

## UNJUK KERJA KOLEKTOR TABUNG PEMANAS AIR PADA SAAT CHARGING MENGGUNAKAN PHASE CHANGE MATERIAL (PCM) DENGAN DAN TANPA REFLEKTOR

Khamdan Khavivi<sup>1)</sup>, Mahros Darsin.<sup>2)</sup>, Digdo Listyadi Setyawan<sup>3)</sup>

<sup>1), 2), 3)</sup> Teknik Mesin Universitas Jember

Jl. Kalimantan No.37 Jember

Email: [digdo@unej.ac.id](mailto:digdo@unej.ac.id)

Received: April 26, 2019. Accepted: July 01, 2020

### ABSTRAK

Pada pemanas air bertenaga matahari, radiasi matahari jatuh dan diserap oleh kolektor tabung yang kemudian panasnya digunakan sebagai sumber pemanas air untuk kebutuhan rumah tangga dan industri. Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi pada sistem pemanas air bertenaga matahari adalah dengan menambahkan reflektor di bawah kolektor. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh reflektor terhadap efisiensi kolektor ketika *charging*. Kolektor tabung terdiri dari komponen pipa absorber, pipa air, dan reflektor. Sedangkan reflektor berbentuk parabolik dibuat dari *stainless* untuk memaksimalkan pantulan ke kolektor. Pada eksperimen debit air divariasi 0,48 l/menit; 0,59 l/menit; dan 1,82 l/menit. Pengukuran suhu dengan termokopel dilakukan pada beberapa titik: (i) suhu air masuk dan (ii) suhu air keluar, (iii) suhu *phase change material* (PCM). Sementara pengukuran intensitas radiasi dilakukan dengan pyranometer. Data kemudian dibandingkan antara pemanas air menggunakan reflektor dan tanpa reflektor. Hasil efisiensi kolektor tertinggi pada saat debit air 1,82 l/menit ketika performa kolektor maksimum dengan reflektor dan tanpa reflektor masing-masing adalah 76,8 % dan 69,7 %. Jadi dapat disimpulkan bahwa penggunaan reflektor meningkatkan efisiensi pada kolektor tabung untuk pemanas air. Suhu air keluar dengan reflektor dengan debit 0,59 l/menit lebih tinggi 1,7% dibanding penelitian sebelumnya.

Kata kunci: Kolektor Tabung, Reflektor, PCM

### ABSTRACT

*In solar powered water heaters, solar radiation falls into and then absorbed by tube collectors which are then used as a source of water heaters for household and industrial needs. One effort to improve efficiency in solar powered water heater systems is by adding a reflector under the collector. The main purpose of this study is to find out the effect of the reflector on the collector's efficiency during charging period. The tube collector consists of absorber pipes, water pipes, and reflector. While the parabolic reflector is made of stainless to maximize reflection to the collector. In these experiments the water flow was varied 0.48 l/min, 0.59 l/min, and 1.82 l/min. Temperature measurements were carried out at several points: (i) inlet, (ii) outlet and (iii) phase change material (PCM). While, radiation intensity was measured using a pyranometer. The data were compared between heater with and without reflector. The highest collector efficiency was achieved when applying 1.82 l/minute with the maximum collector performance with reflector and without reflector is 76.8% and 69.7% respectively. It is be concluded that the use of reflectors can increase the efficiency of tube collectors for water heaters. The outlet temperature was higher by 1.7% than the previous result when using water debit of 0.59 l/min.*



Keyword: Tube Collector, Reflector, PCM

## PENDAHULUAN

Peningkatan permintaan energi dunia dan penipisan bahan bakar fosil mengharuskan pengembangan teknologi berdasarkan sumber energi terbarukan [1]. Salah satu contoh dari energi terbarukan adalah energi matahari yang berasal dari matahari. Untuk aplikasi pemanas air, radiasi matahari jatuh pada kolektor matahari, kolektor tersebut menyerap panas dan panasnya digunakan sebagai sumber pemanas air untuk kebutuhan rumah tangga dan industri.

Kolektor matahari dibagi menjadi tiga jenis kolektor berdasarkan dimensi dan geometri dari *receiver* yang digunakan yaitu kolektor pelat datar, tabung vakum, dan parabolik [2]. Tiga jenis kolektor tersebut dibedakan juga karena kisaran suhu yang diperoleh, untuk pelat datar berkisar 30-80 °C, parabolik 60-240 °C, dan tabung vakum 50-200 °C [3].

Penggunaan kolektor tabung dengan konsentrator parabola majemuk (KPM) dapat meningkatkan kinerja pemanas air matahari dengan mengurangi kehilangan panas. Penelitian kolektor matahari dengan KPM telah dilakukan sebelumnya. Felinski dkk. [4] menemukan bahwa penggunaan KPM pada kolektor tabung meningkatkan suhu *phase change material* (PCM), suhu rata-rata dari medium pemanasan, dan efisiensi kolektor tabung vakum ketika proses *charging*. Sedangkan Mishra dkk. [5] menyatakan bahwa penggunaan dari KPM pada kolektor tabung meningkatkan suhu air keluar,

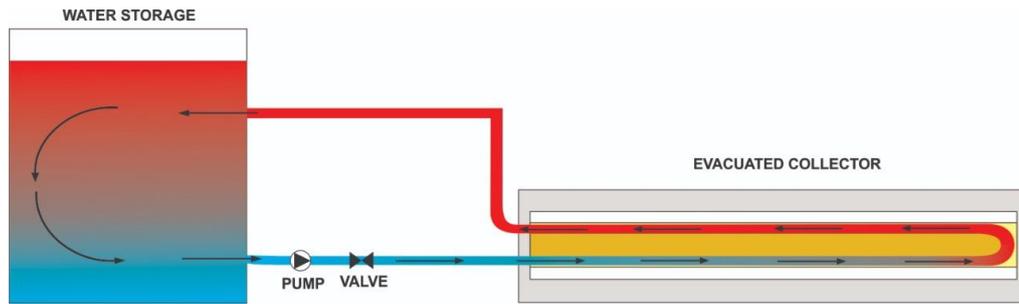
energi panas tahunan, dan exergi tahunan ketika proses *charging*.

Penelitian kolektor tabung dengan penambahan *phase change material* (PCM) telah dilakukan sebelumnya. Allouhi dkk. [6] mengemukakan bahwa penggunaan PCM pada kolektor tabung meningkatkan suhu air keluar dan mengurangi energi panas yang hilang. PCM adalah material yang mengalami perubahan fasa ketika menyerap dan melepaskan panas (kalor laten) ketika struktur atau susunan kimianya tidak mengalami perubahan. PCM dapat mencair dan memadat pada suhu tertentu. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa keuntungan dari PCM adalah kepadatan penyimpanan panas tinggi, kapasitas penyimpanan panas laten besar, biaya murah, dan stabilitas kimia yang sangat baik [7].

Tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisis performa kolektor tabung pemanas air menggunakan PCM dengan dan tanpa reflektor (KPM) memiliki nilai tambah dari segi ilmiah dan praktis. Paper ini menyajikan hasil riset bagaimana pengaruh reflektor terhadap efisiensi kolektor ketika *charging*.

## METODE PENELITIAN

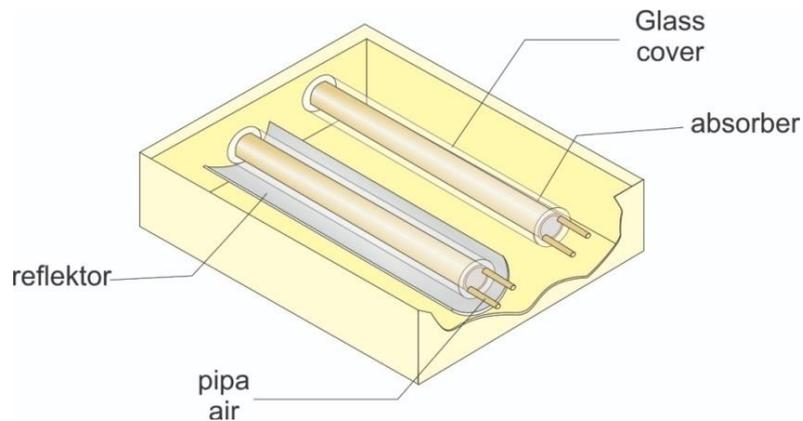
Sistem alat pemanas air yang dirancang dengan sistem sirkulasi, seperti tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Rencana desain sistem alat pemanas air

Rancangan alat dilakukan dua tahap yaitu rancangan awal menggunakan software *Corel Draw X7* dan dilanjutkan proses manufaktur. Cara kerja alat Gambar 1 adalah ketika *pump* dihidupkan dan *valve* dibuka air dari *water storage* mengalir ke selang air masuk kemudian mengalir menuju selang air keluar dan masuk ke *water storage* lagi secara sirkulasi. Gambar 2 merupakan rancangan alat pemanas air rancangan alat dilakukan dua tahap yaitu rancangan awal

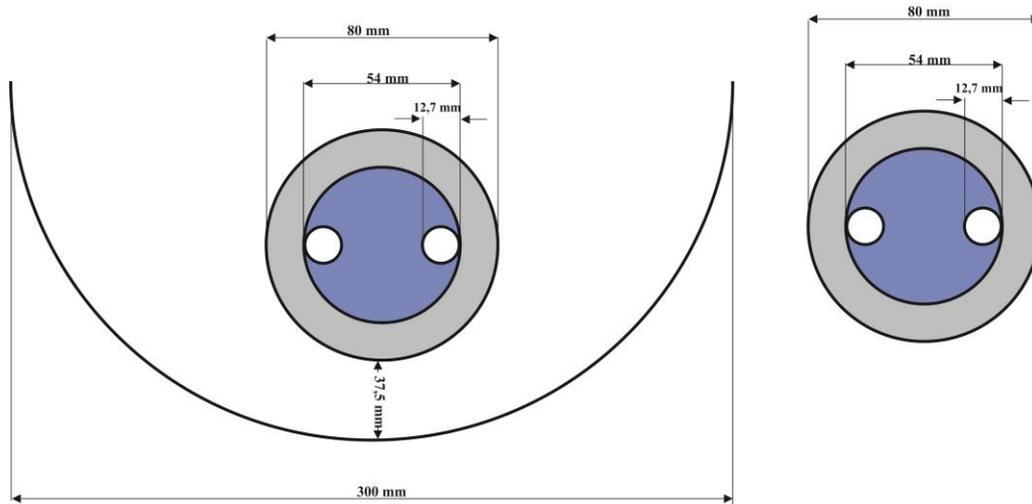
menggunakan software *Corel Draw X7* dan dilanjutkan proses manufaktur. Cara kerja alat Gambar 1 adalah ketika *pump* dihidupkan dan *valve* dibuka air dari *water storage* mengalir ke selang air masuk kemudian mengalir menuju selang air keluar dan masuk ke *water storage* lagi secara sirkulasi. Gambar 2 merupakan rancangan alat pemanas air.



Gambar 2. Rancangan alat pemanas air

Dua pipa air yang terdapat di dalam tabung absorber dibungkus *glass tube*. Satu kolektor tabung diberi reflektor dan lainnya tanpa reflektor.

Dimensi rinci dari perangkat ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Dimensi alat pemanas air

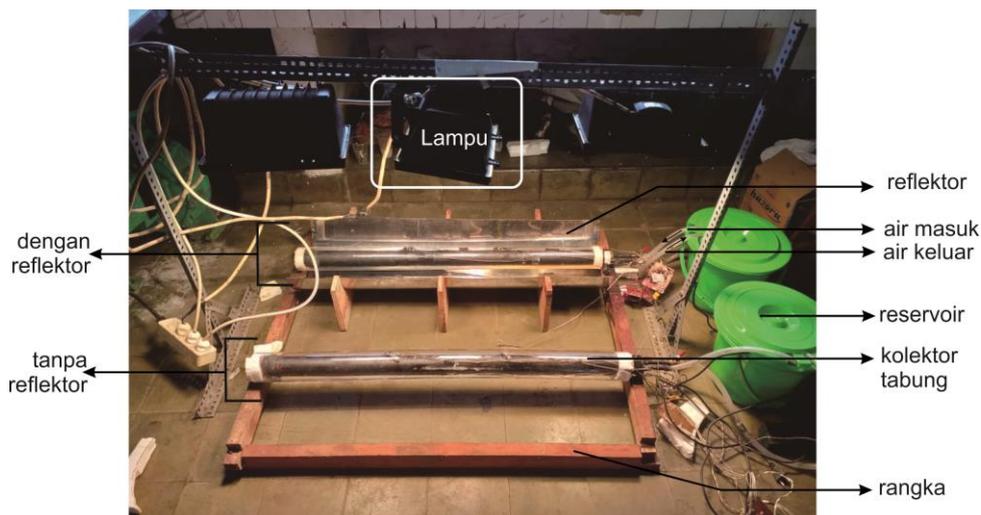
### Tahap Pengujian

Prosedur pengujian diawali dengan menyiapkan alat. Valve dibuka dengan debit air 0,48 l/menit. Intensitas radiasi dikur dengan *digital pyranometer* selama pengujian. Radiasi bersumber dari lampu 1000 Watt sebanyak tiga buah. Pengukuran temperature air dengan termokopel yang diletakkan pada saluran masuk dan keluar. Selain itu,

pengukuran suhu juga dilakukan terhadap PCM. Pengambilan data dilakukan selama empat jam dengan interval waktu 20 menit. Untuk menjamin kebenaran hasil, pengambilan data dilakukan tiga kali pengulangan. Hasil pengujian dibandingkan antara kolektor dengan dan tanpa kolektor. Kemudian dilakukan prosedur pengujian yang sama untuk debit air 0,59 l/menit dan 1,82 l/menit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 berikut menampilkan piranti yang dirancang dan dibuat untuk penelitian ini.



Gambar 4. Alat pemanas air

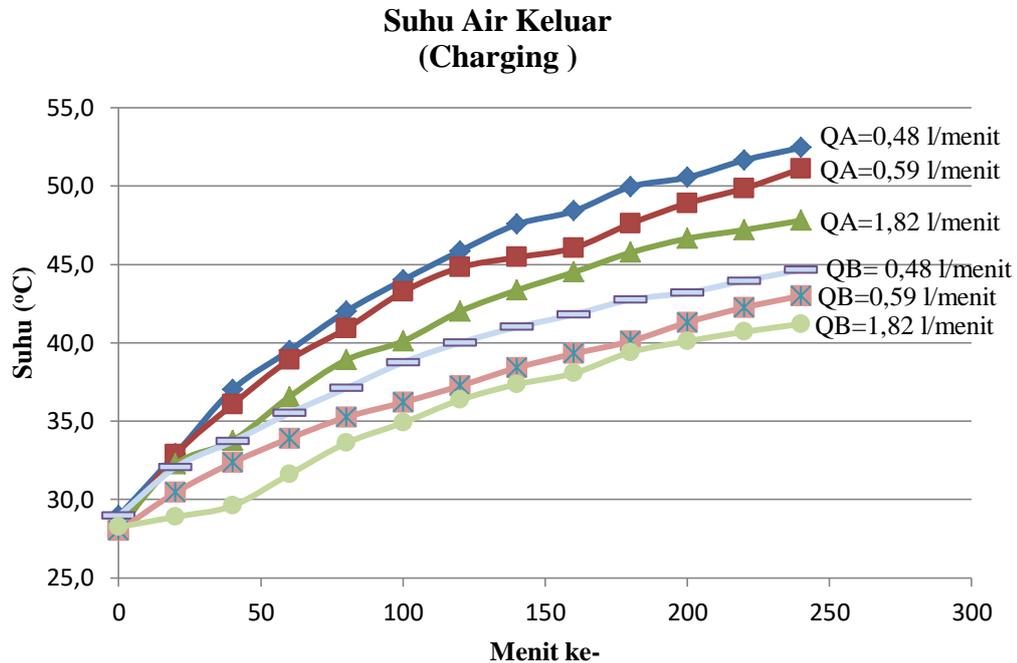
Mekanisme kerja alat ini adalah ketika pompa dihidupkan, air dari *reservoir* mengalir ke selang air masuk kemudian mengalir menuju selang

keluar dan masuk ke *reservoir* lagi secara sirkulasi selama empat jam total pengambilan data.

**Suhu Air Keluar**

Adapun grafik dari suhu air keluar *charging* kolektor tabung A (dengan reflektor) dan kolektor

tabung B (tanpa reflektor) ditampilkan pada Gambar 5



Gambar 5. Suhu air keluar *charging*

Gambar 5 menunjukkan bahwa suhu air keluar pada kolektor tabung A (dengan reflektor) lebih tinggi dibandingkan kolektor tabung B (tanpa reflektor). Adanya penambahan reflektor tersebut yang menyebabkan penambahan intensitas radiasi lampu dari pemantulan reflektor ke kolektor. Kemudian dari hasil suhu air keluar maksimum kolektor A dan B didapatkan persentase kenaikan suhu air keluar pada debit air 0,48 l/menit; 0,59 l/menit; dan 1,82 l/menit masing-masing adalah 17,5 %; 18,8 %; dan 16,0 %. Hasil penelitian ini memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil dari Mishra dkk. [5] bahwa suhu air keluar maksimum kolektor dengan konsentrator parabolik lebih tinggi dibanding kolektor tanpa konsentrator parabolik. Untuk persentase kenaikan suhu air keluar pada debit 0,59 l/menit, penelitian ini menghasilkan kenaikan sebesar 18,8%, sedikit lebih tinggi daripada yang dihasilkan Mishra dkk. [5] sebesar 17,1%.

Gambar 5 juga menunjukkan kejadian bahwa suhu air keluar meningkat ketika debit air semakin kecil. Faktor yang menyebabkan terjadi fenomena

tersebut karena semakin kecil debit air maka laju aliran air semakin pelan, sehingga menyebabkan penyerapan panas dari sinar lampu semakin lama. Dari gambar tersebut terlihat nilai suhu air keluar maksimal pada QA= 0,48 l/menit sebesar 52,5 °C dan nilai suhu air keluar minimal pada QB= 1,82 l/menit sebesar 41,2 °C.

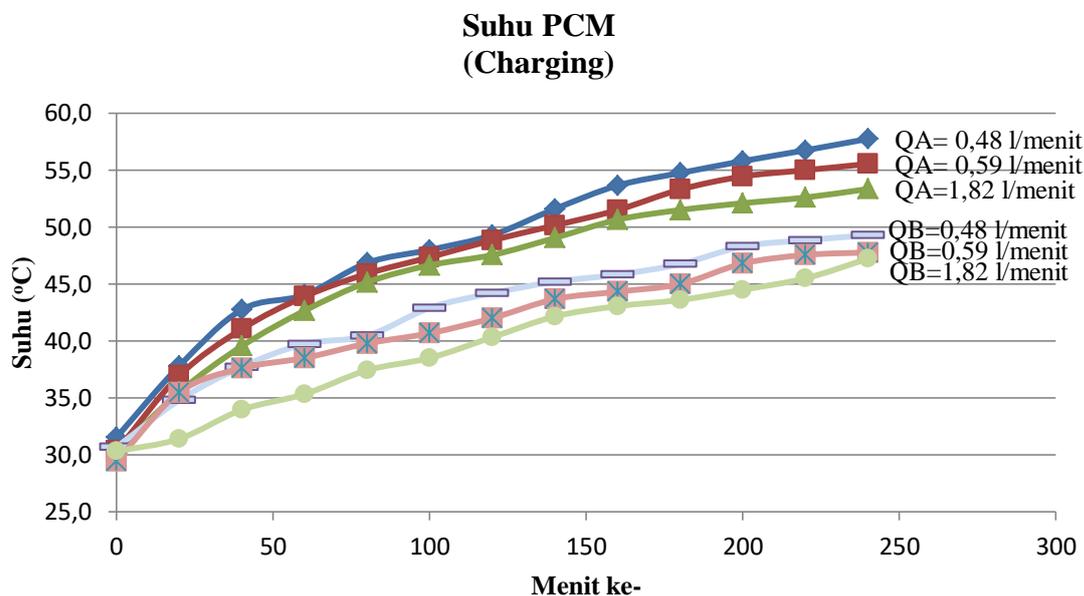
**Suhu PCM**

Suhu PCM pada saat *charging* disajikan pada Gambar 6. Dari gambar ini jelas bahwa suhu PCM kolektor tabung A dengan reflektor lebih tinggi dibandingkan suhu PCM kolektor tabung B tanpa reflektor. Dengan reflektor maka terdapat tambahan intensitas radiasi lampu melalui pantulan yang menyebabkan peningkatan suhu PCM. Kenaikkan suhu PCM seiring dengan hasil Felinski dkk. [4] bahwa suhu PCM dengan konsentrator parabolik lebih tinggi daripada tanpa konsentrator parabolik.

Hal lain yang dapat dilihat dari gambar di atas adalah semakin besar debit air maka suhu PCM semakin kecil, karena dipengaruhi oleh laju aliran yang mengalir semakin cepat. Laju aliran tinggi

berarti suhu air sedikit panas yang tertinggal pada alat sehingga suhu PCM yang tercatat lebih rendah. Nampak jelas bahwa nilai suhu PCM maksimal

pada QA= 0,48 l/menit sebesar 57,8°C dan nilai suhu PCM minimal pada QB= 1,82 l/menit sebesar 47,2°C.



Gambar 6. Suhu PCM proses charging

**Efisiensi**

Efisiensi dari sebuah kolektor tabung matahari adalah rasio antara laju panas yang diserap oleh air (fluida kerja) dengan radiasi matahari yang diserap oleh luasan dari kolektor tersebut. Efisiensi kolektor tabung dapat dihitung dengan rumus persamaan (1) [8].

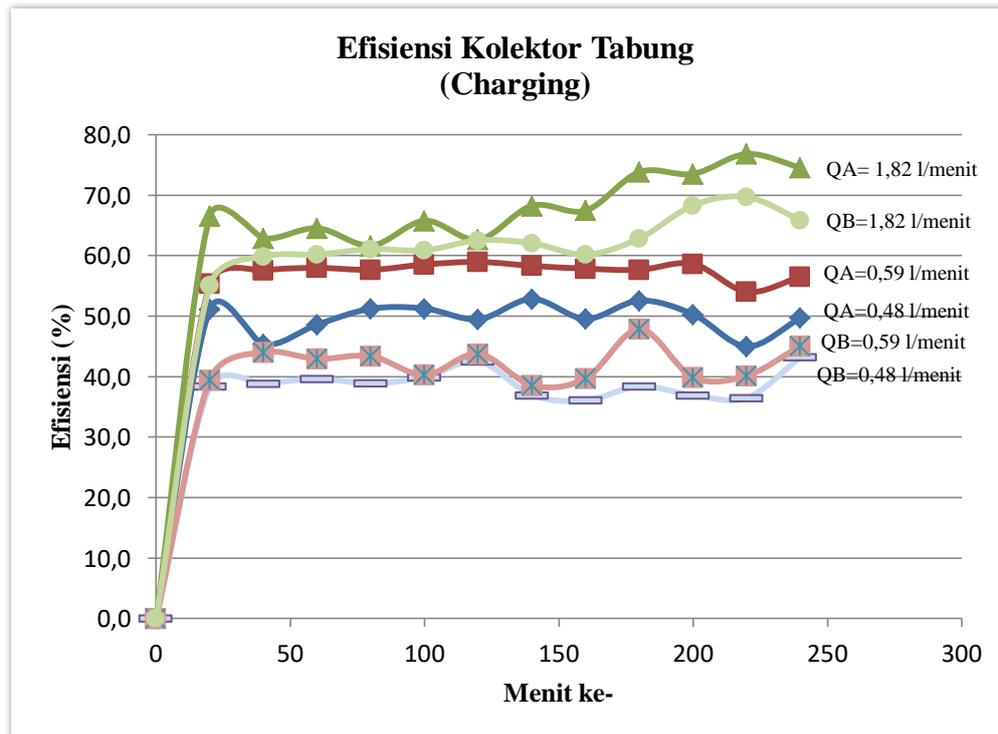
$$\eta = \frac{\dot{Q}_{air}}{n \times A_{cover} \times I} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Adapun modifikasi alat kolektor tabung dengan penambahan reflektor sehingga efisiensi kolektor dapat dihitung menggunakan rumus (2).

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{air}}{0,5.n.I.A + 0,5.n.I.0,7.A} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Simbol  $\eta$  adalah efisiensi kolektor (%),  $\dot{Q}_{air}$  adalah laju perolehan panas yang diserap air (J/s atau W), n adalah jumlah kolektor yang digunakan,  $A_{cover}$  adalah luasan cover ( $m^2$ ), I adalah Intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ ), nilai 0,5 adalah setengah bagian kolektor yang terkena sinar matahari dari arah atas dan bawah, dan nilai 0,7 adalah nilai reflektivitas dari bahan *stainless steel* [9].

Dari persamaan (2) maka dihitung efisiensi tiap 20 menit, kemudian hasilnya disajikan pada Gambar 7.

Gambar 7. Efisiensi kolektor *charging*

Dari gambar tersebut nyata bahwa efisiensi kolektor tabung A (dengan reflektor) lebih tinggi dibandingkan efisiensi kolektor tabung B (tanpa reflektor) pada masing-masing debit air. Kemungkinan alasannya adalah adanya reflektor menambah intensitas radiasi lampu melalui pemantulan ke kolektor menyebabkan selisih suhu air meningkat sehingga efisiensinya meningkat juga. Hasil dari penelitian ini memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian Felinski dkk. [4] bahwa efisiensi kolektor dengan konsentrator parabolik lebih tinggi daripada efisiensi kolektor tanpa konsentrator parabolik. Efisiensi maksimum yang didapatkan dari penelitian tersebut pada kolektor dengan konsentrator parabolik dan tanpa konsentrator parabolik adalah 50,0 % dan 40,0 % pada debit air 1,21 l/menit ketika intensitas radiasi mencapai  $900 \text{ W/m}^2$ .

Hal lain yang dapat dilihat dari Gambar 7 adalah bahwa semakin besar debit air maka efisiensi kolektor semakin besar. Penyebabnya adalah semakin besar debit air maka produksi air panas yang diperoleh semakin banyak. Terungkap juga dari gambar tersebut bahwa nilai efisiensi

kolektor tabung maksimal pada  $QA = 1,82 \text{ l/menit}$  sebesar 76,8 % dan nilai efisiensi kolektor tabung minimal pada  $QB = 0,48 \text{ l/menit}$  sebesar 43,2 %.

### 1. Pengujian Jaringan Kabel Optik

Pengujian Kabel jaringan optik dilakukan untuk mengetahui proses kinerja *prototype* keseluruhan dalam kecepatan *transfer* data. Proses pengujian kabel jaringan optik dilakukan dengan 2 tahapan yaitu pengujian kecepatan sistem secara manual dan pengujian ukuran data *transfer* secara otomatis.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Karakteristik penyimpanan termal dengan *phase change material* (PCM) berupa titik leleh dari PCM menggunakan reflektor lebih cepat mengalami leleh dibanding dengan tanpa reflektor. Adanya reflektor menambah intensitas radiasi dari bawah kolektor dengan cara dipantulkan. Hasil suhu PCM tertinggi pada debit air 0,48 l/menit dimana titik leleh kolektor

- A pada menit ke 100 dan kolektor B pada menit ke 200. Pada debit air 0.59 l/menit hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan suhu air keluar lebih tinggi sebesar 1.7% dibanding hasil penelitian sebelumnya.
- b. Semakin kecil debit air maka suhu keluar pipa air akan semakin besar. Karena semakin kecil debit air maka laju aliran air semakin pelan sehingga penyerapan panas dari sinar lampu akan semakin lama.
- c. Peningkatan efisiensi dari kolektor karena adanya reflektor melalui tambahan intensitas radiasi lampu dengan pemantulan ke kolektor. Hasil efisiensi kolektor tertinggi pada saat debit air 1,82 l/menit dimana performa kolektor maksimum A (dengan reflektor) dan B (tanpa reflektor) masing-masing adalah 76,8 % dan 69,7 %.

### DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. Mehrali, S. T. Latibari, M.A. Rosen, A.R. Akhiani, M.S. Naghavi, E. Sadeghinezhad, H.S.C. Metselaar, M. M. Nejad, dan M. Mehrali, "From rice husk to high performance shape stabilized phase change materials for thermal energy storage", *RSC Advances*, vol. 6, pp. 45595-45604, 2016.
- [2] Darwin, M. I. Maulana, dan Irwandi Z. A., "Pengaruh bentuk kolektor konsentrator terhadap efisiensi pemanas air surya," *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTMXIV)*, 2015.
- [3] S. A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.30, pp. 231–295, 2004.
- [4] P. Felinski dan Robert Sekret, "Effect of a low cost parabolic reflector on the charging efficiency of an evacuated tube collector/storage system with a PCM", *Solar Energy*, vol.144, pp. 758–766, 2017.
- [5] R. K. Mishra, V. Garg, dan G.N. Tiwari, "Energy matrices of U-shaped evacuated tubular collector (ETC) integrated with compound parabolic concentrator (CPC)", *Solar Energy*, vol. 153, pp. 531-539, 2017.
- [6] A. Allouhi, A. Ait Msaad, M. Benzakour Amine, R. Saidur, M. Mahdaoui, T. Kousksou, A.K. Pandey, A. Jamil, N. Moujibi, dan A. Benbassou, "Optimization of melting and solidification processes of pcm: application to integrated collector storage solar water heaters (ICSSWH)", *Solar Energy*, vol. 171, pp 562-570, 2018.
- [7] Z. Khan, Z. Khan, dan A.A Ghafoor, "Review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility", *Energy Convers Manag*, vol. 115, pp. 132–58, 2016.
- [8] R. K. Mishra, V. Garg, dan G.N. Tiwari, "Thermal modeling and development of characteristic equations of evacuated tubular collector (ETC)" *Solar Energy*, vol. 116, pp 165–176, 2015.
- [9] J. C. Zwinkels, M. Noel, dan C. X. Dodd, "Procedure and standards for accurate spectrophotometric measurements of specular reflectance", *Applied Optics*, vol. 33, pp. 34, 1994.