperatur tertinggi dimiliki oleh Paraffin Wax. Selain itu, Paraffin Wax juga memiliki kemampuan dalam penyimpanan panas yang lebih baik daripada Stearic Acid. Sehingga dapat diberikan rekomendasi bahwa Paraffin Wax lebih baik digunakan daripada Stearic Acid sebagai material penyimpan panas. Pada proses peleburan dan pembekuan, kedua material ini memiliki kesamaan yakni peleburan dimulai dari sumber panas kemudian mengalir ke bagian atas lalu ke bagian bawah. Pada pembekuan dimulai dari bagian bawah bergerak ke bagian atas.

#### Daftar Pustaka

- [1] Jaisankar S., Ananth J., Thulasi S. Jayasuthakar S.T., and Sheeba, K.N. (2011). Comprehensive Review On Solar Water Heaters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews (Elsevier)*, 15 (2011) 3045– 3050.
- [2] Khot S.A., Sane N.K., and Gawali B.S. (2011). Experimental Investigation of Phase Change Phenomena of Paraffin Wax inside a Capsule. *International Journal of Engineering Trends and Technology- Volume 2 Issue 2 (2011)* ISSN 2231-5381.
- [3] Mettawee. Eman Bellah S., Assassa. Ghazy M.R. (2006). Experimental study of a compact PCM solarcollector. *Energi (elsevier)* 31 (2006) 2958–2968.
- [4] [Liputan6.com](http://www.liputan6.com). (2012). Presiden Umumkan Lima Kebijakan Penghematan Energi. <http://www.liputan6.com/globe/406508/>. Diakses tanggal 06 Juni 2012.
- [5] C.A. Bauer, R.A. Wirtz, (2000). Thermal characteristics of a compact, passive thermal energy storage device. Proceedings of the 2000 ASME IMECE, Orlando (Florida, USA).
- [6] Sharma, A., Chen, C.R., Murty V.V.S., and Sukla, A. (2009). *Solar Cooker With Latent Heat Storage System : A Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier vol 13 (2009) 1559 – 1605
- [7] Duffie, Jhon A. and Beckman, William. A. (2006) *Solar Engineering of Thermal Processes*, first edition, Jhon Wiley & Sons Inc., New York.,
- [8] Cengel, A. Yunus. (2002). *Heat Transfer*. E-book Eddition.