

Analisis Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Sirip Berlubang

I Wayan Suirya¹⁾, I.G.B Wijaya Kusuma²⁾, Made Widiyarta²⁾

¹⁾ Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jl P.B. Sudirman Denpasar Bali

²⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kolektor surya merupakan salah satu contoh alat untuk pemanfaatan energi surya. Dengan kolektor surya kita dapat memanfaatkan energi surya untuk pemanas udara. Kolektor surya adalah sebuah alat yang mampu menyerap dan memindahkan panas dari energi surya ke fluida kerja. Pada penelitian ini kolektor surya pelat datar ditambahkan pelat berlubang dengan diameter lubang yang bervariasi. Panjang pelat $L_p = 1200$ mm dan lebar kolektor $W_p = 500$ mm. Diameter pelat berlubang dari diameter besar ke diameter kecil yaitu 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm, dan 10 mm. Diameter pelat berlubang dari diameter kecil ke diameter besar yaitu 10 mm, 30 mm, 50 mm, 70 mm, dan 90 mm. Jarak antara pelat berlubang 200 mm. Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan maka dapat disimpulkan bahwa kolektor surya pelat datar dengan variasi diameter lubang dari diameter besar ke kecil menghasilkan performansi lebih baik dibandingkan dengan kolektor surya pelat datar dengan variasi diameter dari kecil ke besar. Performansi kolektor dengan sirip berlubang dari diameter besar ke kecil yaitu temperatur keluarannya sebesar 321 K, energi bergunanya sebesar 128,6 W dan efisiensinya sebesar 17,75 % yang lebih tinggi dari performansi kolektor dengan sirip berlubang dari diameter kecil ke besar yaitu temperatur keluarannya sebesar 319 K, energi bergunanya sebesar 80,6 W dan efisiensinya sebesar 11,1 %.

Kata kunci: Pemanfaatan energi matahari, kolektor surya tipe pelat datar, Performansi kolektor surya, efisiensi.

Abstract

The solar collectors are one example of tools to harness solar energy. With solar collectors we can utilize solar energy to heat the air. The solar collector is a device capable of absorbing and transferring heat from solar energy to the working fluid. In this study flat plate solar collector added hollow plate with varying hole diameter. Length of plate $L_p = 1200$ mm and collector width $W_p = 500$ mm. Diameter of the perforated plate from large diameter to small diameter ie 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm, and 10 mm. Diameter of the perforated plate from small diameter to large diameter ie 10 mm, 30 mm, 50 mm, 70 mm, and 90 mm. The distance between the 200 mm perforated plate. From the results of tests that have been implemented it can be concluded that flat solar collector with variations in diameter of holes from large to small diameter produces better performance compared with flat plate solar collector with variations in diameters from small to large. The performance of collector with hollow fins from large to small diameter is the output temperature of 321 K, the useful energy of 128.6 W and the efficiency of 17.75% which is higher than the collector performance with hollow fins from small to large diameter ie the output temperature is 319 K, its useful energy is 80.6 W and its efficiency is 11.1%.

Keywords: Utilization of solar energy, solar collector flat tipe, solar collector performance, efficiency.

1. PENDAHULUAN

Kolektor surya merupakan salah satu contoh alat untuk pemanfaatan energi surya. Dengan kolektor surya kita dapat memanfaatkan energi surya untuk pemanas udara. Kolektor surya adalah sebuah alat yang mampu menyerap dan memindahkan panas dari energi surya ke fluida kerja. Ada beberapa tipe kolektor surya, salah satu diantaranya yang sudah banyak dikenal adalah kolektor surya pelat datar. Jenis kolektor ini menggunakan pelat berupa lembaran, dimana untuk mendapatkan hasil yang optimal permukaan kolektor dicat warna hitam, tujuannya untuk mendapatkan penyerapan radiasi matahari yang optimal dan selanjutnya kalor ditransfer ke fluida kerja. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas kelingkungan, maka digunakan penutup transparan sehingga terjadi efek rumah kaca, sedangkan pada bagian bawah dan samping diberikan isolasi.

2. METODE

Penelitian yang akan dilakukan adalah tentang bagaimana menganalisa unjuk kerja dari kolektor surya pelat datar yang ditambahkan sirip berlubang dengan diameter yang berbeda pada setiap sirip. Unjuk kerja yang diuji dari kolektor surya pelat datar yang ditambahkan sirip berlubang tersebut adalah energi berguna dan efisiensinya. Pengukuran laju aliran fluida pada aliran masuk kolektor dan temperatur pelat penyerap, sirip-sirip, cover, dan aliran keluar kolektor untuk mengetahui unjuk kerja kolektor surya pelat datar.

Berdasarkan kerangka berpikir dan konsep penelitian di atas maka hipotesis yang dinyatakan sebagai berikut : Model kolektor surya pelat datar dengan penambahan sirip berlubang dengan diameter lubang sirip paling besar pada sisi masuk kolektor dan semakin mendekati sisi lairan keluar kolektor surya lubang siripnya semakin kecil, hal ini akan menyebabkan aliran udara yang masuk ke kolektor surya akan terperangkap lebih lama dan lebih banyak sehingga akan menyerap panas kolektor surya lebih banyak dan temperatur keluar kolektor akan lebih tinggi, dengan demikian akan meningkatkan unjuk kerja (energi berguna dan efisiensi) dari kolektor surya pelat datar sehingga dapat diaplikasikan dalam proses pengeringan bahan-bahan hasil pertanian atau produk olahannya.

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian dengan metode eksperimental. Penelitian ini dimulai dengan pembuatan kolektor surya pelat datar dengan aliran menggunakan pelat berlubang dengan diameter lubang bervariasi (dari lubang yang lebih besar ke lubang yang lebih kecil) yang disusun secara paralel dibawah pelat penyerap. Luas kolektor surya yang dipakai $A = 0,6 \text{ m}^2$, dengan lebar kolektor $W_p = 0,5 \text{ m}$ dan panjang kolektor $L_p = 1,2 \text{ m}$. Pelat penyerap, pelat berlubang dan pelat bawah menggunakan pelat besi dengan ketebalan 1,2 mm yang dicat hitam. Untuk penutup transparannya menggunakan kaca bening dengan ketebalan sebesar 5 mm. Pada bagian bawah dan samping diberi isolasi yang terdiri dari gabus (styrofoam) dengan ketebalan 10 mm dan triplek dengan ketebalan 4 mm. Jarak antara kaca dengan pelat penyerap $N = 5 \text{ cm}$ dan saluran udara di antara pelat penyerap dan pelat bagian bawah dengan jarak yaitu 5 cm. Diameter yang digunakan pada pelat berlubang bervariasi dari diameter lubang yang lebih besar ke diameter lubang yang lebih kecil yaitu 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm, dan 10 mm. Selanjutnya dipasang alat pengukur di titik-titik tertentu pada kolektor. Setelah persiapan selesai maka dilakukan pengujian pada kolektor surya dengan cara pengamatan dan pencatatan data-data yang ditunjukkan oleh alat ukur. Setelah mendapatkan data-data yang aktual dari kolektor surya tersebut maka temperatur keluar kolektor diukur dan energi berguna dan efisiensi dihitung secara aktual. Kemudian dari analisis tersebut dapat ditarik kesimpulan mengenai performa kolektor surya pelat datar

menggunakan aliran *impinging jet* dengan aliran langsung pada pelat berlubang dengan diameter lubang yang bervariasi.

Variable bebas adalah variable yang mempengaruhi munculnya suatu gejala dalam penelitian ini variable bebasnya adalah intensitas radiasi matahari. Variable terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini variable terikatnya adalah Energi berguna dan Effisiensi kolektor surya.

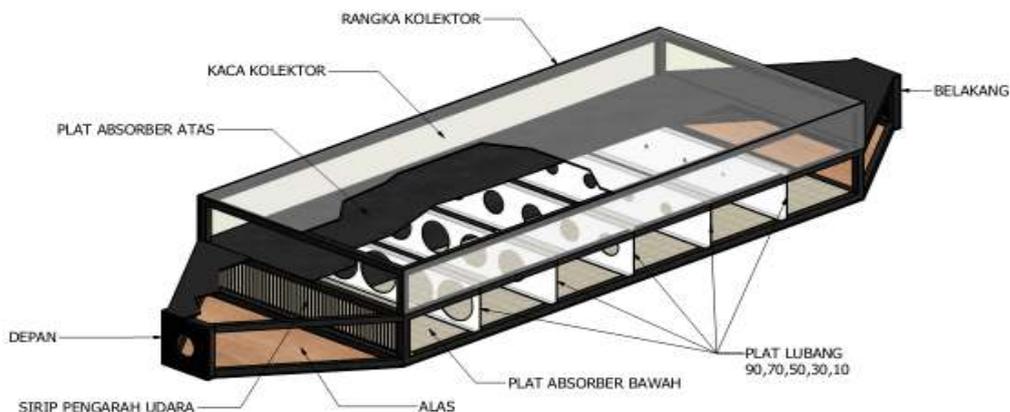
- L_c = Panjang kolektor (1200mm)
- W = Lebar kolektor (500mm)
- M = Tinggi kolektor (200mm)
- a = Jarak pelat penyerap dengan pelat bawah (100mm)
- N = Jarak cover transparan dengan pelat penyerap (100mm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konstruksi Kolektor Surya Aliran *Jets* Dengan Diameter Lubang Bervariasi

Konstruksi dari kolektor surya dengan diameter lubang bervariasi ini hampir sama dengan konstruksi kolektor surya dengan diameter lubang yang sama yaitu terdiri dari cover transparan, pelat penyerap, pelat berlubang, pelat bawah, dan isolasi. Pada kolektor ini terdapat dua saluran udara yaitu satu saluran untuk udara mengalir (fluida kerja) dan satu saluran untuk udara yang dikondisikan diam.

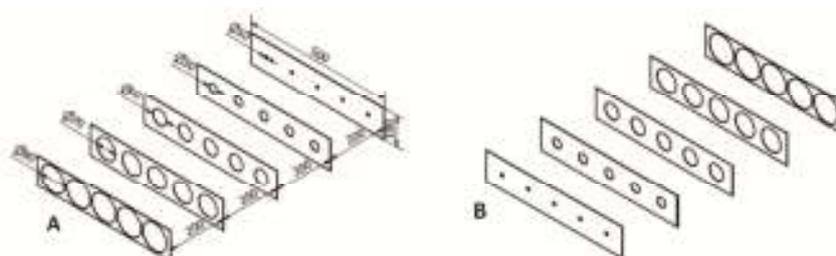
Untuk lebih jelasnya konstruksi kolektor surya dengan penambahan pelat berlubang dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



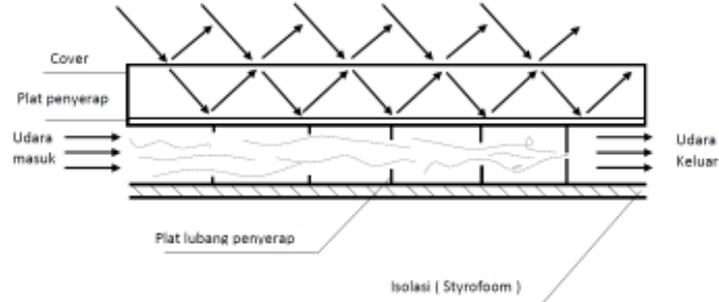
Gambar 3.1 Konstruksi kolektor surya menggunakan aliran *impinging jets*

3.2 Penambahan Pelat Berlubang dengan Diameter Lubang Bervariasi

Pada penelitian ini kolektor surya pelat datar ditambahkan pelat berlubang dengan diameter lubang bervariasi. Panjang pelat $L_p = 1200$ mm dan lebar kolektor $W_p = 500$ mm. Diameter pelat berlubang dari diameter besar ke diameter kecil yaitu 90 mm, 70 mm, 50 mm, 30 mm, dan 10 mm. Diameter pelat berlubang dari diameter kecil ke diameter besar yaitu 10 mm, 30 mm, 50 mm, 70 mm, dan 90 mm. Jarak antara pelat berlubang 200 mm. Untuk konstruksi pelat berlubang dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



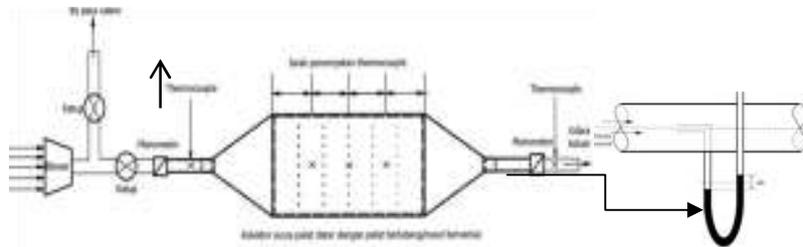
Gambar 3.2 Konstruksi sirip berlubang dengan diameter bervariasi(A) Depan dan (B) Belakang



Gambar 3.3 Aliran udara pada kolektor surya aliran *impinging jets* (a) diameter besar ke diameter kecil

3.3 PROSEDUR PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

Pengujian dilakukan dengan merangkai komponen-komponen yang diperlukan dalam pengambilan data dan meletakkan kolektor surya ini di tempat datar dan mendapatkan sinar matahari. Agar udara dapat mengalir di dalam kolektor dan menciptakan aliran *impinging jets* digunakan aliran paksa dengan bantuan blower. Untuk rancangan pengujian kolektor tersebut ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rancangan pengujian kolektor surya

3.4 Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan selama pengujian adalah :

1. Pengujian dilakukan pada jam 09.00 – 16.00 WITA.
2. Selang waktu pengambilan data setiap 10 menit sekali.
3. Blower dijalankan untuk mengalirkan udara sebagai fluida kerja ke dalam kolektor.
4. Atur katub untuk memperoleh laju aliran massa yang diinginkan dengan cara mengukur tekanan udara untuk kolektor, dimana besarnya tekanan akan ditunjukkan oleh kenaikan fluida pada manometer.
5. Selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter terukur, yaitu :
 - Temperatur udara luar/temperature lingkungan, T_a
 - Temperatur kaca, T_g
 - Temperatur pelat penyerap, T_p
 - Temperatur pelat berlubang, T_b
 - Temperatur udara masuk kolektor, T_i
 - Temperatur udara dalam kolektor, T_f
 - Temperatur udara keluar kolektor, T_o

3.5 Analisa Data

Setelah melakukan pengujian dan mendapatkan data-data yang diinginkan maka data yang diperoleh tersebut kemudian diolah sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui energi berguna dan efisiensi yang dihasilkan dari kolektor surya dengan variasi sirip berlubang dengan diameter berbeda (diameter kecil ke diameter besar dan diameter besar ke diameter kecil) yang dipasang secara paralel/line. Dari data yang telah diolah tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik kemudian dapat dipergunakan melakukan analisa, seperti yang ditunjukkan pada tabel (lampiran A).

3.6 Perhitungan Data Hasil Penelitian

Untuk dapat menganalisa besar efisiensi dari kolektor surya, maka dilakukan perhitungan terhadap data-data yang didapat dari data hasil pengujian pada setiap kolektor surya. Sebagai contoh perhitungan diambil dari data hasil pengujian pada Tabel A pada pukul 12.00 WITA, dimana intensitas matahari terukur dari solar powermeter (I_T) sebesar 1.211 W/m^2 .

Perhitungan Pada Kolektor

- **Kolektor Surya Dengan Sirip Berlubang Diameter Kecil - Besar**

Data Pengujian :

- Temperatur lingkungan, T_a = 304 K
- Temperatur udara masuk, T_{in} = 309 K
- Temperatur cover, T_c = 319 K
- Temperatur pelat penyerap, T_p = 338 K
- Temperatur pelat bawah, T_b = 317 K
- Temperatur udara dalam, T_f = 314 K
- Temperatur udara keluar, T_{out} = 319 K
- Diameter pipa, A_p = $0,002025 \text{ m}^2$
- Besarnya \dot{m} = 0,008 kg/s
- Luasan kolektor, A_c = $0,6 \text{ m}^2$

Dari tabel sifat termofisik udara (lampiran D).

- Pada Temperatur *fluida* (berdasarkan persamaan 2.15)

$$T_{fluida} = \frac{T_i + T_{out}}{2} = \frac{309 + 319}{2} = 314 \text{ K} \quad (1)$$

Besarnya $C_p = 1,00756 \text{ kJ/kg.K} = 1007,56 \text{ J/kg.K}$

- Menentukan Energi Berguna actual (berdasarkan persamaan 2.14)

$$Q_{u,a} = \dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in}) = 0,008 \times 1007,56 (319 - 309) = 80,6 \text{ W} \quad (2)$$

- Menentukan Efisiensi Kolektor (berdasarkan persamaan 2.16)

$$\eta_a = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c \cdot I_T} \times 100\% = \frac{80,6048 \text{ W}}{0,6 \text{ m}^2 \cdot 1211 \text{ W/m}^2} = 11,1\% \quad (3)$$

- **Kolektor Surya Dengan Sirip Berlubang Diameter Besar - Kecil**

Data Pengujian :

- Temperatur lingkungan, T_a = 304 K
- Temperatur udara masuk, T_{in} = 305 K
- Temperatur cover, T_c = 318 K
- Temperatur pelat penyerap, T_p = 338 K
- Temperatur pelat bawah, T_b = 318 K

- Temperatur udara dalam, T_f = 315 K
- Temperatur udara keluar, T_{out} = 321 K
- Diameter pipa, A_p = 0,002025 m
- Besarnya \dot{m} = 0,008 kg/s
- Luasan kolektor, A_c = 0,6 m²

Dari tabel sifat termofisik udara (lampiran C).

- Pada Temperatur *fluida* (berdasarkan persamaan 2.15)

$$T_{fluida} = \frac{T_i + T_{out}}{2} = \frac{305 + 321}{2} = 313 \text{ K}$$

Besarnya $C_p = 1,00752 \text{ kJ/kg.K} = 1007,52 \text{ J/kg.K}$

- Menentukan Energi Berguna actual (berdasarkan persamaan 2.14)

$$Q_{u,a} = \dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in}) = 0,008 \times 1007,52 (321 - 305) = 128,96 \text{ W}$$

- Menentukan Efisiensi Kolektor (berdasarkan persamaan 2.16)

$$\eta_a = \frac{Q_{u,a}}{A_c \cdot I_T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c \cdot I_T} \times 100\% = \frac{128,96256 \text{ W}}{0,6 \text{ m}^2 \cdot 1211 \text{ W/m}^2} = 17,75 \%$$

Contoh data perhitungan pengujian kolektor surya pelat datar dengan variasi sirip berlubang dengan diameter berbeda (diameter kecil ke diameter besar dan diameter besar ke diameter kecil) yang dipasang secara paralel/line, dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2. Data lengkap perhitungan pada pengujian kolektor dapat dilihat pada lampiran B.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian dan perhitungan kolektor surya dengan sirip berlubang diameter kecil – besar (kiri)

Tabel 4.2 Data hasil pengujian dan perhitungan kolektor surya dengan sirip berlubang diameter besar – kecil (kanan)

WAKTU	T_a (°C)	I_T (W/m ²)	T_{in} (K)	T_{out} (K)	ΔT (K)	T_{fluida} (K)	C_p (J/kg.K)	$Q_{u,a}$ (W)	η_a (%)
10:00	29	813	307	316	9	311,5	1007,46	72,53712	14,870258
11:00	30	1135	308	317	9	312,5	1007,5	72,54	10,651962
12:00	31	1211	309	319	10	314	1007,56	80,6048	11,095421
13:00	31	1095	309	319	10	314	1007,56	80,6048	12,268615
14:00	31	1083	309	317	8	313	1007,52	64,48128	9,9232502
15:00	30	303	307	313	6	310	1007,4	48,3552	26,59802
16:00	29	578	307	311	4	309	1007,36	32,23552	9,2951326
17:00	29	297	307	316	9	305,5	1007,26	8,05808	4,5219304

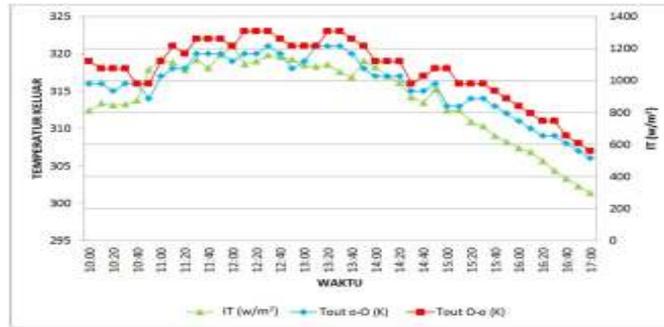
WAKTU	T_a (°C)	I_T (W/m ²)	T_{in} (K)	T_{out} (K)	ΔT (K)	T_{fluida} (K)	C_p (J/kg.K)	$Q_{u,a}$ (W)	η_a (%)
10:00	29	813	304	319	15	311,5	1007,46	120,8952	24,783764
11:00	30	1135	304	318	14	312	1007,48	112,83328	21,943462
12:00	31	1211	307	321	14	313	1007,52	112,83328	58,402319
13:00	31	1095	307	321	14	313	1007,52	112,83328	44,753111
14:00	31	1083	307	319	12	312	1007,48	96,7104	18,4
15:00	30	303	304	318	14	311	1007,44	96,7104	15,082335
16:00	29	578	307	313	6	308,5	1007,34	112,83328	16,569421
17:00	29	297	307	307	0	311,5	1007,46	128,96256	19,311354

3.7 ANALISA PERFORMANSI KOLEKTOR

Untuk mempermudah melakukan analisa maka data-data hasil pengujian dan perhitungan digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik-grafik yang digambarkan tersebut adalah grafik performansi kolektor surya pelat datar yang terdiri dari grafik hubungan T_{out} , I_T terhadap waktu pada masing-masing variasi kolektor, grafik energi berguna aktual kolektor dan grafik efisiensi aktual kolektor.

3.7.1 Perbandingan Temperatur keluar Kolektor Pelat Datar dengan Sirip Berlubang dengan Diameter Kecil – Besar dan Sirip Berlubang dengan Diameter Besar – Kecil

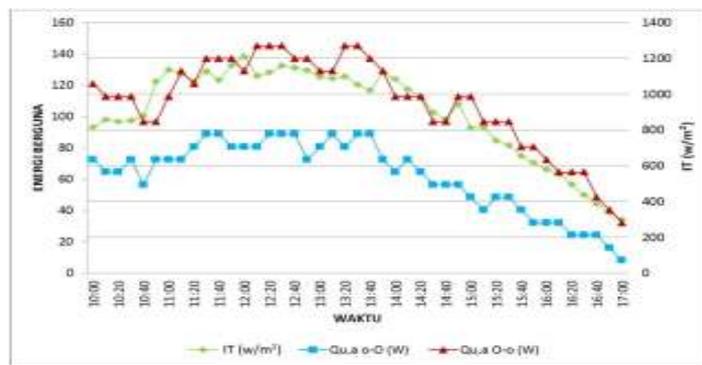
Perbandingan kolektor surya pelat datar dengan sirip berlubang diameter kecil – besar dan sirip berlubang diameter besar – kecil dapat ditunjukkan pada gambar grafik berikut :



Gambar 5.1 Grafik perbandingan temperatur keluar (Tout) kolektor terhadap waktu

3.7.2 Energi Berguna ($Q_{u,a}$) Kolektor Pelat Datar

Dari hasil perhitungan energi berguna yang diperoleh maka didapat grafik sebagai berikut

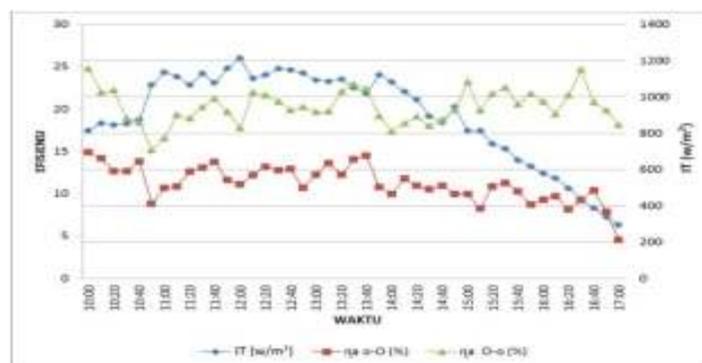


Gambar 5.2 Grafik perbandingan energi berguna ($Q_{u,a}$) terhadap waktu

Gambar 5.2 menunjukkan energi berguna pada kolektor dengan sirip berlubang diameter besar – kecil lebih tinggi dari pada kolektor dengan sirip berlubang diameter kecil – besar. Hal ini disebabkan karena volume fluida yg berbeda. Fluida yang mengalir melalui lubang sirip berdiameter besar menuju lubang-lubang yang semakin kecil akan mendapatkan temperatur panas keluaran yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya energi berguna yang dihasilkan merupakan fungsi dari laju aliran massa kolektor, koefisien panas jenis udara dan temperatur udara keluar kolektor. Semakin besar temperatur panas keluaran pada kolektor maka energi berguna yang didapat akan semakin besar. Dan semakin besar selisih antara udara keluaran kolektor dengan udara masuk kolektor akan mempengaruhi energi berguna kolektor juga semakin besar.

3.7.3 Efisiensi (η_a) Kolektor Pelat Datar

Dari hasil perhitungan efisiensi yang diperoleh maka didapat grafik sebagai berikut :



Gambar 5.3 Grafik perbandingan efisiensi (η_a) kolektor terhadap waktu

Dari Gambar 5.3 diatas dapat dilihat bahwa efisiensi kolektor dengan variasi diameter sirip dari lubang besar ke kecil lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor dengan variasi dari diameter kecil ke besar, hal ini disebabkan karena aliran fluida masuk (udara) lebih banyak masuk pada variasi diameter besar ke kecil dan keluaranya semakin sedikit atau melambat sehingga udara dalam kolektor menyerap panas lebih lama dan temperatur udara keluar kolektor juga menjadi semakin tinggi dan efisiensinya pun menjadi tinggi.

4. SIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan maka dapat disimpulkan bahwa kolektor surya pelat datar dengan variasi diameter lubang dari diameter besar ke kecil menghasilkan performansi lebih baik dibandingkan dengan kolektor surya pelat datar dengan variasi diameter dari kecil ke besar. Performansi kolektor dengan sirip berlubang dari diameter besar ke kecil yaitu temperatur keluarannya sebesar 321 K, energi bergunanya sebesar 128,6 W dan efisiensinya sebesar 17,75 % yang lebih tinggi dari performansi kolektor dengan sirip berlubang dari diameter kecil ke besar yaitu temperatur keluarannya sebesar 319 K, energi bergunanya sebesar 80,6 W dan efisiensinya sebesar 11,1 %. Dari proses penelitian yang dilakukan masih belum mendapatkan hasil yang optimal karena terdapat banyak kendala, sehingga perlu dilakukan pengembangan untuk penelitian selanjutnya guna mendapatkan performansi kolektor surya pelat datar yang lebih meningkat, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian kedepannya bisa memvariasikan jarak antara sirip-sirip, ketebalan sirip dan jumlah sirip yang digunakan pada kolektor surya.
2. Saat melakukan penelitian kolektor surya, agar para peneliti lebih memperhatikan perkiraan cuaca karena intensitas radiasi matahari sangat berpengaruh terhadap hasil dari pengujian.

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] Astawa, Gunawan dan Hendra, 2014. Analisa Kolektor Surya Pelat Datar dengan Media Penyimpan Panas Pasir untuk Pemanas Udara. Jurnal Ilmiah TEKNIKA, Volume 10. No 1, edisi Juli 2014. ISSN 1693-024X. pp 43-50.
- [4] Duffie, J. A., and Backman. 1991. *Solar Enggenering of Thermal Process*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Incropera, F. P., and De Witt, D. P. 1994. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Kreith, Frank. 1986. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
- [7] Kristanto, Philip. James Laeyadi, " Kolektor Surya Prismatic ". Jurnal Teknik Mesin Vol. 2, No. 1, April 2000 : 22-28
- [8] Suardamana. 2010. *Analisis Performa Kolektor Surya Pelat Bersirip dengan Variansi Luasan Perluasan Permukaan Sirip*. Bali: Universitas Udayana.
- [9] Sudarpa, I Made. 2012. *Analisa Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Menggunakan Aliran Impinging Jet dengan Aliran Dibawah Pelat Berlubang dengan Variasi Diameter Berbeda*. Bali: Universitas Udayana.

- [10] Wibawa, A.S., 2012. *Analisa Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Menggunakan Aliran Impinging Jet dengan Aliran Dibawah Pelat Berlubang*. Bali: Universitas Udayana.
- [11] Yuniyanto, Bambang. 2005. *Analisa Transien Perpindahan Panas Pada Heat Plat dengan Metoda Confined Impinging Jet*. Semarang: Universitas Diponegoro.