

PENGARUH PENGGUNAAN *TURBULENCE ENHANCER* TERHADAP EFISIENSI PADA KOLEKTOR PEMANAS AIR TENAGA SURYA

The Effect of Using Turbulence Enhancer on Efficiency of Solar Water Heater Collector

Muhammad Nizar Ramadhan, Herry Irawansyah

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jend. Ahmad Yani km 36,
Banjarbaru, Indonesia

*Surel: nizarramadhan@unlam.ac.id

Abstract

One of the utilization of solar energy is to heat the solar water collector. To improve the performance of solar water heaters, modifications were applied to dual absorber plate and flow channels to increase heat absorption. This study aims to analyze the energy deficiency (Q_{loss}), useful energy (Q_u), and efficiency (η) solar water heater with additional modification of turbulence enhancer and variation on the type of glass cover. Volume flow rate of water were varied to 1500 mL/min, 1200 L/min, 900 mL/min, and 700 mL/min. The results showed that the highest collector energy losses (Q_{loss}) 82.45 Watt on the collector with dark glass, the highest useful energy (Q_u) 649.17 Watt and highest efficiency (η) 83.78% in the clear glass collector and the volume flow rate 700 mL / min. The smaller volume flow rate of water, the greater value of useful energy (Q_u) and efficiency (η) was generated by collectors. This is because at a smaller volume flow rate, water gets a much longer chance of absorbing the heat supplied by the absorber plate.

Keywords: solar water heater, turbulence enhancer, energy losses, efficiency

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi alternatif dikedepankan sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil dan minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang bisa dimanfaatkan adalah energi surya. Untuk meningkatkan efektifitas pemanfaatan energi surya secara langsung, dapat menggunakan alat pengumpul panas yang biasa disebut kolektor. Contoh pengaplikasian kolektor surya adalah kolektor surya pemanas air. Sebuah kolektor surya pemanas air umumnya terdiri dari pelat penyerap yang memiliki konduktivitas termal yang baik, dimana pelat penyerap ini berhubungan dengan pipa-pipa yang mengalirkan fluida, dan sebuah atau lebih penutup tembus cahaya di bagian atas. Energi radiasi matahari yang datang ditransmisikan melalui penutup transparan dan diubah menjadi panas oleh pelat penyerap dimana bagian dasar dan sisi kolektor diberi isolasi. Panas yang diterima oleh pelat penyerap selanjutnya dikonduksikan ke pipa-pipa pembawa cairan.

Salah satu parameter yang berpengaruh pada kolektor surya pemanas air adalah *absorber* dari kolektor surya tersebut. Pada kolektor surya dengan saluran pipa dibutuhkan pengelasan untuk menghubungkan pipa dan pelat yang menimbulkan adanya tahanan termal yang dapat menghambat

perpindahan panas konveksi dari pelat *absorber* ke aliran dalam pipa. Untuk mengatasi permasalahan di atas, perlu dilakukan penelitian mengenai kolektor surya pemanas air tanpa menggunakan pipa sebagai media tempat saluran air. Ini bertujuan agar panas matahari yang diserap oleh pelat *absorber* langsung dapat ditransfer ke fluida yang mengalir di bawahnya.

Salah satu cara metode pasif yang umum untuk meningkatkan transfer panas yaitu menggunakan permukaan yang bergelombang sehingga menghasilkan aliran turbulen lokal dalam penukar panas. Modifikasi dari bentuk geometri permukaan pada saluran aliran fluida yang dipanaskan dapat meningkatkan nilai perpindahan panas konveksi yang terjadi.

Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan modifikasi saluran dengan tambahan gelombang pada konstruksi *solar water heater* pelat penyerap ganda model gelombang akan menghasilkan luasan yang lebih besar dan tegak lurus terhadap datangnya radiasi matahari, sehingga jumlah panas yang diserap menjadi lebih besar dan dapat meningkatkan efisiensi *solar water heater* jika dibandingkan dengan pelat penyerap ganda model datar (Akhtar & Mullick 2011). Semakin besar laju aliran akan menyebabkan waktu dari fluida kerja untuk menyerap panas lebih sedikit,

sehingga berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan *solar water heater*. Efisiensi penyerapan panas yang diperoleh pada *solar heater* pelat penyerap ganda lebih tinggi dibandingkan dengan *solar water heater* konvensional (Cengel & Cimbala 2006). Penggunaan *turbulence promoter* juga memperlihatkan hasil yang signifikan pada efisiensi yang dihasilkan kolektor. Efisiensi yang dihasilkan oleh pemanas air tanpa *turbulence promoter* adalah 62,34%, sedangkan pada pemanas air dengan *turbulence promoter* adalah 67,5% (Duffie & Beckman 2013).

Selain penggunaan *turbulence promoter*, penambahan gulungan kawat diaplikasikan untuk meningkatkan perpindahan panas pada *solar water heater* pelat datar pada laju aliran massa 0,04 kg/s, yang terbukti dapat meningkatkan tingkat perpindahan panas dan efisiensi termal (Farid & Ismail 2011).

Selain modifikasi pada saluran, kondisi pada tiap komponen kolektor juga mempengaruhi terhadap perpindahan panas dan efisiensi dari kolektor. Pengaruh jarak kaca ke pelat *absorber* berpengaruh terhadap temperatur pelat, yang menyatakan besar panas yang diterima. Penggunaan jenis kaca bening ketebalan 3 mm dengan jarak kaca ke pelat penyerap 20 mm akan menyebabkan temperatur pelat menjadi lebih tinggi (Garcia *et al.* 2013). Efisiensi kolektor pemanas air tertinggi dihasilkan dengan ketebalan pelat 1,2 mm dan jarak antar pipa penyalur cairan 73,6 mm (Handoyo & Anggraini 2001).

Pengaruh penyerapan radiasi pada kaca penutup tunggal dan ganda pada kolektor surya terhadap koefisien perpindahan panas menghasilkan bahwa penyerapan radiasi matahari pada kaca penutup tunggal mampu meningkatkan suhu sebesar 6°C. Dan untuk kolektor dengan kaca penutup ganda mampu meningkatkan penyerapan radiasi matahari sebesar 11°C (Intang *et al.* 2017). Variasi sudut kemiringan kolektor sebesar 10°, 20°, dan 30° memperlihatkan hasil temperatur air keluar kolektor tertinggi terjadi pada sudut kemiringan kolektor 30° yaitu sebesar 42,8°C untuk 1 kaca penutup, sedangkan untuk 2 kaca penutup temperatur sebesar 44,8 °C. Efisiensi rerata kolektor surya satu kaca penutup 51,98%, dan untuk efisiensi rerata solar kolektor surya dua kaca penutup 56,21% (Kalogirou 2009). Nilai konduktivitas termal kaca terendah adalah 0,809 W/m °K pada kaca bening ketebalan 0,3 cm sedangkan yang tertinggi sebesar 2,014 W/m°K pada kaca gelap dengan ketebalan 0,8 cm (Kristanto & San 2001).

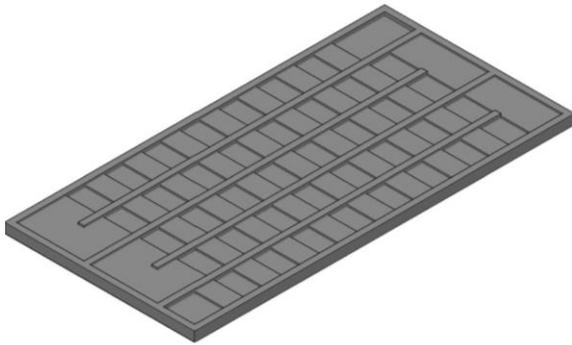
Dari beberapa penelitian terdahulu yang pernah dilakukan maka perlu dilakukan pengembangan penelitian selanjutnya mengenai variasi lain dari kolektor surya pelat datar dengan penggunaan alur zig zag dan *turbulence enhancer* dengan geometri persegi panjang. Tujuan dari kolektor model ini untuk memperbesar luasan permukaan yang dapat langsung menyerap radiasi matahari serta memperpanjang lintasan air untuk memaksimalkan penyerapan panas air dari pelat penyerap. Selain itu, penambahan *turbulence enhancer* pada saluran fluida dapat merekayasa aliran, sehingga tercipta aliran turbulen lokal pada saat proses penyerapan panas oleh air. Dengan ini diharapkan dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi dari *absorber* ke air dan efisiensi yang dihasilkan oleh kolektor surya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap kerugian energi, energi berguna dan efisiensi yang dihasilkan kolektor pemanas air tenaga surya dengan *turbulence enhancer*, berdasarkan variasi laju aliran volume air dan jenis kaca penutup yang digunakan pada kolektor.

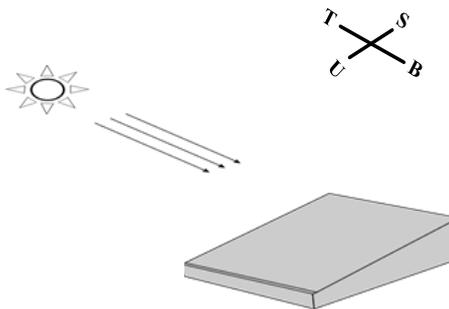
2. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh geometri alur zig-zag dan *turbulence enhancer* persegi panjang terhadap kerugian energi, energi berguna dan efisiensi yang dihasilkan kolektor pemanas air tenaga surya. Adapun yang menjadi variabel bebas yang digunakan adalah laju aliran volume dengan variasi 700 mL/menit, 900 ml/menit, 1.000 ml/menit dan 1.500 ml/menit. Selain itu, juga ada variasi jenis kaca penutup yang digunakan (kaca bening dan kaca gelap). Variabel terikatnya adalah energi berguna (Q_u) yang dihasilkan kolektor, kerugian energi (Q_{loss}) yang terjadi pada kolektor, dan efisiensi (η). Pelat isolator terbuat dari *polyethylene* dengan ketebalan 25 mm diberi modifikasi alur zig-zag dan *turbulence enhancer* dengan kedalaman 10 mm dan tinggi balok 5 mm (Gambar 1).

Pengujian diawali dengan meletakkan kolektor pemanas air tenaga surya di bawah radiasi matahari secara langsung, dan memosisikannya sesuai dengan arah matahari dengan posisi 7,95° LS dan 112,06° BT untuk tanggal 2 - 11 Oktober 2017. Posisi matahari akan cenderung pada lintang utara, sehingga kolektor diposisikan menghadap utara-selatan.



Gambar 1. Pelat *polyethylene* dengan *turbulence enhancer*

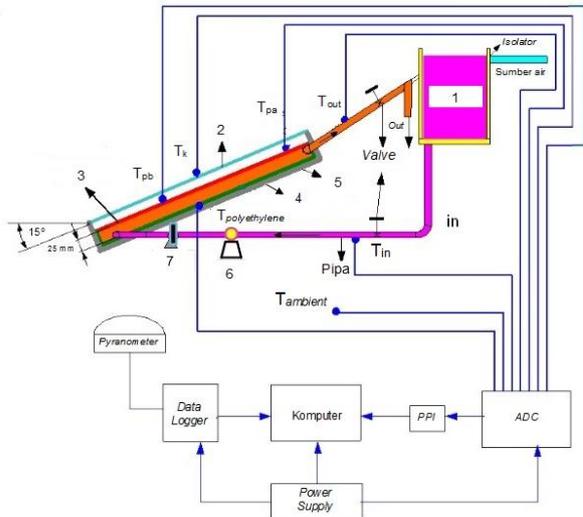


Gambar 2. Posisi peletakan kolektor pemanas air terhadap matahari

Sebelum melakukan tahapan pengambilan data, perlu dilakukan persiapan dan pengecekan setiap komponen pada alat serta memastikan alat penelitian dan alat ukur dapat bekerja dengan baik dan aman. Untuk peralatan ukur dilakukan kalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk menjamin ketepatan hasil pengukuran. Kemudian menyalakan komputer dan *data logger* yang terhubung dengan komputer untuk persiapan pengambilan data dan dilakukan *running program* untuk pengecekan sensor-sensor yang terhubung pada kolektor pemanas air, yang masing-masing sensor diletakkan sesuai dengan fungsinya sesuai instalasi penelitian pada Gambar 3.

Pengambilan data dilakukan dalam kondisi cuaca cerah, dimulai pada pukul 08.00 - 15.00 WIB dengan interval waktu setiap 10 menit sampai waktu pengambilan data terpenuhi untuk setiap harinya. Prosedur pengambilan data diawali dengan melakukan pengisian air pada bak penampungan, yang dilanjutkan dengan meyalakan pompa air dan membuka *valve* dari bak penampungan agar air dapat mengalir menuju kolektor untuk dipanaskan oleh kolektor pemanas air tenaga surya. Variasi laju aliran volume air yang masuk ke saluran kolektor (1500 ml/menit, 1200 ml/menit, 900 ml/menit, dan 700 ml/menit) diatur dengan menggunakan *flowmeter*. Untuk pengambilan data dilakukan

sebanyak dua hari berdasarkan setiap variasi laju aliran volume air.



Gambar 3. Instalasi penelitian

Keterangan :

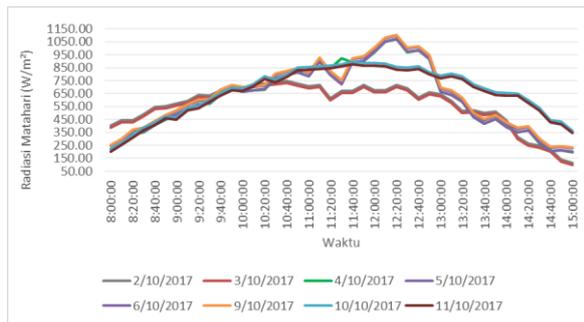
- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 : Tandon air | 2 : Kaca penutup |
| 3 : Pelat <i>absorber</i> | 4 : <i>Polyethylene</i> |
| 5 : Isolator | 6 : Pompa |
| 7 : <i>Flow meter</i> | |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Intensitas Radiasi Total Matahari terhadap Waktu Penelitian

Radiasi total matahari yang diterima oleh kolektor dari pukul 08.00 WIB, perlahan-lahan akan mengalami kenaikan, hingga mencapai radiasi puncaknya antara pukul 11.00 WIB sampai dengan pukul 13.00 WIB (Gambar 4). Selepas dari jam tersebut, radiasi matahari yang diterima mulai mengalami penurunan hingga menjelang sore hari. Nilai rerata radiasi total matahari yang diterima oleh *pyranometer* bervariasi, yaitu $555 \text{ W/m}^2 - 617 \text{ W/m}^2$ pada pagi hari (jam 08.00 WIB - 10.55 WIB), $650 \text{ W/m}^2 - 920 \text{ W/m}^2$ pada siang hari (jam 11.00 WIB - 13.00 WIB), dan $355 \text{ W/m}^2 - 630 \text{ W/m}^2$ pada sore hari (jam 13.05 WIB - 15.00 WIB).

Faktor pertama yang mempengaruhi besar kecilnya radiasi matahari yang diterima oleh *pyranometer* dan kolektor surya, yaitu sudut datang sinar matahari. Semakin tegak sinar matahari yang datang, semakin tinggi radiasi total matahari yang diterima. Posisi matahari terhadap kolektor yang lebih miring pada pagi hari dan sore hari, membuat radiasi total matahari yang diterima lebih rendah bila dibandingkan pada saat siang hari dimana posisi matahari tegak lurus dengan *pyranometer* dan kolektor.

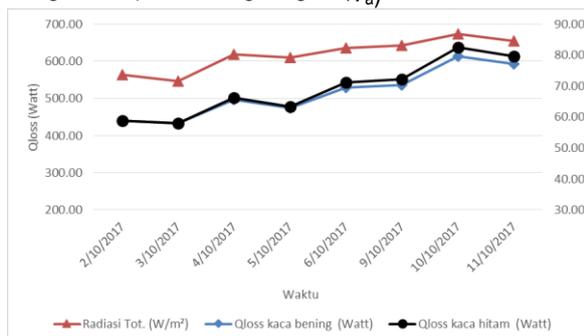


Gambar 4. Hubungan intensitas radiasi total matahari terhadap waktu penelitian

Faktor kedua yang mempengaruhi intensitas radiasi matahari adalah kondisi atmosfer, seperti awan, debu, uap air, dan gas-gas di atmosfer. Perubahan kondisi cuaca pada menjelang sore hari, yang cenderung mendung dan berawan mengakibatkan radiasi matahari yang diterima oleh kolektor menjadi terhalang oleh gumpalan awan. Hal ini terjadi pada saat siang hingga sore hari.

3.2 Hubungan Rata-Rata Kerugian Energi (Q_{loss}) dan Intensitas Radiasi Matahari Total Pada Pengujian Laju Aliran Volume

Energi panas yang hilang dari kolektor surya merupakan hasil dari koefisien kehilangan panas total (U_L), dan selisih antara temperatur pelat (T_p) dengan temperatur lingkungan (T_a).

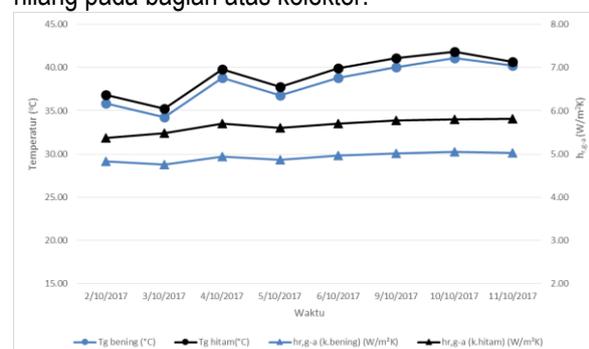


Gambar 5. Hubungan intensitas radiasi total matahari terhadap kerugian energi (Q_{loss}) pada pengujian laju aliran volume dan jenis kaca penutup

Pada gambar 5, terjadi hubungan yang saling berbanding lurus antara intensitas radiasi total matahari terhadap kerugian energi kolektor (Q_{loss}), baik kerugian energi pada kolektor kaca bening maupun dengan kolektor kaca gelap. Tren peningkatan dari radiasi matahari yang diamati,

diikuti juga dengan peningkatan yang terjadi pada kerugian energi kolektor. Kerugian energi yang dihasilkan dari kolektor dengan kaca bening menunjukkan hasil yang lebih kecil daripada kerugian energi pada kolektor kaca gelap. Untuk pengamatan tanggal 10 Oktober 2017 (pengujian laju aliran volume 700 mL/menit) didapatkan rerata kerugian energi kolektor tertinggi sebesar 79,58 Watt pada kolektor dengan kaca bening, dan rerata kerugian energi kolektor tertinggi sebesar 82,45 Watt pada kolektor dengan kaca gelap. Sedangkan pada pengamatan tanggal 3 Oktober 2017 (pengujian laju aliran volume 1500 mL/menit), didapatkan rerata kerugian energi paling rendah untuk kaca bening sebesar 58,02 Watt dan rerata kerugian energi untuk kaca gelap sebesar 58,07 Watt.

Kerugian energi yang terjadi dalam kolektor pemanas air tenaga surya tidak terlepas dari kerugian panas keseluruhan yang terjadi pada kolektor, khususnya pada bagian atas kolektor (U_t). Kerugian pada bagian atas kolektor memberi pengaruh sangat besar terhadap kerugian energi yang terjadi pada kolektor. Keterlibatan setiap komponen dari kolektor (temperatur kaca penutup dan temperatur pelat *absorber*) dan faktor dari lingkungan sekitar kolektor (temperatur lingkungan, kecepatan angin, dan intensitas radiasi matahari) menjadi penyebab besar atau kecilnya energi yang hilang pada bagian atas kolektor.



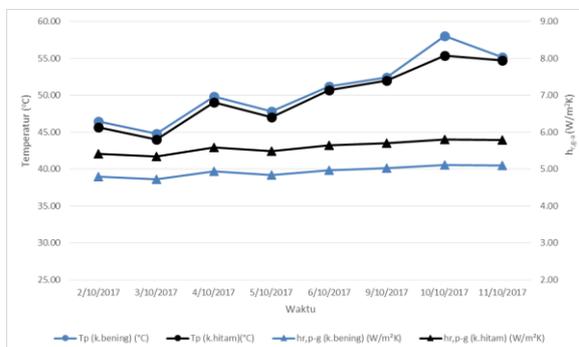
Gambar 6. Hubungan T_g terhadap koefisien $h_{r,g-a}$

Proses perpindahan panas radiasi dan konveksi yang melibatkan kaca penutup dengan lingkungan ($h_{r,g-a}$) merupakan faktor pertama yang berpengaruh terhadap kerugian energi kolektor. Seperti terlihat pada gambar 6, kondisi terpaan radiasi matahari yang semakin besar maka akan diikuti juga dengan meningkatnya temperatur kaca penutup. Pada kaca bening, rerata kerugian energi kolektor tertinggi sebesar 79,58 Watt, terjadi pada kondisi radiasi total matahari 672,78 W/m^2 . Pada pengamatan tanggal 10 Oktober 2017 (pengujian laju aliran volume 700 mL/menit), rerata temperatur

lingkungan dan kaca penutup mencapai nilai paling besar, dimana nilainya masing-masing sebesar 32,39°C dan 41,11°C, sehingga menghasilkan nilai rerata koefisien perpindahan kalor radiasi antara kaca penutup bening dan lingkungan maksimum 5,05 W/m²K.

Sedangkan pada pengamatan tanggal 10 Oktober 2017 (pengujian laju aliran volume 700 mL/menit), dengan kondisi rerata temperatur lingkungan yang sama dengan pengamatan pada kaca penutup bening, rerata temperatur pada kaca gelap menghasilkan 41,87°C, sehingga nilai rerata koefisien perpindahan kalor radiasi antara kaca penutup gelap dan lingkungan yang paling besar, yaitu 5,80 W/m²K. Dengan rerata temperatur kaca gelap yang lebih besar daripada kaca bening, kolektor dengan kaca gelap menghasilkan kenaikan koefisien perpindahan kalor radiasi antara kaca penutup dengan lingkungan (sekitar 0,5 – 0,7 W/m²K) bila dibandingkan dengan kolektor kaca bening.

Faktor penyebab rerata temperatur kaca penutup gelap lebih tinggi daripada rerata temperatur kaca penutup bening dikarenakan nilai emisivitas termal kaca yang semakin besar seiring dengan semakin gelapnya warna kaca (semakin besar nilai absorptivitas kaca). Oleh karena itu, absorbtivitas pada kaca gelap lebih tinggi dibandingkan dengan kaca bening dikarenakan kemampuan absorptivitas kaca hitam yang cenderung lebih kuat dalam menyerap panas (Mustafa & Ismail 2009). Sedangkan untuk menghambat perpindahan kalor radiasi dari kaca ke lingkungan, penggunaan kaca bening lebih baik sebagai isolasi radiasi termal dibandingkan kaca yang lebih gelap, seperti yang terlihat pada gambar 6 dimana nilai koefisien perpindahan panas antara kaca penutup dengan lingkungan ($h_{r,p-g}$) pada kaca bening yang lebih rendah daripada kaca hitam.



Gambar 7. Hubungan T_p terhadap koefisien $h_{r,p-g}$

Faktor kedua penyebab kerugian energi yang terjadi pada kolektor surya yaitu proses perpindahan panas radiasi dan konveksi yang melibatkan pelat

absorber dengan kaca penutup ($h_{r,p-g}$). Untuk koefisien perpindahan panas radiasi yang melibatkan pelat *absorber* dengan kaca penutup, parameter yang paling mempengaruhi adalah kondisi temperatur pelat *absorber* dan kaca penutup. Peningkatan temperatur yang terjadi pada pelat *absorber* dan kaca penutup akan mengakibatkan peningkatan kerugian panas pada bagian atas kolektor, dan begitu pula sebaliknya.

Pada gambar 7, saat pengamatan tanggal 10 Oktober 2017 (pengujian laju aliran volume 700 mL/menit), nilai temperatur rerata maksimum kaca penutup bening dan pelat *absorber* mencapai 41,11°C dan 58,01°C, pada kondisi rerata intensitas radiasi matahari total 672,78 W/m², sehingga menghasilkan rerata koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup dan pelat *absorber* yang paling tinggi sebesar 5,12 W/m²K.

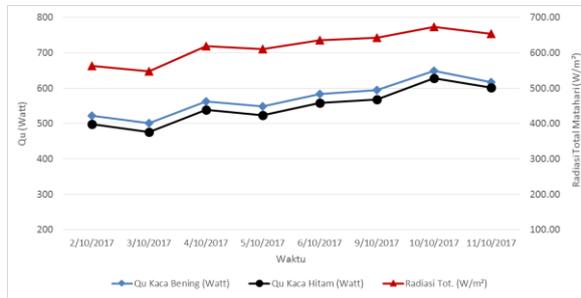
Sedangkan saat pengamatan tanggal 10 Oktober 2017 (pengujian laju aliran volume 700 mL/menit), nilai temperatur rerata maksimum kaca penutup gelap dan pelat *absorber* mencapai 41,87°C dan 55,41°C, pada kondisi rerata intensitas radiasi matahari total 672,78 W/m², dan menghasilkan rerata koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup dan pelat *absorber* yang paling tinggi sebesar 5,80 W/m²K.

Dari keterangan di atas, didapatkan bahwa dengan penggunaan kaca penutup gelap menghasilkan temperatur kaca yang lebih besar bila dibandingkan dengan kaca penutup bening. Peningkatan temperatur kaca berbanding terbalik dengan keadaan temperatur pelat *absorber*, yang berdampak terhadap koefisien perpindahan panas pelat *absorber* ke kaca penutup ($h_{r,p-g}$). Mengingat fungsi utama kaca penutup pada kolektor sebagai penerus energi radiasi matahari, yang harus, maka penggunaan kaca penutup bening lebih baik untuk diterapkan karena nilai transmisivitas kaca bening yang lebih besar dibandingkan dengan kaca bening. Transmisivitas sendiri merupakan kemampuan suatu material dalam meneruskan energi (dalam hal ini energi panas dari radiasi matahari). Oleh karena itu, dengan kemampuan transmisivitas pada kaca bening yang lebih baik daripada kaca gelap, energi panas yang diserap oleh pelat *absorber* pada kolektor kaca bening menjadi lebih maksimal dibandingkan kolektor kaca gelap.

3.3 Hubungan Rata-Rata Energi Berguna (Q_u) dan Efisiensi Pada Pengujian Laju Aliran Volume dan Jenis Kaca Penutup

Energi berguna (Q_u) merupakan energi panas dari matahari yang mampu diserap oleh kolektor yang

kemudian energi tersebut disuplai ke air yang ada dalam saluran kolektor, dan dimanfaatkan untuk meningkatkan temperatur air yang dipanaskan.

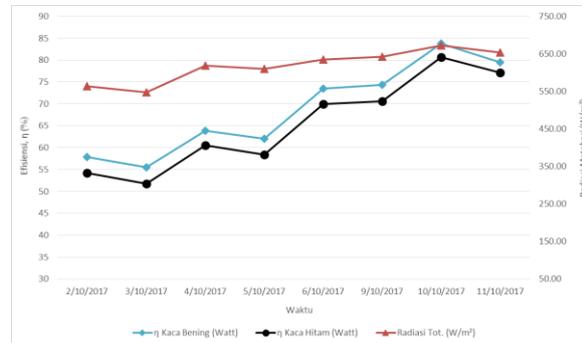


Gambar 8. Hubungan energi berguna (Q_u) terhadap intensitas radiasi total matahari

Salah satu faktor yang mempengaruhi energi berguna (Q_u) yang mampu diserap oleh air dari kolektor surya adalah intensitas radiasi matahari pada setiap pengujian laju aliran volume. Seperti yang terlihat pada Gambar 8, pengujian pada tanggal 10 Oktober 2017 dengan laju aliran volume 700 mL/menit, didapatkan rerata energi berguna sebesar 649,17 Watt (untuk kolektor kaca bening) dan 628,14 (untuk kolektor kaca gelap) pada radiasi total matahari yang besar pula, yaitu 672,78 W/m^2 . Kemudian di saat pengujian pada tanggal 3 Oktober 2017 dengan laju aliran volume air didapatkan rerata energi berguna sebesar 501,50 Watt (untuk kolektor kaca bening) dan 475,61 (untuk kolektor kaca gelap) pada radiasi total matahari 563,73 W/m^2 . Ini membuktikan bahwa intensitas radiasi matahari yang diserap oleh kolektor surya berpengaruh terhadap temperatur air keluar yang dihasilkan kolektor. Semakin besar intensitas radiasi matahari yang diserap oleh kolektor surya, semakin besar energi yang diterima oleh pelat penyerap yang digunakan untuk memanaskan air yang mengalir di dalam kolektor. Oleh karena itu, peningkatan intensitas radiasi matahari dapat meningkatkan energi berguna yang disuplai untuk memanaskan air.

Selain faktor di atas, kondisi yang mempengaruhi energi berguna yang mampu diserap oleh air adalah variasi laju aliran volume. Pada saat laju aliran volume yang lebih kecil (700 mL), didapatkan energi berguna yang paling tinggi untuk kolektor kaca bening dan kaca gelap. Peningkatan laju aliran volume (900 mL/menit, 1200 mL/menit, 1500 mL/menit) akan mengakibatkan penurunan energi berguna yang dihasilkan kolektor. Dengan laju aliran volume air yang kecil, air yang dipanaskan memiliki kesempatan yang lebih lama untuk menyerap dan memanfaatkan panas yang

ditransfer dari pelat *absorber*, sehingga meningkatkan temperatur *output* air saat keluar dari kolektor.



Gambar 9. Hubungan efisiensi terhadap intensitas radiasi matahari

Sama halnya dengan energi berguna, peningkatan efisiensi (η) pada kolektor pemanas air tenaga surya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang menerpa kolektor. Efisiensi tertinggi sebesar 83,78% (untuk kolektor kaca bening) dan 80,66% (untuk kolektor kaca gelap) pada radiasi total matahari yang besar pula, yaitu 672,78 W/m^2 (Gambar 9). Kemudian di saat pengujian pada radiasi total matahari 563,73 W/m^2 didapatkan efisiensi paling rendah sebesar 55,45 % (untuk kolektor kaca bening) dan 51,71% (untuk kolektor kaca gelap). Ini membuktikan bahwa semakin besar intensitas radiasi matahari yang diserap oleh kolektor surya menunjukkan semakin besar energi yang diterima oleh pelat penyerap yang digunakan untuk memanaskan air yang mengalir di dalam kolektor.

Faktor jenis kaca yang digunakan pada kolektor pemanas air tenaga surya juga mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan kolektor. Kolektor surya kaca bening akan menghasilkan temperatur air keluar yang lebih tinggi (yang diikuti dengan peningkatan Q_u dan η) apabila menggunakan kolektor dengan kaca bening. Kaca bening dengan sifat transmisivitas yang tinggi dan absorbtivitas rendah akan meneruskan energi radiasi matahari yang mengenai kaca, dan radiasi yang berupa panas tersebut diteruskan ke pelat *absorber* untuk kemudian digunakan dalam proses pemanasan air, sedangkan kaca gelap yang memiliki sifat transmisivitas rendah dan absorbtivitas tinggi akan lebih banyak menyerap energi radiasi matahari, sehingga energi hanya diserap kaca dan meningkatkan temperatur kaca, yang mengakibatkan energi yang diteruskan ke pelat *absorber* menjadi lebih sedikit dan tidak dapat menghasilkan pemanasan air yang maksimal.

4. SIMPULAN

1. Peningkatan intensitas radiasi matahari akan diikuti peningkatan kerugian energi (Q_{loss}) pada kolektor. Rerata kerugian energi kolektor yang paling besar didapatkan 79,58 Watt pada kolektor dengan kaca bening dan rerata kerugian energi kolektor tertinggi 82,45 Watt pada kolektor dengan kaca hitam pada radiasi total matahari 672,78 W/m². Penggunaan kaca gelap menunjukkan peningkatan kerugian energi yang lebih besar (0,3% - 3,3%) dibandingkan kerugian energi pada kolektor kaca bening.
2. Peningkatan intensitas radiasi matahari dan variasi laju aliran volume yang semakin kecil diikuti dengan meningkatnya energi berguna (Q_u) yang terjadi. Rata-rata energi berguna tertinggi 649,17 Watt (untuk kolektor kaca bening) dan rerata energi berguna tertinggi 628,14 (untuk kolektor kaca hitam) pada radiasi total matahari 672,78 W/m². Kaca bening menghasilkan peningkatan energi berguna lebih besar (3% - 5%) dibandingkan energi berguna pada kolektor kaca gelap.
3. Rerata efisiensi (η_1) tertinggi 83,78% (untuk kolektor kaca bening) dan 80,66% (untuk kolektor kaca hitam) pada radiasi total matahari 672,78 W/m². Rata-rata efisiensi paling rendah 55,45 % (untuk kolektor kaca bening) dan 51,71% (untuk kolektor kaca hitam) pada radiasi total matahari 563,73 W/m². Penggunaan kaca bening menghasilkan peningkatan efisiensi lebih besar (4% - 7%) dibandingkan efisiensi pada kolektor kaca gelap.
4. Jenis kaca yang digunakan dan laju aliran volume pada kolektor pemanas air tenaga surya mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan kolektor. Kolektor surya kaca bening menghasilkan efisiensi lebih tinggi disebabkan sifat kaca bening yang memiliki transmisivitas tinggi dan absorbtivitas rendah sehingga mampu meneruskan energi radiasi matahari lebih maksimal menuju pelat *absorber* untuk kemudian digunakan dalam proses pemanasan air. Pada laju aliran volume air yang lebih kecil, air akan mendapatkan kesempatan menyerap panas lebih lama daripada laju aliran volume yang lebih besar, sehingga meningkatkan temperatur air keluar dan efisiensi yang dihasilkan kolektor.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akhtar N, Mullick SC. 2011. Effect of absorption of solar radiation in glass-cover(s) on heat transfer coefficients in upward heat flow in single and double glazed flat-plate collectors. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 125-132.
- Cengel YA, Cimbala JM. 2006. *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill, New York.
- Duffie JA, Beckman WA. 2013. *Solar Engineering of Thermal Process Fourth Edition*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey:
- Farid A, Ismail NR. 2011. Pengaruh Pelat Penyerap Ganda Model Gelombang Terhadap Kinerja Solar Water Heater Sederhana. *Widya Teknika*, 19(1),12-15.
- Garcia, A., Martin, R. H. & Garcia, J. P. 2013. *Experimental Study of Heat Transfer Enhancement in a Flat-Plate Solar Water Collector with Wire-Coil Inserts*. *Applied Thermal Engineering*. 61: 461-468.
- Handoyo, Anggraini E. 2001. Pengaruh jarak kaca ke plat terhadap panas yang diterima suatu kolektor surya plat datar. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 52-56.
- Intang S, Suryani S, Rauf N. 2017. Pengaruh Ketebalan Kaca terhadap Nilai Konduktivitas Termal Berbagai Jenis Kaca. Universitas Hasanuddin, Makassar
- Kalogirou SA. 2009. *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Elsevier, Inc., Oxford.
- Kristanto P, San YK. 2001. Pengaruh tebal plat dan jarak antar pipa terhadap performansi kolektor surya plat datar. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 47-51.
- Mustafa, Ismail NR. 2009. Pengaruh laju aliran air menggunakan pelat penyerap ganda dan konvensional terhadap kinerja solar water heater. *Proton*. 1(1), 23-27.
- Sambada RFA. 2001. Pengaruh warna terhadap emisivitas termal kaca. *Sigma*. 4 (2), 1-10.
- Setyadi UD & Dwiyanoro BA. 2015. Pengaruh sudut kemiringan kolektor surya pelat datar terhadap efisiensi termal dengan penambahan eksternal annular fin pada pipa. *Jurnal Teknik ITS*. 4(1), 31-36.
- Wirardi R. 2016. *Pengaruh Turbulence Promoter Terhadap Efisiensi Pemanas Air Tenaga Matahari Pelat Ganda*. Tugas Akhir (Tidak Eipublikasikan). Universitas Brawijaya, Malang.

