

PENGARUH TINGGI SALURAN UDARA TERHADAP UNJUK KERJA TERMAL KOLEKTOR PANAS BERSIRIP

THE EFFECT OF AIR CHANNEL HEIGHT ON THE THERMAL PERFORMANCE OF FINNED HEAT COLLECTORS

¹Angga Darma Prabowo, ²Dondi Kurniawan

^{1,2}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

email : ¹anggaprabowo@eng.unila.ac.id

ABSTRAK

Efisiensi kolektor panas dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan desain geometrisnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketinggian saluran udara terhadap unjuk kerja termal kolektor panas bersirip. Variasi ketinggian saluran udara, yaitu 50 mm, 100 mm, dan 150 mm, diuji menggunakan simulasi numerik dengan perangkat lunak ANSYS. Parameter yang diamati meliputi rata-rata suhu udara keluar, distribusi suhu pada permukaan kolektor, serta efek variasi ketinggian saluran terhadap karakteristik aliran. Hasil menunjukkan bahwa perubahan ketinggian saluran udara tidak secara signifikan memengaruhi rata-rata suhu udara keluar. Namun, semakin rendah ketinggian saluran udara, semakin tinggi kecepatan aliran udara, yang berdampak pada penurunan rata-rata suhu permukaan kolektor karena efek peningkatan perpindahan panas konveksi paksa. Selain itu, laju aliran massa udara yang lebih tinggi secara signifikan meningkatkan efisiensi perpindahan panas, tetapi juga menyebabkan perubahan pola aliran dan distribusi suhu. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara parameter geometris kolektor dengan efisiensi termalnya. Temuan ini diharapkan dapat mendukung pengembangan desain kolektor panas yang lebih optimal untuk aplikasi energi terbarukan, khususnya dalam memanfaatkan energi matahari secara efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci : kolektor panas, sirip, tinggi saluran udara

ABSTRACT

The efficiency of heat collectors can be enhanced by optimizing their geometric design. This study aims to analyze the effect of air channel height on the thermal performance of finned heat collectors. Variations in air channel height, namely 50 mm, 100 mm, and 150 mm, were examined using numerical simulations with ANSYS software. Parameters observed include average outlet air temperature, temperature distribution on the collector surface, and the impact of channel height variations on airflow characteristics. The results indicate that changes in air channel height do not significantly affect the average outlet air temperature. However, as the air channel height decreases, airflow velocity increases, leading to a reduction in the average collector surface temperature due to enhanced forced convection heat transfer. Additionally, a higher air mass flow rate significantly improves heat transfer efficiency while altering airflow patterns and temperature distribution. This study provides a deeper understanding of the relationship between the collector's geometric parameters and its thermal efficiency. The findings are expected to support the development of optimized heat collector designs for renewable energy applications, particularly in harnessing solar energy more efficiently and sustainably.

Keywords : heat collector, fin, air channel height

I. PENDAHULUAN

Energi matahari telah menjadi salah satu solusi utama dalam upaya pengembangan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi global yang terus meningkat. Sebagai energi yang melimpah, bersih, dan dapat diperbarui, energi matahari memiliki potensi besar untuk menggantikan bahan bakar fosil yang semakin menipis dan berkontribusi pada perubahan iklim. Salah satu teknologi yang paling sederhana dan efektif dalam memanfaatkan energi ini adalah kolektor plat datar, yang digunakan untuk mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi termal. Teknologi ini banyak diaplikasikan dalam pemanasan air, sistem pendinginan, dan pengeringan industri.

Namun, efisiensi termal kolektor plat datar sangat dipengaruhi oleh desain geometrinya. Salah satu parameter penting dalam desain ini adalah ketinggian saluran udara, yang berperan menentukan distribusi aliran udara dan pola perpindahan panas di dalam kolektor. Penelitian ini mengeksplorasi pengaruh variasi ketinggian saluran udara terhadap unjuk kerja termal kolektor panas bersirip, menggunakan pendekatan simulasi numerik dengan perangkat lunak ANSYS. Hasil menunjukkan bahwa variasi ketinggian saluran udara memengaruhi suhu permukaan kolektor dan aliran udara secara signifikan, memberikan wawasan baru untuk optimasi desain kolektor panas. Temuan ini mendukung pengembangan teknologi energi surya yang lebih efisien dan berkelanjutan. (Ekechukwu, 1999; Menni, 2018; Ahmadi, 2021; Fudholi, 2019)

Efisiensi termal kolektor plat datar sangat bergantung pada desain geometri dan parameter operasionalnya. Desain yang optimal memungkinkan kolektor memaksimalkan penyerapan energi matahari dan meningkatkan perpindahan panas ke fluida kerja. Salah satu parameter desain yang paling signifikan adalah tinggi saluran udara, yang berperan penting dalam menentukan distribusi aliran udara dan pola perpindahan panas di dalam kolektor. Tinggi saluran udara yang terlalu besar dapat menyebabkan aliran udara menjadi kurang efisien karena laju aliran massa udara menurun, sementara saluran yang terlalu kecil dapat meningkatkan resistansi aliran, yang menghambat kinerja sistem secara keseluruhan. Tinggi saluran yang tepat dapat menciptakan keseimbangan antara laju aliran udara dan transfer panas, sehingga memungkinkan perpindahan panas yang efisien dari plat penyerap ke fluida kerja. Selain itu, tinggi saluran udara yang optimal juga membantu meminimalkan rugi-rugi panas ke lingkungan, baik melalui konveksi maupun radiasi. Oleh karena itu, desain tinggi saluran udara tidak hanya memengaruhi efisiensi termal kolektor secara langsung, tetapi juga memiliki implikasi penting terhadap stabilitas operasi dan keberlanjutan teknologi kolektor panas. Penelitian dan simulasi numerik menjadi alat penting untuk menentukan konfigurasi optimal dari tinggi saluran udara ini dalam berbagai kondisi operasional. (Amrizal, 2023)

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa variasi parameter geometris, seperti jarak antar pipa riser, orientasi sirip, dan keberadaan penutup kaca, dapat memengaruhi efisiensi termal secara signifikan. Sebagai contoh, penelitian mengenai efek jarak antar sirip menunjukkan bahwa semakin kecil jaraknya, semakin tinggi efisiensi perpindahan panas yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh peningkatan

kontak termal antara sirip dan udara yang mengalir, sehingga meningkatkan intensitas perpindahan panas melalui konveksi. Namun, penurunan jarak antar sirip juga memiliki dampak pada peningkatan tekanan hidraulis di dalam kolektor. Semakin rapat jarak antar sirip, semakin besar resistansi aliran udara, yang dapat meningkatkan tekanan hidraulis dan mengurangi efisiensi aliran udara. Oleh karena itu, parameter ini harus diseimbangkan dengan baik, mengingat bahwa penambahan elemen penghambat aliran, meskipun dapat meningkatkan perpindahan panas, juga dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menemukan keseimbangan optimal antara parameter geometris tersebut, yang dapat memaksimalkan efisiensi termal kolektor panas tanpa menambah beban pada sistem aliran udara. (Bande, 2014; Astawa, 2021)

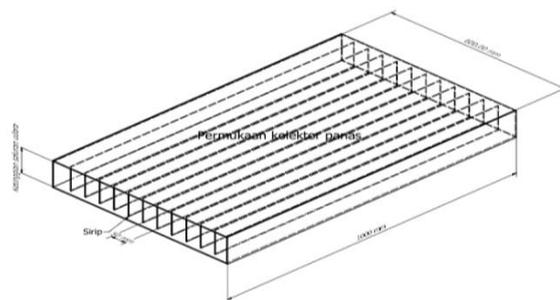
Selain itu, penggunaan simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) telah menjadi alat yang sangat penting dalam menganalisis fenomena perpindahan panas dan dinamika fluida di dalam kolektor. Teknologi ini menawarkan fleksibilitas tinggi dalam mengevaluasi kinerja berbagai desain kolektor tanpa memerlukan prototipe fisik, sehingga menghemat biaya material dan waktu yang biasanya dibutuhkan dalam penelitian eksperimen konvensional. Dengan CFD, peneliti dapat mensimulasikan berbagai skenario operasional, seperti variasi tinggi saluran udara, laju aliran massa udara, dan distribusi fluks panas pada permukaan kolektor. CFD memungkinkan analisis mendalam terhadap distribusi suhu, pola aliran udara, tekanan, dan bilangan Reynolds di dalam saluran udara kolektor, yang menjadi parameter kunci dalam mengukur efisiensi termal. Selain itu, simulasi ini memberikan visualisasi fenomena yang kompleks, seperti pembentukan pusaran udara atau zona stagnasi, yang sulit diamati melalui eksperimen fisik. Dengan data yang dihasilkan, peneliti dapat mengidentifikasi konfigurasi desain yang menghasilkan transfer panas maksimal sekaligus meminimalkan rugi-rugi energi. Kemampuan ini menjadikan CFD sebagai alat yang tak tergantikan dalam pengembangan kolektor panas yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Dengan terus berkembangnya teknologi komputasi, akurasi dan kecepatan simulasi CFD diharapkan akan semakin meningkat, membuka peluang untuk desain kolektor panas yang lebih inovatif di masa depan. (Junaid, 2017; Ammar, 2020; Prayitno, 2024; Gopi, 2020)

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh tinggi saluran udara terhadap unjuk kerja kolektor plat datar bersirip. Dengan menganalisis parameter-parameter seperti distribusi panas saluran keluar kolektor dan permukaan kolektor,

penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi kolektor surya yang lebih efisien dan berkelanjutan. Temuan dari penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi panduan bagi desainer dan praktisi dalam merancang sistem energi matahari yang lebih optimal dan ramah lingkungan.

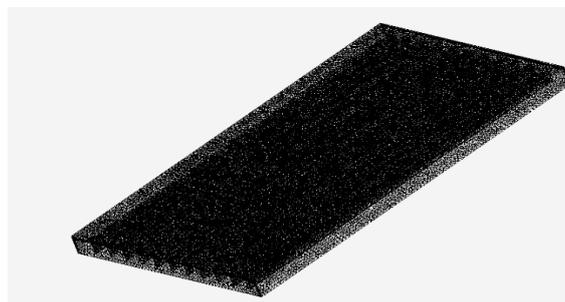
II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian diawali dengan membuat model kolektor panas bersirip dengan perangkat lunak 3 dimensi. Kolektor panas berukuran lebar 600 mm dan panjang 1000 mm. Sementara ketinggian saluran udara divariasikan dengan membuat 3 model kolektor panas yang memiliki tinggi saluran udara 50 mm, 100 mm, dan 150 mm. Dimensi secara visual dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model kolektor panas bersirip

Setelah 3 model dibuat, masing-masing model dilakukan proses meshing. Meshing dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS AIM dengan parameter 500.000 partikel pada ketinggian 50 mm, 700.000 partikel pada ketinggian 100mm, dan 900.000 partikel pada ketinggian 150mm, dilihat pada gambar 2.



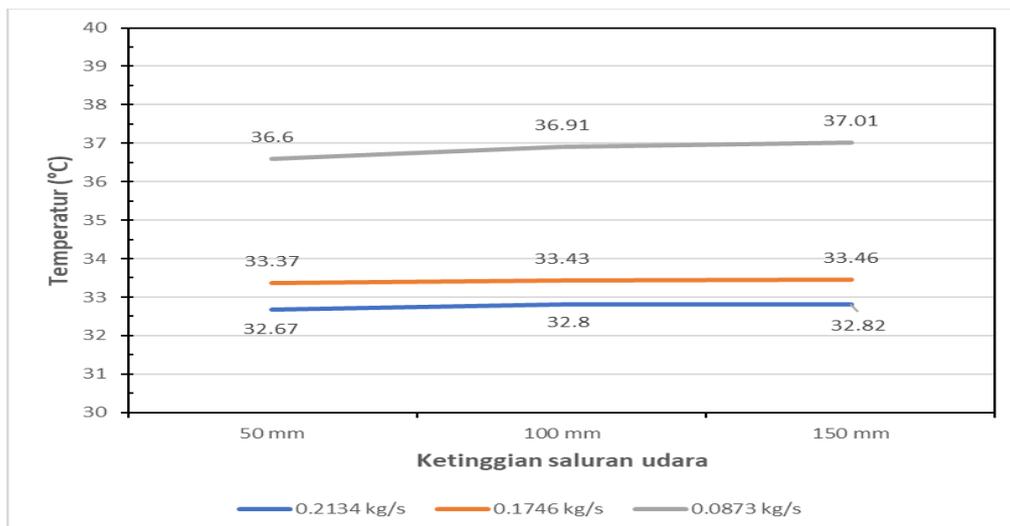
Gambar 2. Hasil proses meshing pada model

Setelah proses meshing, selanjutnya dilakukan proses pemberian kondisi batas berupa laju aliran massa udara, temperatur masuk udara, dan fluks panas yang diterima oleh permukaan kolektor panas. Laju aliran massa udara memiliki variasi 3 laju aliran massa yaitu berdasarkan spesifikasi kipas sentrifugal yang umum digunakan pada

kolektor panas yaitu 2 inch, 3inch, dan 4 inch. Kipas sentrifugal tersebut memiliki spesifikasi laju aliran volume sebesar 4,5 m³/menit, 9 m³/menit, dan 11 m³/menit. Jika dikonversi menjadi laju aliran massa udara menjadi 0,0873 kg/s, 0,1746 kg/s, dan 0,2134 kg/s. Temperatur masuk udara ditetapkan sebesar 30 °C dan fluks panas yang diterima permukaan kolektor panas sebesar 850 W/m². Setelah diberikan kondisi batas, simulasi dilakukan pada masing variasi ketinggian saluran udara dan laju aliran massa dengan parameter residu konvergensi sebesar 1x10⁻⁵.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan simulasi pada masing-masing kombinasi variasi ketinggian saluran udara dan laju aliran massa, diperoleh data rata-rata temperatur udara keluar pada kolektor panas bersirip yang dapat dilihat pada gambar 3.

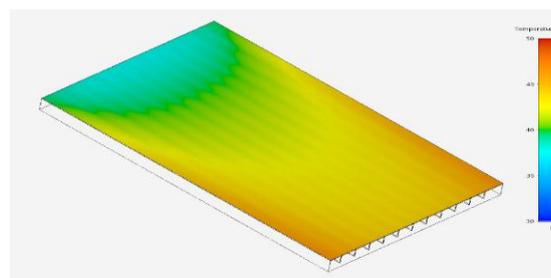


Gambar 3. Grafik temperatur rata-rata pada saluran keluar udara

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi ketinggian saluran udara pada kolektor panas, temperatur udara yang keluar juga cenderung meningkat. Namun, peningkatan rata-rata temperatur udara keluar yang diakibatkan oleh perubahan ketinggian saluran udara tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya tinggi sirip yang memperbesar area permukaan untuk perpindahan panas, sehingga meningkatkan kemampuan kolektor dalam menyerap panas dari radiasi matahari. Meskipun demikian, dengan meningkatnya ketinggian saluran udara, kecepatan aliran udara justru mengalami penurunan karena laju aliran massa yang tetap konstan. Akibatnya, bilangan Reynolds yang menggambarkan turbulensi aliran udara pada saluran yang lebih tinggi akan menurun, yang berimplikasi pada penurunan efisiensi perpindahan

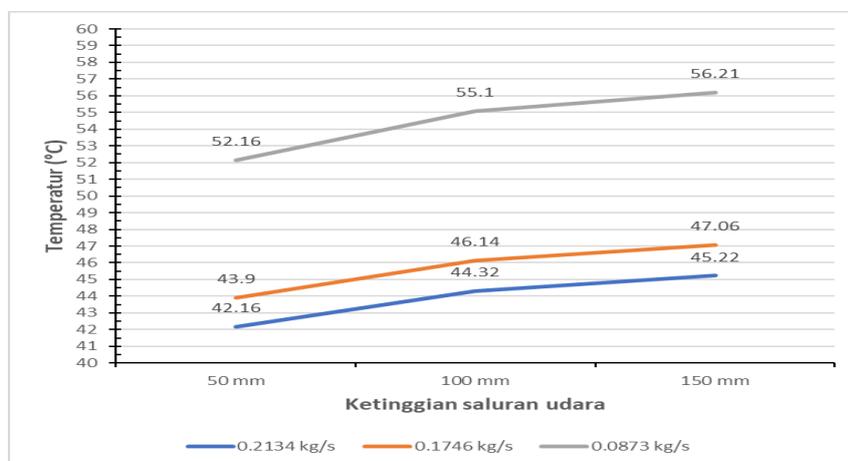
panas. Namun, penurunan suhu udara yang keluar dapat terjadi secara signifikan dengan peningkatan laju aliran massa udara. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju perpindahan panas yang lebih efisien melalui konveksi paksa. Konveksi paksa ini mempercepat perpindahan energi termal dari permukaan kolektor ke udara yang mengalir, yang pada gilirannya menyebabkan penurunan suhu udara keluar meskipun saluran udara memiliki ketinggian lebih tinggi. Dengan demikian, meskipun peningkatan ketinggian saluran udara tidak memberikan efek signifikan terhadap suhu udara keluar, penyesuaian laju aliran massa udara memiliki dampak besar terhadap kinerja termal kolektor.

Analisis lebih lanjut dilakukan berdasarkan kontur temperatur permukaan kolektor panas bersirip. Kontur distribusi temperatur ini memberikan gambaran visual mengenai perbedaan suhu yang terjadi pada permukaan kolektor, yang sangat penting untuk memahami pola perpindahan panas. Gambar 4 menunjukkan bahwa temperatur permukaan kolektor panas semakin tinggi mendekati saluran udara keluar. Hal ini mengindikasikan bahwa area dekat saluran udara keluar menerima lebih banyak panas karena aliran udara yang lebih intens, yang meningkatkan efisiensi perpindahan panas dari permukaan kolektor ke udara yang mengalir. Namun, temperatur permukaan kolektor di area yang lebih jauh dari saluran udara keluar cenderung lebih rendah, karena aliran udara yang melewati area tersebut tidak sekuat di dekat saluran keluar. Analisis lebih lanjut berdasarkan rata-rata temperatur permukaan kolektor dapat dilihat pada Gambar 5. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa semakin rendah ketinggian saluran udara, semakin rendah juga rata-rata temperatur permukaan kolektor panas. Penurunan temperatur ini disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran udara pada saluran dengan ketinggian yang lebih rendah. Ketinggian saluran yang lebih rendah menyebabkan luas penampang aliran udara mengecil, sehingga terjadi efek nozzle yang mempercepat aliran udara dan meningkatkan transfer panas, dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Kontur distribusi temperatur kolektor panas bersirip

Dari gambar 4 dapat dilihat temperatur permukaan kolektor panas semakin tinggi mendekati sluran udara keluar. Selain itu, perubahan laju aliran massa udara juga mempengaruhi rata-rata temperatur permukaan kolektor. Semakin besar laju aliran massa udara, semakin rendah temperatur rata-rata permukaan kolektor panas. Hal ini terjadi karena peningkatan laju aliran massa meningkatkan efisiensi perpindahan panas dengan konveksi paksa, yang secara signifikan menurunkan suhu permukaan kolektor. Temuan ini menunjukkan bahwa desain saluran udara dan laju aliran massa udara sangat memengaruhi kinerja termal kolektor panas bersirip. Analisa berdasarkan rata-rata temperatur permukaan kolektor panas dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik temperatur rata-rata pada permukaan kolektor

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin rendah ketinggian saluran udara, semakin rendah juga rata-rata temperatur permukaan kolektor panas. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran udara pada saluran dengan ketinggian yang lebih rendah. Ketika ketinggian saluran udara lebih kecil, luas penampang aliran udara menjadi lebih sempit, yang menyebabkan udara mengalir lebih cepat, menciptakan efek nozzle. Efek nozzle ini mempercepat aliran udara, meningkatkan turbulensi, dan pada akhirnya meningkatkan perpindahan panas antara permukaan kolektor dan udara yang mengalir. Selain itu, perubahan laju aliran massa udara juga mempengaruhi rata-rata temperatur permukaan kolektor. Semakin besar laju aliran massa udara, semakin rendah temperatur rata-rata permukaan kolektor panas. Peningkatan laju aliran massa udara memungkinkan lebih banyak udara yang melewati kolektor dalam waktu yang lebih singkat, sehingga mempercepat proses konveksi paksa dan meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Proses ini mengurangi akumulasi panas pada permukaan kolektor dan menjaga suhu permukaan tetap rendah, yang berkontribusi pada peningkatan kinerja

termal kolektor panas secara keseluruhan. Dengan demikian, desain ketinggian saluran udara dan pengaturan laju aliran massa udara memiliki pengaruh signifikan terhadap temperatur permukaan kolektor dan efisiensi termalnya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Pengaruh ketinggian saluran udara terhadap unjuk kerja termal kolektor panas bersirip. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tinggi sirip tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan rata-rata temperatur udara keluar dari kolektor. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tinggi sirip berfungsi untuk meningkatkan area perpindahan panas, pengaruhnya terhadap suhu udara yang keluar relatif kecil. Sementara itu, semakin rendah ketinggian saluran udara pada kolektor panas bersirip, semakin rendah pula temperatur rata-rata permukaan kolektor. Penurunan temperatur permukaan kolektor ini disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran udara yang terjadi pada saluran dengan ketinggian yang lebih rendah, yang berfungsi untuk mempercepat proses perpindahan panas melalui efek nozzle.

B. SARAN

Perlunya Peningkatan kecepatan aliran udara tersebut meningkatkan laju konveksi paksa, yang pada gilirannya mengurangi suhu permukaan kolektor. Temuan ini memberikan wawasan penting mengenai optimasi desain kolektor panas bersirip, di mana penyesuaian ketinggian saluran udara dapat meningkatkan efisiensi termal dengan cara yang lebih efektif daripada hanya menambah tinggi sirip.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, A., Ehyaei, M. A., Doustgani, A., el Haj Assad, M., Hmida, A., Jamali, D. H., Kumar, R., Li, Z. X., & Razmjoo, A. (2021). Recent residential applications of low-temperature solar collector. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 279). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123549>
- Amrizal, Prabowo, A. D., Amrul, & Prayitno, H. (2023). Effects of Fin Height, Fin Thickness and Reynolds Number on Heat Transfer Enhancement of Flat-Plate Thermal Collector: A Numerical Analysis. *CFD Letters*, 15(4), 53–63. <https://doi.org/10.37934/cfdl.15.4.5363>
- Ammar, M., Mokni, A., Mhiri, H., & Bournot, P. (2020). Numerical analysis of solar air collector provided with rows of rectangular fins. *Energy Reports*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.252>

- Astawa, K., Suarnadwipa, I. N., Tenaya, I. G., & Junianto, A. (2021). Analisis Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Penambahan Sirip Berlubang Berdiameter Beda Sebagai Nosel Yang Disusun Secara Staggered. *Poros*, 17(1). <https://doi.org/10.24912/poros.v17i1.15391>
- Bande, Y. M., & Mariah, N. A. (2014). Flat plate solar collectors and applications: A review. In *Pertanika Journal of Science and Technology* (Vol. 22, Issue 2).
- Ekechukwu, O. v., & Norton, B. (1999). Review of solar-energy drying systems III: Low temperature air-heating solar collectors for crop drying applications. *Energy Conversion and Management*, 40(6). [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00094-6)
- Fudholi, A., & Sopian, K. (2019). A review of solar air flat plate collector for drying application. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 102). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.032>
- Gopi, R., Ponnusamy, P., Arokiaraj, A. F., & Raji, A. (2020). Performance comparison of flat plate collectors in solar air heater by theoretical and computational method. *Materials Today: Proceedings*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.809>
- Junaid, M. A., & Sadaq, S. I. (2017). Design and Optimization of Fins in Solar Flat Plate Collector Using CFD. In *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN* (Vol. 6). www.ijsr.net
- Menni, Y., Azzi, A., & Chamkha, A. (2018). A review of solar energy collectors: Models and applications. In *Journal of Applied and Computational Mechanics* (Vol. 4, Issue 4). <https://doi.org/10.22055/JACM.2018.25686.1286>
- Prayitno, H., Darma Prabowo, A., & Khairudin, R. (2024). *Initial analysis of temperature distribution in V-shaped Thermal Collector*, <https://doi.org/10.23960/mech.v15.i1.2024192>