

## ANALISIS EVOLUSI TEMPERATUR MATERIAL PENYIMPAN ENERGI TERMAL PADA TANGKI PEMANAS AIR TENAGA SURYA YANG BERBASIS *PHASE CHANGE MATERIAL*

Wahyu Setyawan<sup>1</sup>, Muhammad Nadjib<sup>2</sup>, Tito Hadji Agung Santoso<sup>3</sup>  
Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Yogyakarta  
Yogyakarta 55183, Indonesia.  
[wah.setyawan@gmail.com](mailto:wah.setyawan@gmail.com)

---

### INTISARI

Penelitian PATS pada umumnya dilakukan diluar ruangan (*outdoor*) dengan memanfaatkan energi matahari. Tetapi penelitian diluar ruangan memiliki kekurangan, karena suplai energi matahari bersifat fluktuatif. Hal ini berdampak pada hasil perilaku termal HTF dan PCM yang berfluktuatif. Perlu dilakukan penelitian PATS sistem aktif menggunakan HTF dan PCM yang dilakukan di dalam ruangan (*indoor*). Untuk mendapatkan karakteristik perilaku termal proses pemanasan pada HTF dan PCM di dalam tangki PATS. Penelitian ini menggunakan air sebagai *Heat Transfer Fluid* (HTF) serta PCM berupa *paraffin wax* sebagai media penyimpan panas. Penelitian ini dilakukan selama proses *charging* menggunakan 3 variasi *heat flux* yaitu 800, 1000 dan 1200 W/m<sup>2</sup> dengan debit 2 LPM. Proses *charging* menggunakan *solar simulator* untuk mensimulasikan radiasi matahari. Kolektor memanaskan air yang didorong oleh pompa masuk ke dalam tangki. Termokopel yang terpasang akan terekam suhunya setiap 1 detik pada *data logger*. Hasil penelitian menunjukkan kenaikan temperatur tiap-tiap *heat flux* tidak jauh berbeda. Kenaikan temperatur HTF dan PCM tercepat terjadi pada variasi *heat flux* 1200 W/m<sup>2</sup> saat proses *charging* selama 98 menit. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar *heat flux* maka kenaikan temperatur HTF dan PCM akan semakin cepat. Penelitian ini menunjukkan perilaku termal cukup baik, karena selama proses *charging* kurva mengalami kenaikan yang cukup stabil.

**Kata kunci :** *Charging, Heat Flux, HTF, PATS, Solar Simulator*

---

### ABSTRACT

PATS research is generally carried out outdoors by utilizing solar energy. But outdoor research has shortcomings, because the supply of solar energy is volatile. This has an effect on the fluctuating thermal behavior results of HTF and PCM. PATS research needs to be done on active systems using HTF and PCM which are done indoors (*indoor*). To get the thermal behavior characteristics of the heating process in HTF and PCM in the PATS tank. This study uses water as a *Heat Transfer Fluid* (HTF) and PCM in the form of *paraffin wax* as a heat storage medium. This research was conducted during the charging process using 3 variations of *heat flux* namely 800, 1000 and 1200 W/m<sup>2</sup> with a discharge of 2 LPM. The charging process uses a *solar simulator* to simulate solar radiation. The collector heats the water that is pushed by the pump into the tank. The installed thermocouple will be recorded temperature every 1 second in the data logger. The results showed the temperature rise of each *heat flux* was not much different. The fastest increase in HTF and PCM temperatures occurs in the variation of 1200 W/m<sup>2</sup> *heat flux* during the 98 minute charging process. This shows that the greater

*the heat flux, the higher the temperature of HTF and PCM will be faster. This research shows the thermal behavior is quite good, because during the charging process the curve has increased which is quite stable.*

**Keywords:** *Charging, Heat Flux, HTF, PATS, Solar Simulator*

## 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi global meningkat dengan pesat, tidak terkecuali di Indonesia. Hal ini besar pengaruhnya terhadap konsumsi energi yang dibutuhkan, karena Indonesia masih banyak menggunakan energi fosil untuk mencukupi kebutuhan energi sehari-hari. Di sisi lain, jika energi fosil digunakan terus maka ketersediaan cepat habis. Mengingat keterbatasan energi fosil yang berada di Indonesia, maka harus ada upaya untuk menggunakan energi lain, misalnya dengan memanfaatkan energi terbarukan. Matahari adalah salah satu sumber energi terbarukan. Indonesia merupakan negara yang dilintasi garis khatulistiwa, sehingga potensi penggunaan energi matahari adalah besar (EPA, 2013).

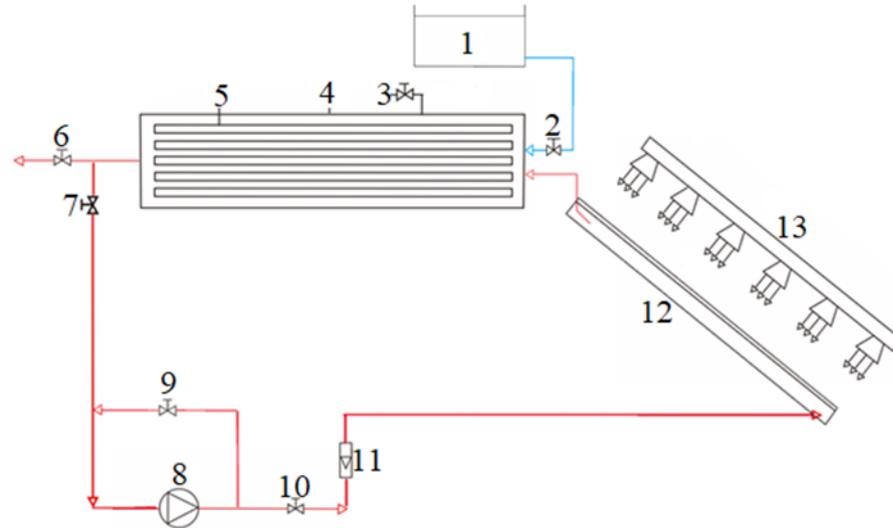
Mengingat energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai 3 x 10<sup>24</sup> Joule/tahun. Energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di dunia. Saat siang hari yang cerah radiasi matahari di permukaan bumi mampu mencapai 1000 W/m<sup>2</sup> (Yuliananda dkk, 2015). Energi matahari dapat dimanfaatkan untuk kehidupan sehari-hari dalam bentuk energi listrik dan energi termal. Salah satu aplikasi yang memanfaatkan energi matahari adalah Pemanas Air Tenaga Surya (PATS). PATS adalah teknologi pemanasan air yang sudah banyak dikenal oleh masyarakat. PATS memiliki 2 tipe sistem, yaitu sistem aktif dan sistem pasif. Perbedaannya pada sistem aktif menggunakan pompa, sedangkan pasif tidak menggunakan pompa.

PATS pada umumnya dilakukan diluar ruangan (*outdoor*) dengan memanfaatkan energi matahari. Tetapi penelitian diluar ruangan memiliki kekurangan, karena suplai energi matahari bersifat fluktuatif. PATS konvensional masih terdapat kekurangan, dimana PATS konvensional masih memiliki densitas energi yang rendah. Penggunaan PCM adalah cara yang efektif untuk menyimpan energi termal karena kerapatan penyimpanan energi yang tinggi dan solidifikasi yang hampir isothermal pada suhu transisi perubahan fase PCM (Gasia dkk, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Nadjib (2016) memberi gambaran bahwa alat penukar kalor yang digunakan dengan jumlah 16 buah dan volume tangki 31 liter telah berperan baik dalam proses pemindahan kalor. Hasil ini diperoleh setelah dilakukan analisis terhadap distribusi temperatur HTF dan PCM. Penelitian serupa dengan menggunakan tangki yang lebih besar dan kontruksi alat penukar kalor yang berbeda belum pernah dilakukan. Berdasarkan uraian tersebut maka penelitian untuk mengkaji perilaku proses pemanasan material penyimpan energi termal pada PATS yang berbasis PCM penting dilakukan.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan PATS sistem aktif dengan metode *solar simulator* dan alat pengontrol lainnya. Adapun skema alat dapat dilihat pada Gambar 1. dan deskripsi dari komponen-komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Skema alat penelitian

Keterangan :

1. Tangki air dingin,
2. Valve masuk air dingin ke tangki,
3. Valve cek air tangki penuh,
4. Tangki,
5. Kapsul PCM,
6. Valve keluarnya air dari tangki,
7. Valve keluarnya air dari tangki ke pompa,
8. Pompa,
9. Chek valve,
10. Valve pengatur debit air,
11. Rotameter,
12. Kolektor,
13. Solar simulator,

Pada pengujian ini menggunakan *solar simulator* sebagai alternatif pengganti energi surya. Pengujian dilakukan di dalam ruangan menggunakan *solar simulator* yang terdapat 24 buah lampu *tungsten halogen* dengan total daya lampu 7200 Watt yang menghasilkan *heat flux* sebesar 800, 1000, dan 1200 W/m<sup>2</sup>. *Solar simulator* yang digunakan dalam penelitian memiliki dimensi utama meliputi panjang 2,27 m, lebar 1,73 m, dan tinggi 3 m. *Solar simulator* dipasang dengan kemiringan 20° dan sejajar dengan kolektor. Kolektor memiliki ukuran 1 m x 1,9 m. *Material absorber* dan pipa *absorber* di dalam kolektor masing-masing menggunakan aluminium dan pipa tembaga. *Low Iron Patterned Glass (Tempered)* dengan tebal 3,2 mm sebagai kover atas dan menggunakan insulasi berupa *High Density polyurethane+Aluminium Foil*. Tangki sebagai TES berkapasitas 60 liter memiliki panjang 90,65 cm, diameter luar 27,8 cm yang terbuat dari plat baja karbon dengan ketebalan yang bervariasi antara 0,5 cm. Tangki didalamnya berisi 13 kapsul PCM. Tiap-tiap kapsul PCM memiliki panjang 1 m, tebal 2,5 mm dan diameter luar 1 inch. 5 buah kapsul diantaranya berisi termokopel dengan setiap kapsul berisi 3 termokopel tipe K. Termokopel dipasang pada HTF di 8 titik berbeda. Termokopel dihubungkan dengan *data logger* tipe Graphytec

midu Logger GL220 dan GL820 yang digunakan untuk mentransfer data sehingga data selama eksperimen dapat dibaca pada PC.

Pengujian secara eksperimental dengan proses *charging* diawali dengan memposisikan PATS terhadap *solar simulator*. Mengatur ketinggian jarak antara kolektor dengan *solar simulator* untuk mengetahui besarnya variasi *heat flux* yang dipancarkan oleh *solar simulator*. Langkah selanjutnya adalah mengisi tangki PATS dengan air hingga penuh dan menyiapkan HOBOSoftware pada PC. Pompa diaktifkan untuk mensirkulasi air dari tangki ke kolektor. Langkah berikutnya memulai aplikasi pada PC untuk merekam temperatur HTF dan PCM, selanjutnya dimulai proses *charging* dengan menyalakan *solar simulator*. Komputer dinyalakan terlebih dahulu sebelum *solar simulator* diaktifkan. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data rekaman temperatur selama proses *charging*. Data terekam pada software data logger temperatur yang ada di *personal computer* (PC).

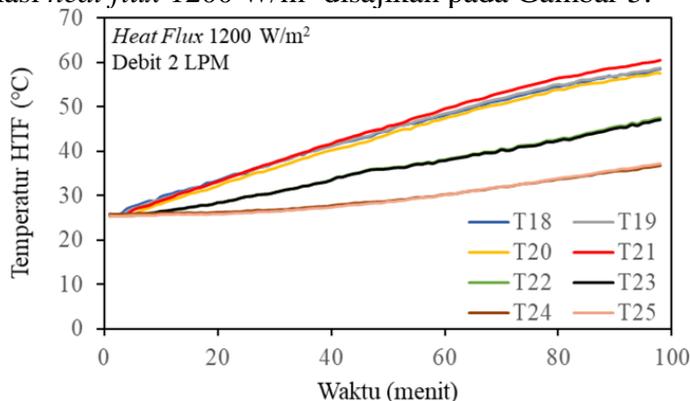
### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan *solar simulator* sebagai alat pengganti radiasi matahari. Hasil uji *solar simulator* dengan variasi ketinggian dan titik penempatan *pyranometer* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian *solar simulator*

Posisi	Intensitas Radiasi (W/m <sup>2</sup> )		
	Jarak 10 cm	Jarak 15 cm	Jarak 22 cm
A	1256,00	1276,90	920,78
B	1110,53	975,81	705,67
C	1235,01	936,16	715,67
D	1276,90	1072,60	767,77
E	1276,90	1007,52	814,34
F	1276,90	1080,13	781,87
Rata-rata	1238,71	1058,19	784,35

Perubahan temperatur HTF pada variasi *heat flux* 1200 W/m<sup>2</sup> direkam memakai 8 titik termokopel yang tersebar di dalam tangki. Hasil evolusi temperatur HTF pada variasi *heat flux* 1200 W/m<sup>2</sup> disajikan pada Gambar 5.

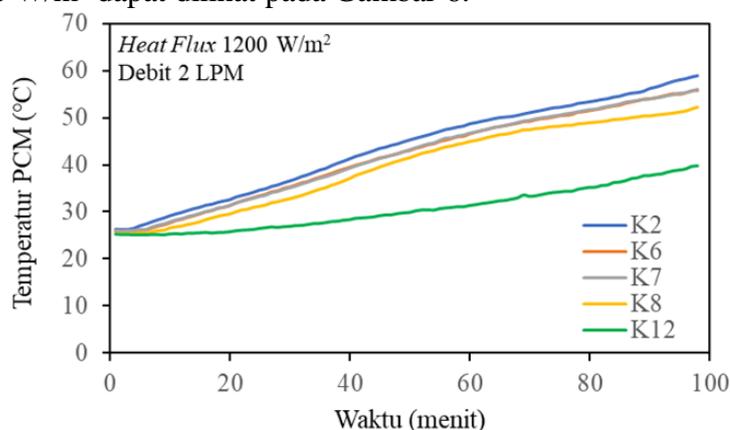


Gambar 2. Evolusi temperatur HTF tiap-tiap termokopel

Gambar 2. menunjukkan bahwa temperatur awal pada semua termokopel tidak terdapat perbedaan drastis. Kenaikan temperatur selama proses *charging* yang berlangsung 98 menit terlihat konstan. Karena dari awal sampai akhir

pengujian tidak terdapat lonjakan suhu yang drastisHal tersebut dikarenakan *heat flux* konstan yang diberikan *solar simulator*. Pengujian saat menit ke-60 T21 mencapai temperatur 49,4 °C, T22 mencapai 38,2 °C, dan T24 mencapai 30,5 °C. Selama proses *charging* berlangsung T21 memiliki temperatur tertinggi, hal ini dipengaruhi oleh letak termokopel yang berada paling dekat dengan saluran input tangki yang berasal dari kolektor. Kenaikan temperatur pada T24 menjadi yang terendah, karena letak termokopel berada di paling bawah dalam tangki, dan jauh dari input tangki.

Perubahan temperatur yang terjadi pada PCM dengan variasi 1200 W/m<sup>2</sup> perlu dilakukan pengamatan. Pengamatan dilakukan di 15 titik termokopel yang tersebar pada kapsul didalam tangki. Hasil evolusi temperatur PCM pada variasi *heat flux* 1200 W/m<sup>2</sup> dapat dilihat pada Gambar 6.

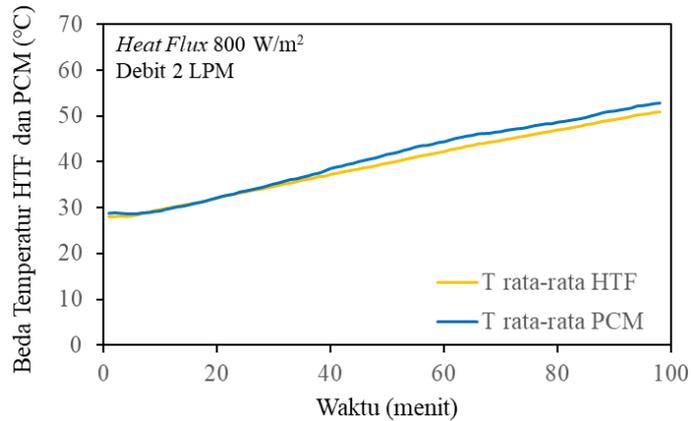


Gambar 3. Evolusi temperatur PCM masing-masing kapsul

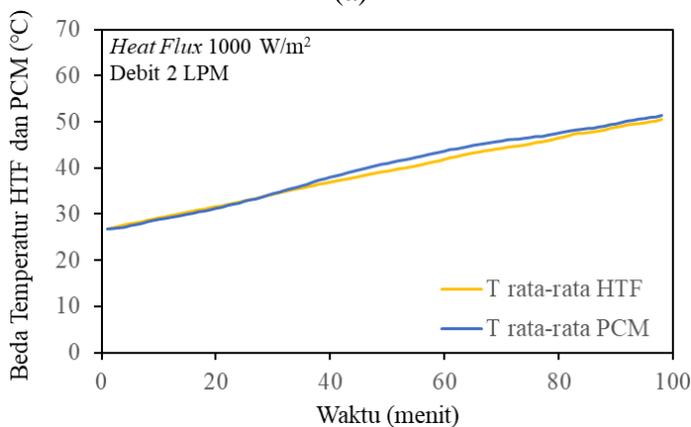
Gambar 3 menunjukkan bahwa semua kapsul, kurvanya mengalami kenaikan temperatur. Kenaikan tertinggi terdapat pada kapsul 2, hal tersebut dikarenakan posisi kapsul 2 berada paling atas dalam tangki. Kenaikan terendah terdapat pada kapsul 12, karena letaknya berada paling bawah dalam tangki. Hal tersebut juga dipengaruhi karena PCM di dalam kapsul mendapat transfer kalor dari HTF, sehingga semua temperatur mengalami kenaikan kurva.

Hasil evolusi temperatur pada tiap-tiap kapsul menunjukkan kurva mengalami kenaikan temperatur. Hal ini dikarenakan selama proses *charging paraffin wax* yang berada di dalam kapsul mampu menerima *transfer* kalor dari HTF dengan baik. Kenaikan kurva pada semua kapsul cenderung bagus, dapat dilihat pada Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa setiap kapsul tidak terjadi fluktuasi.

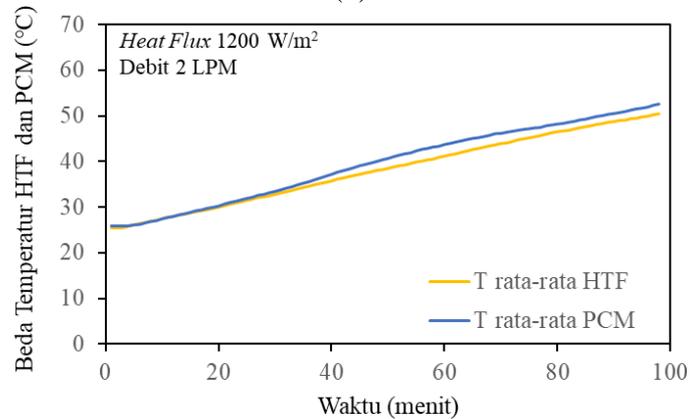
Gambar 4.7 menunjukkan perbedaan evolusi temperatur rata-rata HTF dan PCM menggunakan variasi *heat flux* 800, 1000, dan 1200 W/m<sup>2</sup> dengan debit 2 LPM. Gambar 4.7 menunjukkan ketiga variasi *heat flux* memiliki kecepatan pemanasan rata-rata PCM dan HTF yang berbeda. Kecepatan pemanasan rata-rata pada variasi *heat flux* 800 W/m<sup>2</sup> pada PCM 0,247 dan HTF 0,236, variasi *heat flux* 1000 W/m<sup>2</sup> pada PCM 0,254 dan HTF 0,244, sedangkan variasi *heat flux* 1200 W/m<sup>2</sup> pada PCM 0,280 dan HTF 0,257. Oleh karena itu semakin besar variasi *heat flux* maka kecepatan pemanasan rata-rata PCM dan HTF semakin cepat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Evolusi temperatur rata-rata HTF dan PCM variasi *heat flux* (a) 800 W/m<sup>2</sup> (b) 1000 W/m<sup>2</sup> (c) 1200 W/m<sup>2</sup>

Berdasarkan dari ketiga grafik menunjukkan bahwa kurva mengalami kenaikan suhu seiring bertambahnya waktu, hal tersebut terjadi karena air yang berfungsi sebagai HTF menyerap kalor dari kolektor, sehingga HTF mengalami kenaikan suhu. Terjadinya kenaikan suhu pada HTF maka terjadi *transfer* kalor dari HTF ke PCM. Gambar 4.7 menunjukkan pada variasi 800 W/m<sup>2</sup> temperatur PCM lebih tinggi dari HTF terjadi di menit 25, sedangkan variasi 1200 W/m<sup>2</sup> temperatur PCM lebih tinggi dari HTF pada menit 20. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar variasi *heat flux*, maka semakin cepat temperatur PCM lebih tinggi dari HTF.

Temperatur HTF dan PCM memiliki kurva yang berhimpitan, menunjukkan bahwa PCM berfungsi dengan baik, dimana PCM telah mampu menyimpan kalor yang diterima dari HTF.

#### 4. Kesimpulan

Pengujian untuk mendapatkan evolusi temperatur pada tangki pemanas air tenaga surya dengan *paraffin wax*, menggunakan variasi *heat flux* 800, 1000, 1200 W/m<sup>2</sup> dengan debit 2 LPM telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian adalah:

1. Berdasarkan hasil penelitian serta pengujian *charging* dengan variasi *heat flux* 800 W/m<sup>2</sup>, 1000 W/m<sup>2</sup> dan 1200 W/m<sup>2</sup> yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perubahan temperatur pada tiap-tiap *heat flux* tidak jauh berbeda. Kenaikan temperatur HTF dan PCM yang terlama terjadi pada variasi *heat flux* 800 W/m<sup>2</sup>, sedangkan kenaikan temperatur tercepat terjadi pada variasi *heat flux* 1200 W/m<sup>2</sup>. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar *heat flux* maka kenaikan temperatur HTF dan PCM akan semakin cepat.
2. Penelitian ini menunjukkan perilaku termal cukup baik, karena pada ketiga variasi *heat flux* 800 W/m<sup>2</sup>, 1000 W/m<sup>2</sup> dan 1200 W/m<sup>2</sup> selama proses *charging* kurva mengalami kenaikan yang cukup stabil. Hal ini menunjukkan bahwa alat penukar kalor berperan baik dalam proses pemindah kalor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- EPA, (2013). *Solar Energy*. United States Environmental Protection Agency. Washington D.C. USA.
- Gasia, J., Martin, M., Sole, A., Barreneche, C., & Cabeza, L. F. (2017). *Phase Change Material Selection for Thermal Processes Working under Partial Load Operating Conditions in the Temperature Range between 120 and 200 °C*. *Applied Sciences*.
- Nadjib, M. (2016). Penggunaan *Paraffin Wax* sebagai Penyimpan Kalor pada Pemanas Air Tenaga Matahari Thermosyphon. *Jurnal Teknik Mesin Undip Rotasi*, 18(3), 76-85.
- Yuliananda, S., Gede, S., & Hastijanti, R. R. (2015). Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, 193-202.