

PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN MASSA TERHADAP PERFORMANSI KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR DENGAN DIAMETER SIRIP BERBEDA YANG DISUSUN SECARA STAGGERED

I Gusti Agung Deva Surya Prasetya, Ketut Astawa, I Nengah Suarnadwipa.
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Energi mempunyai peran yang besar dalam memudahkan kehidupan manusia. Perkembangan teknologi dan pesatnya peningkatan sumber daya manusia membuat penggunaan energi semakin optimal. Namun demikian, tidak semua energi yang ada di bumi sudah dimanfaatkan dengan baik, salah satu yang belum optimal penggunaannya adalah energi panas matahari/energi surya. Perangkat yang bisa digunakan untuk memanfaatkan energi surya disebut kolektor surya. Kolektor surya merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah energi radiasi matahari ke bentuk energi panas, dengan memvariasikan laju aliran massa pada kolektor surya yang sudah dimodifikasi menggunakan sirip berlubang yang disusun secara staggered diharapkan dapat meningkatkan performansi kolektor surya tersebut. Untuk mengetahui performansi terbaik dari kolektor surya plat datar yang sudah dimodifikasi dengan penambahan sirip berlubang berdiameter berbeda yang disusun secara staggered dengan memvariasikan laju aliran massanya, maka dilakukan penelitian dengan metode eksperimental dengan aliran impinging jet, dimana udara yang memasuki kolektor melalui lubang lubang pada sirip dan membentur plat sirip yang memiliki beda temperature. Pada kolektornya, dipasang alat pengukur di titik-titik tertentu. Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan maka dapat disimpulkan bahwa pada laju aliran massa 0,016 kg/s kolektor surya dengan sirip berdiameter besar ke kecil menghasilkan energi berguna dan efisiensi harian yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor surya pelat datar dengan sirip berdiameter dari kecil ke besar

Kata kunci: Kolektor Surya Plat Datar, Laju Aliran Massa

Abstract

Energy has a big role in facilitating human life. The development of technology and the rapid increase of human resources make the use of energy more optimal. However, not all energy on earth has been utilized properly, one of them is not optimal use of solar thermal energy / solar energy. A device that can be used to utilize solar energy is called a solar collector. The solar collector is a tool used to convert solar radiation energy into a form of thermal energy, by varying the mass flow rate on a modified solar collector using a staggered fin fin fin that is expected to improve the performance of the solar collector. To determine the best performance of a modified flat plate solar collector with the addition of different diameter perforated fins arranged by varying the mass flow rate, the experimental method with the overflowing jet stream, where air enters into the collector through the hole pits on the fins and the filling hits that have temperature different. In the collector, the meter is installed at certain points. From the results of tests that have been done it can be concluded that the mass flow rate of 0.016 kg / s solar collector with small to small diameter fins produces useful energy and higher daily efficiency than flat plate solar collectors with small fins. To big

Keywords: Flat plate solar collector, mass flow rate

1. Pendahuluan

Energi mempunyai peran yang besar dalam memudahkan kehidupan manusia. Perkembangan teknologi dan pesatnya peningkatan sumber daya manusia membuat penggunaan energi semakin optimal. Namun demikian, tidak semua energi yang ada di bumi sudah dimanfaatkan dengan baik, salah satu yang belum optimal penggunaannya adalah energi panas matahari/energi surya. Perangkat yang bisa digunakan untuk memanfaatkan energi surya disebut kolektor surya. Kolektor surya merupakan peralatan yang digunakan untuk mengubah energi radiasi

matahari ke bentuk energi panas, dengan memvariasikan laju aliran massa pada kolektor surya yang sudah dimodifikasi menggunakan sirip berlubang yang disusun secara staggered diharapkan dapat meningkatkan performansi kolektor surya tersebut.

Dalam hal ini maka ada permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

Bagaimanakah performansi kolektor surya plat datar yang sudah dimodifikasi dengan penambahan sirip berlubang berdiameter berbeda yang disusun

secara *staggered* dengan memvariasikan laju aliran massanya

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Pembahasan dibatasi hanya pada penggunaan kolektor surya menggunakan sirip dengan lubang berbeda sebagai tempat melajunya aliran udara dengan variasi laju aliran massa sebesar 0,008 , 0,012 , 0,016 kg/s.
2. Sirip dipasang dari diameter besar ke kecil dan dari diameter kecil ke besar.
3. Sistem dalam keadaan *steady (steady state)*
4. Tidak terjadi perubahan fase pada udara.
5. Debu dan kotoran diatas kolektor diabaikan.

2. Dasar Teori

Prinsip kerja kolektor surya plat penyerap adalah memindahkan radiasi matahari ke fluida kerja. Radiasi matahari yang jatuh pada cover kaca sebagian akan langsung dipantulkan, sebagian akan diserap, dan sebagiannya lagi akan diteruskan ke plat penyerap. Radiasi yang sampai pada plat penyerap akan diserap panasnya oleh plat penyerap. Panas yang diserap oleh plat penyerap akan digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang berupa udara mengalir. Proses perpindahan panas dari radiasi matahari sampai pada fluida kerja melalui tiga mekanisme perpindahan panas yaitu, konduksi, konveksi, dan radiasi. Secara konduksi, terjadi pada udara yang diam dan pada plat penyerap. Secara konveksi, terjadi antara permukaan plat penyerap dengan fluida kerja yang mengalir. Kemudian pertukaran panas radiasi terjadi di atas penutup transparan, di antara penutup transparan dengan plat penyerap bagian atas, dan antara plat penyerap bagian bawah dengan permukaan isolasi.

2.1 Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Dikatakan demikian karena setiap kerja yang dilakukan membutuhkan energi. Energi merupakan bagian dari suatu benda tetapi tidak terikat pada benda tersebut. Energi bersifat *fleksible* yang artinya dapat berpindah dan berubah.

2.2 Konversi Energi

Konversi energi adalah perubahan bentuk energi dari yang satu menjadi energi yang lain. Energi di dalam alam adalah suatu besaran yang kekal (hukum termodinamika pertama). Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat dikonversikan/berubah dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain.

2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau *heat transfer* adalah ilmu yang meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur, dimana energi yang berpindah tersebut dinamakan kalor atau panas (*heat*). Panas akan berpindah dari medium

yang bertemperatur lebih tinggi ke medium yang temperaturnya lebih rendah. Perpindahan panas ini berlangsung terus sampai ada kesetimbangan temperatur di antara kedua medium tersebut.

2.3.1 Perpindahan Panas konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi pada suatu media atau pada media fluida yang diam akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut.

2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

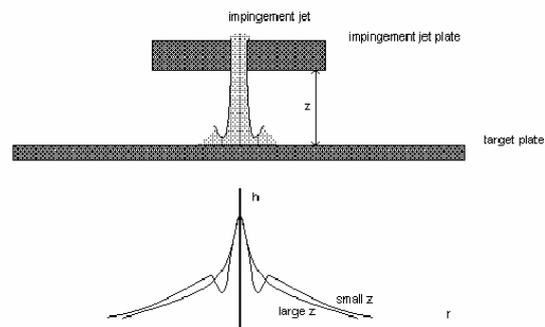
Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak atau sebaliknya akibat adanya perbedaan temperatur.

2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi

Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh pancaran atau gelombang elektromagnetik (photon), dan asalnya dari energi dalam material yang memancar. Transportasi energi pada peristiwa radiasi tidak harus membutuhkan media, justru radiasi akan lebih efektif dalam ruang hampa.

2.4 Aliran *Impinging jet*

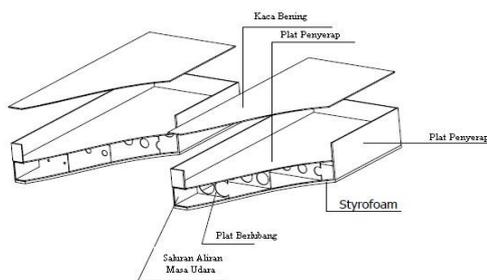
Perpindahan panas dengan menggunakan metode aliran *impinging jet*, merupakan perpindahan panas dimana fluida dipancarkan melalui lubang-lubang menuju permukaan/plat yang memiliki perbedaan temperatur.



Gambar 1. *Impinging Jet*

3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Dimana penelitian diawali dengan pembuatan alat / kolektor surya plat datar dengan aliran *impinging jet* yang menggunakan plat berlubang dengan diameter lubang bervariasi (dari lubang yang lebih besar ke lubang yang lebih kecil dan dari lubang yang lebih kecil ke lubang yang lebih besar) yang disusun secara paralel di bawah plat penyerap.



Gambar 2. Konstruksi kolektor surya

3.1 Variabel Penelitian

- Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi munculnya suatu gejala dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah intensitas radiasi matahari, laju aliran massa dan diameter lubang pada sirip.
- Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah Energi berguna dan Efisiensi guna mengetahui performansi kolektor surya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Data Hasil Penelitian

Untuk dapat menganalisis besar efisiensi kolektor surya plat datar yang sudah dimodifikasi dengan penambahan sirip berlubang berdiameter berbeda (diameter kecil ke diameter besar dan diameter besar ke diameter kecil) yang disusun secara *staggered* dengan variasi laju aliran massa yang berbeda, maka dilakukan perhitungan terhadap data-data yang didapat dari data hasil pengujian pada setiap kolektor surya dengan variasi laju aliran massa yang berbeda. Sebagai contoh, terdapat perhitungan yang diambil dari data hasil pengujian pada tanggal 4 Januari pada pukul 12.20 WITA, dimana intensitas matahari terukur dari solar powermeter (I_T) sebesar 1.162 w/m^2 .

4.2 Perhitungan Pada Kolektor

- Kolektor Surya dengan Sirip Berlubang Berdiameter Besar - Kecil Yang Disusun Secara *Staggered*

Data Pengujian:

- Temperatur lingkungan, T_a
= 310 K
- Temperatur udara masuk, T_{in}
= 316 K
- Temperatur cover, T_c
= 337 K

- Temperatur pelat penyerap, T_p
= 350 K
- Temperatur pelat bawah, T_b
= 370 K
- Temperatur udara dalam, T_f
= 346 K
- Temperatur udara keluar, T_{out}
= 349 K
- Diameter pipa, D_p
= 0,055 m
- Besarnya \dot{m}
= 0,012 kg/s
- Luasan kolektor, A_c
= 0,6 m²

➤ Perhitungan Δh (perbedaan ketinggian pada manometer)

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 0,012 \text{ kg/s} & \phi \text{ pipa} &= 55 \text{ mm} = 0,055 \text{ m} \\ A_p &= \frac{1}{4} \pi \cdot (D_p)^2 \\ A_p &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,055 \text{ m})^2 \\ A_p &= 0,785 \times 0,003025 \text{ m}^2 = 0,002374625 \text{ m}^2 \\ \dot{m} &= \rho_u \cdot A_p \cdot v \\ 0,012 \text{ kg/s} &= 1 \text{ kg/m}^3 \times 0,002374625 \text{ m}^2 \times v \\ v &= \frac{\dot{m}}{A_p \cdot \rho_u} \\ v &= \frac{0,012 \text{ kg/s}}{0,002374625 \text{ m}^2 \times 1 \text{ kg/m}^3} = 5,05344 \text{ m/s} \\ v &= \left(\frac{2 \cdot \rho_o \cdot g \cdot \Delta h}{\rho_u} \right)^{1/2} \\ (5,05344 \text{ m/s})^2 &= \left(\frac{2 \times 800 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times \Delta h}{1 \text{ kg/m}^3} \right) \\ (25,5372558 \text{ m}^2/\text{s}^2) &= (2 \times 800 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times \Delta h) \\ \Delta h &= \frac{25,5372558 \text{ m}^2/\text{s}^2}{15680 \text{ m/s}^2} = 0,00162865 \text{ m} \\ &= 1,62865 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari tabel sifat termofisik udara (lampiran D).

➤ Pada Temperatur *Film* (berdasarkan persamaan 2.19)

$$\begin{aligned} T_{Film} &= \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{316 + 349}{2} = 332,5 \text{ K} \\ \text{Besarnya } C_p &= 1,00822 \text{ kJ/kg.K} = 1008,22 \text{ J/kg.K} \end{aligned}$$

➤ Menentukan Energi Berguna (berdasarkan persamaan 2.18)

$$\begin{aligned} Q_{u,a} &= \dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in}) \\ &= 0,012 \text{ kg/s} \times 1008,22 \text{ J/kg.K} (344 \text{ K} - 317 \text{ K}) \\ &= 399,2868 \text{ W} \end{aligned}$$

➤ Menentukan Efisiensi Kolektor (berdasarkan persamaan 2.20)

$$\eta_a = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c \cdot I_T} \times 100\%$$

$$= \frac{399,2868 \text{ W}}{0,6 \text{ m}^2 \cdot 1150 \text{ W/m}^2} = 57,2701 \%$$

- Kolektor Surya dengan Sirip Berlubang Berdiameter Kecil - Besar

Data Pengujian:

- Temperatur lingkungan, T_a
= 310 K
- Temperatur udara masuk, T_{in}
= 316 K
- Temperatur cover, T_c
= 335 K
- Temperatur pelat penyerap, T_p
= 348 K
- Temperatur pelat bawah, T_b
= 367 K
- Temperatur udara dalam, T_f
= 345 K
- Temperatur udara keluar, T_{out}
= 346 K
- Diameter pipa, D_p
= 0,055 m
- Besarnya \dot{m}
= 0,012 kg/s
- Luasan kolektor, A_c
= 0,6 m²

Dari tabel sifat termofisik udara (lampiran D).

- Pada Temperatur fluida (berdasarkan persamaan 2.19)

$$T_{Film} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{316 + 346}{2} = 331 \text{ K}$$

Besarnya $C_p = 1,00828 \text{ kJ/kg.K} = 1008,28$

J/kg.K

- Menentukan Energi Berguna (berdasarkan persamaan 2.18)

$$Q_{u,a} = \dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in})$$

$$= 0,012 \times 1008,28 (348 - 316)$$

$$= 362,9664 \text{ W}$$

- Menentukan Efisiensi Kolektor (berdasarkan persamaan 2.20)

$$\eta_a = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c \cdot I_T} \times 100\%$$

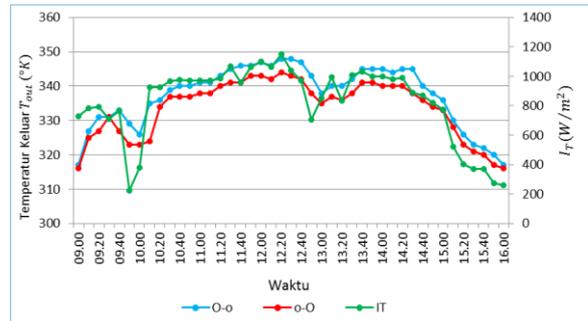
$$= \frac{362,9664 \text{ W}}{0,6 \text{ m}^2 \cdot 1150 \text{ W/m}^2}$$

$$= 52,0606 \%$$

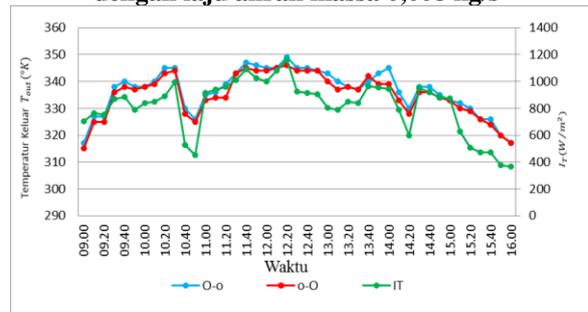
4.3 Perbandingan Kolektor Plat Datar Sirip Berlubang Berdiameter Kecil – Besar dengan Sirip Berlubang Berdiameter Besar – Kecil dengan variasi laju aliran massa sebesar 0,008 kg/s , 0,012 kg/s dan 0,016 kg/s

4.3.1 Perbandingan Temperatur Keluar

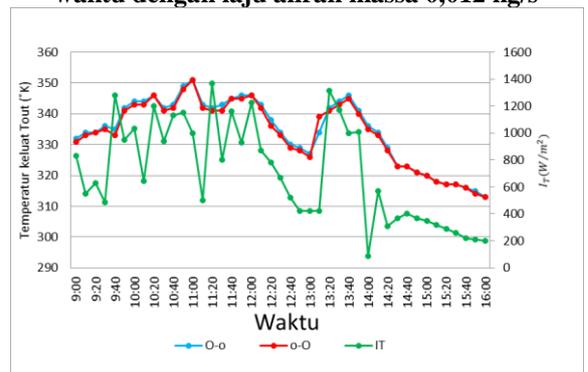
Perbandingan temperatur Keluar kolektor surya plat datar dengan sirip berlubang diameter kecil – besar dan sirip berlubang diameter besar – kecil dengan laju aliran massa 0,008 kg/s , 0,012 kg/s , 0,016 kg/s dapat ditunjukkan pada gambar grafik berikut:



Gambar 3. Grafik perbandingan temperatur keluar (Tout) kolektor surya terhadap waktu dengan laju aliran massa 0,008 kg/s



Gambar 4. Grafik perbandingan temperatur keluar (Tout) pada kolektor surya terhadap waktu dengan laju aliran massa 0,012 kg/s



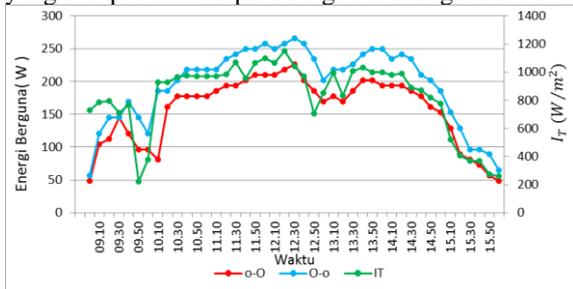
Gambar 5. Grafik perbandingan temperatur keluar (Tout) pada kolektor surya terhadap waktu dengan laju aliran massa 0,016 kg/s

Pada Gambar 4.1 , 4.2 dan 4.3 tersebut dapat dilihat temperatur keluar dengan laju aliran massa 0,008 kg/s lebih besar daripada 0,012 kg/s dan 0,016 kg/s hal tersebut terjadi karena pada laju aliran massa 0,008 kg/s udara yang memasuki kolektor bergerak lebih lambat sehingga udara berada lebih lama di dalam kolektor yang menyebabkan penyerapan panas yang terjadi lebih maksimal. Dapat dilihat juga perbandingan temperatur keluar pada kolektor berdiameter sirip dari besar ke kecil lebih besar dari pada kolektor berdiameter sirip kecil ke besar, hal tersebut terjadi karena udara yang memasuki kolektor sulit untuk keluar kolektor karena diameter sirip semakin kecil dan menyebabkan udara semakin lama tertahan pada kolektor sehingga penyerapan panas yang terjadi

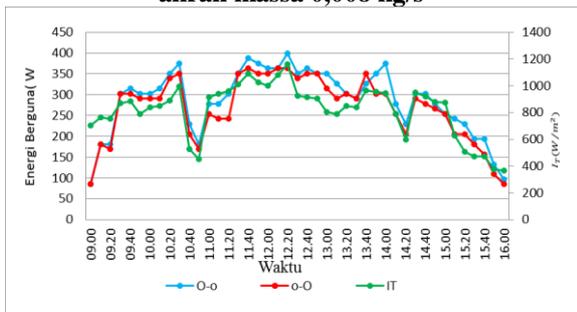
semakin maksimal. Intensitas radiasi matahari yang tidak konstan juga sangat berpengaruh pada kinerja kolektor surya, dimana semakin tinggi intensitas radiasi matahari maka semakin besar panas yang diserap oleh kolektor.

4.3.2 Perbandingan Energi Berguna ($Q_{u,a}$)

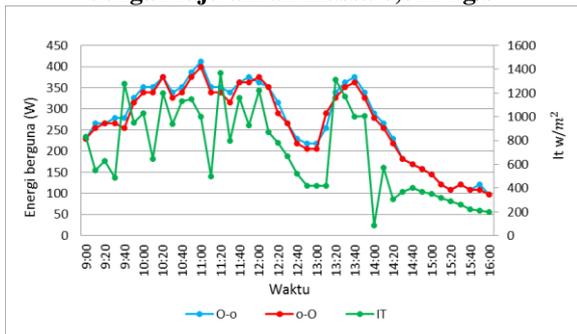
Perbandingan energi berguna kolektor surya pelat datar dengan sirip berlubang diameter kecil – besar dan sirip berlubang diameter besar – kecil dengan laju aliran massa 0,008 , 0,012 , 0,016 kg/s yang didapat maka diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 6 Grafik perbandingan energi berguna ($Q_{u,a}$) terhadap waktu pada kolektor dengan laju aliran massa 0,008 kg/s



Gambar 7. Grafik perbandingan energi berguna ($Q_{u,a}$) terhadap waktu pada kolektor surya dengan laju aliran massa 0,012 kg/s



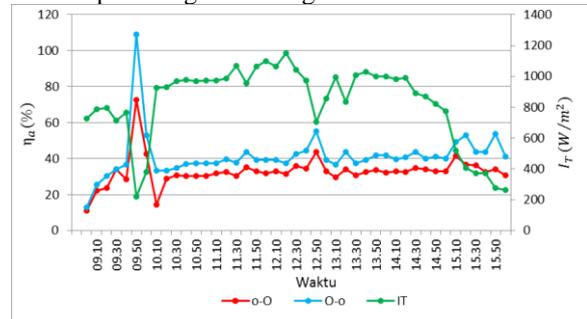
Gambar 8. Grafik perbandingan energi berguna ($Q_{u,a}$) terhadap waktu pada kolektor surya dengan laju aliran massa 0,016 kg/s

Pada Gambar 4.4 , 4.5 dan 4.6 tersebut dapat dilihat energi berguna yang dihasilkan kolektor dengan laju aliran massa 0,016 kg/s lebih besar daripada 0,012 kg/s dan 0,008 kg/s hal tersebut terjadi karena semakin besar laju aliran massa yang memasuki kolektor maka semakin besar energi

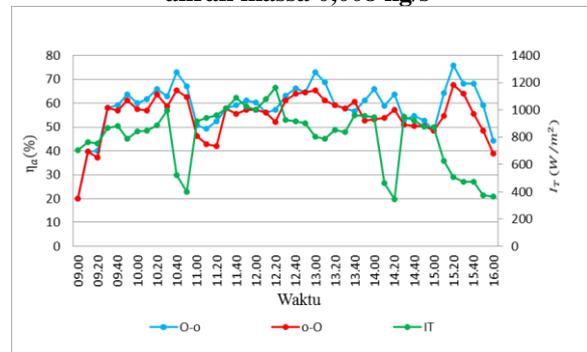
berguna yang dihasilkan. Dapat dilihat juga perbandingan energi berguna pada kolektor berdiameter sirip dari besar ke kecil lebih besar daripada kolektor berdiameter sirip kecil ke besar, hal tersebut terjadi karena udara yang memasuki kolektor sulit untuk keluar dikarena diameter sirip semakin kecil dan menyebabkan udara semakin lama tertahan pada kolektor sehingga penyerapan panas yang terjadi semakin maksimal dan energi berguna yang dihasilkan lebih besar. Intensitas panas matahari yang tidak konstan juga sangat berpengaruh pada kinerja kolektor surya.

4.3.3 Perbandingan Efisiensi (η_a)

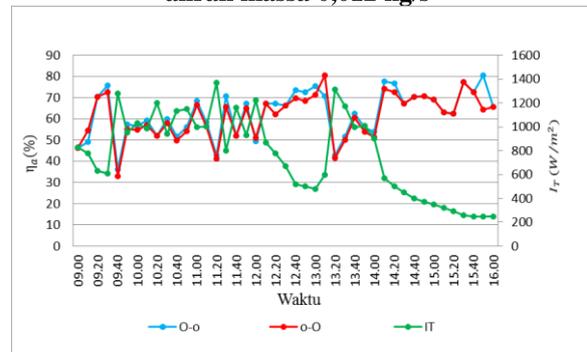
Perbandingan efisiensi kolektor surya pelat datar dengan sirip berlubang diameter kecil – besar dan sirip berlubang diameter besar – kecil dengan laju aliran massa 0,008 , 0,012 , 0,016 kg/s yang didapat maka diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik perbandingan efisiensi (η_a) kolektor surya terhadap waktu dengan laju aliran massa 0,008 kg/s



Gambar 10. Grafik perbandingan efisiensi (η_a) kolektor surya terhadap waktu dengan laju aliran massa 0,012 kg/s



Gambar 11 Grafik perbandingan efisiensi (η_a) kolektor surya terhadap waktu dengan laju aliran massa 0,016 kg/s

Dari Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9 menunjukkan efisiensi yang dihasilkan oleh kolektor, dapat dilihat kolektor dengan laju aliran massa 0,016 kg/s memiliki efisiensi yang terbaik dibandingkan efisiensi dengan laju aliran massa 0,012 kg/s dan 0,008 kg/s. Hal tersebut terjadi karena efisiensi sangat dipengaruhi oleh laju aliran massa dan energi berguna kolektor, semakin besar laju aliran massa maka semakin besar juga energi berguna dan efisiensi yang dihasilkan. Disamping itu dapat dilihat efisiensi kolektor dari sirip besar ke kecil lebih baik dari kolektor bersirip kecil ke besar. Hal tersebut terjadi karena pada kolektor dengan sirip berlubang diameter besar – kecil jumlah udara yang memasuki kolektor lebih banyak dan sulit untuk keluar dikarenakan lubang semakin kecil dan menyebabkan udara tertahan lebih lama pada kolektor sehingga terjadi penyerapan panas yang lebih maksimal.

5. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran massa yang memasuki kolektor maka semakin kecil temperatur keluar yang dihasilkan.

2. Laju aliran massa berbanding lurus dengan energi berguna dan efisiensi yang dihasilkan kolektor. Dimana semakin besar laju aliran massa yang memasuki kolektor maka semakin besar juga energi berguna dan efisiensi harian yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada intensitas matahari yang mendekati sama yakni diantara 750 w/m^2 sampai 790 w/m^2 dimana pada laju aliran massa 0,008 kg/s mendapatkan energi berguna sebesar 120,9336 w dan efisiensi sebesar 25,6759 %, pada laju aliran massa 0,012 kg/s mendapatkan energi berguna sebesar 181,4004 w dan efisiensi sebesar 39,6764 % pada laju aliran massa 0,016 kg/s mendapatkan energi berguna sebesar 229,8012 w dan efisiensi sebesar 49,2941 %.

Daftar Pustaka

1. Astawa dan M. Sucipta, 2010, Pembelajaran Energi Surya Dengan Menggunakan Metode Problem Based Learning, Dana PHK-I Universitas Udayana
2. Astawa, Sukadana dan Wika, 2009. Analisa Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Untuk Pemanas Air Dengan Variasi Ketebalan Kaca Penutup. Jurnal Teknik Mesin Indonesia, Volume 5 No.2 Oktober 2010, ISSN 1907-350X. pp 118-121

3. Arismunandar, W. 1995. Teknologi Rekayasa Surya. Jakarta: PT Pradnya Paramita
4. Bejan, A., (1993), Heat Transfer, John Wiley and Sons, Inc., New York
5. Duffie, J. A., and Backman. 1991. *Solar Enggenering of Thermal Process*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
6. Holman, J.P., 1997 Heat Transfer, 8th Edition, McGraw-Hill Companies Inc., USA,
7. Incropera, F. P., and De Witt, D. P. 1994. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
8. Kreith, Frank. 1986. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
9. Kristanto, P., 2000. *Kolektor Surya Prismatik*. Universitas Petra
10. Manan, S., 2009. *Energi matahari, sumber energi alternatif yang efisien, handal dan ramah lingkungan di Indonesia*. Institut Teknologi Bandung
11. Predana, Gigih. 2015. Analisa Performansi Kolektor Surya Plat Datar Dengan Variasi Sirip Berlubang. Bali : Universitas Udayana
12. Sudarpa, M., 2012. *Analisa performansi kolektor surya pelat atar menggunakan aliran impinging jet dengan aliran di bawah pelat berlubang dengan diameter nosel berbeda*. Universitas Udayana
13. Wibawa, A.S., 2012. *Analisa performansi kolektor surya pelat datar menggunakan aliran impinging jet dengan aliran dibawah pelat berlubang*. Universitas Udayana
14. Yunianto, Bambang. 2005. *Analisa Transien Perpindahan Panas Pada Heat Plate dengan Metoda Confined Implinging Jet*. Semarang: Universitas Diponegoro.
15. Junianto, Agus. 2017. Analisa Performansi Kolektor Surya Plat Datar Dengan Penambahan Sirip Berlubang Berdiameter Berbeda Yang Disusun Secara *Staggered*. Bali : Universitas Udayana