

## ANALISIS PEMANFAATAN PARAFIN DI *THERMAL ENERGY STORAGE* PADA *SOLAR WATER HEATER*

### ANALYSIS OF PARAFFIN UTILIZATION IN *THERMAL ENERGY STORAGE* ON *SOLAR WATER HEATER*

Gesi Oktaviani Prianto<sup>1</sup>, Amaliyah R.I.U<sup>2</sup>, M. Ramdhan Kirom<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>gesioktavianip@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id.

---

#### Abstrak

Indonesia merupakan negara tropis dengan potensi energi matahari yang besar. Energi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai *Solar Water Heater* untuk kebutuhan rumah tangga maupun komersial. Pada penelitian ini digunakan parafin sebagai *Phase Change Material* pada *Thermal Energy Storage* yang ditambahkan pada *Solar Water Heater*. SWH diuji pada beberapa variasi intensitas dan kondisi penggunaan PCM dan tanpa PCM. Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup dengan simulator radiasi matahari sebagai pengganti matahari dengan temperatur awal air 24°C. Hasil dari penelitian ini didapatkan waktu penyimpanan temperatur air dari 37°C hingga 35°C pada sistem dengan PCM lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penggunaan PCM. Waktu yang didapat pada sistem dengan penggunaan PCM sebesar 58 menit dengan nilai rata-rata efisiensi tertinggi 29.15% sedangkan pada sistem tanpa penggunaan PCM sebesar 50 menit dengan nilai rata-rata efisiensi tertinggi 51.97%.

**Kata kunci:** *Solar Water Heater, Thermal Energy Storage, Phase Change Material, Paraffin.*

---

#### Abstract

Indonesia is a tropical country with great potential for solar energy. A *Solar Water Heater (SWH)* uses the potency for both household and commercial needs. This study uses paraffin for *Thermal Energy Storage* as a *Phase Change Material* then added to the SWH. SWH tested on several variations in the intensity and conditions with and without PCM. The test had done in a closed room using a solar radiation simulator as a substitute for the sun with an initial water temperature of 24°C. This study showed that the water temperature storage time from 37°C to 35°C in a system with PCM was higher than without using the PCM. The time gained in the system using PCM was 58 minutes with the highest average efficiency value of 29.15%, when the system without PCM usage was 50 minutes with the highest average efficiency value of 51.97%.

**Keywords:** *Solar Water Heater, Thermal Energy Storage, Phase Change Material, Paraffin.*

---

#### 1. Pendahuluan

Energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia sebagai negara tropis [1]. Besarnya energi matahari menyebabkan teknologi pemanfaatan energi matahari terus menerus dikembangkan. Salah satu dari pemanfaatannya adalah *Solar Water Heater (SWH)*, teknologi ini merupakan konversi energi matahari yang cukup efektif, namun belum cukup ekonomis. Hal tersebut dikarenakan SWH masih menggunakan pemanas listrik pada tangki, untuk menjaga temperatur air agar tetap konstan ketika sistem tidak cukup menerima energi matahari, dan menyebabkan biaya operasional yang cukup meningkat. Solusi yang tepat untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan penambahan *Thermal Energy Storage (TES)* pada sistem SWH seperti yang telah dilakukan oleh Jufrizal, Farel H. Napitupulu, dan Himsar Ambarita yang melakukan studi eksperimental performansi SWH jenis kolektor plat datar dengan penambahan TES menggunakan *Stearic Acid* [2]. Kemudian ada Fauzi, Tulus B. Sitorus, dan Himsar Ambarita yang meneliti rancangan bangun pemanas air tenaga surya tipe kotak sederhana yang dilengkapi *Phase Change Material* [3]. Pada penelitian ini dilakukan kajian secara eksperimental untuk menganalisis efisiensi *Solar Water Heater* dengan penambahan *Thermal Energy Storage* menggunakan parafin sebagai *Phase Change Material* yang digabungkan dengan *Heat Exchanger* dalam

satu wadah. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi intensitas dengan sistem dengan penggunaan PCM dan tanpa PCM.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Solar Water Heater

SWH merupakan salah satu pemanfaatan dari energi matahari yang menggunakan kolektor untuk menyerap panas dari matahari. SWH memiliki komponen utama, yaitu kolektor, tangki dan pipa sambung antar komponen agar sistem dapat digunakan. SWH mempunyai dua jenis sistem, yaitu: sistem aktif yang merupakan sistem menggunakan komponen penyalur air dan sistem pasif yang merupakan sistem yang menggunakan kondisi konveksi natural sebagai penyalur air dimana air yang mengalami kenaikan suhu akan naik ke dalam tangki sedangkan air yang suhunya lebih rendah dapat turun ke kolektor [4]. Penelitian ini menggunakan SWH sistem aktif dengan menggunakan pompa sebagai penyalur alir.

### 2.2 Thermal Energy Storage

*Thermal Energy Storage* (TES) merupakan media penyimpan sementara termal panas atau dingin dalam menghemat energi pada *Solar Water Heater* untuk digunakan dalam waktu yang diperlukan. Pada beberapa macam bentuk TES, bentuk LHS yang lebih sering digunakan oleh peneliti dikarenakan pada bentuk ini, perubahan volume yang kecil.

### 2.3 Phase Change Material

PCM sebagai *Thermal Energy Storage* juga dapat memperpanjang waktu penggunaan sistem SWH yang menggunakan energi terbaharukan terutama pada PCM yang diaplikasikan pada sistem pemanas. Hal ini terjadi karena pada proses pelelehan ataupun pembekuannya terjadi perubahan fasa yang menyebabkan panas diserap maupun dilepaskan [6]. Pada penelitian ini digunakan parafin sebagai PCM dikarenakan parafin memiliki beberapa karakteristik yang cocok untuk digunakan pada TES HE memiliki kepadatan penyimpanan energi termal sedang dan konduktivitas termal yang rendah.

Pada penelitian ini digunakan material yang memiliki karakteristik khusus guna meningkatkan kapasitas panas air seperti sifat termal dan kimia yang stabil, memiliki rentang suhu yang diinginkan pada penelitian, suhu laten yang tinggi sehingga dengan jumlah material yang sedikit sudah dapat menyimpan energi di dalamnya, *Specific Heat Capacity* yang tinggi sehingga dapat menambahkan efek penyimpanan sensibel serta menghindari terjadinya subcooling, dan tidak bersifat korosif.

### 2.4 Efisiensi Termal

Untuk mendapatkan nilai efisiensi dari sistem, dibutuhkan beberapa nilai parameter dari data yang didapatkan, data tersebut diolah yang kemudian menghasilkan nilai efisiensi. Untuk mengukur intensitas radiasi matahari dapat digunakan rumus:

$$Q_r = I \cdot A \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

$Q_r$  = Kalor radiasi (J)

$I$  = Intensitas matahari ( $W/m^2$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$ )

Sedangkan untuk mendapatkan nilai kalor serap dapat digunakan rumus *sensible heat* sebagai berikut :

$$Q_{\text{serap}} = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

$Q_{\text{serap}}$  = Kalor air (J)

$m$  = Massa air (kg)

$c$  = Kalor jenis air ( $J/kg^\circ C$ )

$\Delta T$  = Perubahan suhu air ( $^\circ C$ )

Dari kedua persamaan tersebut kemudian dimasukkan kedalam persamaan untuk mendapatkan efisiensi pada sistem adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{m.c.\Delta T}{I.A} \dots\dots\dots (2.3)$$

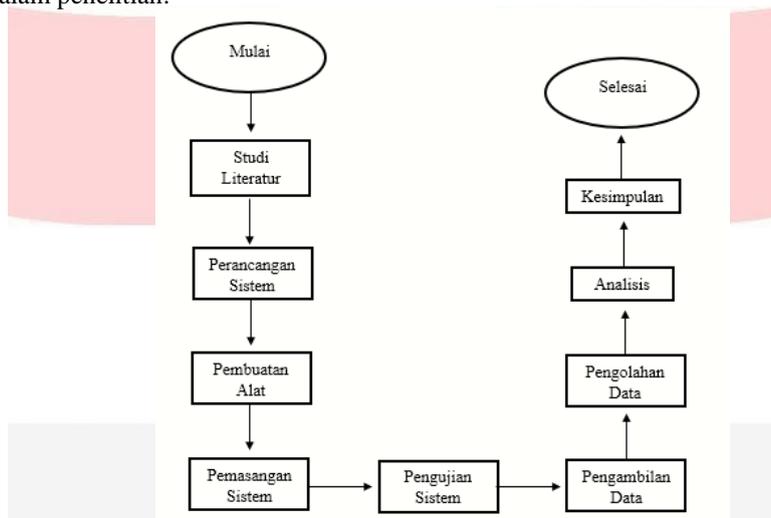
dimana:

$\eta$  = Efisiensi (%)

**3. Metodologi Penelitian**

**3.1 Diagram Alir Penelitian**

Pada bab ini dijelaskan langkah-langkah yang akan dilakukan untuk mempermudah dan menyelesaikan masalah yang ada dalam penelitian.

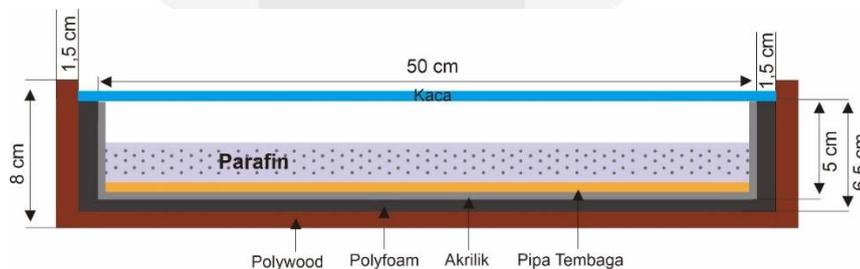


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa penelitian dimulai dengan studi literatur dari berbagai sumber informasi. Kemudian dilakukan pembuatan sistem dan pengujian sistem. Hasil dari pengujian sistem akan diolah serta dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan.

**3.2 Desain Sistem**

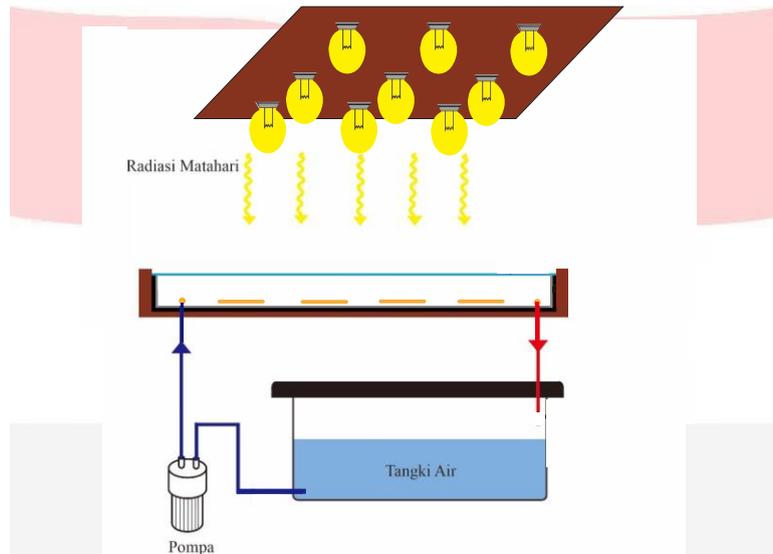
Pada penelitian ini digunakan TES *Heat Exchanger* dimana perangkat *Heat Exchanger* dan *Thermal Energy Storage* digabungkan seperti pada Gambar 2. *Heat Exchanger* dibuat dari pipa tembaga ¼ inci yang dibentuk berliku-liku guna menyerap panas yang dipancarkan simulator radiasi matahari serta untuk mengalirkan air dari dan menuju tangki. TES HE terbuat dari akrilik setebal 0,5 cm dibentuk seperti wadah kotak tanpa penutup, kemudian dilapisi polywood setebal 1,5 cm, dan dilapisi kembali oleh polyfoam setebal 1,5 cm sebagai bahan isolator sistem agar kalor dari ruang TES HE tidak keluar ke lingkungan dan temperatur tetap terjaga TES *Heat Exchanger* akan memanaskan air sebanyak 5 liter dari suhu normal ~24°C hingga parafin mencapai suhu latennya, kemudian panas tersebut dilepaskan ke air yang mengalir dan dicatat suhu airnya pada temperatur 37°C hingga kembali ke 35°C.



Gambar 2. Desain TES HE

**3.3 Detail Eksperimen**

Pada penelitian ini terdapat dua macam pengujian yaitu sistem tanpa PCM dan dengan penambahan PCM berupa parafin. Berdasarkan Gambar 3 pengujian ini menggunakan simulator radiasi matahari yang terdiri dari 9 buah bohlam yang masing-masing sebesar 100 watt, kemudian diletakkan di atas TES HE berjarak 15,5 cm pada variasi intensitas yang diubah berdasarkan 3 titik sudut poin dimmer, yaitu  $360^\circ$ ,  $315^\circ$  dan  $270^\circ$ . Uji tanpa menggunakan parafin dilakukan terlebih dahulu untuk memudahkan pengujian dikarenakan parafin yang diletakkan di atas pipa tembaga akan mencair dan membeku serta dilakukan dengan keadaan air mengalir dari awal hingga akhir pengujian. Sedangkan, pengujian dengan menggunakan parafin memiliki dua proses yaitu charging, dimana parafin akan dipanaskan oleh simulator radiasi matahari hingga mencair seluruhnya dan dapat menyerap panas yang dibutuhkan, dan discharging dimana panas dari simulator radiasi matahari sudah tidak lagi didapatkan maka panas yang diserap oleh parafin akan tertransfer pada air yang mengalir melalui pipa tembaga. Namun, kedua proses tersebut ada dalam satu kali pengujian. Namun, kedua proses tersebut ada dalam satu kali pengujian. Parameter yang diukur berupa intensitas cahaya, temperatur pada fluida di setiap variasi uji, dan laju massa air.

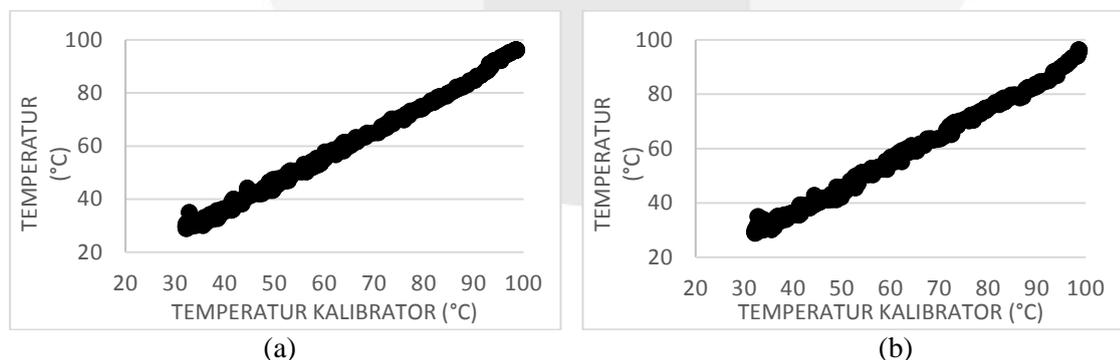


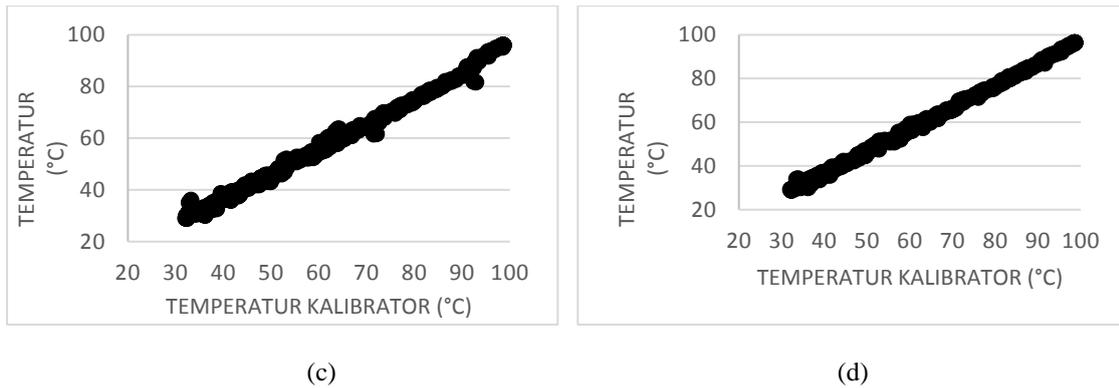
Gambar 3. Pengujian sistem

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Hasil Kalibrasi pada Sensor Termokopel

Kalibrasi sensor termokopel berfungsi agar pengukuran yang telah dilakukan oleh termokopel sesuai dengan suhu lingkungan sebenarnya pada *digital thermometer huato HE804*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan empat termokopel yaitu untuk pengukuran temperatur parafin, lingkungan dan pengukuran temperatur air dengan range suhu  $30\text{-}100^\circ\text{C}$ .





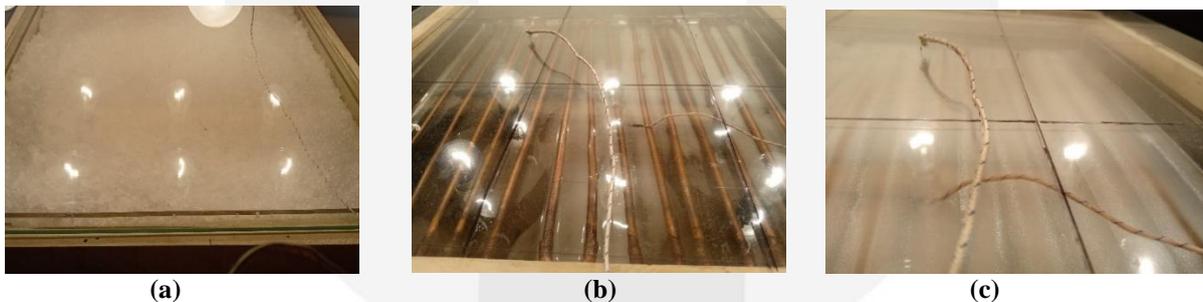
Gambar 4. Grafik (a) Temperatur kalibrasi termokopel parafin (b) Temperatur kalibrasi termokopel lingkungan (c) Temperatur kalibrasi termokopel air inlet (d) Temperatur kalibrasi termokopel air outlet.

Hasil kalibrasi didapat dari Gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4 berupa persamaan  $Y_1=0,9979x - 3,7852$  untuk termokopel parafin,  $Y_2=0,973x - 2,9085$  untuk termokopel lingkungan,  $Y_3=0,9873x - 3,3205$  untuk termokopel air inlet,  $Y_4=1,0146x - 4,1754$  untuk termokopel air outlet. Berdasarkan persamaan 4.1 untuk mendapatkan nilai error, jika diambil titik suhu sembarang, nilai error pada termokopel parafin dan pada termokopel lingkungan sebesar 7,3%, pada termokopel air inlet sebesar 8,7%, serta pada termokopel air outlet sebesar 10,2%. Sehingga nilai ketidakpastian pada  $T_1=(24 \pm 1,7)^\circ\text{C}$ ,  $T_2=(24 \pm 1,7)^\circ\text{C}$ ,  $T_3=(24 \pm 2,08)^\circ\text{C}$ , dan  $T_4=(24 \pm 2,4)^\circ\text{C}$ . Besar nilai error yang didapat pada termokopel yang digunakan akan mempengaruhi nilai suhu yang dibaca, semakin kecil nilai error yang didapat maka semakin kecil perbedaan nilai pengukuran dengan nilai aslinya. Pada pengolahan data pengukuran, nilai harus diakumulasikan dengan nilai error untuk mendapatkan nilai dalam ketidakpastian pengukuran.

## 4.2 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini pengambilan data menggunakan parafin dilakukan setelah material mencair pada titik lelehnya ( $45-65^\circ\text{C}$ ), dan parameter yang dicatat yaitu saat penurunan suhu dari  $37-35^\circ\text{C}$ . Setelah seluruh parameter bervariasi telah didapatkan, kemudian dilakukan perhitungan efisiensi menggunakan persamaan (2.3).

### 4.2.1 Analisa Perubahan Fasa pada Parafin



Gambar 5. Parafin (a) Solid-Cair (b) Cair (c) Cair-Solid

Pada Gambar (a) merupakan awal dari proses *charging* sistem, terlihat bahwa material sebanyak 3 kg masih berbentuk solid. Pada proses ini, material menerima panas dari intensitas yang diberikan simulator radiasi matahari sebesar  $809 \text{ W/m}^2$ . Seiring meningkatnya suhu yang diterima oleh material, fasa material yang solid akan mencair pada titik lelehnya ( $45-65^\circ\text{C}$ ) dan menjadi panas laten seperti pada Gambar (b). Pada suhu tersebut terjadi perubahan volume yang kecil dengan banyak menyerap panas.

Kebalikan dari *charging*, proses *discharging* seperti Gambar © merupakan pelepasan panas dari material ke pipa tembaga yang dialiri air. Panas tersebut kemudian akan merubah suhu air dan menghasilkan suhu air yang diinginkan. Proses ini hanya berlangsung sampai suhu minimum yang diinginkan, yaitu  $35^\circ\text{C}$ . Untuk merubah kembali material menjadi solid dan suhu material kembali ke suhu awal ( $24^\circ\text{C}$ ) membutuhkan waktu  $\pm 17$  jam agar bisa digunakan untuk pengujian pada variasi yang lain.

4.2.2 Analisa Waktu Penyimpanan Panas di Tangki

Tabel 1. Waktu penyimpanan panas tanpa parafin

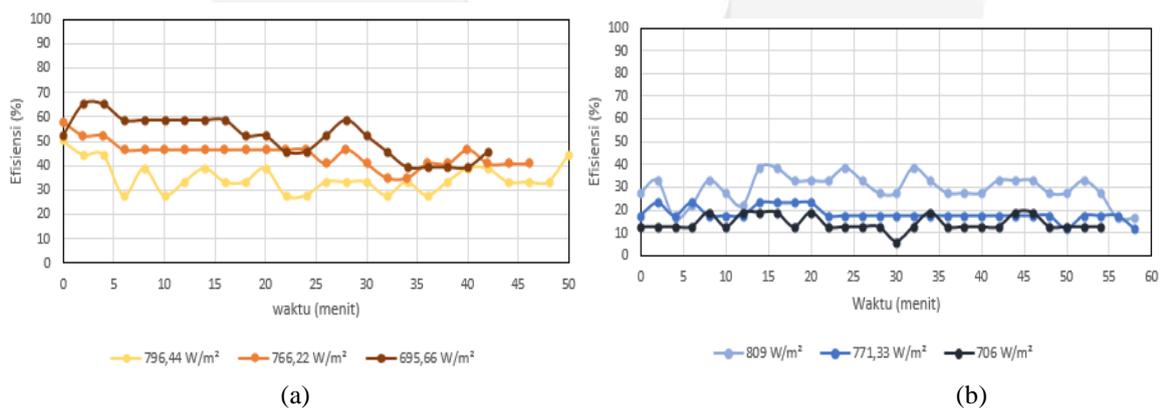
Intensitas (W/m <sup>2</sup> )	Waktu (menit)	Suhu (°C)		ΔT <sub>outlet-inlet</sub> (°C)
		Inlet	Outlet	
796,44	0	37,8	38,7	0,63
	50	35	35,8	
766,22	0	37,4	38,4	0,77
	46	35,2	35,9	
695,67	0	37,6	38,4	0,79
	42	35,4	36,1	

Tabel 2. Waktu penyimpanan panas dengan parafin

Intensitas (W/m <sup>2</sup> )	Waktu (menit)	Suhu (°C)		ΔT <sub>outlet-inlet</sub> (°C)
		Inlet	Outlet	
809	0	37,9	38,4	0,53
	58	35,2	35,5	
771,33	0	37,8	38,1	0,31
	58	35,1	35,3	
706	0	37,6	37,8	0,22
	54	35	35,2	

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 terlihat bahwa waktu penyimpanan panas air maksimal tanpa menggunakan parafin yaitu selama 50 menit pada intensitas yang diserap kolektor sebesar 796,44 W/m<sup>2</sup>, 46 menit dengan intensitas yang diserap sebesar 766,22 W/m<sup>2</sup> dan 42 menit dengan intensitas yang diserap sebesar 695,67 W/m<sup>2</sup>. Pada TES dengan menggunakan parafin dapat memperpanjang waktu penyimpanan panas air maksimal hingga 58 menit pada intensitas yang diserap sebesar 809 W/m<sup>2</sup>, pada intensitas yang diserap sebesar 771,33 W/m<sup>2</sup> dapat menyimpan panas air selama 58 menit dan dengan intensitas yang diserap sebesar 706 W/m<sup>2</sup>, dapat menyimpan panas air selama 54 menit. Hal tersebut terjadi didasarkan prinsip kerja *Phase Change Material* pada parafin yaitu ketika panas disuplai ke material, fasa berubah dari padat menjadi cairan dengan menyimpan panas sebagai panas laten. Panas tersebut kemudian ditransfer ke pipa tembaga yang dialiri air, dan membuat perubahan suhu air menurun dengan waktu yang lebih lama.

4.2.3 Analisa Efisiensi terhadap Waktu



Gambar 6. Grafik (a) Efisiensi terhadap waktu tanpa parafin (b) Efisiensi terhadap waktu dengan parafin

Berdasarkan gambar (a) dapat dilihat perubahan efisiensi yang dihasilkan sistem tanpa parafin setiap menit. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan yaitu 65,33% di menit ke-2 hingga ke-4 pada intensitas 695,66 W/m<sup>2</sup>, sedangkan efisiensi terendah yang dihasilkan yaitu 27,93% di menit ke-10, ke-22, ke-23, dan ke-36 pada intensitas 796,44 W/m<sup>2</sup>. Pada grafik, terlihat efisiensi yang dihasilkan konstan pada menit ke-5 sampai ke-25 pada intensitas 766,22 W/m<sup>2</sup> dan konstan pada menit ke-5 hingga ke-15 pada intensitas 695,66 W/m<sup>2</sup>, sedangkan pada intensitas tertinggi yaitu 796,44 W/m<sup>2</sup> grafiknya cukup fluktuatif dari menit ke-0 hingga akhir.

Berdasarkan Gambar (b) dapat dilihat perubahan efisiensi yang dihasilkan sistem dengan parafin setiap menit. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan yaitu 38,49% di menit ke-14, ke-16, ke-24, dan ke-32 pada intensitas 809 W/m<sup>2</sup>,

sedangkan efisiensi terendah yang dihasilkan yaitu 6,3% di menit ke-30 pada intensitas 706 W/m<sup>2</sup>. Pada grafik, terlihat efisiensi yang dihasilkan konstan pada menit ke-20 sampai ke-50 pada intensitas 771,33 W/m<sup>2</sup>, sedangkan cukup fluktuatif pada intensitas 706 W/m<sup>2</sup> dan sangat fluktuatif pada intensitas tertinggi yaitu 809 W/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.4 Analisa Efisiensi terhadap Intensitas Radiasi Matahari

Tabel 3. Efisiensi terhadap intensitas tanpa parafin

Intensitas (W/m <sup>2</sup> )	Efisiensi (%)
	Tanpa Parafin
796,44	35,23
766,22	44,75
695,66	51,97

Tabel 4. Efisiensi terhadap intensitas dengan parafin

Intensitas (W/m <sup>2</sup> )	Efisiensi (%)
	Dengan Parafin
809	29,15
771,33	18,07
706	14,18

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa semakin besar nilai intensitas yang diterima kolektor maka semakin kecil nilai efisiensi termalnya. Efisiensi termal tertinggi yang didapat yaitu 51,97% pada intensitas 695,66 W/m<sup>2</sup> dan efisiensi termal terendah yaitu 35,23% pada intensitas 796,44 W/m<sup>2</sup>. Dengan adanya proses radiasi dan konveksi, HTF pada sistem tanpa penggunaan parafin ini mendapatkan panas. Namun, panas yang diterima berbanding lurus dengan intensitas yang diterima oleh sistem. Hal tersebut dikarenakan faktor kalor yang terbuang juga ikut mempengaruhi.

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa semakin besar nilai intensitas yang diterima kolektor semakin besar nilai efisiensi termalnya. Efisiensi termal terbesar yaitu 29,15% pada intensitas 809 W/m<sup>2</sup> dan efisiensi termal terendah yaitu 14,18% pada intensitas 706 W/m<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan, semakin banyak panas yang diperoleh kolektor, semakin cepat juga parafin mencapai suhu latennya yang kemudian akan menyimpan banyak panas yang dapat ditransfer ke air maka dapat menaikkan efisiensi termal.

Berdasarkan pengujian, efisiensi yang didapat pada sistem dengan penambahan TES tidak lebih tinggi dari sistem tanpa penambahan TES, hal ini dikarenakan peletakan *Heat Exchanger* yang berada di bagian bawah wadah mengakibatkan proses konveksi tidak berjalan dengan baik, dimana sebagian kecil bagian bawah pipa tembaga tidak mendapatkan panas dari pembekuan material yang mempengaruhi suhu air yang diterima. Berbeda dengan sistem tanpa parafin, air hanya mendapatkan panas dari sisa panas yang diserap oleh pipa tembaga sehingga memperkecil kalor yang diterima. Namun hal tersebut menjadi kelemahan pada sistem tanpa TES karena banyak kalor yang diberikan oleh simulator radiasi matahari tidak tersimpan, sehingga semakin besar intensitas yang diberikan, semakin banyak pula kalor yang tidak tersimpan sehingga efisiensi semakin kecil. Berbeda dengan sistem tanpa parafin, dengan adanya penambahan parafin pada sistem mengakibatkan panas yang diberikan simulator radiasi matahari tersimpan pada material dalam bentuk panas laten, yang kemudian menghasilkan perubahan fasa pada parafin yang menyimpan panas, kemudian panas tersebut dapat ditransfer dengan baik ke air yang mengalir pada pipa tembaga. Namun pada penelitian ini menunjukkan bahwa massa parafin 3 kg tidak cukup memberi keuntungan dibandingkan dengan sistem tanpa parafin. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah PCM maka akan meningkatkan efisiensi pada sistem. Selain itu, semakin luas dimensi pipa tembaga yang mengenai material maka akan meningkatkan efektivitas dari material tersebut dan meningkatkan efisiensi pada sistem.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil nilai yang didapat dari alat ukur termokopel pada penelitian ini memiliki nilai error yang cukup besar. Sehingga nilai acuan berdasarkan nilai ketidakpastian pada penelitian ini yaitu  $(37 \pm 2,4)^\circ\text{C}$  hingga  $(35 \pm 2,4)^\circ\text{C}$ .
2. Pada *Solar Water Heater* dengan menambahkan *Thermal Energy Storage* berupa parafin sebagai *Phase Change Material* dapat memperpanjang waktu penyimpanan panas air lebih banyak daripada SWH tanpa penambahan TES dengan waktu tertinggi sebesar 58 menit dari waktu tertinggi yang dihasilkan sistem tanpa penambahan TES sebesar 50 menit. Hal tersebut terjadi karena dengan penambahan PCM kalor panas yang ditransfer oleh simulator radiasi matahari akan semakin banyak yang tersimpan dan kemudian panas tersebut akan

tertransfer ke air mengalir melalui konveksi pipa tembaga yang semakin banyak juga, serta sistem akan mengalami penurunan suhu yang semakin lama.

3. Penggunaan PCM pada sistem tidak menunjukkan adanya efisiensi yang lebih tinggi, karena energi panas yang mampu disimpan oleh PCM jauh lebih kecil dibandingkan dengan energi yang dibuang atau dibutuhkan dalam mempertahankan suhu air pada tangki saat sistem tidak mendapatkan energi matahari, dan besarnya nilai ketidakpresisian alat ukur semakin tinggi sebanding dengan banyaknya percobaan yang dilakukan pada penelitian.

4. Pada sistem tanpa penambahan TES, semakin tinggi intensitas yang diterima sistem maka semakin kecil nilai efisiensi yang diterima sistem. Pada intensitas 796,44 W/m<sup>2</sup> menghasilkan nilai efisiensi sebesar 35,23% sedangkan pada intensitas 695,66 W/m<sup>2</sup> menghasilkan nilai efisiensi yang meningkat sebesar 51,97%. Berkebalikan dengan sistem tanpa penambahan TES, sistem dengan penambahan TES menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas maka nilai efisiensi yang diterima sistem semakin tinggi. Pada intensitas tertinggi 809 W/m<sup>2</sup> menghasilkan efisiensi 29,15%, dan pada saat intensitas terendah 706 W/m<sup>2</sup> menghasilkan efisiensi terkecil sebesar 14,18%.

5. Pada percobaan menggunakan parafin menghasilkan efisiensi yang lebih kecil dibandingkan tanpa menggunakan parafin, dikarenakan jumlah material yang digunakan tidak lebih besar daripada energi yang dikeluarkan, selain itu panas yang ditransfer oleh parafin tidak merata dan tidak tertransfer dengan baik ke pipa tembaga.

## REFERENSI

- [1] Widayana, Gede. 2012. Pemanfaatan Energi Surya. Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan.
- [2] Jufrizal, Farel H. Napitupulu, Himsar Ambarita. Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar dengan Penambahan Thermal Energy Storage. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder: Vol.1 No.2, October 2014: 27-36.
- [3] Fauzi., B. Sitorus, Tulus., Ambarita, Himsar. Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Kotak Sederhana yang Dilengkapi *Phase Change Material* dengan Kapasitas 100 Liter Air: Jurnal Dinamis, Volume I, No.11, Juni 2012.
- [4] Samaiyar, Apurf.; Gupta, Ashish.; Mondal, Chand.; & Paliwal, Nathin 2013. Design and Fabrication of PCM Based Thermal Energy Storage Device in Solar Water Heater. Departement of Mechanical Engineering Dr B R Ambedkar National Institue of Technology Jalandhar.
- [5] Socaciu, Lavinia. (2015). Thermal Energy Storage: Applied Mathematics and Mechanics Vol. 55, Issue IV, 2012.
- [6] Kaushik, Patel.; Meet, Patel.; Purvesh, Patel.; & Sachin, Patel. To Develop a Device to Store Thermal Energy using Phase Change Material. International Journal for Scientific Research & Development. Vol. 6, Issue 02, 2018