

Analisis unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan penambahan sirip melintang sebagai pengganggu aliran udara disusun *staggered*

Ketut Astawa^{a,1}, I Ketut Gede Sugita^a, I Gusti Ngurah Putu Tenaya^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana, Bali, 80361

¹ketutblentut2020@gmail.com

ABSTRACT

The drying method is one of the optimum solutions in overcoming damage to agricultural and fishery products or preserving other materials. In order to dry agricultural or fishery products with more efficient and effective results, a drying technique that utilizes appropriate technology is needed, one of which is a flat plate solar collector. Flat plate solar collectors could collect solar radiation that falls on it and convert it into useful energy. This useful energy will be used as energy in the drying process. The air entering the solar collector will pass through the absorber plate and be heated so that the temperature of the air leaving the solar collector will increase. By making modifications to the flat plate solar collector using the addition of the staggered transverse plate air flow disturber, which are placed between the absorber plate and the bottom plate along the length of the collector, it is hoped that it can increase the performance of the flat plate solar collector in the form of useful energy and efficiency. This research was conducted experimentally within the air mass flow rate variations of 0.026 kg/s, 0.028 kg/s and 0.30 kg/s. The research results show that the air mass flow rate of 0.30 kg/s have obtained the highest useful energy and efficiency of about 300.95 Watts and 41.04%, respectively. So it can be concluded that the performance of a flat plate solar collector is greatly influenced by the air mass flow rate, useful energy and intensity of solar radiation.

Keywords: Flat plate solar collector, Performance, Staggered plate

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

PENDAHULUAN

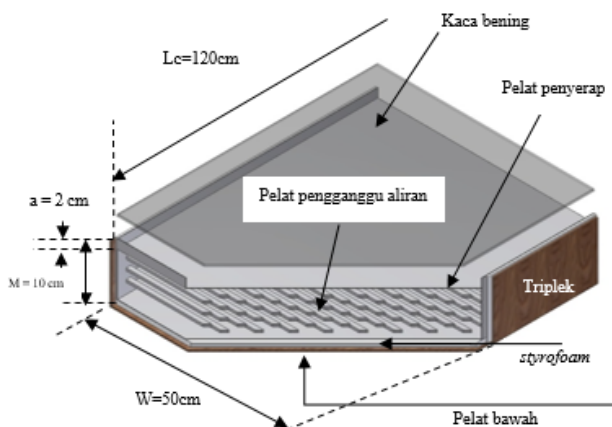
Metode pengeringan merupakan salah satu solusi yang optimum dalam mengatasi kerusakan dari hasil-hasil pertanian dan perikanan atau pengawetan bahan-bahan lainnya. Dalam melakukan pengeringan hasil-hasil pertanian atau perikanan dengan hasil yang lebih efisien dan efektif diperlukan suatu teknik pengeringan yang memanfaatkan teknologi tepat guna, salah satunya yaitu Kolektor surya pelat datar. Kolektor surya pelat datar berfungsi untuk mengumpulkan radiasi matahari yang menyimpannya dan mengubahnya menjadi energi berguna. Energi berguna ini nantinya digunakan sebagai energi dalam proses pengeringan. Kolektor surya adalah sebuah alat yang mampu menyerap dan memindahkan panas dari energi surya ke fluida kerja. Ketika cahaya matahari menimpa absorber pada kolektor surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut dipindahkan ke fluida kerja yang bersirkulasi di dalam kolektor surya (Ismanto 2009). Berbagai modifikasi pernah dilakukan para peneliti guna untuk meningkatkan performansi daripada kolektor surya tersebut. Beberapa diantaranya yang sudah pernah dilakukan oleh Dhanu wijaya (2010) tentang unjuk

kerja kolektor surya pelat datar bersirip dengan aliran di atas pelat penyerap. Untuk meningkatkan kinerja dari kolektor surya pelat datar ini, perlu dilakukan perbaikan performansi yang salah satunya dengan cara melakukan modifikasi pola laju aliran udara dalam kolektor. Prinsip dasar dari penelitian ini adalah menggunakan prinsip alat penukar panas (*heat exchanger*), dalam penelitian ini lebih mengacu pada jenis pola aliran melintasi sekumpulan tabung, dimana pola aliran tersebut menyerupai pola aliran pada alat penukar panas (*heat exchanger*) tipe *shell and tube*. Pola aliran ini biasanya digunakan untuk perpindahan panas antara fluida dengan fluida dan terdiri dari susunan pipa-pipa yang ditempatkan dalam silinder *shell*, dimana aliran yang melintasi tabung akan mengalami hambatan karena penampang yang lebar. Dengan mengadopsi sistem tersebut, pada penelitian ini dilakukan modifikasi berupa penambahan pengganggu aliran berupa pelat melintang yang disusun *staggered*, dimana pada pelat penyerapnya ditambahkan pelat pengganggu yang diletakkan diantara pelat penyerap dengan pelat bawah sepanjang kolektor dengan menggunakan pola aliran dibawah pelat penyerap. Penambahan pelat pengganggu ini memperluas daerah penyerapan panas dan secara langsung memperluas permukaan perpindahan panas (*heat transfer*) dari pelat penyerap ke fluida kerja,

sehingga udara yang mengalir dengan laju aliran massa tertentu di antara pelat penyerap dan pelat bawah diharapkan dapat meningkatkan unjuk kerja dari kolektor surya pelat datar ini.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu dengan melakukan pengujian langsung untuk mengetahui unjuk kerja kolektor surya yang sudah dimodifikasi tersebut. Untuk konstruksi dari kolektor surya pelat datar ini terdiri dari kaca bening (cover), pelat penyerap, pelat bawah dan isolasi. Luas kolektor yang dipilih adalah $0,6 \text{ m}^2$, yaitu lebar kolektor, $W = 0,5 \text{ m}$ dan panjang kolektor, $L_c = 1,2 \text{ m}$, sedangkan jarak antara pelat penyerap dengan kaca (a) = 2 cm , dan tinggi kolektor = 10 cm . Pengganggu aliran yang berupa pelat melintang yang disusun *staggered* tersebut mempunyai lebar 10 mm dengan ketebalan 6 mm yang diletakkan diantara pelat penyerap dengan pelat bawah. Pelat penyerap akan membagi kolektor menjadi dua aliran fluida, yaitu saluran fluida yang dikondisikan diam, dan saluran fluida kerja yang mengalir. Untuk fluida yang dikondisikan diam terletak diantara bagian bawah kaca dengan pelat penyerap. Sedangkan fluida dengan laju aliran massa berada diantara pelat penyerap dengan pelat bawah. Jumlah pelat pengganggu yang digunakan adalah 178 pelat, dengan jarak peletakannya *pitch longitudinal* adalah 23 mm dan *transversal* 23 mm . Bagian bawah dan samping kolektor diberi isolasi yang terdiri dari gabus (*Styrofoam*) dengan ketebalan 10 mm dan triplek dengan ketebalan 4 mm , seperti yang terlihat pada Gambar 1.

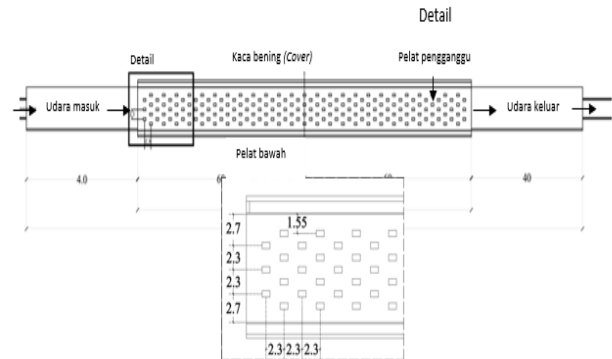


Gambar 1. Dimensi dan Kontruksi kolektor surya dengan pelat pengganggu yang disusun *staggered*

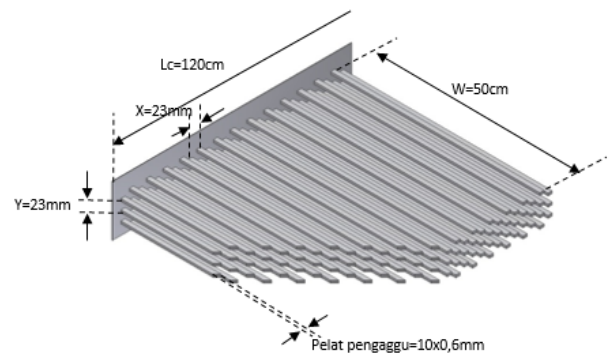
dimana L_c adalah panjang kolektor, W adalah lebar kolektor, M adalah tinggi kolektor, a merupakan jarak antara pelat penyerap dan kaca penutup.

Penempatan pelat pengganggu

Pelat pengganggu laju aliran fluida ditempatkan secara *staggered* dan terbuat dari bahan yang sama yaitu dari besi sehingga memiliki sifat fisik yang sama seperti pada Gambar 2. dan Gambar 3.



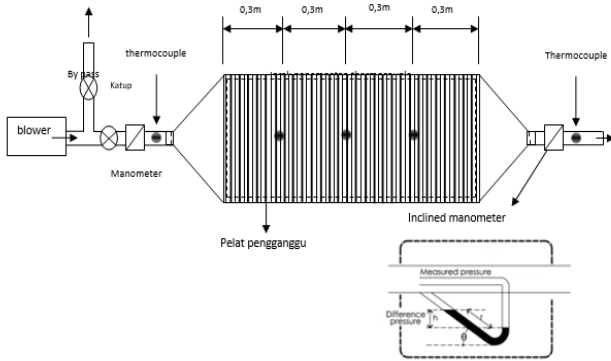
Gambar 2. Penempatan pelat pengganggu aliran fluida



Gambar 3. Dimensi pelat pengganggu yang disusun *staggered* dimana X adalah jarak *pitch longitudinal* dan Y adalah *transfersal*.

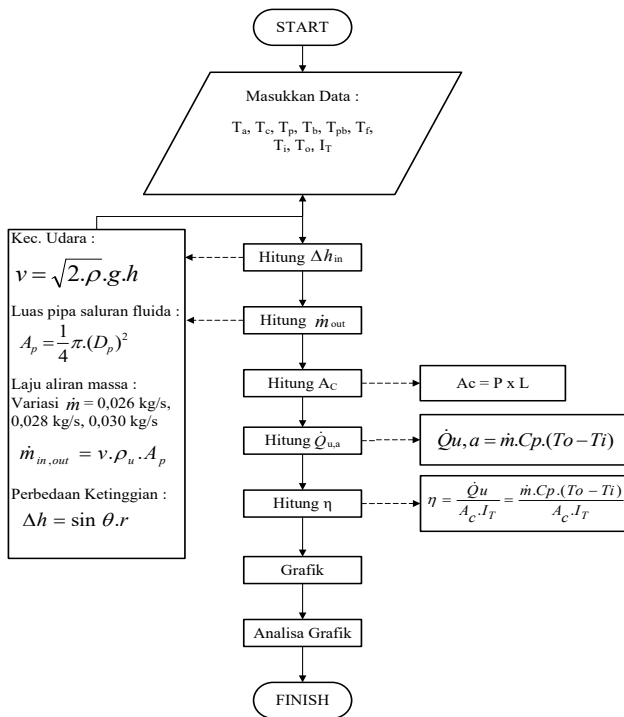
Pengujian Kolektor surya pelat datar dengan pengganggu aliran *staggered*

Pengujian dilakukan dengan merangkai komponen-komponen yang diperlukan dalam pengambilan data dan meletakkan kolektor surya pelat datar ini di tempat datar dan mendapatkan sinar matahari. Agar udara dapat mengalir dalam kolektor, digunakan aliran paksa dengan bantuan blower. Untuk rancangan pengujian kolektor tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. Besarnya laju aliran massanya fluida dapat diketahui dari tinggi rendahnya perubahan ketinggian dari manometer pada saat pengujian. Sebelumnya telah ditentukan variasi laju aliran massanya adalah (\dot{m}) $0,026 \text{ kg/s}$, $0,028 \text{ kg/s}$, dan $0,030 \text{ kg/s}$. Untuk mengetahui laju aliran massa tersebut digunakan manometer yaitu dengan mengetahui perubahan ketinggian fluida. Rancangan pengujiannya dilaksanakan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian pengujian kolektor surya pelat datar dengan pengganggu aliran fluida *staggered*

Untuk menghitung unjuk kerja dari kolektor surya pelat datar dengan penambahan sirip sebagai pengganggu aliran fluida diuraikan seperti pada diagram alir Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir perhitungan unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan sirip pengganggu

Energi Berguna Kolektor Surya Pelat Datar

Energi berguna pada kolektor surya plat datar adalah besarnya energi yang diserap dan digunakan untuk memanaskan kolektor surya, besarnya energi berguna dihitung menggunakan persamaan: [4]

$$Q_U = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i) \quad (1)$$

dimana, Q_U adalah panas berguna (W), \dot{m} adalah laju aliran massa fluida (kg/s), C_p adalah panas jenis fluida

(J/kg °C), T_o adalah temperatur fluida keluar (°C) dan T_i adalah temperatur fluida masuk (°C).

Efisiensi Kolektor Surya Pelat Datar

$$\eta = \frac{Q_U}{A_a I_T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_a I_T} \quad (2)$$

dimana, η adalah efisiensi kolektor, A_a adalah luas bidang penyerapan kolektor (m^2), I_T adalah radiasi surya yang jatuh pada bidang kolektor (W/m^2)

Mekanisme Perpindahan Panas pada Kolektor Surya Pelat Datar

Dalam kasus ini terjadi tiga fenomena perpindahan panas yaitu secara konduksi, yang terjadi pada udara yang diam dan pada pelat penyerap. Selain itu terjadi perpindahan panas secara konveksi antara permukaan pelat penyerap dengan fluida kerja yang mengalir, dalam hal ini udara. Kemudian pertukaran panas radiasi terjadi di atas penutup transparan, diantara penutup transparan dengan pelat penyerap bagian atas, dan antara pelat penyerap bagian bawah dengan permukaan isolasi.

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. [3]. Laju konduksi dikenal dengan Hukum *Fourier* tentang Konduksi (*Fourier Law of Heat Conduction*), yang persamaan matematikanya sebagai berikut:[5]

$$q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

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

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.[5]. Laju perpindahan panas konveksi adalah merupakan hukum Newton tentang pendinginan (*Newton's Law of Cooling*) yaitu:[5]

$$q_{konv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (4)$$

dimana, q_{konv} adalah laju perpindahan panas konveksi (W), h_c adalah koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K), A_s adalah luas permukaan perpindahan panas (m²), T_s adalah temperatur permukaan (K), T_∞ adalah temperatur fluida (K).

Perpindahan Panas Radiasi

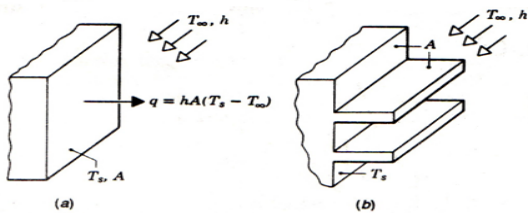
Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh pancaran atau gelombang elektromagnetik (photon), dan asalnya dari energi dalam material yang memancar. Transportasi energi pada peristiwa radiasi tidak harus membutuhkan media, justru radiasi akan lebih efektif dalam ruang hampa. Berbeda dengan perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mutlak memerlukan media perpindahan.[5]. Laju pertukaran panas radiasi keseluruhan antara permukaan dengan sekelilingnya (*surrounding*), dengan temperatur sekeliling, T_{sur} :[5]

$$q_{rad} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (5)$$

dimana, q_{rad} adalah perpindahan panas radiasi (W), σ adalah konstanta Stefan Boltzman (5,67 x 10⁻⁸ W/m² K⁴), A adalah luas permukaan perpindahan panas (m²), T adalah temperatur permukaan perpindahan panas (K).

Sirip

Untuk meningkatkan laju perpindahan panas dapat dilakukan dengan menambah luas penampang permukaan, dimana konveksi terjadi. Cara ini dapat dilakukan dengan menggunakan sirip yang meluas dari permukaan media padat ke dalam fluida yang berada di sekelilingnya [4]. seperti Gambar 5.



Gambar 5. Sirip untuk memperbesar perpindahan panas media padat [4]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian terhadap unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan penambahan pengganggu aliran berupa sirip melintang yang disusun secara *staggered* untuk masing-masing laju aliran fluida yang telah ditentukan yaitu 0,026 kg/s, 0,028 kg/s dan 0,030 kg/s seperti gambar 6, dalam selang waktu pengujian setiap jamnya, diperoleh hasil besarnya unjuk kerja yang terdiri dari energi berguna (Q_u) dan Efisiensi (η) dari setiap variasi laju aliran fluida dengan menggunakan persamaan yang ada, maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.



Gambar 6. Foto pengujian kolektor surya pelat datar dengan pelat penghalang *staggered* pada saluran fluida

Tabel 1. Unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan laju aliran $\dot{m} = 0,026$ kg/s

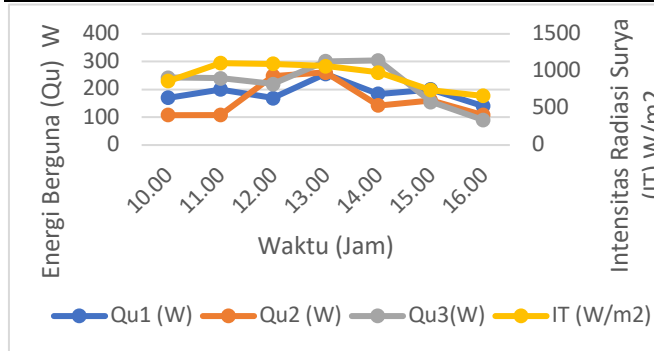
WAK TU	Ta (oC)	Tin (K)	To (K)	ΔT (K)	Cp kJ/kg oC	IT (W/m2)	Qu (W)	η (%)
10.00	33	306	317	11	1008.36	861	170.3	33
11.00	33	306	319	13	1008.32	1105	200	30.2
12.00	36	309	320	11	1008.41	1096	168.8	25.7
13.00	36	309	326	17	1008.45	1067	256.06	40
14.00	36	309	321	12	1008.23	978	183.5	31.3
15.00	33	306	319	13	100.93	742	200	45
16.00	34	307	316	9	1007.78	662	139.70	35.2

Tabel 2. Unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan laju aliran $\dot{m} = 0,028$ kg/s

WAK TU	Ta (oC)	Tin (K)	To (K)	ΔT (K)	Cp kJ/kg oC	IT (W/m2)	Qu (W)	η (%)
10.00	32	308	314	6	1019.32	922	108.20	19.6
11.00	35	309	315	6	1019.36	1144	107.9	15.7
12.00	38	306	320	14	1019.24	1173	248	35.2
13.00	35	310	325	15	1008.32	1120	261.7	38.9
14.00	37	319	319	8	1019.76	1042	142.1	22.7
15.00	35	308	317	9	1019.32	895	160.8	29.9
16.00	34	307	313	6	1007.69	622	108.5	29.1

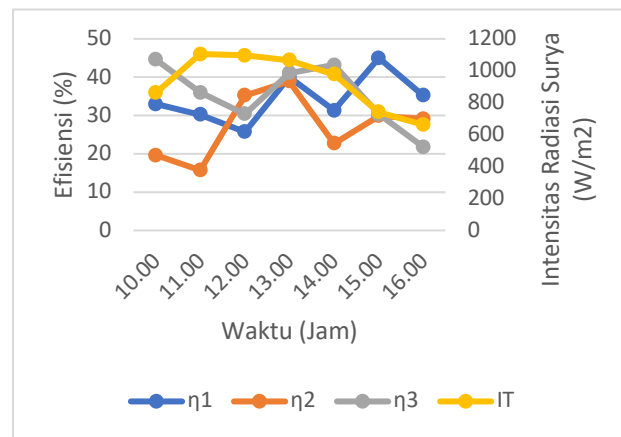
Tabel 3. Unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan laju aliran $\dot{m} = 0,030$ kg/s

WAK TU	Ta (oC)	Tin (K)	To (K)	ΔT (K)	Cp kJ/kg oC	IT (W/m ²)	Qu (W)	η (%)
10.00	32	304	315	11	1008.1	905	242.2	44.6
11.00	33	306	317	11	1008.24	1115	240.8	36
12.00	33	306	316	10	1008.18	1203	219.6	30.4
13.00	36	309	323	14	1008.26	1222	300.9	41.1
14.00	32	305	319	14	1008.1	1176	304.6	43.2
15.00	33	306	313	7	1007.82	853	155	30.3
16.00	31	304	308	4	1007.7	686	89.9	21.8



Gambar 7. Graafik Besarnya Energi berguna (Qu) terhadap waktu pengujian

Gambar 7 adalah merupakan grafik yang menjelaskan bahwa besarnya energi berguna yang diperoleh adalah 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 juga semakin besar, sehingga dari variasi laju aliran yang ada maka energi berguna rata-rata paling tinggi pada laju aliran (\dot{m}) 0,030 kg/s sebesar (Qu) 221,9 Watt. Sedangkan untuk besarnya efisiensi (η) dari variasi laju aliran fluida juga dihasilkan pada laju aliran fluida (\dot{m}) 0,030 kg/s sebesar 35,3%. Hal ini disebabkan karena hubungan antara energi berguna dan efisiensi adalah berbanding lurus dengan luasan kolektor yang tetap dan Intensitas radiasi surya (I_T) yang tidak terlalu berfluktuasi. Besarnya efisiensi untuk masing-masing laju aliran fluida dapat dilihat pada gambar 8. Temperatur keluaran kolektor juga mempengaruhi unjuk kerja dari kolektor surya pelat datar, bila dilihat dari besarnya temperatur keluaran (T_o) pada sore hari temperatur udara keluarannya masih tinggi, hal ini disebabkan karena sirip-sirip atau pelat penghalang yang dipasang tersebut masih menyimpan panas radiasi yang menyebabkan udara yang menampungnya masih menyerap panasnya.



Gambar 8. Efisiensi (η) terhadap waktu pengujian

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian terhadap unjuk kerja dari kolektor surya pelat datar dengan penambahan pelat pengganggu yang dipasang *staggered* dan variasi laju aliran fluida maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran fluida menyebabkan energi berguna dan efisiensi kolektor surya pelat datar semakin tinggi serta penyimpanan energi radiasi surya yang menimpa kolektor surya masih terserap dan tersimpan oleh pelat-pelat pengganggu sehingga temperatur keluaran kolektor masih tetap tinggi walaupun intensitas surya menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah bagian dari hibah penelitian yang diajukan di LPPM Unud. Terimakasih kepada LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat) Unud, Fakultas Teknik Unud serta Program Studi Teknik Mesin Unud atas pendanaan penelitian ini serta bantuan fasilitas yang telah diberikan di Program Studi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Astawa,dkk, Pengaruh penggunaan pipa kondensat sebagai heat recovery pada basin tipe solar still terhadap efisiensi. Jurnal Energi dan Manufaktur, Vol.2 No.1.pp.34-41. 2018
- [2]. David Febraldo, Wayan Nata Septiadi, Ketut Astawa, Kinerja Termal Pipa Kalor Tembaga pada Fluida Kerja Air. Jurnal METTEK Volume 5 No 1. pp 52 – 56 ISSN 2502-3829. 2019
- [3]. Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Denpasar
- [4]. Duffie and etc, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc, United

- State of America. 1991
- [5]. Incropera and Dewit, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, Inc, New York. 1996
- [6]. Jansen, T. J. alih bahasa oleh Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, PT. Pradnya Paramita, Jakarta. 1995
- [7]. Astawa,K.22789-1-44440-1-10-20160728.
Pengaruh Penempatan Sirip Berbentuk Segitiga Yang Dipasang Secara Aligned Dan Staggered Terhadap Performansi Kolektor Surya Pelat Datar. 2015
- [8]. Ketut Astawa,dkk,Analisis Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar Dengan Aliran *Impinging Jet* dalam proses Pengeringan ISSN2338-414X,No.1.Vol.11.2024