

Pengaruh Variasi Diameter Outlet Terhadap Tinggi Ruang Pengering Pada Kecepatan Aliran Fluida

Kadek Dananta Jayendra, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma, dan I Wayan Bandem Adnyana

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kinerja kolektor surya sangat dipengaruhi oleh parameter desain dan kondisi operasi, seperti jarak pelat absorber dari dasar ruang pengering, perbandingan diameter pipa outlet dengan tinggi ruang pengering, dan suhu operasi pelat absorber. Dari variasi ini akan dapat diketahui distribusi suhu, kecepatan aliran udara, dan efisiensi perpindahan panas di dalam sistem. Berbagai diameter dan panjang pipa outlet mengubah tekanan dan kecepatan aliran udara, yang berdampak langsung pada laju pengeringan. Oleh karena itu, untuk mengetahui bagaimana variasi parameter ini berinteraksi dan berkontribusi terhadap kinerja kolektor surya secara keseluruhan, diperlukan kajian yang menyeluruh terhadap rasio outlet terhadap tinggi. Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) dipilih untuk menganalisis fenomena perpindahan panas dan aliran fluida yang terjadi di dalam kolektor surya dalam penelitian ini. CFD telah terbukti efektif dalam mengevaluasi performa sistem termal secara numerik, dan dapat memberikan gambaran detail distribusi suhu, tekanan, dan kecepatan aliran tanpa harus melakukan eksperimen laboratorium yang membutuhkan banyak waktu dan biaya. Rasio outlet terhadap tinggi divariasikan dari 1/16:1, 1/8:1, 1/4:1, 1/3:1 dan 1/2:1, sementara temperatur pelat absorber divariasikan dari 70°C, 80°C dan 90°C. Dari simulasi, ditemukan bahwa rasio diameter outlet 1/2:1 dengan temperatur pelat absorber 90°C menghasilkan kecepatan paling optimum sebesar 0.07 m/s dengan temperatur outlet 46°C dan tekanan outlet sebesar 0.13 Pa.

Kata kunci: Pengering energi surya, rasio diameter outlet terhadap tinggi ruang pengering, kecepatan aliran fluida

Abstract

The performance of a solar collector is significantly influenced by design parameters and operating conditions, such as the distance of the absorber plate from the base of the drying chamber, the ratio of the outlet pipe diameter to the height of the drying chamber, and the operating temperature of the absorber plate. These variations can determine the temperature distribution, airflow velocity, and heat transfer efficiency within the system. Different outlet pipe diameters and lengths change the pressure and airflow velocity, which directly impact the drying rate. Therefore, to understand how these parameters interact and contribute to the overall performance of the solar collector, a comprehensive study of the outlet-to-height ratio is required. Computational Fluid Dynamics (CFD) was chosen to analyze the heat transfer and fluid flow phenomena occurring within the solar collector in this study. CFD has proven effective in numerically evaluating the performance of thermal systems, and can provide a detailed picture of the temperature, pressure, and flow velocity distributions without the need for time-consuming and costly laboratory experiments. The outlet-to-height ratio was varied from 1/16:1 to 1/8:1, 1/4:1, 1/3:1 and 1/2:1, while the absorber plate temperature was varied from 70°C, 80°C and 90°C. From the simulation, it was found that the outlet diameter ratio of 1/2:1 with an absorber plate temperature of 90°C produced the most optimum velocity of 0.07 m/s with an outlet temperature of 46°C and an outlet pressure of 0.13 Pa.

Keywords: Solar energy dryer, ratio of outlet diameter to drying chamber height, fluid flow rate

1. Pendahuluan

Teknologi kolektor surya menangkap dan mengubah radiasi matahari menjadi energi panas. Teknologi ini merupakan salah satu cara penggunaan energi surya. Jenis kolektor surya pelat datar, juga dikenal sebagai kolektor pelat datar, banyak digunakan dalam sistem pengeringan hasil pertanian karena mereka dapat menghasilkan udara panas untuk mempercepat proses pengeringan sekaligus menjaga kualitas produk pascapanen. Kolektor surya pelat datar juga banyak digunakan karena desainnya sederhana, biayanya relatif rendah, dan dapat digunakan dalam skala rumah tangga maupun industri kecil [6].

Tetapi kinerja kolektor surya sangat dipengaruhi oleh parameter desain dan kondisi operasi. Hal-hal seperti jarak pelat absorber dari dasar ruang pengering, perbandingan diameter pipa outlet dengan tinggi ruang pengering, dan suhu operasi pelat

absorber sangat penting untuk distribusi suhu, kecepatan aliran udara, dan efisiensi perpindahan panas di dalam sistem. Berbagai diameter dan panjang pipa outlet mengubah tekanan dan kecepatan aliran udara, yang berdampak langsung pada laju pengeringan [11].

Temperatur pelat absorber juga menunjukkan jumlah energi panas yang dapat ditransfer ke udara. Temperatur yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi konversi energi, tetapi juga dapat meningkatkan kehilangan radiasi dan panas konvektif jika tidak dikendalikan dengan baik [9]. Oleh karena itu, untuk mengetahui bagaimana variasi parameter ini berinteraksi dan berkontribusi terhadap kinerja kolektor surya secara keseluruhan, diperlukan kajian yang menyeluruh.

Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) dipilih untuk menganalisis fenomena perpindahan

panas dan aliran fluida yang terjadi di dalam kolektor surya dalam penelitian ini. CFD telah terbukti efektif dalam mengevaluasi performa sistem termal secara numerik, dan dapat memberikan gambaran detail distribusi suhu, tekanan, dan kecepatan aliran tanpa harus melakukan eksperimen laboratorium yang membutuhkan banyak waktu dan biaya [10].

Penelitian ini berkonsentrasi pada analisis pengaruh variasi jarak pelat *absorber* dengan alas ruang pengering, perbandingan diameter pipa *outlet* dengan tinggi ruang pengering dan panjang pipa *outlet*, serta variasi suhu pelat *absorber* terhadap distribusi suhu, kecepatan aliran udara, tekanan ruang pengering dan efisiensi kolektor surya.

Ada beberapa permasalahan yang dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi diameter dan panjang pipa *outlet* berpengaruh terhadap kecepatan dan tekanan yang dihasilkan ruang pengering?
2. Bagaimana peran variasi temperatur pelat *absorber* dalam meningkatkan efisiensi konversi energi ?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian hanya membahas kolektor surya berbasis panas matahari dengan variasi temperatur tanpa mempertimbangkan kolektor dengan desain lain.
2. Variasi rasio antara diameter pipa *outlet* terhadap tinggi ruang pengering mengikuti perbandingan 1/16: 1, 1/8:1, 1/4:1, 1/3:1, dan 1/2:1 untuk tiap variasi. Penetapan variasi d2 pipa *outlet* dengan perbandingan 1:0.8 dengan d1 dan variasi temperatur pelat (70°C, 80°C, 90°C).
3. Simulasi dilakukan menggunakan *software* ANSYS Fluent untuk menganalisis distribusi suhu, tekanan, dan kecepatan fluida dalam kolektor surya.
4. Fluida yang digunakan adalah udara.
5. Hasil penelitian divalidasi secara numerik tanpa eksperimen laboratorium atau pengujian prototipe langsung

2. Dasar Teori

Pengeringan adalah proses penguapan suatu bahan dari air dengan tujuan menurunkan kadar airnya sehingga bahan menjadi awet dan tidak mudah rusak.

Perpindahan panas merupakan proses berpindahnya energi teral dari suatu sistem ke sistem lain akibat adanya perbedaan temperatur. Perpindahan panas berlangsung melalui tiga mekanisme utama yaitu konduksi, konveksi dan radiasi [1].

Konduksi adalah mekanisme perpindahan panas melalui medium padat tanpa melibatkan perpindahan massa partikel mengikuti hukum fourier yang dirumuskan sebagai berikut:

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

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi pada fluida melalui kombinasi energi panas dan

Gerakan massa fluida yang dijelaskan oleh ukum newton:

$$q = hA(T_g - T_{\infty}) \quad (2)$$

Radiasi adalah perpindahan panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang dapat merambat tanpa memerlukan medium yang dinyatakan oleh hukum Stefan-Boltzmann:

$$q = \varepsilon \sigma A (T_g^4 - T_{sur}^4) \quad (3)$$

Pemanasan menyebabkan perbedaan densitas fluida, yang menyebabkan gaya apung (Bouyancy Force) atau konveksi alami, yang memungkinkan fluida bergerak tanpa bantuan alat mekanis [4]. Pada konveksi alami berlaku rumus:

$$QC = hC AC \Delta t \quad (4)$$

Rumus kecepatan perpindahan kalo juga dapat dicari dengan rumus:

$$Qc = \dot{m} \times Cp \times \Delta \quad (5)$$

Karakteristik konveksi alami dapat dinyatakan dengan bilangan Rayleight dan Bilangan Nusselt. Pada sistem konveksi alami juga dikenal variabel tak berdimensi yang digunakan dalam penyelesaian persoalan konveksi alami yaitu bilangan Grashof. Bilangan ini didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya apung dengan viskositas di dalam konveksi alami [10].

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\nu L} \quad (6)$$

Dengan mengetahui nilai dari bilangan Grashof dan Reynold dapat dipastikan apakah perpindahan panas yang berlangsung terjadi secara natural atau paksa apabila, $Re > Gr$, yang terjadi adalah konveksi paksa. $Re < Gr$, yang terjadi adalah perpindahan panas alami. Bilangan Reynold dapat dicari dengan rumus:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (7)$$

Angka Prandtl dapat dicari dengan rumus:

$$Pr = \frac{\mu}{\rho a} \quad (8)$$

Kecepatan fluida yang dihasilkan sendiri dapat dicari dari hubungan bilangan Nusselt dengan bilangan Reynold dan Prandtl.

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (9)$$

$$Nu = C \cdot \left[\frac{\rho V L}{\mu} \right]^m \cdot Pr^n \quad (10)$$

$$V = \sqrt[m]{\frac{Nu}{C \cdot Pr^n}} \times \frac{\mu}{\rho L} \quad (11)$$

Solarimeter merupakan instrument yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Data dari solarimeter digunakan untuk menghitung efisiensi dari ruang pengering.

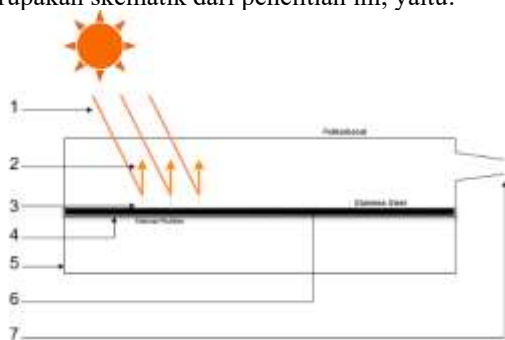
Computational Fluid Dyanimics (CFD) merupakan metode numerik yang menggunakan persamaan dasar mekanika fluida seperti Navier-Stokes untuk memodelkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena transportasi lainnya [10]. Metode CFD menggunakan analisis numerik yang terdiri atas persamaan kekelaan massa, momentum dan energi,

sehingga persamaan untuk benda dua atau tiga dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan atau bersamaan.

Beberapa penelitian terdahulu mengenai sistem pengering berbasis kolektor surya pelat datar umumnya masih memiliki keterbatasan pada aspek rancangan aliran udara dan pemanfaatan panas. Pada rancangan sebelumnya, sistem pengering tidak dilengkapi pipa reducer, sehingga sirkulasi udara di dalam ruang pengering terjadi secara terbatas dan kurang optimal. Kondisi ini menyebabkan sebagian udara panas terperangkap di bawah pelat tanpa memberikan kontribusi signifikan terhadap proses perpindahan panas yang terjadi

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan software ANSYS Fluent untuk mensimulasikan aliran fluida, tekanan, dan temperatur dari ruang pengering berikut merupakan skematik dari penelitian ini, yaitu:



Gambar 1. Skematik Penelitian 2 Dimensi

Keterangan:

- 1 : Energi Matahari yang masuk ke dalam ruang pengering (Radiasi).
- 2 : Energi Matahari yang terpantul dari Pelat Absorber (Konveksi).
- 3 : Pelat Absorber yang menyerap panas dari matahari (Radiasi).
- 4 : Isolator (Natural Rubber).
- 5 : Ruang Pengering (Polikarbonat).
- 6 : Pipa Outlet (Stainless Steel)

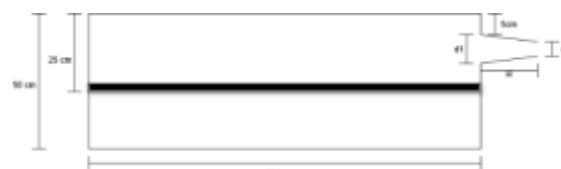
Gambar 1 menunjukkan mekanisme terjadinya aliran kecepatan pada alat pengering di mana terjadi penyerapan sinar matahari dari atap ke pelat dan terakhir di ruang pengering. Hal tersebut mengakibatkan ada perbedaan temperatur antara permukaan atas pelat dengan permukaan bawah pelat sehingga terjadi perpindahan panas secara konduksi. Perpindahan panas pada kolektor surya terjadi melalui konduksi dari pelat absorber ke udara serta konveksi alami akibat perbedaan densitas udara. Konveksi alami dipicu oleh gaya apung yang timbul akibat perbedaan temperatur antara udara panas dan dingin [4]. Perpindahan panas antara pelat ke fluida mengakibatkan fluida yang terkena sumber panas berubah massa jenisnya. Perubahan massa jenis fluida ini mengakibatkan adanya pergerakan fluida dimana

fluida yang panas akan bergerak naik dan fluida yang dingin akan bergerak turun. Untuk menjaga agar panas tidak keluar, pada bagian bawah dan samping pelat di lapiisi isolator berupa karet alami. Pada pengering juga ditambahkan pipa sebagai outlet yang bertujuan untuk mengeluarkan fluida berupa udara.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Gambar 2 menunjukkan tahapan sistematis penelitian yang dimulai dari studi literatur dan persiapan data, dilanjutkan dengan pembuatan geometri dan meshing menggunakan ANSYS, pengaturan boundary condition sesuai kondisi operasi, proses simulasi hingga konvergensi tercapai, dan diakhiri dengan analisis hasil berupa distribusi kecepatan, tekanan, dan temperatur.



Gambar 3. Desain Simulasi

Gambar 3 merupakan gambar teknis dari ruang pengering pelat datar yang digunakan dalam simulasi CFD. Desain dibuat untuk memfasilitasi variasi posisi vertikal pelat penyerap panas terhadap dasar ruang pengering, mulai dari perbandingan hingga. Dinding ruang pengering menggunakan material polikarbonat pada bagian atas untuk memungkinkan masuknya radiasi matahari, sedangkan pelat penyerap panas dibuat dari material baja untuk mendukung konduktivitas termal yang baik. Gambar ini memberikan representasi geometri yang digunakan dalam pembuatan mesh dan pengaturan boundary condition pada ANSYS Fluent.

Pada simulasi ini, setiap sisi geometri ditetapkan sebagai batas dengan kondisi tertentu. Pelat penyerap

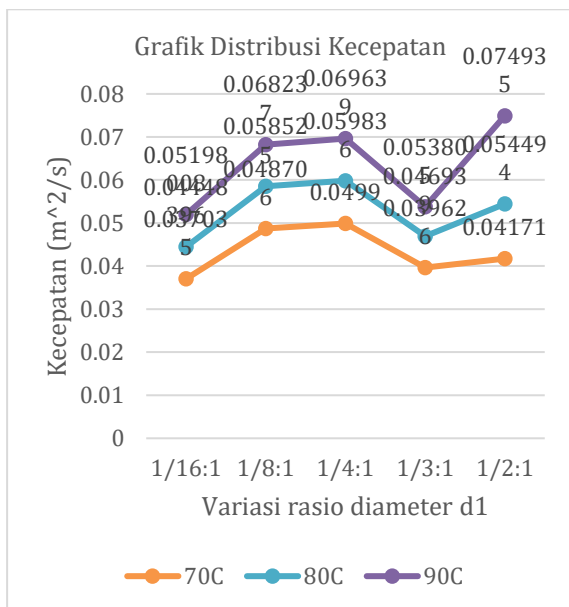
panas diset dengan temperatur tetap sebesar 70°C, 80°C, dan 90°C sesuai variasi, isolator pelat diset sebagai adiabatic wall karena diasumsikan tidak terjadi perpindahan panas dan untuk atap ditambahkan temperatur sebesar 40°C dan temperatur dinding ruang pengering sebesar 35°C. Outlet sistem ditetapkan sebagai pressure outlet dengan tekanan relatif 0 Pa untuk mencerminkan kondisi konveksi alami.

4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Data hasil aliran kecepatan

Kecepatan (m ² /s)			
rasio diameter luar terhadap tinggi ruang pengering (d1)	Temperatur Pelat		
	70	80	90
1/16:1	0,037035	0,04448396	0,05198008
1/8:1	0,048706	0,058525	0,068237
1/4:1	0,0499	0,059836	0,069639
1/3:1	0,039626	0,046939	0,053805
1/2:1	0,04171	0,054494	0,074935

4.1. Distribusi kecepatan



Hasil simulasi menunjukkan kecepatan aliran udara meningkat seiring peningkatan temperatur pelat absorber untuk semua variasi rasio diameter outlet. Pada temperatur 90°C, kecepatan tertinggi dicapai pada rasio 1/2:1 sebesar 0,074935 m/s. Peningkatan ini terjadi karena temperatur pelat yang lebih tinggi

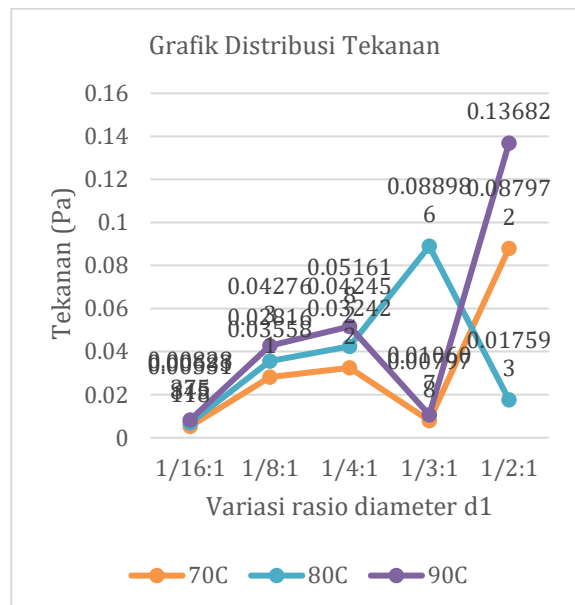
menghasilkan perbedaan densitas udara yang lebih besar, sehingga gaya apung (buoyancy force) semakin kuat dan mendorong aliran konveksi alami [1].

Rasio 1/2:1 memberikan kecepatan optimal karena diameter outlet yang lebih besar mengurangi hambatan aliran dan memungkinkan udara keluar lebih lancar. Sebaliknya, rasio 1/16:1 menghasilkan kecepatan terendah akibat diameter outlet yang terlalu kecil menyebabkan hambatan signifikan. Diameter outlet yang optimal dapat meningkatkan sirkulasi udara dan memperbaiki efisiensi perpindahan panas dalam kolektor surya [5].

Tabel 2. Data hasil distribusi tekanan

Tekanan (Pa)			
rasio diameter luar terhadap tinggi ruang pengering (d1)	Temperatur Pelat		
	70	80	90
1/16:1	0,00531118	0,00683845	0,00828375
1/8:1	0,028161	0,03558	0,042763
1/4:1	0,032422	0,042452	0,051618
1/3:1	0,007978	0,088986	0,010607
1/2:1	0,087972	0,017593	0,13682

4.2. Distribusi tekanan



Tekanan outlet meningkat seiring peningkatan temperatur pelat absorber dan rasio diameter outlet.

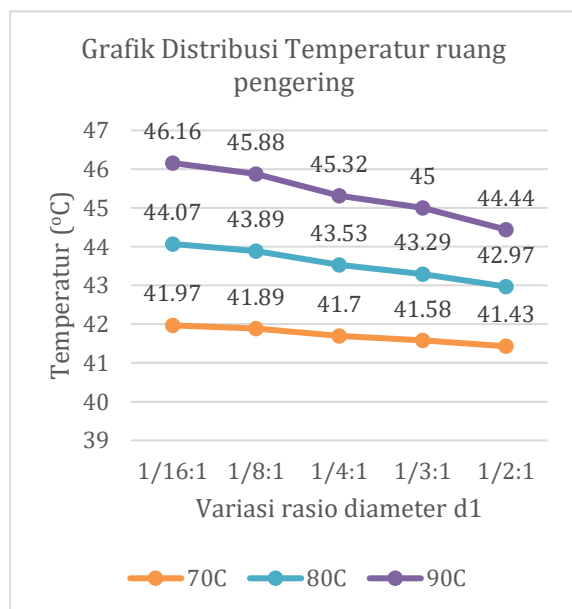
Pada temperatur 90°C, tekanan tertinggi dicapai pada rasio 1/2:1 sebesar 0,13682 Pa, sedangkan terendah pada rasio 1/16:1 sebesar 0,00828375 Pa.

Tekanan yang lebih tinggi pada rasio 1/2:1 menunjukkan hambatan aliran yang minimal. Penurunan tekanan (pressure drop) yang lebih rendah mengindikasikan efisiensi aliran yang lebih baik [10]. Diameter outlet yang terlalu kecil menyebabkan aliran terhambat dan mengurangi kinerja sistem secara keseluruhan.

Tabel 3. Data hasil distribusi temperatur ruang pengering

Temperatur ruang pengering (°C)			
rasio diameter luar terhadap tinggi ruang pengering (d1)	Temperatur Pelat		
	70	80	90
1/16:1	41,97	44,07	46,16
1/8:1	41,89	43,89	45,88
1/4:1	41,7	43,53	45,32
1/3:1	41,58	43,29	45
1/2:1	41,43	42,97	44,44

4.3. Distribusi temperatur



Temperatur outlet menurun seiring peningkatan rasio diameter outlet. Pada temperatur pelat 90°C, rasio 1/16:1 menghasilkan temperatur outlet tertinggi (41,97°C), sedangkan rasio 1/2:1 menghasilkan temperatur terendah (41,43°C).

Penurunan temperatur outlet pada rasio lebih besar disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran, yang memperpendek waktu tinggal udara di dalam ruang pengering. Namun, meskipun temperatur outlet lebih rendah, laju perpindahan panas total dapat lebih tinggi karena peningkatan laju aliran massa [6].

Diameter outlet optimal harus mempertimbangkan keseimbangan antara temperatur dan kecepatan aliran [11].

4.4. Analisis Performa Optimal

Berdasarkan analisis keseluruhan, rasio diameter outlet 1/2:1 dengan temperatur pelat absorber 90°C menghasilkan performa paling optimal dengan kecepatan 0,074935 m/s, tekanan outlet 0,13682 Pa, dan temperatur outlet 41,43°C. Kondisi ini menghasilkan efisiensi perpindahan panas terbaik karena menggabungkan kecepatan aliran tinggi dengan hambatan aliran minimal [9].

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis distribusi kecepatan, tekanan, dan temperatur, dapat disimpulkan bahwa rasio diameter outlet 1/2:1 dengan temperatur pelat absorber 90°C menghasilkan performa yang paling optimal. Pada kondisi ini, kecepatan aliran mencapai 0,074935 m/s, tekanan outlet sebesar 0,13682 Pa, dan temperatur outlet sebesar 41,43°C.

Meskipun temperatur outlet pada rasio 1/2:1 lebih rendah dibandingkan rasio lainnya, kecepatan aliran yang lebih tinggi menghasilkan laju perpindahan panas yang lebih baik. Performa kolektor surya tidak hanya ditentukan oleh temperatur outlet, tetapi juga oleh efisiensi perpindahan panas dan laju aliran massa [3]. Dengan kecepatan aliran yang lebih tinggi, udara panas dapat lebih cepat keluar dari ruang pengering dan digantikan oleh udara dingin yang masuk, sehingga siklus konveksi alami dapat berlangsung secara lebih efisien.

Tekanan outlet yang lebih tinggi pada rasio 1/2:1 juga menunjukkan bahwa hambatan aliran di dalam sistem lebih rendah, sehingga energi yang hilang akibat gesekan dan turbulensi dapat diminimalkan. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar mekanika fluida yang menyatakan bahwa penurunan tekanan (pressure drop) yang lebih rendah mengindikasikan efisiensi aliran yang lebih baik [10].

Pada temperatur pelat absorber 90°C, energi panas yang ditransfer ke udara paling tinggi dibandingkan temperatur 70°C dan 80°C. Hal ini meningkatkan gaya apung yang dihasilkan dan mempercepat aliran konveksi alami. Namun, perlu diperhatikan bahwa peningkatan temperatur pelat absorber juga dapat meningkatkan kehilangan panas radiasi dan konvektif ke lingkungan, sehingga efisiensi keseluruhan sistem perlu dievaluasi lebih lanjut dengan mempertimbangkan energi input dan output.

Daftar Pustaka

- [1] Bergman, T. L. ., & Levine, A. S. . (2019). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Dwisari, V. (n.d.). *Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan* (Vol. 7, Issue 2).
- [3] Evangelisti, L., de Lieto Vollaro, R., & Asdrubali, F. (2019). *Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review. In Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 114). Elsevier Ltd.
- [4] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- [5] Jiandong, Z., Hanzhong, T., & Susu, C. (2015). *Numerical simulation for structural parameters of flat-plate solar collector*. Solar Energy, 117.
- [6] Kalogirou, S. (n.d.). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*.
- [7] Moss, R. W., Shire, G. S. F., Henshall, P., Eames, P. C., Arya, F., & Hyde, T. (2018). *Design and fabrication of a hydroformed absorber for an evacuated flat plate solar collector*. Applied Thermal Engineering.
- [8] Renewable Energy Agency, I. (2020). *Renewable Capacity Statistics 2020 Statistiques De Capacité Renouvelable 2020 Estadísticas De Capacidad Renovable 2020*.
- [9] Unar, I. N., Maitlo, G., Ahmed, S., Ali, S. S., Memon, A. Q., Kandhro, G. A., & Jatoi, A. S. (2020). *Performance evaluation of solar flat plate collector using different working fluids through computational fluid dynamics*.
- [10] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics Second Edition*.
- [11] Yehualashet, K. N., Fatoba, O., & Asfaw, S. M. (2022). *Experimental study and numerical analysis of thermal performance of corrugated plate solar collector*. Materials Today: Proceedings, 62, 2849–2856.

