

Analisis Kinerja Pemanas Air Tenaga Matahari Menggunakan Tipe *Evacuated Tube Collector* (ETC) Terintegrasi Penyimpanan Termal Bahan Berubah Fase

M. Anis Ilahi Rahmadhani^a, Jalaluddin^{a,1}, Achmadani Aswin^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Gowa, 92171

¹jalaluddin_had@eng.unhas.ac.id

ABSTRACT

The potential for renewable energy is abundant in Indonesia, including solar energy. Evacuated Tube Collector (ETC) is one type of collector used in solar water heating systems to produce hot water. Various studies have been conducted to improve ETC's thermal efficiency, including the addition of phase change material (PCM) as thermal storage and modifying the shape of the fins on the ETC. The study was conducted to test the performance comparison between the standard type ETC and ETC with the addition of PCM, which was tested for 240 minutes with three tests each as data validation. The intensity of the sun and the fluid flow rate were constant. The results showed that the efficiency of ETC with the addition of PCM was higher than the standard type ETC. With the addition of PCM, ETC had an average efficiency of 63.3%, while the standard type ETC had an average efficiency of 53.3%. The addition of PCM can increase efficiency by 10% because PCM can act as a thermal storage that is absorbed and reduces heat loss in the collector.

Keywords: Solar Water Heater, ETC, PCM, performance

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590804

PENDAHULUAN

Potensi energi terbarukan sangatlah melimpah di Indonesia salah satunya energi matahari atau energi surya. Energi matahari saat ini sudah diterapkan di Indonesia mengingat Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis. Potensi energi matahari yang dimiliki Indonesia berkisar antara 4,8 kWh/m². Potensi energi matahari yang dimiliki dapat dimanfaatkan menjadi energi panas pada pengaplikasian pemanas air tenaga matahari dengan menggunakan kolektor sebagai penyerap dan pengumpul panas [1]. Pemanfaatan energi matahari dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada sistem pemanas air. Dalam sistem pemanas air, panas matahari berperan sebagai sumber panas dan kolektor sebagai pengumpul panas yang berfungsi untuk mengumpulkan panas matahari serta memperbesar temperatur dari panas matahari yang di dalamnya terdapat pipa tembaga yang dirancang sedemikian rupa sebagai tempat air mengalir atau bersirkulasi [2].

Pemanas air tenaga matahari merupakan cara yang efektif dan efisien dalam memanaskan air karena hanya melalui pancaran tenaga matahari/sinar matahari langsung kita dapat memperoleh air panas. Adapun jenis kolektor yang biasa digunakan adalah Flat plate collector (FPC), evacuated tube collector (ETC) dan parabolic trough collector (PTC) dan dalam penelitian ini yang digunakan adalah ETC [3]. ETC merupakan salah satu jenis kolektor yang dapat digunakan untuk memanfaatkan radiasi cahaya matahari yang digunakan untuk memanaskan air. ETC

mampu mengumpulkan radiasi secara langsung dan radiasi difusi secara bersamaan [4]. Selain memiliki performa termal yang baik, ETC juga memiliki instalasi yang mudah. ETC juga mampu beroperasi pada aplikasi suhu tinggi lainnya seperti pemanas gas instan. Pada sebuah penelitian yang dilakukan oleh M.A. Sabiha 2015, membandingkan kinerja FPC dan pipa panas ETC untuk sistem pemanas air domestik. Dengan serupa kondisi lingkungan, efisiensi kolektor ditemukan menjadi 46,1% dan 60,7% dan efisiensi sistem ditemukan menjadi 37,9% dan 50,3% untuk FPC dan pipa panas ETC, masing-masing [5].

Mekanisme dari ETC dimana panas yang diserap dapat hilang dikarenakan proses konveksi, dan vakum bertindak sebagai isolator termal yang kuat dan menghilangkan kehilangan panas karena perpindahan panas konveksi. Tingginya efisiensi termal dan relatif harganya yang murah menjadi alasan utama kenapa saat ini ETC sangat dominan dipasaran. Efisiensi yang lebih tinggi dapat dicapai oleh ETC karena sensitif terhadap arah sinar matahari. Bentuk silinder ETC memungkinkan untuk menyerap sinar matahari secara langsung dan difusi. Dengan kemampuan seperti itu memungkinkan ETC memiliki efisiensi yang lebih baik [6]. ETC pada dasarnya adalah alat penukar panas yang mentransfer energi dari radiasi matahari ke fluida kerja. Intensitas radiasi matahari pada permukaan kaca luar dari tabung yang dievakuasi dipindahkan ke tabung kaca bagian dalam melalui proses perpindahan panas radiasi dan kemudian panas diserap oleh tabung. Dari tabung, perpindahan panas ke fluida kerja [7].

Phase Change Material (PCM) merupakan inovasi yang dapat ditambahkan pada kolektor termasuk ETC untuk dapat meningkatkan efisiensi termal [8]. Dari salah satu penelitian yang telah dilakukan mengenai penambahan PCM sebagai thermal storage. Pada penelitian tersebut menggunakan nano-enhanced (Ne-PCM) yang diintegrasikan pada ETC dengan konfigurasi filled U-tube. Efek yang ditimbulkan dari penambahan PCM dapat meningkatkan efisiensi performa ETC sebesar 32% dibandingkan dengan ETC standar. Dalam penelitian ini jumlah ETC yang digunakan berjumlah 10 ETC [9]. Konsep dasar penggunaan PCM pada kolektor telah dilakukan sebelumnya dan menunjukkan bahwa penggunaan PCM dalam pemanas air tenaga matahari mengurangi fluktuasi suhu air sebesar 15% dan mengurangi kehilangan panas sekitar 8.8% [10]. Ketika pelat absorber disesuaikan, absorptivitasnya meningkat. Kerugian teratas, di sisi lain, telah meningkat. Termasuk penyimpanan termal di kolektor, seperti PCM dan busa aluminium, mengurangi kehilangan panas sekaligus meningkatkan transfer energi panas ke air. Penggunaan PCM sebagai bahan penyimpanan termal pada pelat absorber berbentuk V sangat meningkatkan efisiensi rata-rata [11].

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan penambahan PCM pada bagian dalam dari ETC yang dapat meningkatkan performa dari pemanas air tenaga matahari karena PCM mampu dengan baik menyimpan energi panas matahari sehingga panas yang terbuang/losses dapat diminimalisirkan sehingga berpengaruh pada peningkatan efisiensi kinerja termal dari ETC [12].

ETC TERINTEGRASI BAHAN BERUBAH FASE

Prinsip kerja ETC pada dasarnya terdiri dari komponen utama ETC berupa tabung kaca dengan ruang vakum di dalamnya, absorber sebagai penyerap termal dalam bentuk pelat di dalam tabung kaca yang akan mengumpulkan panas dari cahaya matahari. Dalam inovasinya ditambahkan sirip yang dibentuk khusus yang difungsikan untuk mempercepat perpindahan panas dari pelat absorber ke pipa tembaga yang dialiri air. Perpindahan panas secara konduksi dari pelat absorber ke sirip dan ke pipa terjadi, kemudian dari pipa tembaga panas berpindah secara konveksi[6]. Dalam desain ETC khususnya absorber yang dimiliki, menggunakan absorber berbentuk tabung atau lingkaran. Hal ini pernah diteliti dalam sebuah penelitian dengan variasi bentuk absorber antara berbentuk lingkaran dan persegi. Hasilnya menunjukkan bahwa absorber berbentuk

lingkaran memiliki efisiensi lebih tinggi sebesar 8% dibandingkan berbentuk persegi dalam kondisi dan situasi yang sama [13].

Energi kalor yang dimanfaatkan dari konversi radiasi matahari ditunjukkan pada persamaan :

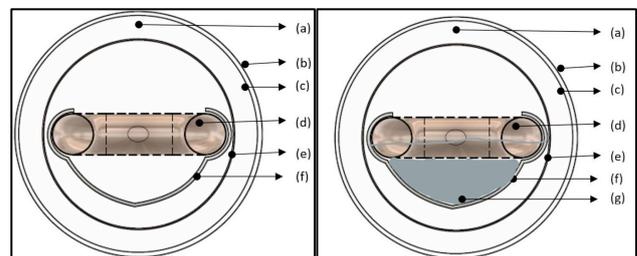
$$Q_u = \dot{m}_{water} C_{p_{water}} \Delta T_{water} \quad (1)$$

Dimana Q_u adalah energi kalor yang dimanfaatkan (kW), \dot{m}_{water} adalah laju aliran massa air (kg/s), $C_{p_{water}}$ adalah kalor spesifik air (J/kg°C), dan ΔT_{water} perbedaan temperatur air (°C).

Untuk efisiensi kolektor dapat dihitung pada persamaan :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I} = \frac{\dot{m}_{water} C_{p_{water}} \Delta T_{water}}{A_c I} \quad (2)$$

Dimana η adalah efisiensi dari kolektor (%), A_c adalah area dari kolektor yang terkena cahaya matahari (m^2) dan I adalah intensitas radiasi matahari (W/m^2)[14].



Gambar 1. Sistematika ETC dengan tipe U-tube

- Keterangan :
- a) Ruang hampa udara.
 - b) Bagian luar kaca.
 - c) Bagian dalam kaca.
 - d) U-pipe
 - e) Pelat Absorber
 - f) Sirip
 - g) PCM (parafin)

Persamaan umum perolehan panas berguna di atas dapat dijabarkan lebih lanjut ketiga persamaan ketika melibatkan PCM. Karena PCM adalah bahan perubahan fasa, itu terdiri dari panas sensibel dan panas laten. Persamaannya seperti di bawah ini : [15]

Perolehan panas saat PCM dalam keadaan padat :

$$Heat\ gain, Q_u = \frac{m_{PCM} C_{ps\ PCM} (T_{s2} - T_{s1})}{3600} \quad (3)$$

Dimana m_{PCM} adalah massa PCM (kg), $C_{ps\ PCM}$ adalah kalor spesifik PCM dalam keadaan padat (J/kg°C) dan T_s adalah Temperatur PCM dalam keadaan padat (°C).

Persamaan perolehan panas saat PCM dalam keadaan berubah fasa :

$$Latent\ heat, Q_u = \frac{m_{PCM} C_{p\ Latent\ PCM}}{3600} \quad (4)$$

Dimana $C_{p\ Latent\ PCM}$ adalah panas laten PCM (J/kg).

Persamaan perolehan panas saat PCM dalam keadaan cair :

$$Heat\ gain, Q_u = \frac{m_{PCM} C_{pl\ PCM} (T_{L2} - T_{L1})}{3600} \quad (5)$$

Dimana $C_{pl\ PCM}$ adalah kalor spesifik PCM dalam keadaan cair (J/kg) dan T_L adalah temperatur PCM dalam keadaan cair (°C).

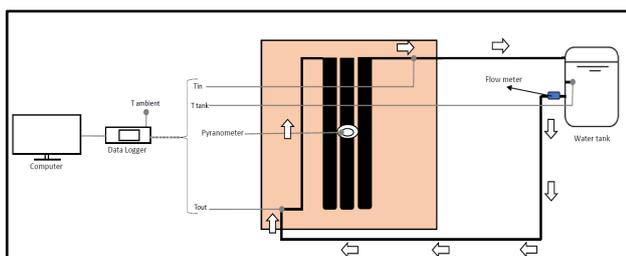
METODOLOGI

Pekerjaan ini dilakukan di Laboratorium Energi Terbarukan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (5°13'50.8" S119°30'05.5" E).

ET 202 merupakan alat yang dapat mensimulasikan radiasi dari matahari ke kolektor pemanas air tenaga matahari yang tersirkulasi secara terus menerus. Tujuan alat ini adalah sebagai alat simulasi sistem pemanas air tenaga matahari yang dapat diuji untuk mengetahui efisiensi dari tiap kolektor yang diinovasi. Alat ini menjadikan eksperimen pemanas air tenaga matahari tidak bergantung pada cuaca karena alat ini memiliki sumber cahayanya sendiri. Pencahayaan yang dimiliki mensimulasikan radiasi matahari secara alami. Cahaya diubah menjadi panas menggunakan kolektor dan ditransfer ke fluida (air) dengan sistem perpindahan panas. Pompa mengalirkan air dari tangki penyimpanan air dan dialirkan melalui kolektor yang dipanaskan dan kembali ke tangki penyimpanan air.



Gambar 2. Alat uji Principle of Solar Thermal Energy ET 202.



Gambar 3. Skematik diagram of the experimental setup

Table 1. Solar thermal energy unit specifications

Description	Dimensi	Unit
<i>ET 202</i>		
Luas kolektor	0,0751	m
Sudut kolektor	10	deg
Tinggi kolektor dengan sumber panas	0,5	m
<i>Lighting unit</i>		
Illuminance	1	kW/m ²
<i>Peristaltic Pump</i>		
Flow rate	8,4	L/h

Table 2. Parameters of evacuated tube collector

Parameters	Dimension	Unit
<i>Pipe (Copper)</i>		
Diameter	0,006	m
Length	0,3	m
U bend	0,028	m
<i>Tube (Glass)</i>		
Length	0,3	m
Diameter	0,037	m
Thickness	0,0005	m
<i>Absorber (Copper)</i>		
Length	0,285	m
Diameter	0,028	m

Table 3. Spesifikasi PCM

Termofisik Properti	Paraffin(1/2)kolektor (0,2gram)
Density (kg/m ³)	908,6
Melting point (°C)	50
Konduktivitas termal(W/m.K)	0,172
Panas laten (kJ/kg)	166,7
Kalor spesifik (kJ/kg°C)	2,4
Kalor spesifik padat (kJ/kg°C)	1,85
Kalor spesifik cair (kJ/kg°C)	2,1



Gambar 4. (a) ETC standar dan (b) ETC dengan penambahan PCM

Jumlah ETC yang digunakan berjumlah tiga buah ETC. Alat yang dijadikan eksperimen pada penelitian terdapat dua model yaitu ETC standar dan ETC PCM. Kedua model alat terlihat pada Fig. 4. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi unit dari sumber energi panas yaitu ET 202. Fig. 4 (b) menunjukkan model ETC yang ditambahkan dengan PCM. PCM yang digunakan adalah paraffin dan spesifikasinya terdapat

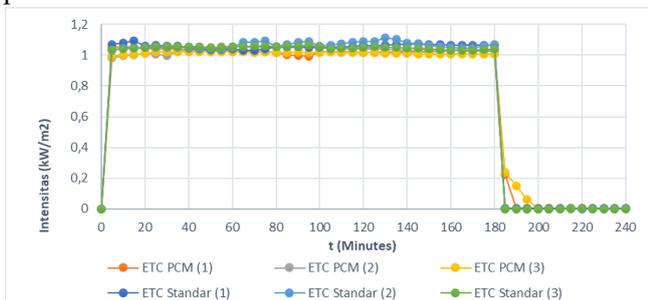
pada tabel 3. Pengujian eksperimental untuk setiap jenis model kolektor diuji selama 240 menit dengan 180 menit sumber panas dihidupkan dan 60 menit terakhir sumber panas dimatikan. Data yang direkam meliputi intensitas cahaya, temperatur air dari inlet dan outlet, laju aliran, dan beberapa variabel lainnya yang diukur dengan termokopel. Sistem pengaliran air yang dilakukan pada pengujian adalah menggunakan sistem *open loop*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Kolektor yang digunakan dalam pengujian adalah ETC standar dan ETC yang telah diberikan penambahan PCM (paraffin). Pengujian dilakukan untuk membandingkan kedua jenis model kolektor ETC dan apakah PCM berpengaruh terhadap efisiensi dari ETC. Setiap model ETC diuji sebanyak tiga kali (ETC Standar (1), ETC standar (2) dan ETC standar (3)) dan (ETC PCM (1), ETC PCM (2) dan ETC PCM (3)) untuk memastikan akurasi

Intensitas

Intensitas radiasi matahari pada alat uji berasal dari unit pencahayaan, diukur menggunakan sensor pyranometer. Gambar 5 menunjukkan intensitas matahari yang diterima untuk dua model ETC. Kedua model diuji menggunakan intensitas matahari dengan nilai 1 kW/m^2 dengan waktu operasi 180 menit. Kemudian 60 menit kemudian, unit penerangan dimatikan agar intensitas matahari tidak lagi terbaca pada alat ukur.

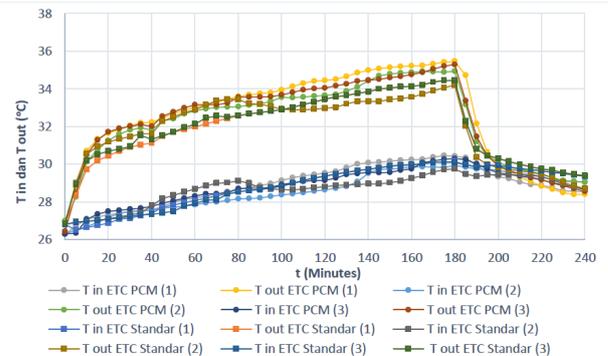


Gambar 5. Grafik Intensitas terhadap Waktu

Temperatur inlet and outlet

Terlihat pada Gambar 6. grafik temperatur inlet dan outlet pada sudut 10° untuk ETC standar dan ETC dengan penambahan PCM . Terlihat temperatur inlet dan outlet pada ETC dengan penambahan PCM paling tinggi dibandingkan temperatur pada kolektor ETC standar. Dimana temperatur inlet maksimum pada ETC terintergrasi PCM sebesar $30,43^\circ\text{C}$, $29,94^\circ\text{C}$ dan $30,3^\circ\text{C}$ dan temperatur outlet maksimumnya yang

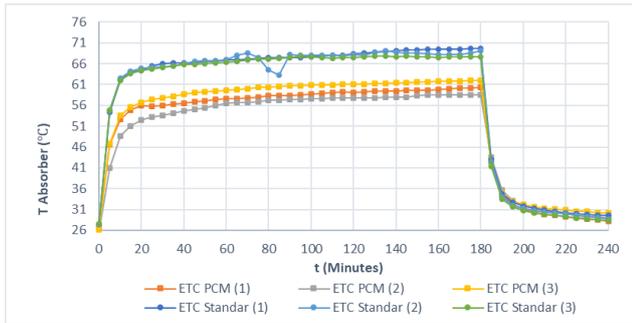
dicapai sebesar $35,46^\circ\text{C}$, $34,94^\circ\text{C}$ dan $35,29^\circ\text{C}$. Sedangkan jika dibandingkan dengan ETC standar memiliki temperatur inlet sebesar $30,13^\circ\text{C}$, $29,75^\circ\text{C}$ dan $30,09^\circ\text{C}$ dan outlet sebesar $34,43^\circ\text{C}$, $34,2^\circ\text{C}$ dan $34,44^\circ\text{C}$. Temperatur inlet dan outlet dari ETC terintergrasi PCM lebih tinggi dibandingkan dengan ETC standar, hal ini dikarenakan energi kalor yang diserap pada pelat kolektor langsung diserap oleh material PCM sebagai *thermal storage* sehingga mengurangi *losses* di dalam area tabung ETC.



Gambar 6. Grafik Temperatur inlet dan outlet terhadap Waktu

Temperature Plat Absorber

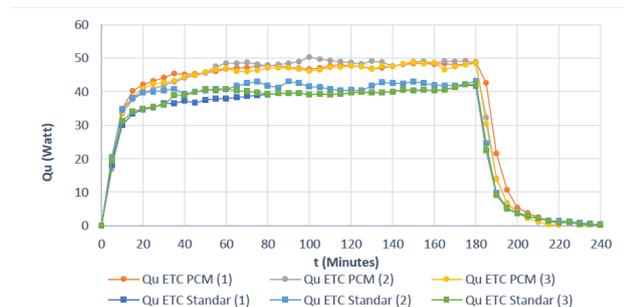
Terlihat pada Gambar 7 pada saat kondisi saat sumber energi kalor dinyalakan, nilai temperatur maksimum ETC standar pada menit ke-180 yaitu $69,92^\circ\text{C}$, $69,08^\circ\text{C}$ dan $67,74^\circ\text{C}$ sedangkan ETC PCM memiliki nilai temperatur absorber sebesar $60,38^\circ\text{C}$, $58,54^\circ\text{C}$ dan 62°C . Dari hasil pengambilan data sebanyak tiga kali dari kedua alat uji, terlihat bahwa temperatur pelat absorber untuk ETC standar lebih tinggi dibandingkan ETC PCM. Hal ini disebabkan pelat absorber pada ETC standar menyerap panas dari sumber kalor dan menyebar secara menyeluruh ke area pelat absorber dan hanya mentransfer panas ke sirip dan pipa tembaga kemudian sisa panas akan terbuang karena adanya ruang hampa udara pada bagian tengah kolektor. Sedangkan untuk ETC PCM memiliki temperatur pelat absorber lebih rendah dibandingkan ETC standar disebabkan pengaruh dari penambahan PCM karena panas yang diserap oleh pelat absorber dari sumber kalor menyebar ke sirip, pipa dan PCM yang menjadi *thermal storage* sehingga temperatur pada pelat absorber pada ETC PCM lebih rendah karena sebagian dari temperatur pelat absorber berpindah ke PCM.



Gambar 7. Grafik Temperatur Pelat Absorber terhadap Waktu

Absorp Energi

Gambar 8. Menunjukkan perbandingan energi kalor yang diserap pada ETC standar dan ETC dengan penambahan PCM. Terlihat bahwa energi kalor pada ETC dengan penambahan PCM menjadi yang paling tinggi dalam menyerap kalor. Dengan penambahan material PCM dapat membantu menyimpan panas, terlihat pada grafik bahwa ETC dengan penambahan PCM menyerap energi kalor yang lebih besar dibandingkan ETC standar, hal ini dikarenakan kalor yang diserap oleh plat absorber secara perlahan berpindah ke PCM sebagai *thermal storage*. Nilai energi kalor yang untuk ETC standar memiliki nilai kalor sebesar 41,71 W, 43,2 W dan 42,15 W sedangkan ETC dengan penambahan PCM memiliki nilai kalor sebesar 48,77 W, 48,52 W dan 48,46 W.

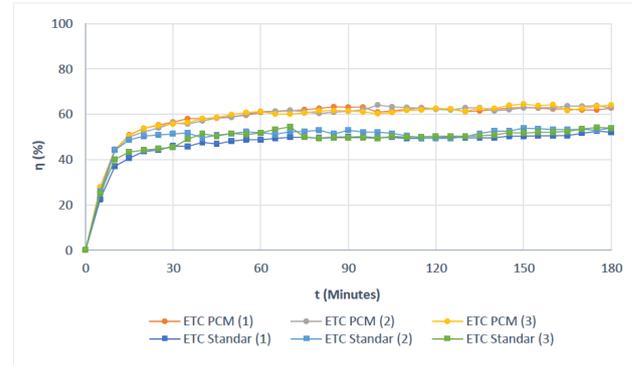


Gambar 8. Grafik Energi Yang Diserap terhadap Waktu

Efisiensi Kolektor

Pada Gambar 9. menunjukkan perbandingan efisiensi antara ETC standar dan ETC dengan penambahan dengan. Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa efisiensi ETC standar mengalami kenaikan efisiensi secara konstan mulai dari menit awal hingga mencapai efisiensi maksimumnya pada menit ke-180 sebesar 52%, 54% dan 54%, hal ini berbanding lurus dengan dari nilai energi kalor yang diserap pelat absorber dari ETC standar terlihat pada Fig. 7. Grafik nilai kalor yang diserap ETC standar mengalami penurunan hingga sumber energi kalor dipadamkan.

Sedangkan untuk efisiensi pada ETC terintegrasi PCM mengalami kenaikan secara perlahan mulai naik dan nilai maksimumnya pada menit ke 180 sebesar 63%, 63% dan 64%



Gambar 9. Grafik Efisiensi kolektor terhadap Waktu

KESIMPULAN

Perancangan eksperimen yang dilakukan pada ETC standar dan ETC PCM masing-masing menggunakan tiga tabung. ETC dengan penambahan PCM menggunakan konfigurasi *filled u-tube* atau ditambahkan pada bagian dalam kolektor dengan mengisi setengah bagian dari kolektor. PCM yang ditambahkan berguna untuk menyerap panas dari sumber cahaya sehingga jumlah kalor yang diserap pada kolektor juga meningkat. PCM yang ditambahkan mengurangi kehilangan panas pada kolektor karena terisinya pada bagian dalam yang merupakan ruang hampa udara seperti pada ETC standar, sehingga kehilangan panas yang terjadi pada ETC standar lebih banyak dibandingkan dengan ETC yang ditambahkan PCM.

Berdasarkan hasil eksperimen dari perbandingan ETC standar dan ETC yang ditambahkan PCM, menunjukkan bahwa ETC dengan PCM memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan ETC standar. Hal ini dikarenakan ETC PCM memiliki jumlah energi kalor yang diserap lebih tinggi dan peran PCM sebagai *thermal storage* yang mampu menyimpan energi panas dan mengurangi *losses* yang terjadi pada kolektor, sehingga berpengaruh pada temperatur inlet dan outlet pada ETC standar dan ETC PCM yang langsung mempengaruhi nilai efisiensi dari tiap kolektor. Berdasarkan hasil pengambilan data nilai efisiensi ETC PCM 63%, 63% dan 64% sedangkan ETC standar hanya 52%, 54% dan 54%. Dengan penambahan PCM pada ETC, terbukti bahwa PCM mampu berperan sebagai *thermal storage* dan mengurangi kehilangan panas yang terjadi pada dalam kolektor karena adanya ruang hampa udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widayana, Gede. 2012. *Pemanfaatan Energi Matahari*. UNDIKSHA : Jurusan Pendidikan Teknik Mesin.
- [2] Sidopekso, Satwiko. 2011. *Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pemanas Air*. Jakarta : Universitas Negeri Jakarta (UNJ).
- [3] Alvarizi, Abdurrahman., Faqih, Muhammad., Harianda, Isman. 2021. *Rancang Bangun Pemanas Air Energi Matahari Menggunakan Tabung Vakum*. Medan : Politeknik Negeri Medan.
- [4] Chopra, K., Tyagi, V.V., Pandey, A.K., Sari, Ahmed. 2018. *Global advancement on experimental and thermal analysis of evacuated tube collector with and without heat pipe systems and possible applications*. India : Shri Mata Vaishno Devi University.
- [5] Sabiha, M.A., Saidur, R., Mekhilef, Saad., Mahian, Omid. 2015. *Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors*. Kuala Lumpur, Malaysia : Departmen Mechanical Engineering University of Malaya.
- [6] Aramesh, M., Shabani, B., 2020. *On the integration of phase change materials with evacuated tube solar thermal collectors*. Australia : Mechanical and Automotive Engineering of RMIT University.
- [7] Naik, B. Kira., Bhowmik, Mirnal., Muthukumar, P. 2018. Experimental investigation and numerical modelling on the performance assessments of evacuated U – Tube solar collector systems. India : Mechanical Engineering Indian Institute of Technology Guwahati, Guwahati, Assam.
- [8] Kumat, Amir., Tiwari, Kuran Amir., Said, Zafar. 2021. *A comprehensive review analysis on advances of evacuated tube solar collector using nanofluids and PCM*. India : Mechanical Engineering of Dr. A. P. J. Abdul Kalam Technical University.
- [9] Algarni, Salem., dkk. 2020. Experimental investigation of an evacuated tube collector incorporating nano-enhanced PCM as a thermal booster. Abha, Saudi Arabia : Mechanical Engineering Department , King Khalid University
- [10] Felinski, Piotr., Sekret, Robert. 2017. Effect of PCM application inside an evacuated tube collector on the thermal performance of a domestic hot water system. Poland : Czestochowa University of Technology, Department of District Heating, Heating, and Ventilation.
- [11] Jalaluddin, R. Tarakka, M. Rusman, A.A. Mochtar, Performance Investigation of Solar Water Heating System with V-Shaped Absorber Plate Integrated Pcm Storage, *International Journal on Engineering Applications*, vol. 8 n. 5, 2020. pp. 188 – 93.
- [12] Essa, Mohamed A., Mostafa, Nabil H., Ibrahim, Mostafa M., 2018. An experimental investigation of the phase change process effects on the system performance for the evacuated tube solar collectors integrated with PCMs. Egypt : Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Engineering, Zagazig University.
- [13] Ismail, A. R Kamal., P. R, Mavd Teles., Lino, A. M. Fatima. 2021. Comparative analysis of eccentric evacuated tube solar collector with circular and rectangular absorber working with nanofluid. Barao, Brazil : Energy Department, Faculty of Mechanical Engineering, State of University of Campinas.
- [14] Chopra, K., Pathak, Atin K., Tyagi, V.V., Pandey, A.K., Anand, Sanjeev., Sari, Ahmed. 2020. Thermal performance of phase change material integrated heat pipe evacuated tube solar collector system: An experimental assessment. India : Shri Mata Vaishno Devi University.
- [15] Saw, C.L., Al-Kaiyem, H.H., Owolabi, A.L. 2013. *Experimental investigation on the effect of PCM and nano-enhanced PCM of integrated solar collector performance..* Tronoh, Perak, Malaysia : Department of Mechanical Engineering , Universiti Teknologi PETRONAS