

ANALISIS UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN SIRIP POSISI *STAGGERED*

Ketut Astawa¹, I Gusti Ngurah Putu Tenaya², I Gede Teddy Prananda Surya³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana Bali
Email: ketutblentut2020@gmail.com

Masuk : 16-05-2023, revisi: 23-05-2023, diterima untuk diterbitkan : 05-06-2023

ABSTRAK

Peranan energi menjadi penting untuk peningkatan kegiatan ekonomi dan ketahanan nasional. Pembangunan sektor energi terbarukan menjadi aksi mitigasi untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dan mendukung energi yang berkelanjutan. Untuk itu, Indonesia terus mengencangkan penggunaan energi terbarukan. Energi surya menjadi salah satu pilihan jenis energi terbarukan yang terus didorong penggunaannya di Indonesia. Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi matahari melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Salah satu teknologi pemanfaatan energi surya adalah dengan alat yang disebut dengan Kolektor surya. Kolektor surya adalah sebuah alat yang mampu menyerap dan memindahkan panas dari energi matahari ke fluida kerja. Kolektor surya yang digunakan pada penelitian ini adalah kolektor surya pelat datar. Untuk menambah penyerapan radiasi matahari oleh kolektor surya maka ditambahkan sirip berbentuk segitiga yang dipasang *staggered* pada pelat penyerapnya sehingga temperatur keluarannya diharapkan akan lebih maksimum. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen pengujian langsung dengan membandingkan dua kolektor surya pelat datar yang ditambahkan sirip dan yang tidak ada tambahan sirip. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur udara keluar untuk kolektor surya pelat datar bersirip sebesar 329 K, sedangkan kolektor surya tanpa ditambahkan sirip temperatur udara keluarnya sebesar 321K. Energi bergunanya (Q_u) sebesar 157,47 W untuk yang bersirip dan sebesar 139,59 K untuk yang tanpa sirip. Efisiensi kolektor surya dengan sirip diperoleh sebesar 42,12 % sedangkan yang tanpa sirip sebesar 41,12 %.

Kata kunci : Kolektor surya pelat datar, Sirip segitiga, Unjuk kerja, *Staggered*

ABSTRACT

The role of energy is important for increasing economic activity and national security. The development of the renewable energy sector is a mitigation action to reduce greenhouse gas emissions and support sustainable energy. For this reason, Indonesia continues to intensify the use of renewable energy. Solar energy is one of the sources of renewable energy that continues to be encouraged for its use in Indonesia. Solar energy is the energy obtained by converting solar energy through certain equipment into resources in other forms. One of the technologies for utilizing solar energy is a device called a solar collector. The solar collector is a device capable of absorbing and transferring heat from solar energy to the working fluid. The solar collector used in this study is - a flat plate solar collector. To increase the absorption of solar radiation by the solar collector, triangular fins are that which are staggered on the absorber plate so the maximum at the output temperature is maximum. The method used in this study is the experimental method of direct testing by comparing two- flat plate solar collectors with fins added and those without fins added. The test results show that the outlet air temperature for the finned flat plate solar collector is 329 K, while the discharge air temperature for the solar collector without fins is 321K. The useful energy (Q_u) is 157.47 W for those with fins and 139.59 K for those without fins. The efficiency of solar collectors with fins is 42.12%.

Keywords : Flat plate solar collector, Triangular fin, Performance, *Staggered*

1. PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang sangat mudah diperoleh di Indonesia bahkan dianggap gratis, karena Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Pemanfaatan energi surya sudah lama dilakukan oleh masyarakat Indonesia baik untuk pengeringan pakaian, kayu, dan hasil pertanian. Namun pemanfaatan dari energi matahari

ini tidak dilakukan secara optimal. Sebagai contoh adalah pengeringan tempurung kelapa untuk kerajinan tangan, yang mana hanya diletakkan pada sebuah areal yang luas dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengeringkannya. Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah penelitian agar energi matahari yang ada ini dapat dimanfaatkan dengan semaksimal mungkin. Kolektor surya adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengumpulkan radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi kalor yang berguna. 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 dengan warna hitam doff yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari yang datang dan mentransfer kalor yang diterima tersebut ke fluida kerja. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas kelingkuangan, maka digunakan penutup transparan sehingga terjadi efek rumah kaca sedangkan pada bagian bawah dan samping pelat kolektor diberikan isolasi. Untuk menyempurnakan kolektor surya pelat datar ini sudah banyak penelitian yang dilakukan salah satunya penelitian yang dilakukan dengan menambahkan sirip pada pelat penyerap. Jenis sirip yang ditambahkan berbentuk segitiga yang dipasang secara sig sag (*staggered*), dimana sirip ini berfungsi untuk menambah luas bidang penyerapan panas radiasi matahari. Desain kolektor surya dengan penambahan sirip berbentuk segitiga ini dimana aliran massa udara yang melewati sirip akan mengalami perpindahan panas lebih lama di dalam kolektor sehingga akan terjadi penyerapan radiasi matahari semakin besar dan dipindahkan ke fluida kerja juga akan semakin besar sebelum aliran massa udara keluar melewati lubang outlet kolektor.

2. METODE PELAKSANAAN

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 diantara kedua medium tersebut.

Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah merupakan perpindahan panas yang terjadi pada suatu media padat atau pada media fluida yang diam akibat adanya perbedaan temperatur antara permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut. Persamaan laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier tentang Konduksi (*Fourier Law of Heat Conduction*), yang persamaannya matematikanya sebagai berikut:

$$q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

dengan q_{kond} = laju perpindahan panas konduksi (W), k = konduktivitas termal bahan (W/m.K), A = luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2), $\frac{dT}{dx}$ = gradien temperatur pada penampang tersebut (K/m).

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. Laju perpindahan panas konveksi adalah merupakan hukum Newton tentang pendinginan (*Newton's Law of Cooling*) yaitu:

$$q_{konv} = h.A_s.(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

dengan q_{konv} = Laju perpindahan panas konveksi (W), h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.K$), A_s = Luas permukaan perpindahan panas (m^2), T_s = Temperatur permukaan (K), T_∞ = Temperatur fluida (K). Menurut aliran fluidanya, perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu, Konveksi paksa (*forced convection*), terjadi bila aliran fluidanya disebabkan oleh gaya luar, seperti: blower, pompa, atau kipas angin dan Konveksi alamiah (*natural convection*), terjadi bila aliran fluidanya disebabkan oleh efek gaya apungnya (*buoyancy forced effect*).

Perpindahan panas radiasi

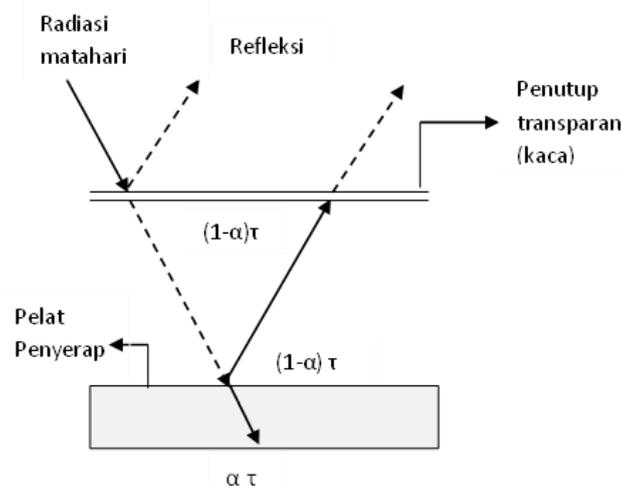
Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh pancaran atau gelombang elektromagnetik (photon), dan asalnya dari energi dalam material yang memancar. Transportasi energi pada peristiwa radiasi tidak harus membutuhkan media, justru radiasi akan lebih efektif dalam ruang hampa. Besarnya radiasi yang dipancarkan oleh permukaan suatu benda riil (nyata), $q_{rad,g}$ (W), adalah:

$$q_{rad,g} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \cdot A \tag{3}$$

dengan q_{rad} = laju pertukaran panas radiasi (W), ε = emisivitas ($0 \leq \varepsilon \leq 1$), σ = konstanta Stefan-boltzmann yang nilainya $5,67 \times 10^{-8}$ (W/m^2K^4), A = luas bidang permukaan (m^2), T_s = temperatur benda (K).

Radiasi yang diserap kolektor surya

Pada kolektor surya untuk pemanas udara, radiasi matahari tidak akan sepenuhnya diserap oleh pelat penyerap. Sebagian dari radiasi itu akan dipantulkan (*refleksi*) menuju bagian dalam penutup transparan. Dari penutup transparan ini beberapa akan dipantulkan kembali dan sebagian lainnya akan terbuang ke lingkungan. Proses penyerapan radiasi matahari oleh kolektor akan diperlihatkan pada Gambar 1. Berkas radiasi matahari yang menimpa kolektor, pertama akan menembus penutup transparan kemudian menimpa pelat penyerap. Sebagian radiasi akan dipantulkan kembali menuju penutup dan sebagian lagi diserap pelat penyerap. Radiasi yang menuju ke penutup kemudian dipantulkan kembali menuju penyerap, sehingga terjadi proses pemantulan berulang. Simbul τ menyatakan *transmisivitas* penutup, α menyatakan *absorsivitas angular* penyerap dan ρ_d menyatakan *refleksivitas* radiasi hambur dari penutup.



Gambar 1. Penyerapan radiasi oleh kolektor surya pelat datar
Efisiensi kolektor pemanas udara tenaga matahari

Pengukuran performansi kolektor adalah efisiensi pengumpulannya (*collection efficiency*), yang didefinisikan sebagai rasio penambahan energi berguna (Q_u) selama periode waktu tertentu terhadap energi matahari yang menimpanya selama periode waktu yang sama. Untuk efisiensi aktual, η_a , dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta_a = \frac{Q_{u,a}}{A_c \cdot I_T} \quad (4)$$

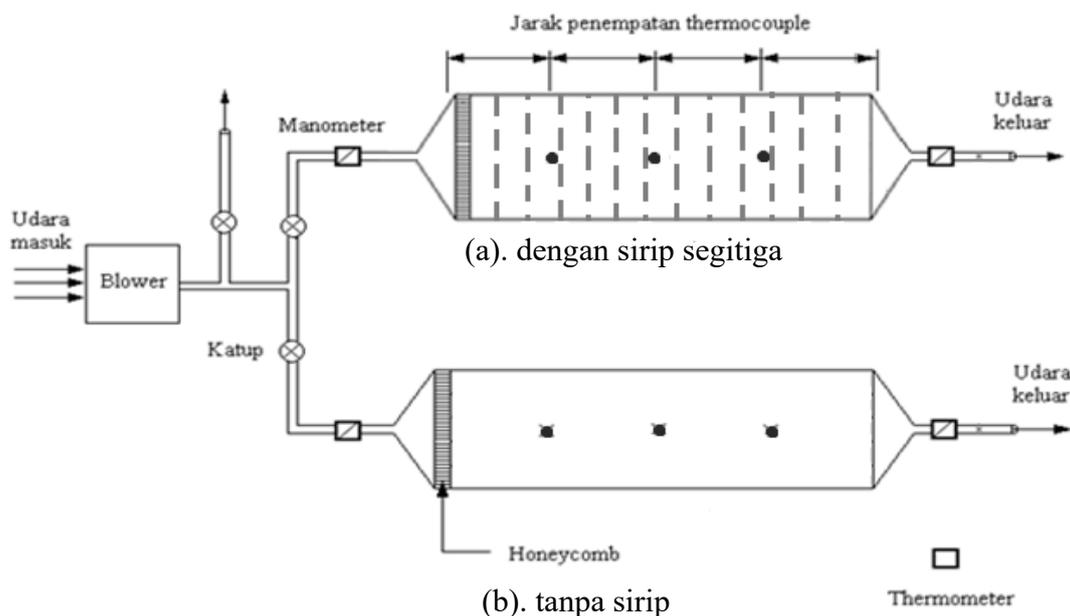
Untuk perhitungan efisiensi aktual didasarkan pada energi berguna aktualnya, dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_{u,a} = \dot{m} \cdot C_p (T_o - T_i) \quad (5)$$

Nilai C_p dari properti fluida berdasarkan temperatur dengan persamaan $T_{film} = \frac{T_i + T_{out}}{2}$ (6)

dengan η_a = efisiensi aktual kolektor (%), $Q_{u,a}$ = energi berguna kolektor sebenarnya tiap satuan luas (Watt), A_c = luas bidang penyerapan kolektor (m^2), I_T = radiasi surya yang jatuh pada bidang kolektor ($Watt/m^2$)

Metode pengujian dalam penelitian ini adalah eksperimen langsung yaitu dengan membandingkan pengujian terhadap kolektor surya pelat datar tanpa sirip dan kolektor surya pelat datar dengan penambahan sirip berbentuk segitiga yang dipasang secara *staggered*. Kemudian kedua hasil perhitungan yang berdasarkan data pengujian dibandingkan sehingga diketahui unjuk kerja dari kolektor surya tersebut. Untuk rancangan uji kolektor tersebut, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian kolektor surya plat datar dengan dan tanpa sirip

Proses penyerapan radiasi matahari oleh kolektor surya pelat datar adalah fluida (udara) dihembuskan dengan blower menuju kedua kolektor pelat datar tanpa sirip dan kolektor pelat datar dengan sirip, dengan laju aliran massa fluida ditentukan sebesar 0,012 kg/s. Ketika radiasi matahari menimpa permukaan kolektor tanpa sirip maka akan ditransmisikan melalui penutup transparan dan kemudian akan diubah menjadi energi panas oleh pelat penyerap. Selanjutnya akan terjadi perpindahan panas dari pelat penyerap menuju fluida yang mengalir di dalam kolektor dan pada

akhirnya temperatur fluida keluar menjadi meningkat. Begitu juga pada kolektor pelat datar dengan sirip, hanya saja pada kolektor dengan sirip ini, fluida yang masuk akan dipecah oleh susunan sirip-sirip segitiga sehingga aliran yang terjadi di dalam kolektor adalah aliran turbulen yang berarti dengan adanya sirip-sirip tersebut akan menambah luas bidang penyerapan energi matahari, sehingga fluida keluar akan menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor surya tanpa sirip. Pengujian dilaksanakan mulai pukul 09.00 wita sampai pukul 18.00 wita dimana data pengujian diambil setiap 10 menit untuk setiap kolektor surya pelat datar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian dan perhitungan untuk unjuk kerja kolektor surya ditampilkan untuk hasil perhitungan setiap jamnya seperti pada Tabel 1 untuk kolektor yang ditambahkan sirip-sirip segitiga yang dipasang secara *staggered* dan pada Tabel 2 untuk data dan perhitungan kolektor surya pelat datar tanpa sirip. Data hasil pengujian dan perhitungan untuk kedua kolektor surya pelat datar dibandingkan untuk mengetahui unjuk kerjanya dan dibuat dalam sebuah grafik. Perhitungan untuk besarnya energi berguna yang digunakan untuk memanaskan fluida yang mengalir di dalam kolektor surya pelat datar berdasarkan persamaan 5, sedangkan untuk perhitungan besarnya efisiensi kolektor surya pelat datar berdasarkan persamaan 4.

Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar

Energi berguna kolektor surya pelat datar dengan sirip

Dengan menggunakan data pengujian pukul 12.00, diperoleh unjuk kerja kolektor surya:

Pada Temperatur *film* (persamaan 6):

$$T_{film} = \frac{T_i + T_{out}}{2} = \frac{308 + 329}{2} = 318,5 \text{ K.} \quad \text{Besarnya } C_p = 1,00774 \text{ kJ/kg.K} = 1007,74 \text{ J/kg.K}$$

besarnya energi berguna actual:

$$Q_{u,a} = \dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in}) = 0,012 \times 1007,74 (329 - 308) = 253,95 \text{ W}$$

Efisiensi kolektor surya pelat datar dengan sirip

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_t} = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in})}{A_c \cdot I_t}$$

$$\eta = \frac{253,95 \text{ W}}{0,6 \text{ m}^2 \cdot 1001,462 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 0,422632 \times 100 \% = 42,26 \%$$

Tabel 1. Data hasil pengujian dan perhitungan Kolektor surya pelat datar dengan sirip segitiga

WAKTU	Ta (°C)	IT		ΔT (K)	T _{film} (K)	C _p J/kg.K	Q _u Watt	η _a
		mV	W/m ²					
9:00	31	8,6	628,655	12	314	1007,56	145,09	38,465
10:00	32	11	804,0936	8	314	1007,56	96,726	20,049
11:00	33	12,8	935,6725	10	315	1007,6	120,91	21,537
12:00	35	13,7	1001,462	21	318,5	1007,74	253,95	42,263
13:00	36	14,8	1081,871	18	320	1007,8	217,68	33,535
14:00	35	13,7	1001,462	18	317	1007,68	217,66	36,224
15:00	35	10,7	782,1637	14	313	1007,52	169,26	36,067
16:00	34	7,6	555,5556	15	312,5	1007,5	181,35	54,405

WAKTU	Ta (°C)	IT		ΔT (K)	T _{film} (K)	Cp J/kg.K	Qua Watt	η _a
		mV	W/m ²					
17:00	33	3,6	263,1579	7	308,5	1007,34	84,617	53,59
18:00	30	0,9	65,78947	5	305,5	1007,22	60,433	153,1

Energi berguna kolektor surya pelat datar tanpa sirip

Berdasarkan data pada Tabel 2:

Pada Temperatur *film*:

$$T_{film} = \frac{T_i + T_{out}}{2} = \frac{305 + 321}{2} = 314,5 \text{ K}$$

besarnya energi berguna actual:

$$Q_{u,a} = \dot{m} \cdot Cp(T_{out} - T_{in}) = 0,012 \times 1007,58 (321 - 308) = 157,18 \text{ W}$$

Tabel 2. Data hasil pengujian dan perhitungan Kolektor surya pelat datar tanpa sirip

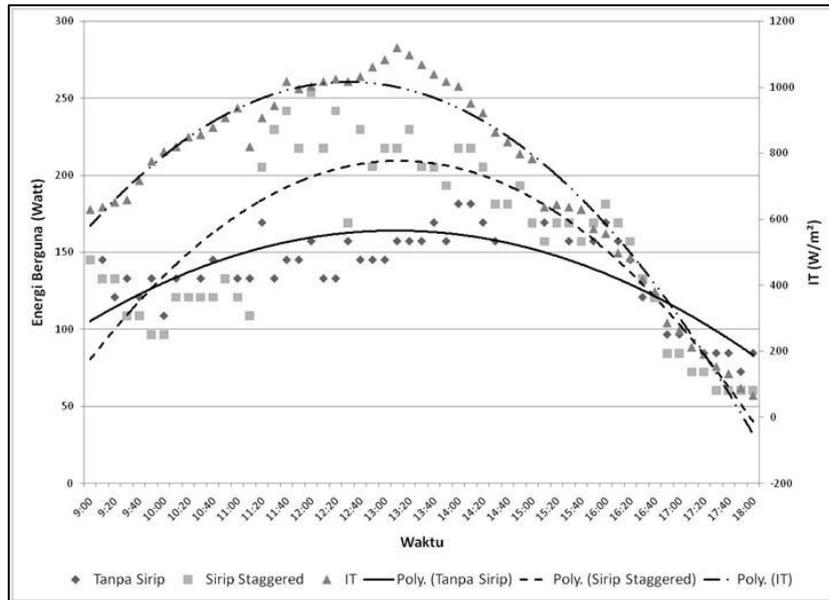
WAKTU	Ta (°C)	IT		ΔT (K)	T _{film} (K)	Cp J/Kg K	Qua Watt	η _a
		mV	W/m ²					
9:00	31	8,6	628,655	12	314	1007,56	145,0886	38,465
10:00	32	11	804,0936	9	314,5	1007,58	108,8186	22,555
11:00	33	12,8	935,6725	11	315,5	1007,62	133,0058	23,692
12:00	35	13,7	1001,462	13	314,5	1007,58	157,1825	26,159
13:00	36	14,8	1081,871	12	317	1007,68	145,1059	22,354
14:00	35	13,7	1001,462	15	315,5	1007,62	181,3716	30,184
15:00	35	10,7	782,1637	14	313	1007,52	169,2634	36,067
16:00	34	7,6	555,5556	14	312	1007,48	169,2566	50,777
17:00	33	3,6	263,1579	8	309	1007,36	96,70656	61,247
18:00	30	0,9	65,78947	7	306,5	1007,26	84,60984	214,34

Efisiensi kolektor surya pelat datar tanpa sirip

$$\eta = \frac{Q_u}{Ac \cdot It} = \frac{\dot{m} \cdot Cp(T_{out} - T_{in})}{Ac \cdot It}$$

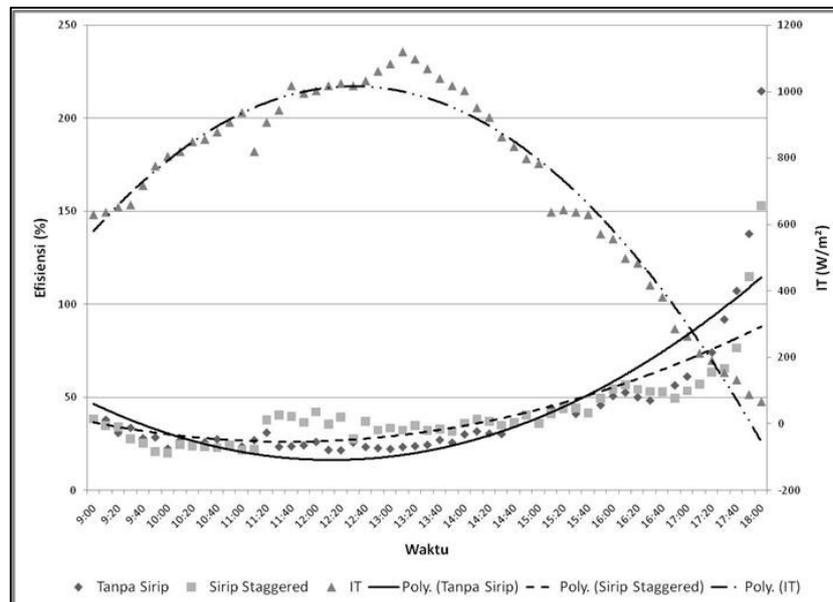
$$\eta = \frac{157,18 \text{ W}}{0,6 \text{ m}^2 \cdot 1001,462 \text{ W/m}^2} = 0,26158 \times 100 \% = 26,16 \%$$

Dari data perhitungan yang diperoleh maka hasil unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan sirip dan tanpa sirip dapat digambarkan grafiknya seperti Gambar 3 untuk Energi berguna kolektor surya pelat datar dan pada Gambar 4 menunjukkan efisiensi kolektor surya pelat datar.



Gambar 3. Grafik Energi berguna pelat datar dengan sirip dan tanpa sirip

Gambar 3 menunjukkan energi berguna pada kolektor surya pelat datar dengan penempatan sirip berbentuk segitiga yang disusun *staggered* lebih tinggi dari pada kolektor surya tanpa sirip. Hal ini menunjukkan bahwa kolektor surya dengan sirip *staggered* mampu menghasilkan temperatur keluaran yang lebih tinggi, sehingga energi berguna pada kolektor surya dengan sirip *staggered* menghasilkan energi berguna yang lebih tinggi, karena energi berguna berbanding lurus dengan temperatur keluaran kolektor. Besarnya energi berguna aktual dipengaruhi oleh temperatur udara keluaran kolektor, dengan temperatur keluaran udara yang lebih tinggi, maka energi berguna yang dihasilkan juga lebih tinggi.



Gambar 4. Grafik efisiensi kolektor surya pelat datar dengan sirip dan tanpa sirip

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada pagi hari efisiensi pada kolektor dengan sirip *staggered* lebih rendah dibanding kolektor tanpa sirip karena pada saat itu temperatur keluaran kolektor juga rendah, namun pada siang hari temperatur keluaran pada kolektor dengan sirip *staggered*

meningkat sehingga efisiensi pada saat itu juga meningkat dan lebih tinggi dibanding kolektor tanpa sirip. Sedangkan pada sore hari terlihat efisiensi kedua kolektor terlihat lebih tinggi dari siang dan pagi hari, hal ini disebabkan karena pelat penyerap dan sirip-sirip segitiga pada kolektor surya masih menyimpan panas.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kolektor surya pelat datar dengan penambahan sirip bentuk segitiga dan tanpa sirip dan perhitungan dari data yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa secara kuantitatif energi berguna yang dihasilkan kolektor surya tanpa sirip sebesar 139.59 Watt dan kolektor surya dengan sirip *staggered* sebesar 157.47 Watt. Secara kualitatif pula untuk efisiensi pada kolektor surya tanpa sirip sebesar 41.12 % dan kolektor surya dengan sirip *staggered* sebesar 42.12 %. Untuk penempatan sirip berbentuk yang disusun *staggered* membuktikan dapat memberikan pengaruh terhadap peningkatan performa kolektor surya pelat datar.

Saran

Untuk kelanjutan penelitian ini kedepannya bisa memvariasikan jarak antara sirip-sirip, ketebalan sirip dan jumlah sirip yang digunakanserta variasi bentuk sirip dan penempatannya pada pelat penyerap kolektor surya.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibantu oleh dua orang mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana dalam pengambilan dan pengolahan data.

REFERENSI

- Alit, I. B. (2000). Studi Eksperimental Kolektor Tubular dengan Memanfaatkan Lampu Neon Bekas Sebagai Kaca Penutup Kolektor. Program Studi Teknologi Energi Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Almerbati, A., Lorente, S. & Bejan, A. (2018), The evolutionary design of cooling a plate with one stream. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 9–15.
- Astawa, Gunawan & Hendra. (2014). Analisa Kolektor Surya Pelat Datar dengan Media Penyimpan Panas Pasir untuk Pemanas Udara. *Jurnal Ilmiah TEKNIKA, Volume 10. No 1*. ISSN 1693-024X. pp 43-50
- Febraldo, D., Septiadi, W.N., & Astawa, K. (2019). Kinerja Termal Pipa Kalor Tembaga pada Fluida Kerja Air. *Jurnal METTEK Volume 5 No 1*, 52-56. ISSN 2502-3829
- Duffie, J. A., & Backman, W. A. (1991), *Solar Enggining of Thermal Processes*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc, New York
- Incropera & Dewit. (1996). *Fundamentals of Heat and Mass transfer*. Jhon Wiley & Sons, Inc, New York
- Jones, A.Z. & Helmenstine, A.M. (2018). Introduction to Heat Transfer: How Does Heat Transfer?, <https://www.thoughtco.com/how-does-heat-transfer-2699422>, 1–1
- Nasution, M. (2018). Perancangan Kolektor Surya Pemanas Air Untuk KebutuhanRumah Tangga Dengan Kapasitas 600 L/jam. ISSN 2598-3814 (Online)
- Prasad, B.N., Behura, A.K. & Prasad, L. (2014). Fluid flow and heat transfer analysis for heat transfer enhancement in three sided artificially roughened solar air heater. *Solar Energy*, 105, 27–35.
- Yunianto, B. (2005). Analisa Transien Perpindahan Panas Pada Heat Plate Dengan Metoda Confined Impinging Jet. Teknik Mesin FT-UNDIP, Semarang