

ANALISIS PERFORMA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR DENGAN SIRIP MELINTANG BERONGGA DISUSUN *STAGGERED* MENGGUNAKAN ALIRAN *IMPINGING JET*

Hunafa Arya Purnama, Ketut Astawa, Made Sucipta*

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Mayoritas penduduk Indonesia bekerja di sektor pertanian karena Indonesia adalah negara agraris yang memiliki keunggulan berupa lahan yang subur. Dalam sektor ini, salah satu metode pengeringan yang paling kuno dan masih sering digunakan adalah pengeringan langsung. Namun, metode ini memiliki kelemahan, seperti perlu lahan yang luas, hasil pengeringan yang tidak konsisten karena intensitas radiasi matahari yang bervariasi, serta risiko kontaminasi dari mikroorganisme, debu, dan kotoran. Kondisi ini mendorong manusia untuk mencari cara pemanfaatan energi matahari yang lebih efisien untuk pengeringan, seperti penggunaan kolektor surya. Sebuah perangkat kolektor surya memiliki kemampuan untuk menyerap energi panas dari sinar matahari dan mengalirkannya ke fluida kerja. Eksperimen ini dilakukan mengamati perpindahan panas yang terjadi didalam kolektor surya. Untuk meningkatkan unjuk kerja kolektor surya diberikan sirip melintang berongga bentuk bujur sangkar disusun *staggered* menggunakan aliran *impinging jet* dengan variasi laju aliran massa 0,0009 (\dot{m}_1); 0,0019 (\dot{m}_2); dan 0,0023 (\dot{m}_3) kg/s pada suhu 32 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kolektor surya tersebut terdapat distribusi suhu dan energi berguna tertinggi pada variasi \dot{m}_3 dengan energi berguna sebesar 39,44 W dan efisiensi tertinggi di variasi \dot{m}_2 sebesar 14,40%. Tetapi energi berguna rata-rata dan efisiensi rata-rata berada pada variasi \dot{m}_3 sebesar 26,53 W dan 5,69%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi laju aliran massa berpengaruh terhadap performa kolektor surya.

Kata kunci: Energi Surya, *Staggered*, *Impinging jet*, Sirip Berongga, Energi Berguna, Efisiensi.

Abstract

The majority of Indonesians work in the agricultural sector as Indonesia is an agrarian country that has the advantage of fertile land. In this sector, one of the most ancient and frequently used drying methods is direct drying. However, this method has disadvantages, such as the need for large areas of land, inconsistent drying results due to varying solar radiation intensity, as well as the risk of contamination from microorganisms, dust, and dirt. These conditions encourage humans to look for more efficient ways of utilizing solar energy for drying, such as the use of solar collectors. A solar collector device has the ability to absorb heat energy from sunlight and flow it into the working fluid. This experiment was conducted to observe the heat transfer that occurs inside the solar collector. To improve the performance of the solar collector, hollow transverse fins in the shape of a square are arranged *staggered* using *impinging jet* flow with a mass flow rate variation of 0.0009 (\dot{m}_1); 0.0019 (\dot{m}_2); and 0.0023 (\dot{m}_3) kg/s at a temperature of 32 °C. The results showed that in the solar collector, there was the highest temperature distribution and useful energy in the variation of (\dot{m}_3) with useful energy of 39.44 W and the highest efficiency in the variation of (\dot{m}_2) of 14.40%. But the average useful energy and average efficiency were at kg/s variation (\dot{m}_3) of 26.53 W and 5.69%. This shows that the variation of mass flow rate affects the performance of the solar collector.

Keywords: Solar Energy, *Staggered*, *Impinging jet*, Hollow Fin, Useful Energy, Efficiency.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris sehingga mempunyai keunggulan lahan yang subur. Dengan memanfaatkan lahan-lahan subur tersebut, tak heran jika sejak dahulu kala mayoritas penduduk Indonesia bermatapencaharian dari sektor pertanian. Pengeringan merupakan salah satu teknik pengawetan makanan yang sudah lama ada dan sering digunakan dalam industri ini. Metode pengeringan yang paling umum digunakan hingga kini adalah dengan memanfaatkan sinar matahari secara langsung, yang dikenal sebagai proses penjemuran [1].

Saat ini, pengeringan produk pertanian dan perkebunan masih sering dilakukan dengan memanfaatkan sinar matahari secara langsung. Metode ini melibatkan penempatan objek yang akan dikeringkan di tanah atau lantai di bawah sinar matahari yang terik. Walaupun metode penjemuran ini relatif murah dan gampang dilakukan, tetapi tetap

memiliki kekurangan yaitu kebutuhan lahan yang luas, hasil pengeringan yang tidak sempurna karena intensitas radiasi matahari yang berubah-ubah, adanya kontaminasi dari mikroorganisme, debu, dan kotoran. Hal tersebut mengarahkan manusia untuk pencarian pemanfaatan energi surya untuk pengeringan secara efisien, salah satu contohnya adalah penggunaan kolektor surya [2].

Kolektor surya biasanya dirancang dengan aliran udara sejajar dengan pelat penyerap untuk meningkatkan efisiensi pemanasan. Udara memasuki inlet akan melewati pelat penyerap yang terkena sinar matahari, dan kemudian keluar melalui outlet setelah dipanaskan [3]. Salah satu jenis kolektor surya yang dikenal adalah kolektor surya pelat datar. Kolektor ini menggunakan pelat absorber yang berfungsi menyerap radiasi matahari dan mentransfer panas yang diserap tersebut ke fluida kerja. Penambahan sirip pada kolektor surya berfungsi untuk memaksimalkan dalam menangkap panas yang terjebak dalam kolektor surya

[4]. Untuk sirip melintang diperlukan laluan fluida dengan bentuk tertentu. Kolektor surya pelat datar dengan variasi rongga laluan pada sirip memiliki potensi untuk menyebabkan aliran udara yang memasuki kolektor surya terperangkap lebih lama. Hal ini dapat mengakibatkan penyerapan panas yang lebih besar oleh udara yang beredar di dalam kolektor, sehingga temperatur udara yang keluar dari kolektor akan lebih tinggi [5].

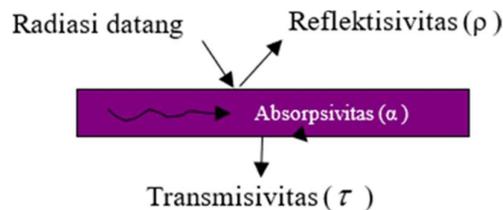
[6] menganalisis kinerja kolektor surya pelat datar dengan penempatan sirip segitiga yang disusun secara sejajar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan sirip segitiga dapat meningkatkan kemampuan penyerapan dan perpindahan panas ke fluida kerja. Namun, sirip berbentuk segitiga yang disusun sejajar ini belum dapat dianggap optimal karena panas belum terserap secara maksimal oleh aliran fluida. Oleh karena itu, diperlukan perubahan bentuk sirip dan lubang untuk meningkatkan efisiensinya.

Berbekal dari penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi dengan penambahan sirip berongga bentuk bujur sangkar posisi *staggered* dimana sirip ini berfungsi untuk menambah luas bidang penyerapan dan aliran fluida akan menabrak sirip-sirip mengakibatkan perpindahan panas konveksi dan konduksi yang membuat aliran fluida keluar kolektor akan menjadi lebih panas. Dengan ukuran lubang bervariasi (besar ke kecil) akan berfungsi sebagai nosel yang menghasilkan aliran *impinging jet* dalam kolektor surya dengan lubang sirip yang menyempit dari diameter besar kecil, fluida yang mengalir akan mengalami peningkatan waktu kontak dengan permukaan *absorber*. Ini menyebabkan penyerapan panas yang lebih lama oleh fluida tersebut, sehingga temperatur yang dihasilkan cenderung lebih tinggi. Dengan demikian, energi yang berguna yang dapat dikumpulkan oleh kolektor surya juga meningkat. [7].

Dalam penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut, bagaimana laju perpindahan panas pada kolektor surya, bagaimana efisiensi kolektor surya pelat datar dengan sirip melintang berongga bentuk bujur sangkar disusun *staggered* menggunakan aliran *impinging jet*.

2. Dasar Teori

Radiasi matahari merujuk pada energi yang dipancarkan oleh matahari berupa sinar dan panas. Radiasi matahari sudah berusia setua kehidupan itu sendiri, Kehidupan di permukaan Bumi tidak mungkin terjadi tanpa adanya energi surya. Ketika radiasi surya mencapai permukaan suatu benda, energi radiasi tersebut akan mengalami tiga proses, yaitu pemantulan (reflection), penyerapan (absorption), dan transmisi (transmission), seperti yang ditunjukkan dalam gambar.



Gambar 1. Radiasi Surya

Intensitas radiasi matahari diukur menggunakan *pyranometer* yang memiliki sensitivity sebesar $13,68 \mu V/Wm^2$ dan di baca menggunakan *Multimeter*. Dari data tersebut bisa dihitung intensitas radiasi matahari sebagai berikut.

$$I_T = \frac{U_{emf}}{S} = \frac{\mu V}{W/m^2} \quad (1)$$

Laju aliran massa adalah salah satu parameter penting dalam perhitungan energi berguna dan efisiensi dari kolektor surya pelat datar. Konsep ini sangat penting dalam berbagai aplikasi teknik dan ilmu pengetahuan, karena dapat mempengaruhi efisiensi dan kinerja system [8]. Laju aliran massa merupakan parameter penting dalam mekanika fluida yang menggambarkan seberapa cepat massa fluida bergerak melalui suatu penampang lintasan. Persamaan laju aliran massa yang dipakai adalah [9] :

$$\dot{m} = \rho V A \quad (2)$$

Pada penelitian ini Kolektor surya menggunakan aliran *impinging jet*, dimana aliran fluida yang mengenai permukaan datar atau melengkung dengan sudut tertentu. Aliran ini dapat meningkatkan perpindahan panas konveksi antara fluida dan permukaan karena adanya turbulensi yang dihasilkan oleh benturan fluida. *Impinging jet* dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan performansi kolektor surya pelat datar, yaitu alat yang menyerap dan memindahkan panas dari energi matahari ke fluida kerja [10].

Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung energi yang dapat diserap atau energi berguna oleh kolektor surya pelat datar adalah.

$$q_u = \dot{m}.c_p.(T_{out} - T_{in}) \quad (3)$$

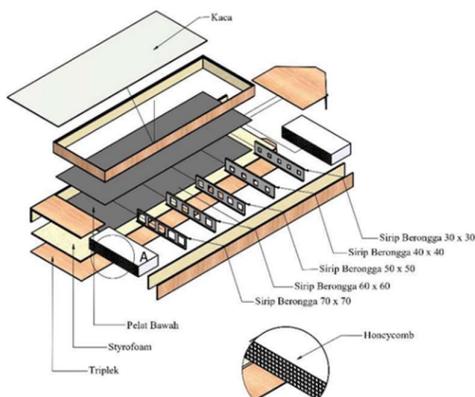
Dalam konteks kolektor surya, energi berguna merujuk pada jumlah energi panas yang dapat digunakan atau dialirkan oleh fluida kerja dari kolektor surya. Hal yang penting dalam menghitung efisiensi kolektor surya adalah membandingkan energi panas yang diserap oleh fluida kerja dengan total radiasi matahari yang diterima oleh kolektor surya [11] :

$$\frac{Q_u}{I_T A_c} \times 100 = \frac{\dot{m}.c_p.(T_o - T_i)}{I_T A_c} \times 100 \quad (4)$$

3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan pendekatan eksperimental yang melibatkan penyusunan dan evaluasi bahan. Pendekatan eksperimental dimulai dengan merancang dan memproduksi kolektor surya pelat datar yang dilengkapi dengan sirip berongga berbentuk bujur sangkar yang disusun secara

bergantian menggunakan aliran jet yang menimpa, lalu alat ukur dipasang pada titik-titik tertentu pada kolektor. lalu divariasikan kecepatan udara sebesar 0,4; 0,8; 1,0 m/s yang masing-masing berkorelasi dengan laju aliran massa 0,0009; 0,0019; 0,0023 kg/s pada suhu 32 °C. Untuk konstruksi dari kolektor surya pelat datar sebagai berikut.

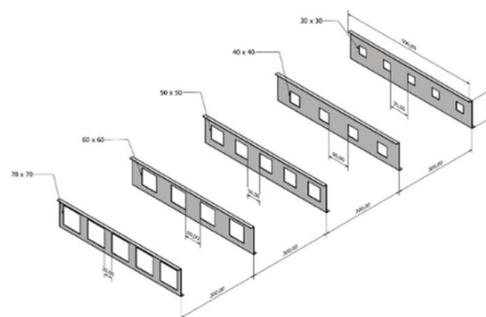


Gambar 2. Konstruksi Kolektor Surya Pelat Datar

Prinsip kerja pada penelitian ini melibatkan beberapa komponen seperti udara lingkungan yang dihisap dari blower akan masuk lalu disebar oleh honeycomb. Aliran udara yang masuk akan bertabrakan dengan sirip yang menghalangi arah aliran. Penambahan sirip melintang berongga disusun staggered ini berfungsi untuk menambah luas bidang penyerapan dan aliran fluida akan menabrak sirip-sirip mengakibatkan perpindahan panas konveksi dan konduksi yang membuat aliran fluida keluar kolektor akan menjadi lebih panas. Dengan ukuran lubang bervariasi (besar ke kecil) akan berfungsi sebagai nosel yang menghasilkan aliran impinging jet diharapkan fluida yang melewati lubang sirip dengan diameter besar ke kecil menyerap panas lebih lama agar suhu yang dihasilkan akan lebih tinggi.

Penentuan kecepatan udara bisa didapatkan dari beberapa parameter, yaitu massa jenis udara sebesar 1,2 kg/m³ pada suhu 32 °C, luas penampang dilalui fluida pada pipa sebesar 0,0020258 m², dan laju aliran massa.

Sirip berbentuk bujur sangkar yang melintang ditambahkan pada kolektor surya pelat datar disusun secara *staggered*. Panjang sirip adalah 500 mm dan lebar adalah 100 mm. Lubang pada masing-masing sirip bujur sangkar memiliki diameter yang bervariasi dalam 5 baris, yaitu 70 x 70 mm, 60 x 60 mm, 50 x 50 mm, 40 x 40 mm, dan 30 x 30 mm. Desain ini dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3. Konstruksi sirip berongga dengan lubang berbentuk bujur sangkar

Tabel 1. Perhitungan Kecepatan Udara

Luas penampang	Massa Jenis	m	V
0,0020258 m ²	1,2 kg/m ³	0,0009 kg/s	0,4 m/s
0,0020258 m ²	1,2 kg/m ³	0,0019 kg/s	0,8 m/s
0,0020258 m ²	1,2 kg/m ³	0,0023 kg/s	1,00 m/s

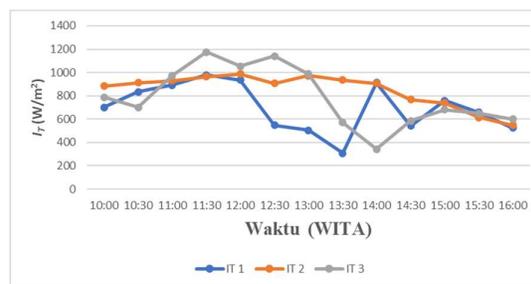
Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan udara saat masuk ke dalam kolektor. Pengukuran suhu pada bagian atas dan bawah pelat absorber, sirip berongga, kaca, lingkungan, dan udara yang mengalir dilakukan menggunakan thermocouple, yang dipasang pada tiga titik pengujian masing-masing, yaitu mulai dari jarak 0,15 m, 0,75 m, dan 1,35 m.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian kolektor surya pelat, telah diamati peningkatan intensitas radiasi matahari. Hal ini berdampak pada peningkatan dan penyebaran suhu di semua titik pemasangan sensor suhu.

4.1. Intensitas Radiasi Matahari

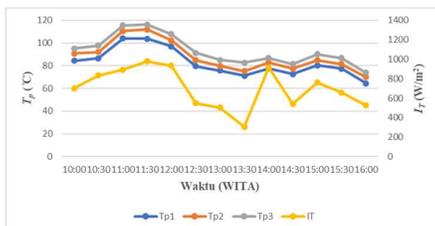
Pengambilan data Intensitas radiasi matahari dilakukan setiap kali data diambil dari masing-masing variasi pada kolektor surya. Pada gambar 4, terdapat $I_{T,1}$ - $I_{T,3}$ di mana $I_{T,1}$ mewakili intensitas matahari pada varian laju aliran massa 0,0009 kg/s, $I_{T,2}$ yang mencerminkan intensitas radiasi matahari pada varian laju aliran massa sebesar 0,0019 kg/s, dan $I_{T,3}$ mewakili intensitas radiasi matahari variasi m sebesar 0,0023 kg/s.



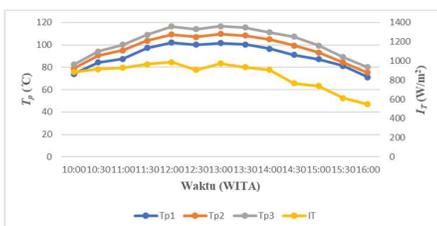
Gambar 4. Perbandingan IT Dengan Waktu Pada Setiap Variasi

4.2. Distribusi Suhu Pada Pelat Absorber

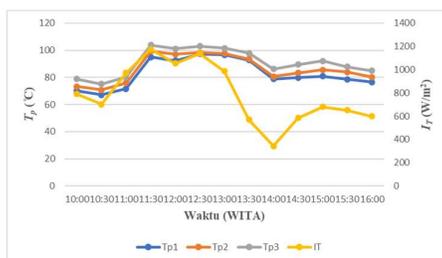
Dalam pengambilan data pada temperatur pelat atas (T_p) suhu akan mengikuti dengan grafik dari intensitas radiasi. sensor $T_{p,1}$ yang berada di depan kolektor surya tempat masuk fluida, lalu ada sensor $T_{p,2}$ yang berada di tengah kolektor, dan sensor $T_{p,3}$ berada dekat saluran keluar fluida. Temperatur pelat atas memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan suhu selain temperatur pelat atas dikarenakan pelat ini yang langsung terpapar radiasi matahari.



Distribusi T_p dengan $\dot{m} = 0,0009$ kg/s



Distribusi T_p dengan $\dot{m} = 0,0019$ kg/s

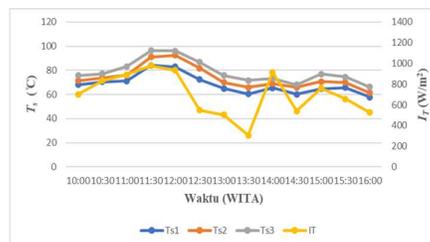


Distribusi T_p dengan $\dot{m} = 0,0023$ kg/s

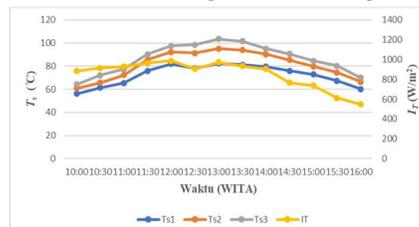
Gambar 5. Distribusi Suhu Pada Pelat Absorber

4.3. Distribusi Suhu Pada Sirip

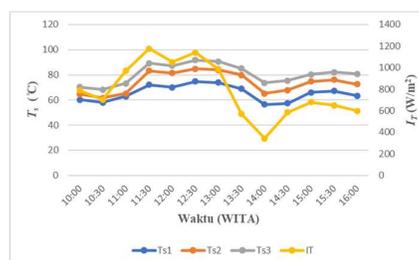
Panas yang didapat oleh pelat absorber akan merambat ke dalam sirip karena adanya perpindahan panas konduksi. Dapat diperhatikan dari gambar bahwa sirip terakhir di saluran keluar memiliki suhu yang lebih tinggi daripada sirip pertama di saluran masuk.



Distribusi T_s dengan $\dot{m} = 0,0009$ kg/s



Distribusi T_s dengan variasi $\dot{m} = 0,0019$ kg/s

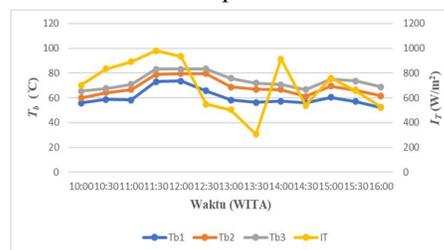


Distribusi T_s dengan $\dot{m} = 0,0023$ kg/s

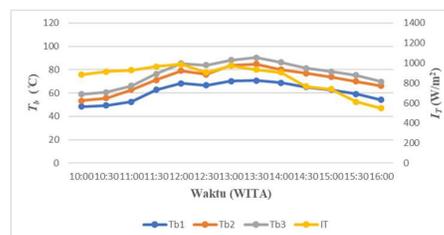
Gambar 6. Distribusi Suhu Pada Sirip

4.4. Distribusi Suhu Pada Pelat Bawah

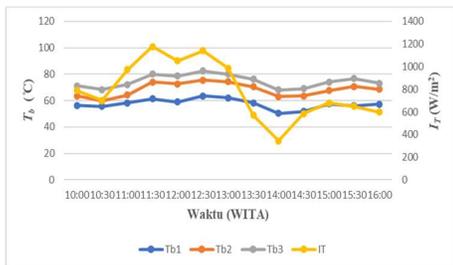
Pengumpulan data pada suhu pelat bawah (T_b) akan dilakukan dengan memonitor grafik intensitas radiasi pada hari itu. Pelat Bawah mendapatkan panas melalui konduksi dari sirip.



Distribusi T_b dengan variasi $\dot{m} = 0,0009$ kg/s



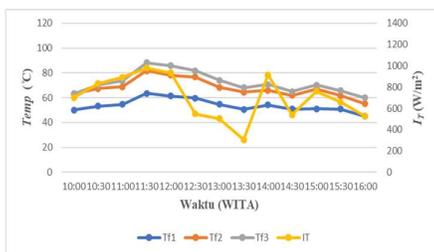
Distribusi T_b dengan $\dot{m} = 0,0019$ kg/s



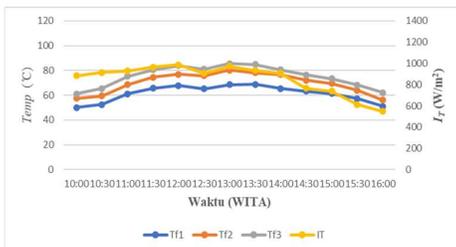
Gambar 7. Distribusi Suhu Pada Pelat Bawah

4.5. Distribusi Suhu Pada Aliran Fluida

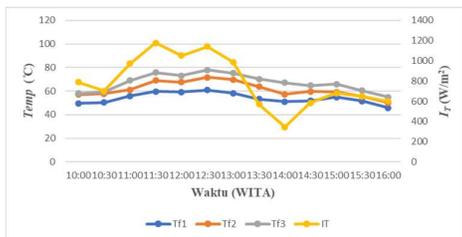
Dalam pengambilan data pada temperatur di aliran fluida suhu akan mengikuti dengan grafik dari intensitas radiasi pada hari itu. Pelat yang sudah mengalami konduksi pada pelat atas, sirip, dan bawah akan mengalami perpindahan panas secara konveksi dengan fluida mengalir di dalam kolektor surya.



Distribusi Tf dengan $\dot{m} = 0,0009 \text{ kg/s}$



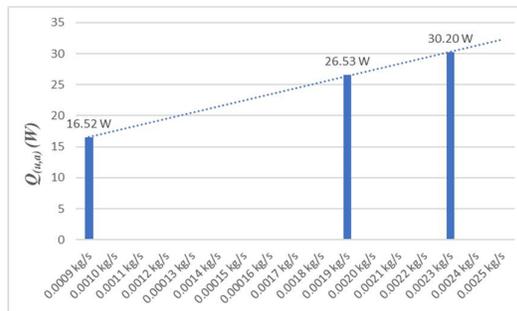
Distribusi Tf dengan $\dot{m} = 0,0019 \text{ kg/s}$



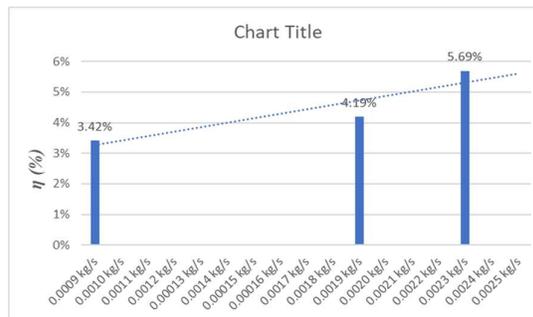
Gambar 8. Distribusi Suhu Pada Aliran Fluida

4.7. Rata-Rata Perhitungan Energi Berguna dan Efisiensi Pada Kolektor

Dari data pada pengujian di $\dot{m} = 0.0009 \text{ kg/s}$; 0.0019 kg/s ; $0,0023 \text{ kg/s}$ didapat rata-rata energi berguna dan efisiensi sebagai berikut.



Gambar 9. Grafik $Q_{(u,a)}$ rata-rata dengan variasi laju aliran massa



Gambar 10. Grafik efisiensi rata-rata terhadap variasi laju aliran massa

Hasil perhitungan menyimpulkan bahwa energi yang berhasil dimanfaatkan dan efisiensi sebenarnya dari kolektor surya pelat datar dengan variasi aliran massa (\dot{m}) sebesar $0,0023 \text{ kg/s}$ lebih tinggi dari pada variasi laju aliran massa $0,0009 \text{ kg/s}$, dan $0,0019 \text{ kg/s}$. Hal ini diakibatkan oleh faktor energi berguna ($Q_{(u,a)}$) yang sesuai dengan rumus efisiensi (η) yaitu energi berguna berbanding lurus dengan efisiensi, semakin tinggi laju aliran massa nya, maka efisiensinya akan meningkat. Efisiensi juga berbanding terbalik dengan Intensitas Matahari (I_T), semakin besar intensitas matahari maka semakin kecil efisiensinya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa, pengujian menunjukkan bahwa peningkatan intensitas radiasi matahari berpengaruh pada peningkatan dan penyebaran temperatur pada setiap komponen kolektor surya tersebut. Intensitas radiasi matahari tertinggi diperoleh pada variasi \dot{m}_3 di pukul 11:30 yaitu $1176,90 \text{ W/m}^2$ dan intensitas radiasi matahari terendah diperoleh pada variasi \dot{m}_1 di pukul 13:30 yaitu $307,02 \text{ W/m}^2$. Untuk energi berguna tertinggi diperoleh pada variasi \dot{m}_3 dengan energi berguna sebesar $39,44 \text{ W}$ di pukul 12.30 dan efisiensi tertinggi di variasi \dot{m}_3 sebesar $14,40\%$ di pukul 14.00. Sedangkan energi berguna dan efisiensi terendah diperoleh pada variasi \dot{m}_1 sebesar $11,80 \text{ W}$ di pukul 10.00 dan $2,19\%$ di pukul 14.00, dan energi berguna rata-rata dan efisiensi rata-rata berada pada variasi \dot{m}_3 sebesar 26.53 W dan 5.69% .

Daftar Pustaka

- [1] Khalil, F., Nelwan, L., & Subrata, I. D. (2016). *Design of Control System for Grain Drying with Solar Collector and Heat Storage*. Jurnal Keteknikan Pertanian, 04(1),
- [2] Aziz, A. (2008). **Seminar Nasional Teknik Kimia Oleo & Petrokimia Indonesia**.
- [3] Astawa, K., & Ngurah Putu Tenaya, I. G. (2022). **Analisis performansi kolektor surya pelat datar dengan diameter lubang sirip berbeda sebagai *impinging jet***. Jurnal Energi Dan Manufaktur.
- [4] Ambara, I. P. R., Tenaya, I. G. N. P., & Suarnadwipa, I. N. (2016). *Performance Analysis of Flat Plate Solar Collector With Ten Fin Same Diameter Arranged in Staggered*.
- [5] Suirya, I. W., Kusuma, I. G. B. W., & Widiyarta, M. (2017). **Analisis Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Sirip Berongga**. METTEK, 3.
- [6] Astawa, K., Suarnadwipa, I. N., Gn, I., Dan, T., & Junianto, A. **analisis unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan penambahan sirip berongga berdiameter beda sebagai nosel yang disusun secara *staggered***.
- [7] Astawa, K., & Suarnadwipa, I. N. (2015). **analisa performansi kolektor surya pelat datar dengan aliran *impinging jet* melalui sirip berongga dengan diameter berbeda**. Jurnal Energi dan Manufaktur.
- [8] Dewantara, D. (2019). **Analisa Dan Perhitungan Laju Aliran Massa Air**. 08(2), 25 30.
- [9] Bergman, T. L., Lavine, Adrienne., & Incropera, F. P. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer*.
- [10] Putra. (2015). **Analisis Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Variasi Sirip Berongga**.
- [11] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. Wiley.

	<p>Ketut Astawa menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, dan melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Brawijaya dan memperoleh gelar magister di bidang konversi energi pada tahun 2006.</p>
--	---

	<p>Made Sucipta menyelesaikan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 1998, melanjutkan pendidikan S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan menyelesaikan studi pada tahun 2001, dan melanjutkan studi S3 di Shibaura Institute of Technology. Made Sucipta memiliki konsentrasi ilmu dalam teknologi hidrogen.</p>
--	--

	<p>Hunafa Arya Purnama Menempuh studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, mulai pada tahun 2020, dan telah menyelesaikannya pada tahun 2024.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi.</p>	