

STUDI EKSPERIMENTAL PENYIMPANAN ENERGI TERMAL PADA TANGKI PEMANAS AIR TENAGA SURYA BERBASIS PCM : METODE EKSPERIMEN INDOOR

Tria Lendrik Prasetya^a, Muhammad Nadjib^b, Tito Hadji Agung Santoso^c
Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta
Yogyakarta 55183, Indonesia.
tria.lendrik@gmail.com

INTISARI

Pemanas air tenaga surya (PATS) adalah salah satu aplikasi teknologi termal energi matahari yang berfungsi untuk menghasilkan air panas guna memenuhi kebutuhan rumah tangga maupun industri. Berfluktuasinya intensitas radiasi matahari menyebabkan penelitian PATS berbasis *phase change material* (PCM) sistem aktif dengan eksperimen *outdoor* memiliki kekurangan yaitu tidak dapat mengungkap pengaruh besarnya sumber energi input terhadap karakteristik termal yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan karakteristik penyimpanan energi termal pada tangki PATS selama proses *charging* menggunakan variasi *heat flux*.

Eksperimen ini dilakukan dengan metode *indoor* menggunakan *solar simulator* yang berfungsi untuk mensuplai *heat flux* konstan pada PATS-PCM. *Solar simulator* dipasang pada bagian atas kolektor. *Solar simulator* diatur sedemikian rupa sehingga menghasilkan *heat flux* dengan variasi 800 W/ m², 1000 W/m², dan 1200 W/m². Data temperatur air yang ada di dalam tangki direkam. Pengujian diulang dengan mengubah variasi *heat flux*. Analisis data dilakukan untuk mengetahui akumulasi penyimpanan energi termal yang tersimpan pada tangki PATS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penelitian ini memakai *heat flux* sebesar 1200 W/m² dan debit 2 LPM. Akumulasi penyimpanan kalor adalah 10,07 MJ selama waktu *charging* 98 menit. Informasi ini dapat digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan dalam proses pemanasan PATS. Waktu pemanasan merupakan parameter penting dalam menilai kinerja PATS.

Kata kunci : Charging, HTF, PATS sistem aktif, PCM, solar simulator

ABSTRACT

Solar water heater (SWH) is one of the applications of solar energy thermal technology that serves to produce hot air to fulfill household and industrial. The fluctuation of solar radiation intensity leads to research of SWH based on phase change material (PCM) active systems with outdoor experimentation that is unable to uncover the influence of the magnitude of input energy source against thermal characteristics are produced. The study was conducted with the aim of thermal energy storage characteristics of the SWH tanks during the filling process using heat flux variations.

This experiment was done by indoor method using solar simulator which serves to supply constant heat flux on SWH-PCM. Solar simulator is mounted on the top of the collector. Solar Simulator is set in such a way that produces heat flux

with a variation of 800 W/m², 1000 W/m², and 1200 W/m². The water temperature Data in the tank is recorded. Testing is repeated by changing the flux heat variation. Data analysis is conducted to determine the accumulation of thermal energy storage stored in the SWH tank.

Products research results that this research con heat flux of 1200 W/m² and discharge 2 LPM. The accumulation of heat storage is 10, 07 MJ during the time of charging 98 minutes. About this can be used to predict when it is needed in the SWH heating process. When liquid heating parameters repent in assessing SWH performance.

Keywords: Active system SWH, Charging, HTF, PCM, Solar Simulator

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi yang semakin meningkat menjadikan kebutuhan permintaan energi semakin tinggi. Saat ini, bahan bakar fosil mendominasi untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Menjadi sumber energi utama, selain mempunyai dampak positif juga terdapat dampak negatif yaitu ketergantungan masyarakat terhadap minyak bumi sangat tinggi. Keterbatasan pasokan bahan bakar ini menjadi kendala utama bagi manusia untuk mempertahankan sumber energi tersebut sebagai sumber berkelanjutan di bumi (Jamar dkk, 2016). Salah satu usaha untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi tersebut adalah meningkatkan penggunaan sumber energi baru dalam rangka penganekaragaman sumber energi dengan mempertimbangkan pemanfaatan teknologi energi yang efisien dan ramah lingkungan. Sumber energi baru tersebut dikenal sebagai energi terbarukan (*renewable energy*).

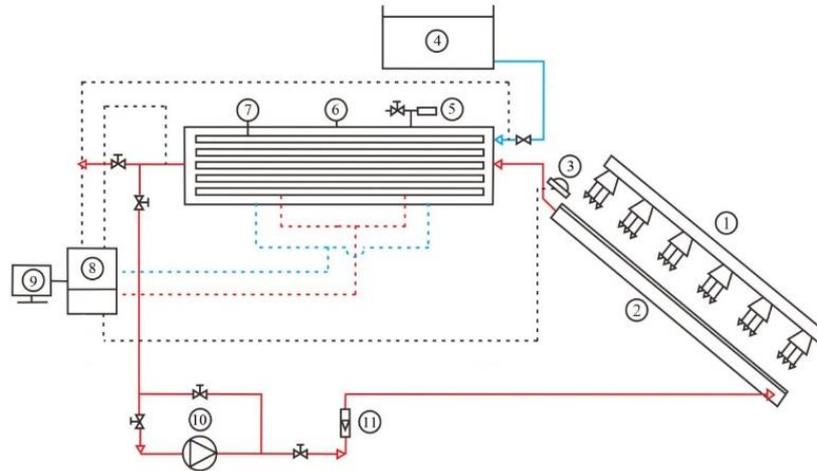
Salah satu aplikasi teknologi yang menggunakan energi matahari adalah pemanas air tenaga surya (PATS). Penelitian tentang PATS sistem aktif menggunakan PCM sebagai peningkatan penyimpanan energi termal pernah dilakukan oleh Bouadila dkk (2014). Menurut Sharma dkk (2009), PCM yang ideal untuk digunakan dalam sistem penyimpanan panas laten harus mempunyai karakteristik diantaranya komposisinya stabil; densitasnya tinggi dan mempunyai konduktivitas panas. Pengujian eksperimental dilakukan oleh Nadjib dkk (2015) untuk mengetahui kapasitas penyimpanan energi termal pada sistem PATS yang di dalamnya berisi PCM. Pada pengujian ini, peneliti menggunakan *paraffin wax* sebagai PCM yang diintegrasikan dengan air sebagai HTF di dalam tangki PATS.

Pada umumnya instalasi PATS diletakkan di luar ruangan (*outdoor*) dengan memanfaatkan sumber energi dari matahari. Metode ini memiliki kelemahan dalam menyelidiki pengaruh variasi besarnya energi input dikarenakan suplai energi dari matahari bersifat fluktuatif sehingga menghasilkan perilaku termal *heat transfer fluid* (HTF) dan PCM pada PATS yang berfluktuatif yang menjadikan kesulitan dalam mengevaluasi perilaku termal yang berhubungan dengan beberapa parameter. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang PATS sistem aktif dengan metode di dalam ruangan (*indoor*).

Berdasarkan kekurangan penelitian yang telah dilakukan tersebut maka perlu metode baru agar diperoleh informasi tentang pengaruh variasi *heat flux* terhadap penyimpanan energi termal pada sistem PATS-PCM. Penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik sistem PATS-PCM terhadap variasi *heat flux* yang diberikan ke sistem.

2. METODE

Penelitian eksperimental pada PATS sistem aktif ini mengkombinasikan dua jenis penyimpanan kalor yaitu *paraffin wax* sebagai LHS diintegrasikan dengan air sebagai SHS. Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema PATS : (1) *solar simulator*, (2) kolektor surya, (3) piranometer, (4) bak penampung air, (5) kran air masuk, (6) tangki PATS, (7) kapsul PCM, (8) akuisisi data, (9) PC, (10) pompa, (11) rotameter air.

Pada pengujian ini, sebagai alternatif pengganti energi surya sumber energi berasal dari *solar simulator*. Pengujian *indoor* menggunakan 24 buah lampu *tungsten halogen* dengan total daya lampu 7200 Watt yang menghasilkan *heat flux* sebesar 800, 1000, dan 1200 W/m². *Solar simulator* yang digunakan dalam penelitian memiliki dimensi utama meliputi panjang 2,27 m, lebar 1,73 m, dan tinggi 3 m. *Solar simulator* dihadapkan dengan kolektor yang memiliki ukuran 1 m x 1,9 m dan dipasang dengan kemiringan 20°. *Material absorber* dan pipa *absorber* 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. Masing-masing 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 akuisisi data Graphytec midi Logger GL220 dan GL820 yang digunakan untuk mentransfer data sehingga data selama eksperimen dapat dibaca pada PC dan laptop.

Pengujian secara eksperimental dengan proses *charging* diawali dengan memposisikan PATS agar terkena radiasi *solar simulator* dengan cara mengatur ketinggian jarak antara kolektor dengan *solar simulator* untuk mengetahui besarnya variasi *heat flux* yang dipancarkan dari *solar simulator*. Langkah berikutnya adalah mengisi tangki PATS dengan air hingga penuh, menyiapkan HOBOSoftware pada PC dan laptop kemudian mengaktifkannya. Setelah pompa

dinyalakan, selanjutnya dimulai proses *charging* dengan menyalakan *solar simulator*. Komputer dinyalakan terlebih dahulu sebelum *solar simulator* diaktifkan. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data rekaman temperatur HTF dan PCM selama proses *charging*. Data eksperimen diambil dari *software* data logger temperatur yang ada di *personal computer* (PC) dan laptop.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji *solar simulator* digunakan sebagai acuan untuk menentukan variasi *heat flux* yang digunakan pada penelitian. Hasil uji *solar simulator* dengan 6 titik penempatan *pyranometer* dan 3 variasi ketinggian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji *solar simulator*

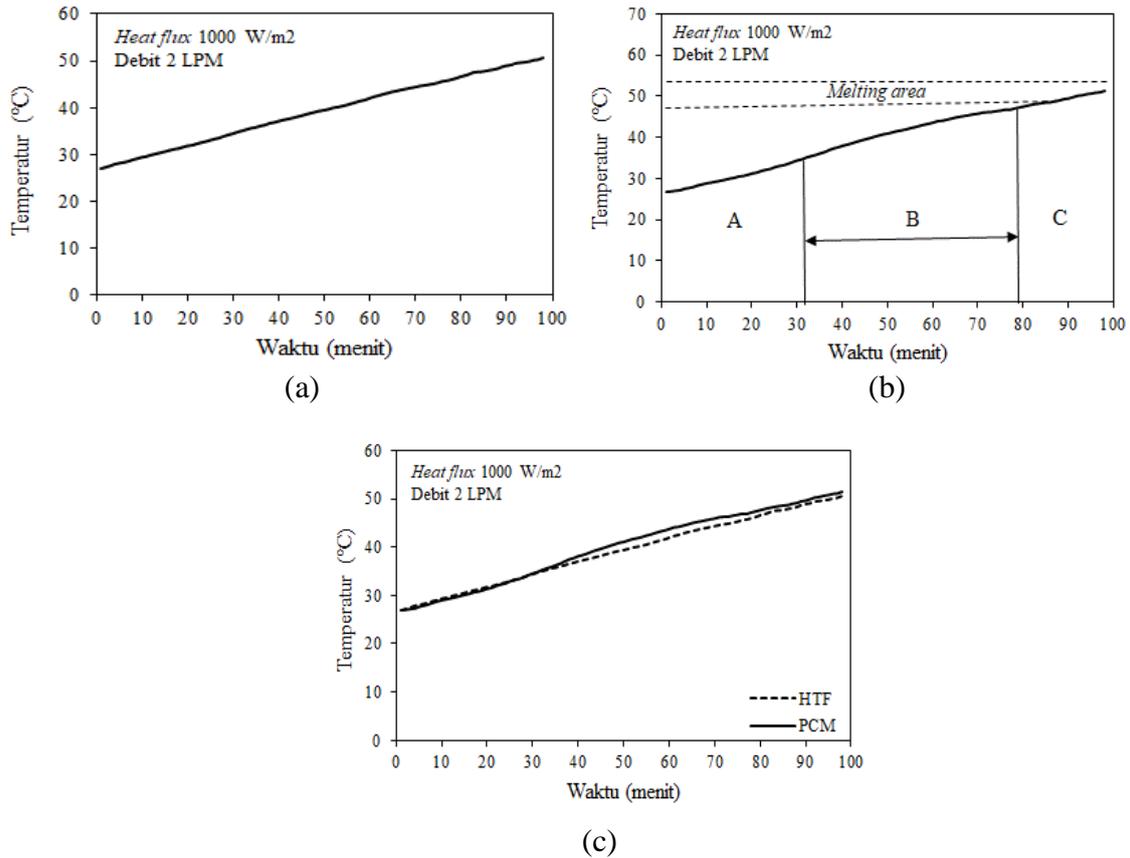
Posisi	Intensitas Radiasi (W/m ²)		
	Jarak 10 cm	Jarak 15 cm	Jarak 22 cm
A	1256,00	1276,90	920,78
B	1110,53	975,81	705,67
C	1235,01	936,16	715,67
D	1276,90	1072,60	767,77
E	1276,90	1007,52	814,34
F	1276,90	1080,13	781,87
Rata-rata	1238,71	1058,19	784,35

Pada pengujian ini, *heat flux* 1000 W/m² didapatkan pada ketinggian 15 cm dengan tegangan sebesar 210 V. Hasil uji *solar simulator* dapat menjadi acuan untuk pengujian selanjutnya pada pengujian PATS-PCM metode *indoor*. Tabel 2. menunjukkan bukti bahwa uji PATS-*solar simulator* telah dilakukan dengan detail pengujian sebagai berikut.

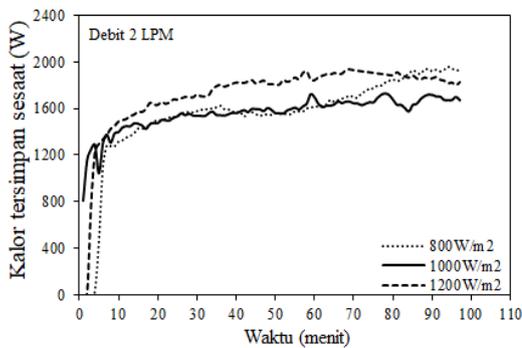
Tabel 2. Detail pengujian PATS-*solar simulator*

Detail pengujian PATS- <i>solar simulator</i>	
<i>Heatflux</i>	1000 W/m ²
Debit	2 LPM
Lama waktu pengujian	98 menit

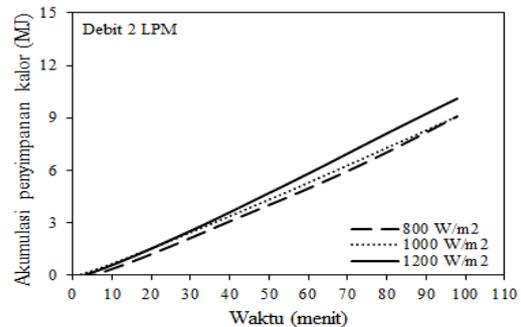
Pengolahan data dilakukan dengan menghitung nilai temperatur rata-rata HTF, temperatur rata-rata PCM, perbandingan evolusi temperatur HTF dan PCM, nilai kalor tersimpan sesaat dan kalor tersimpan kumulatif. Selanjutnya memplot grafik evolusi temperatur rata-rata HTF, evolusi temperatur rata-rata PCM, dan perbandingan evolusi temperatur HTF dan PCM yang ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 3. menunjukkan grafik kalor tersimpan sesaat yang memberikan informasi bahwa penyimpanan kalor sesaat mempunyai kecenderungan meningkat secara drastis di awal *charging* kemudian kenaikannya melambat seiring dengan waktu. Gambar 4. menunjukkan grafik akumulasi penyimpanan energi termal terhadap waktu selama proses *charging*. Hasil olah data ditampilkan dalam grafik kemudian dilakukan analisis grafik.



Gambar 2. (a) Evolusi temperatur rata-rata HTF, (b)Evolusi temperatur rata-rata PCM, (c) Perbandingan evolusi temperatur HTF dan PCM.



Gambar 3. Penyimpanan kalor sesaat



Gambar 4. Akumulasi penyimpanan kalor selama proses charging.

Semakin tinggi *heat flux* yang dipancarkan *solar simulator* semakin banyak kalor yang diserap oleh kolektor, sehingga beda temperatur antara temperatur *inlet* dan HTF semakin besar. Seiring dengan bertambahnya radiasi kumulatif yang mengenai kolektor maka temperatur air keluar kolektor meningkat. Hal ini berkontribusi terhadap penambahan perbedaan temperatur antara temperatur *inlet* dan HTF di dalam tangki TES. Meningkatnya perbedaan temperatur inilah yang menyebabkan perolehan kalor sesaat air di dalam tangki meningkat sehingga pengumpulan kumulatifnya bertambah besar. Oleh karena itu *heat flux*

memberikan kontribusi yang signifikan terhadap akumulasi penyimpanan kalor pada tangki.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Karakteristik penyimpanan kalor sesaat di dalam tangki PATS-PCM adalah naik secara tajam di awal *charging* kemudian kenaikannya berangsur berkurang seiring dengan waktu. Faktor pemicu karakteristik ini adalah beda temperatur antara HTF masuk dan keluar tangki.
2. Semakin besar *heat flux*, akumulasi penyimpanan kalor di tangki semakin tinggi. Akumulasi penyimpanan kalor terbesar yang diperoleh adalah 10.0722 MJ pada saat *heat flux* 1200 W/m² dan lama waktu *charging* 98 menit.
3. Penyediaan *tools* dan *equipment* yang memadai akan menunjang kinerja yang lebih baik dalam proses penelitian.

4.2. SARAN

Saran yang disampaikan adalah

1. Penelitian ini sebaiknya dilanjutkan dengan variasi debit dan jumlah kapsul.
2. Perlu dilakukan perbaikan dengan *solar simulator* dengan *heat flux* yang dihasilkan benar-benar konstan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bellan, S., Aguilar, J.G., Romero, M., Rahman, M.M., Goswami, D.Y., Stefanakos, E.K. dan Couling, D., 2014. “*Numerical Analysis of Charging and Discharging Performance of A Thermal Energy Storage System with Encapsulated Phase Change Material*”, Applied Thermal Engineering, Vol. 71, pp. 481-500.
- Bouadila, S. et al., 2014. Enhancement of latent heat storage in a rectangular cavity: Solar water heater case study. *Energy Conversion and Management*, Volume 78 , p. 904–912.
- Jamar, A., Majid, Z.A.A., Azmi, W.H., Norhafana, M. dan Razak, A.A., 2016. “*A Review of Water Heating System for Solar Energy Applications*”, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 76, pp. 178-187.
- Nadjib, M., Sukamta, Caroko, N. dan Sudrajat, T.H.A., 2015. “*Studi Eksperimental Penyimpanan Energi Termal pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya yang Berisi PCM*”, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV, Banjarmasin.
- Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen C.R. dan Buddhi, D., 2009. “*Review on Thermal Energy Storage with Phase Change Materials and Applications*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, pp. 318-345.