

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UJI UNJUK KERJA TERMAL PEMANAS AIR TENAGA SURYA THERMOSYPHON KAPASITAS 60 LITER YANG MELIBATKAN PCM

Mantep Pangestu¹, Muhammad Nadjib², Tito Hadji Agung Santoso³
Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta, Yogyakarta 55183, Indonesia.
mangess10@gmail.com

Intisari

PATS adalah teknologi pemanas air yang sudah banyak dikenal oleh masyarakat. PATS menggunakan air sebagai media penyimpanan energi termal. Penggunaan air mempunyai keuntungan yaitu nilai konduktivitas termal tinggi. Disisi lain sistem PATS memiliki kekurangan yaitu densitas energinya rendah. *Phase change material* (PCM) memiliki densitas energi yang tinggi. Penerapan PCM sebagai penyimpanan energi termal pada PATS pasif perlu dikembangkan. Pada penelitian-penelitian sebelumnya penerapan PCM pada PATS jenis *thermosyphon* belum banyak dilakukan sehingga menarik untuk dikaji. Oleh karena itu penyediaan alat untuk penelitian sejenis penting untuk dirancang dan dibuat. Tujuan dari perancangan ini adalah mendapatkan rancangan alat uji unjuk kerja PATS yang melibatkan PCM dengan volume tangki 60 liter. Perancangan sistem PATS dimulai dengan pemilihan bahan, perancangan rangka pada tangki dan kolektor, menentukan sistem perpipaan di dalam tangki serta penempatan alat ukur yang digunakan. Hasil perancangan ini adalah diperolehnya sistem PATS berbasis PCM dengan dimensi utama alat yaitu panjang 215 cm, tinggi 153 cm, dan lebar 150 cm. Berdasarkan uji coba alat telah dilakukan, sistem PATS berfungsi dengan baik sehingga dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya.

Abstract

PATS is a water heater technology that is widely known to the public. PATS uses water as a thermal energy storage medium. The use of water has advantages, namely the value of high thermal conductivity. On the other hand the PATS system has disadvantage namely low energy density. Phase change material (PCM) has a high energy density. The application of PCM as a thermal energy storage on passive PATS needs to be developed. In previous studies the application of PCM on thermosyphon type PATS has not been done so much that it is interesting to study. Therefore the provision of tools for similar research is important to be designed and made. The purpose of this design is to get a design of PATS performance test equipment involving PCM with a volume of 60 liters of tank. The design of the PATS system starts with the selection of materials, designing the frame in the tank and collector, determining the piping system in the tank and placing the measuring instrument used. The result of this design is to obtain a PCM-based PATS system with the main dimensions of the tool which is 215 cm long, 153 cm high, and 150 cm wide. Based on the trial of the tool, the PATS system works properly so that it can be used for further testing.

Keywords: PCM, PATS, piping system, Thermosyphon, Tank

1. PENDAHULUAN

PATS adalah teknologi pemanasan air yang sudah banyak dikenal oleh masyarakat. PATS menggunakan air sebagai media penyimpanan energi termal. Penggunaan air mempunyai keuntungan yaitu nilai konduktivitas termal tinggi dan harganya murah. Namun demikian, PATS memiliki

kekurangan yaitu densitas energinya rendah (Hasan, 1994). Rendahnya densitas energi air berdampak pada besarnya penyimpanan energi termal yang dibutuhkan. Hal ini menyebabkan beratnya sistem PATS secara konstruksi. *Phase Charge Material* (PCM) adalah material yang memiliki sifat berubah fasa ketika menyerap atau melepas energi termal. *Paraffin wax* sebagai salah satu jenis PCM memiliki densitas energi termal yang tinggi (Lacroix, 1993). Oleh karena itu *paraffin wax* berpotensi digunakan sebagai penyimpanan energi termal pada PATS.

1.1. Rumusan Masalah

Penerapan PCM sebagai penyimpanan energi termal pada PATS pasif cukup menarik karena sifat PCM yang memiliki densitas energi termal tinggi. Salah satu bentuk pengembangan sistem PATS yang melibatkan PCM adalah penyediaan alat untuk keperluan penelitian. Oleh karena itu perlu dirancang dan dibuat alat uji unjuk kerja PATS yang melibatkan PCM.

1.2. Batasan Masalah

- a. Lingkup perancangan adalah tentang sistem PATS jenis thermosyphon yang terdiri dari tangki, kolektor matahari, sistem perpipaan dan alat ukur.
- b. Tangki dan alat penukar kalor yang dipakai berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan sebelumnya.
- c. Kolektor matahari yang dipakai adalah yang tersedia di pasar untuk kapasitas tangki 60 liter.
- d. Uji coba alat dilakukan di luar ruangan selama proses charging.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan prototipe alat uji unjuk kerja PATS yang melibatkan PCM.
2. Melakukan uji coba fungsional alat yang telah dirancang dan dipabrikasi.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Menambah ketajaman ilmu pengetahuan khususnya di bidang PATS
2. Hasil rancangan sistem PATS dapat dijadikan sebagai alat untuk melakukan penelitian selanjutnya.
3. Menjadi model sistem PATS alternatif sebagai referensi dalam pengembangan teknologi bagi industri sejenis.

2. Dasar Teori

Energi matahari merupakan suatu energi yang didapat dengan mengkonversi energi radiasi panas matahari melalui peralatan tertentu sehingga dapat menghasilkan sumber daya dalam bentuk lain. Energi matahari menjadi salah satu sumber daya pembangkit energi selain air, uap, angin, batu bara, biogas, dan minyak bumi. Teknik pemanfaatan energi matahari dikenal pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun

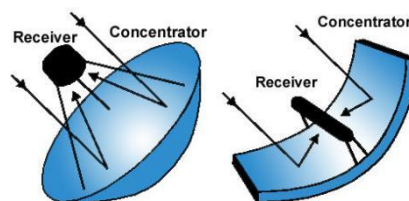
sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara. Upaya pengembangan cara memanfaatkan energi matahari baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar (Anonim, 2012).

2.1. Kolektor Pelat Datar

Kolektor surya berupa salah satu alat berbentuk pelat datar yang berfungsi sebagai pemanas fluida kerja yang mengalir didalamnya dengan cara radiasi dari energi matahari yang dikonversi hingga panas. Pemanasan yang dipanaskan bersifat fluida cair berupa air, oli, minyak, dan udara. Kolektor surya rata-rata memiliki temperatur suhu keluaran dibawah 95°C. Kolektor surya diaplikasikan sebagai pemanas air atau udara Goswami (1999). Kolektor surya plat datar memiliki keuntungan yaitu radiasi matahari yang dimanfaatkan langsung melalui sorotan dan sebaran tidak memerlukan tracking matahari dikarenakan desinanya yang sangat pasaran, hanya sedikit memerlukan biaya dan perawatan. Kolektor jenis pelat datar pada umumnya digunakan untuk memanaskan ruangan, pengkondisian udara serta proses pemanasan dalam industri. Jenis kolektor tipe ini didesain sebagaimana pengaplikasiannya yang membutuhkan energi panas pada temperatur dibawah 100°C. Kolektor tipe ini memiliki spesifikasi yang terlihat pada bentuk absorbernya yang berupa plat datar yang terbuat dari material dengan konduktivitas termal tinggi. Aplikasi kolektor secara umum dipakai untuk memanaskan air, pengkondisian udara, proses panas industri dan pemanas gedung. Terdapat beberapa komponen lain pada kolektor surya yaitu absorber, insulasi, kerangka dan cover transparan.

2.2. Concentrating Collector

Aplikasi energi panas pada kolektor jenis ini memiliki temperatur suhu antara 100-400°C. Receiver yang terdapat oada kolektor jenis ini mampu memfokuskan energi radiasi matahari, sehingga kuantitas panas yang energi matahari yang diserap oleh absorber dapat meningkat. Kolektor jenis ini dikenali dengan spesifikasi komponen konsentrator yang terbuat dari meterial dengan transmisivitas tinggi. Absorber jenis komponen ini dikelompokkan menjadi dua yaitu: *Point Fokus* dan *Line Fokus*.

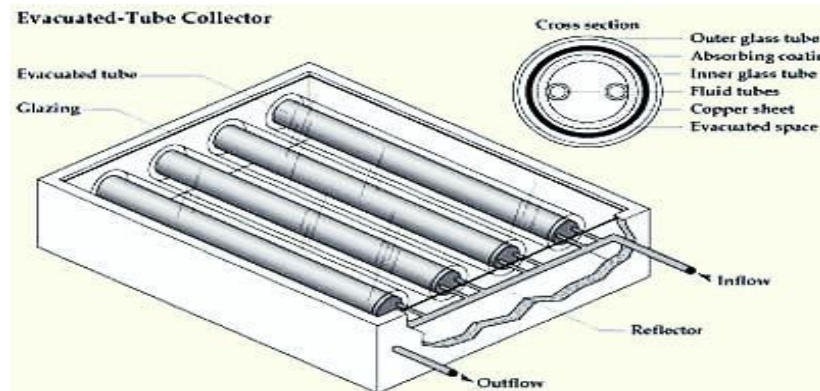


Gambar 1. Konsentrator dengan 2 jenis tipe yang berbeda
 (Ismanto, 2012)

Cahaya matahari yang difokuskan terhadap tabung absorber, membuat konsentrator harus selalu dirotasi dan pergerakan ini disebut *tracking*. Temperatur fluida yang melebihi 400°C dapat dicapai dengan menggunakan sistem kolektor jenis ini yang terlihat pada gambar diatas.

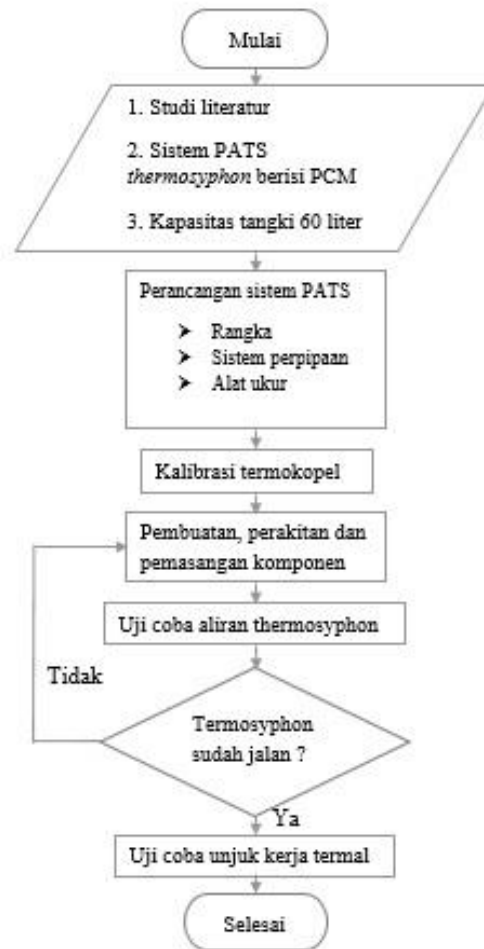
2.3. Evacuated Tube Collector

Khusus kolektor jenis ini dirancang untuk menghasilkan energi panas yang lebih tinggi dibandingkan 2 jenis kolektor surya sebelumnya. Keistimewaan dari jenis kolektor ini terletak pada efisiensi transfer panas yang lebih tinggi tetapi dapat memperkecil kehilangan panas yang terjadi. Hal ini dikarenakan fluida yang terjebak diantara absorber dan penutupnya sehingga dikondisikan dalam keadaan vakum, dan dari keadaan tersebut kehilangan panas yang terjadi pada kolektor jenis ini dapat diminimalisai yang diakibatkan konveksi secara alamiah dari permukaan luar absorber menuju lingkungan.



Gambar 2. *Evacuated Receiver* (Ismanto, 2012)

3. Metodologi Perancangan dan Pembuatan



3.1 Perakitan Alat

Perakitan alat adalah suatu proses penyusunan dan penyatuan dari beberapa bahan hingga mempunyai fungsi tertentu. Pada perancangan sistem PATS pembuatan alat yang dibuat adalah rangka, proses perakitan rangka menentukan bahan yang akan digunakan serta ketinggian dan ketahanan terhadap beban dari kolektor maupun tangki TES, pada tahapan tersebut rangka dibuat secara “mobile” yang berarti rangka dapat berpindah dari satu posisi ke posisi lainnya. Proses perakitan alat juga menentukan posisi sistem perpipaan air panas dan sistem perpipaan air dingin. Pemasangan perpipaan air panas didalam tangki TES memerlukan alat penyangga berupa flens, alat ini berfungsi untuk memposisikan pipa didalam tangki agar terpasang dengan kuat. Perakitan sistem perpipaan air dingin dirancang sesuai dengan posisi PATS, pemasangan ini bertujuan untuk mengalirkan air bersih dari bak menuju tangki TES.

3.2. Pengujian Konduktivitas Termal

3.2.1. Uji coba aliran thermosyphon

Uji coba dilakukan untuk mengetahui pertukaran panas pasif berdasarkan konveksi alamiah. Prinsip ini dimulai dari air yang berada pada panel kolektor mengalami pemanasan dan akan bergerak ke sisi atas dan

masuk kedalam tangki TES. Pada saat bersamaan, air didalam tangki yang bersuhu rendah terdorong turun kedalam panel kolektor. Uji coba ini dilakukan untuk mengetahui pergerakan perputaran air dari panel kolektor menuju tangki TES bergerak berkesinambungan sehingga terjadi sirkulasi air secara mekanis yang mengakumulasikan peningkatan suhu air didalam tangki TES.

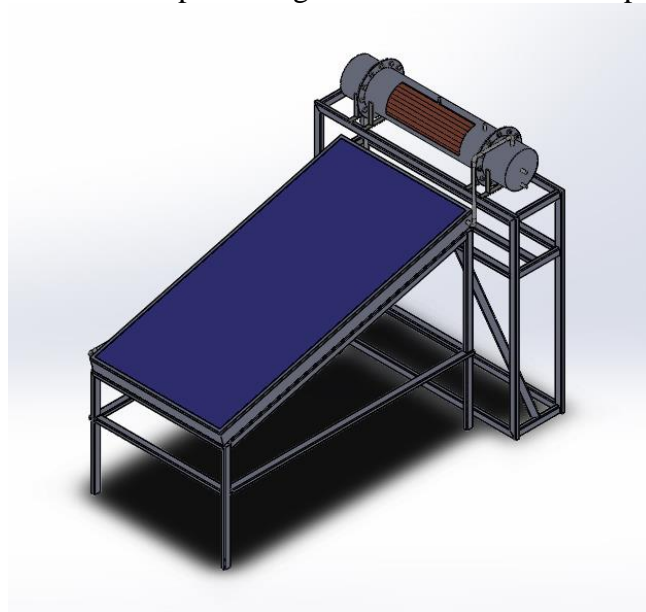
3.2.2. Uji coba unjuk kerja PATS

Uji coba sistem PATS dilakukan untuk mengetahui hasil dari perancangan alat yang dirancang sudah memenuhi syarat kebutuhan air panas atau belum. Uji coba ini dilakukan diluar ruangan dengan kondisi cuaca cerah yang berpotensi meningkatkan suhu air didalam kolektor matahari sehingga air dapat bersikulasi dari kolektor menuju tangki TES. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui *paraffin wax* yang terdapat didalam tangki dapat berkerja dengan baik, hal ini dilakukan supaya air yang terdapat didalam tangki TES mendapatkan suhu panas yang stabil. Uji coba ini juga dilakukan untuk mengetahui tingkat kebocoran air yang terdapat dibawah tangki TES pada kabel termokopel pembaca data, sehingga pada saat pengujian selanjutnya dilakukan tingkat kebocoran sudah ditanggulangi.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pembuatan dan Perancangan

Hasil pembuatan dan perancangan sistem PATS terlihat pada Gambar 3.

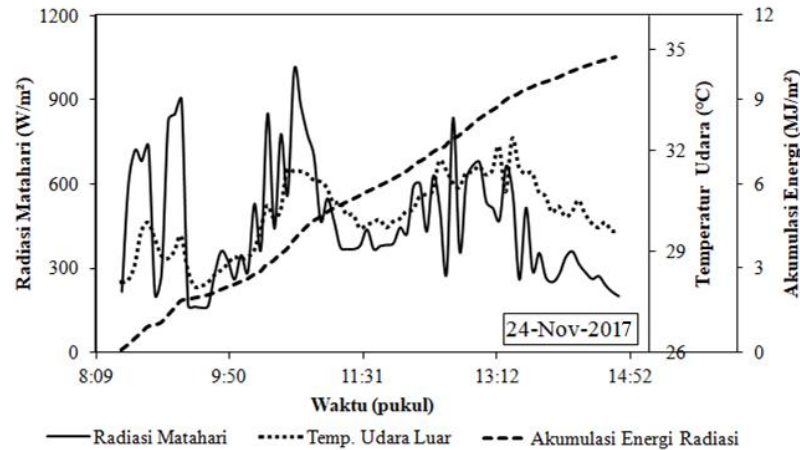


Gambar 3. Desain 3D sistem PATS

Hasil dari pembuatan alat uji sistem PATS perlu dilakukan uji coba fungsional alat yang telah dibuat, diharapkan alat dapat digunakan untuk melakukan eksperimen. Eksperimen yang penulis lakukan pada sistem PATS ialah proses charging dan discharging continyu.

4.2. Kondisi lingkungan

Kondisi cuaca yang terjadi dilapangan sangat menentukan jumlah energi yang dapat diserap kolektor dari radiasi matahari. Potensi radiasi matahari direkam selama proses uji coba dan ditampilkan pada Gambar 4.

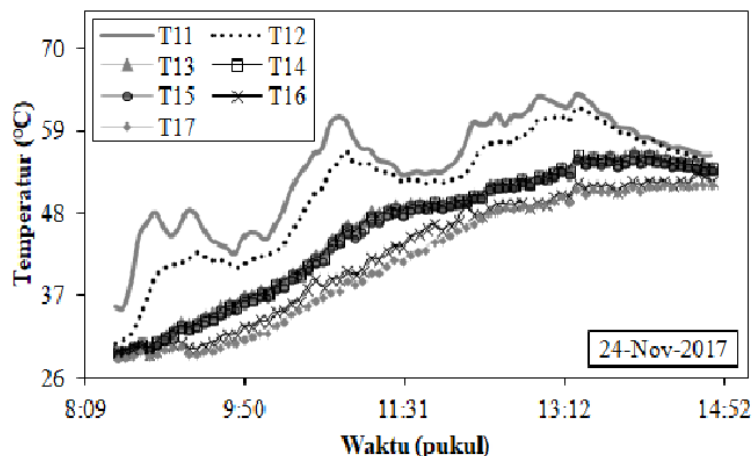


Gambar 4. Intensitas radiasi matahari dan temperatur udara luar selama proses *charging* pada uji coba *discharging kontinyu*.

Kondisi cuaca yang dihasilkan pada tanggal 24 November 2017. Jika dilihat dari gambar diatas potensi radiasi matahari yang dicapai sangat besar dengan radiasi maksimum dan akumulasi energi adalah 1006,9 W/m² dan 10,49 MJ/m².

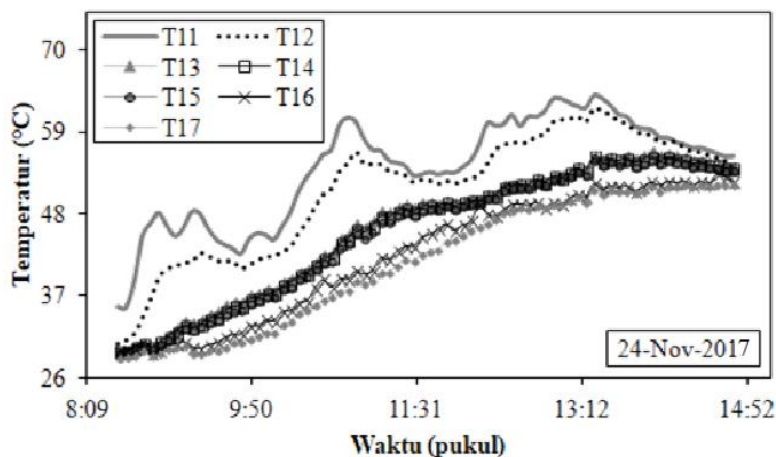
4.3. Proses *Charging*

Istilah pada proses *charging* ialah merubah pancaran radiasi matahari menjadi energi termal di dalam kolektor. Energi termal yang tersimpan digunakan untuk memanaskan HTF yang bersikulasi di dalam tangki TES pada sistem PATS. Sebagian energi termal yang terdapat di dalam tangki TES di-*transfer* ke PCM. Pada Gambar 5. menunjukkan rekaman hasil dari evolusi temperatur HTF di dalam tangki TES pada 7 termokopel, yaitu T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17.



Gambar 5. Evolusi temperatur HTF pada proses *charging* dengan percobaan uji coba *discharging continyu*.

Perekaman evolusi temperatur tidak hanya terjadi pada HTF, tetapi juga dilakukan perekaman evolusi pada PCM dengan menggunakan 6 termokopel, yaitu T5, T6, T7, T8, T9, dan T10, yang dipasang pada 3 pipa PCM berbeda. T5 dan T6 dipasang pada pipa PCM di bagian atas, T7 dan T8 dipasang pada pipa PCM di bagian tengah, T9 dan T10 dipasang pada pipa PCM di bagian bawah. Evolusi temperatur PCM selama proses *charging* dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.



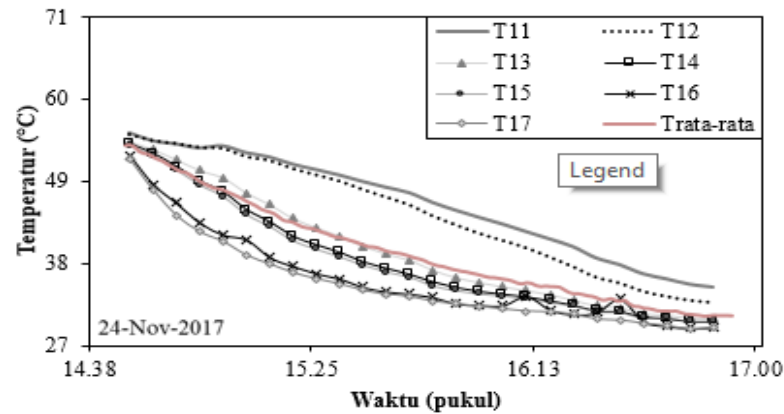
4.3.2. Gambar 6. Evolusi temperatur PCM pada proses *charging* dengan percobaan uji coba *discharging continyu*.

Akhir dari uji coba HTF dan PCM diketahui temperatur rata-rata pada tanggal 24 November 2017 adalah 54 °C dan 53,85 °C hal ini terjadi dikarenakan intensitas radiasi matahari dan temperatur udara lingkungan pada tanggal tersebut berfluktuasi sehingga proses *charging* yang dilakukan mengalami penurunan yang mengakibatkan besarnya *heatloss* yang terjadi.

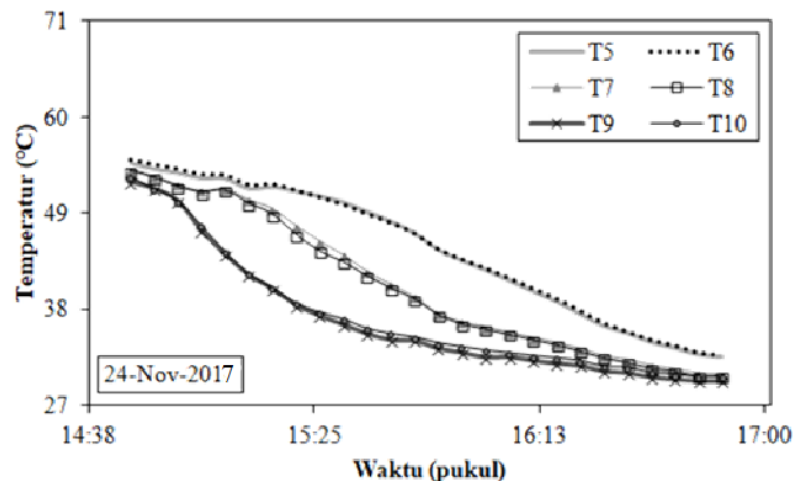
4.4. Proses *discharging*

Proses *discharging* ialah melakukan pengisian air ke dalam tangki dan mengeluarkannya ke lingkungan dengan kecepatan 2 LPM. Hal ini dilakukan terus menerus hingga temperatur air di dalam tangki hampir sama dengan temperatur sumber air yang digunakan untuk mengisi tangki. Proses

uji coba ini dilakukan pada tanggal 24 November 2017 dengan melakukan perekaman pada temperatur HTF selama proses *discharging* oleh T11, T12, T13, T14, T15, T16, dan T17. Kemudian, dilakukan perekaman temperatur PCM selama proses *discharging* oleh T5, T6, T7, T8, T9, dan T10. Evolusi temperatur HTF dapat dilihat pada Gambar 7 dan evolusi temperatur PCM ditunjukkan pada Gambar 8. sebagaimana dibawah ini



Gambar 7. Evolusi temperatur HTF selama proses *discharging* kontinyu



Gambar 8. Evolusi temperatur PCM selama proses *discharging* kontinyu

Bedasarkan hasil dari uji coba proses *discharging* kontinyu pada tanggal 24 November 2017, menunjukkan adanya penurunan temperatur di awal yang berlangsung cepat sehingga menandakan pelepasan kalor di awal begitu besar. Pelepasan kalor akan menurun seiring dengan waktu, disebabkan oleh PCM yang telah memasuki fase *solidification cooling stage*. Akan tetapi, penurunan temperatur tidak berlangsung stabil. Disebabkan berfluktuasinya penurunan temperatur di dalam tangki oleh sirkulasi yang tidak merata di seluruh bagian tangki TES.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari perancangan dan pembuatan ini adalah sebagai berikut.

1. Perancangan sistem PATS berbasis PCM telah dilakukan. Spesifikasi sistem PATS adalah
 - a. Volume tangki : 60 liter
 - b. Kolektor matahari : jenis pelat datar, luas permukaan 1,99 m²
 - c. Sistem perpipaan air panas : pipa plastik tahan panas berdiameter ¾ inci.
 - d. Sistem perpipaan air dingin : pipa PVC diameter ¾ inci.
 - e. Alat ukur : termokopel, data logger termokopel, piranometer, sensor temperatur udara luar, data logger, dan rotameter air dingin.
 - f. PCM : RT 52, berat total 9,8 kg
2. Uji coba alat telah dilakukan. Temperatur air panas di dalam tangki diperoleh sebesar 64 °C pada proses charging selama 288 menit dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar 503,28 W/m². Sistem PATS berfungsi dengan baik sehingga dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamendah, 2014. Energi Surya Matahari di Indonesia. Melalui, <<http://www.alamendah.org.html> [15/11/2 14]
- ASME, 2002. “*Boiler and Pressure Vessel Code*”, The American Society of Mechanical Engineers, New York.
- Canbazoglu, S., Sahinaslan, A., Ekmekyapar, A., Aksoy, Y.G. dan Akarsu, F., 2005. “*Enhancement of Solar Thermal Energy Storage Performance Using Sodium Thiosulfate Pentahydrate of A Conventional Solar Water Heating System*”, Energy and Buildings, Vol. 37, pp. 235-242.
- Dwivedi, V., 2009, *Thermal Modelling and Control of Domestic Hot Water Tank, University of Strathclyde, UK.*
- Gultom, M.S., 2013. “*Perancangan dan Pengujian Pemanas Air Tenaga Surya yang disertai Material Berubah Fasa (PCM) sebagai Medium Penyimpan Panas*”, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara
- Hasan, A., 1994. “*Phase Change Material Energy Storage System Employing Palmatic Acid*”, *Solar Energy*, Volume 52, No. 02, pp. 143 154.
- Lacroix, M., 1993. Study of The Heat Tranfer Behavior of A Latent Heat Thermal Energy Storage Unit with A Finned Tube, *Internasional Journal of Heatand Mass Transfer*, 36(8), 2083 2092.
- Mazman, M., Cabeza, L.F., Mehling, H., Nogues, M., Evliya, H. Dan Paksoy, H.O., 2009. Utilization of Phase Change Materials in Solar Domestic Hot Water System, *Renewble Energy*, 34, 1639 2968.
- Nadjib, M. dan Suhanan, 2014. “*Kajian Perpindahan Kalor pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Kapsul PCM Pipa banyak Susunan Segaris*”. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII, Depok.
- 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.
- Nallusamy, N., Sampath, S. dan Velraj, R., 2007. “*Experimental Investigation on A Combined Sensible and Latent Heat Storage System Integrated with Constant/Varying (Solar) HeatSources*”, *Renewable Energy*, Vol. 32, pp. 1206-1227. [31/03/2019]