

Analisis Kinerja Sistem Photovoltaic Thermal (Pvt) Dengan Variasi Jumlah Sirip Pada Aliran Udara

Performance Analysis Of Photovoltaic Thermal (Pvt) System With Variations In The Number Of Fins In Air Flow

Rofa Nurul Azmi
Prodi S1 Teknik Fisika
Fakultas Teknik
Universitas Telkom
rofanurulazmi@student.tel
komuniversity.ac.id

Tri Ayodha Ajiwiguna
Prodi S1 Teknik Fisika
Fakultas Teknik
Universitas Telkom
triayodha@telkomuniver
ty.ac.id

Nurwulan Fitriyani
Prodi S1 Teknik Fisika
Fakultas Teknik
Universitas Telkom
nurwulanf@telkomuniver
sity.ac.id

Abstrak

Sistem Photovoltaic Thermal (PVT) merupakan teknologi yang menggabungkan konversi energi listrik dan energi panas dalam satu sistem. Pada PVT berbasis udara, kinerja termal sering kali terbatas sehingga diperlukan upaya peningkatan perpindahan panas, salah satunya melalui penambahan sirip pada saluran udara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah sirip terhadap kinerja termal sistem PVT dengan konfigurasi PVT polos, PVT 3 sirip, PVT 5 sirip, dan PVT 8 sirip. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan mengukur solar insolation, suhu udara masuk dan keluar, serta kecepatan aliran udara. Untuk memperoleh perbandingan yang objektif, dilakukan normalisasi Solar Insolation dengan menggunakan nilai rata-rata sebagai variabel input pada persamaan regresi masing-masing konfigurasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada kondisi input energi yang sama, efisiensi termal PVT polos sebesar 32,47%, PVT 3 sirip sebesar 51,47%, PVT 5 sirip sebesar 34,38%, dan PVT 8 sirip sebesar 35,19%. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi

3 sirip memberikan kinerja termal paling optimal dibandingkan konfigurasi lainnya. Dengan demikian, penambahan sirip efektif meningkatkan kinerja termal hingga jumlah tertentu, dan dalam penelitian ini konfigurasi 3 sirip merupakan yang paling optimal.

Kata kunci : Sirip, Photovoltaic Thermal, Efisiensi Termal, Aliran Udara, Solar Insolation

Abstract

Photovoltaic Thermal (PVT) systems are technologies that combine electrical and thermal energy conversion in a single system. In air-based PVT systems, thermal performance is often limited, requiring efforts to improve heat transfer, one of which is by adding fins to the air ducts. This study aims to analyze the effect of fin number variations on the thermal performance of PVT systems with configurations of plain PVT, 3-fin PVT, 5-fin PVT, and 8-fin PVT. The testing was conducted experimentally by measuring solar radiation intensity, inlet and outlet air temperatures, and air flow velocity. To obtain an objective comparison, solar

insolation normalization was performed using the average value as the input variable in the regression equation for each configuration. The calculation results show that under the same energy input conditions, the thermal efficiency of the plain PVT is 32.47%, the 3-fin PVT is 51.47%, the 5-fin PVT is 34.38%, and the 8-fin PVT is 35.19%. These results indicate that the 3-fin configuration provides the most optimal thermal performance compared to other configurations. Thus, the addition of fins effectively improves thermal performance up to a certain number, and in this study, the 3-fin configuration is the most optimal.

Keywords: Fins, Photovoltaic Thermal, Thermal Efficiency, Air Flow, Solar Insolation

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan energi dan isu lingkungan global. Teknologi Solar Photovoltaic (PV) telah banyak digunakan untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik, namun efisiensi konversinya relatif rendah karena sebagian besar radiasi matahari yang diterima panel berubah menjadi energi panas dan terbuang ke lingkungan [1]. Kondisi ini tidak hanya menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan, tetapi juga meningkatkan temperatur kerja panel yang dapat berdampak negatif terhadap kinerja listriknya. Oleh karena itu, integrasi antara sistem fotovoltaik dan kolektor termal dalam satu modul, yang dikenal sebagai sistem Photovoltaic Thermal (PVT), menjadi solusi yang menarik untuk memanfaatkan energi matahari secara lebih optimal.

Pada sistem PVT berbasis udara (PVT air heater), udara digunakan sebagai fluida kerja untuk menyerap panas dari permukaan panel dan kolektor termal. Sistem ini memiliki keunggulan berupa konstruksi yang sederhana, risiko kebocoran yang rendah, serta cocok diaplikasikan sebagai pemanas udara untuk pengeringan, pemanas ruangan, dan aplikasi termal lainnya. Namun, karakteristik udara yang memiliki kapasitas panas jenis rendah menyebabkan kemampuan penyerapan panas menjadi terbatas, sehingga efisiensi termal sistem PVT udara sering kali belum optimal. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan

untuk meningkatkan perpindahan panas pada sistem ini adalah dengan memodifikasi geometri saluran udara, khususnya melalui penambahan sirip (*fin*) pada pelat penyerap [2][3][4][5].

Penambahan sirip bertujuan untuk memperbesar luas permukaan kontak antara permukaan panas dan aliran udara serta meningkatkan turbulensi aliran, sehingga koefisien perpindahan panas konveksi dapat meningkat. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sirip mampu meningkatkan efisiensi termal kolektor surya dan sistem PVT secara signifikan. Namun demikian, peningkatan jumlah sirip juga berpotensi menimbulkan peningkatan resistensi aliran udara yang dapat menurunkan kecepatan aliran dan memicu terbentuknya zona stagnan. Kondisi ini dapat mengurangi efektivitas distribusi panas dan pada akhirnya membatasi peningkatan kinerja termal yang diharapkan. Oleh karena itu, jumlah dan konfigurasi sirip menjadi parameter penting yang perlu dioptimalkan.

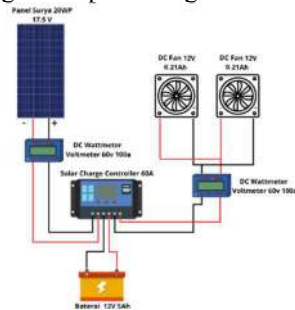
Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis kinerja sistem PVT udara dengan variasi jumlah sirip, yaitu PVT polos (tanpa sirip), PVT dengan 3 sirip, 5 sirip, dan 8 sirip. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jumlah sirip terhadap efisiensi termal sistem serta menganalisis hubungan antara kondisi lingkungan, khususnya solar insolation, terhadap kinerja termal PVT. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai keseimbangan antara peningkatan luas permukaan perpindahan panas dan dampak resistensi aliran udara, sehingga dapat diperoleh konfigurasi sirip yang paling optimal untuk aplikasi sistem PVT berbasis udara.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Perancangan Elektrikal

Perancangan elektrikal pada sistem ini ditunjukkan melalui wiring diagram yang menggambarkan konfigurasi aliran energi dari panel surya hingga beban akhir. Panel surya berkapasitas 20 WP dengan tegangan nominal 17,5 V menjadi sumber utama energi listrik. Untuk memantau total energi listrik yang dihasilkan oleh panel, digunakan DC Wattmeter pertama yang dipasang langsung setelah terminal output panel. Selanjutnya, energi listrik diarahkan ke Solar Charge Controller (SCC) 60A yang berfungsi sebagai pengatur dan pelindung proses pengisian

baterai 12V 5Ah. Dari SCC, energi listrik dialirkan ke DC Wattmeter kedua yang ditempatkan sebelum dua buah DC Fan 12V. Kipas ini bertugas mengalirkan udara ke dalam aliran termal kolektor (STC). Berikut merupakan gambar perancangan elektrikal.



GAMBAR 1
Wiring Diagram

2.2 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dari sistem PVT ini bertujuan untuk mengintegrasikan kolektor termal secara langsung di bagian bawah modul panel surya tanpa mengganggu struktur utama panel. Sistem ini dirancang dengan konfigurasi horizontal, di mana modul panel PV diletakkan di atas sebagai sumber utama konversi energi listrik dari solar insolation, dan kolektor termal ditempatkan di bawahnya sebagai media penyerapan dan pemanfaatan energi panas yang dihasilkan dari panas sisa modul PV.

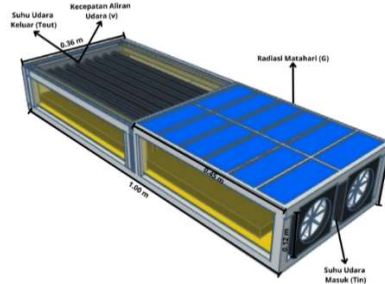
Kolektor termal didesain memiliki dimensi memanjang melebihi panjang modul PV, sebagaimana ditampilkan pada gambar. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan luas penyerapan panas, sekaligus memberi ruang sirkulasi udara yang lebih optimal. Di atas permukaan kolektor termal, ditambahkan lapisan kaca transparan yang berfungsi sebagai pelindung dari lingkungan sekitar dan juga membantu meningkatkan efek rumah kaca agar panas tetap terperangkap di dalam sistem.

Sirip diletakkan hanya pada area aliran udara terbuka. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jumlah sirip terhadap efisiensi termal sistem yang didapatkan, sehingga efisiensi listrik yang didapatkan tidak dipengaruhi oleh variasi jumlah sirip.

Bagian dalam rangka kolektor dilengkapi insulasi termal, yang dipasang pada sisi bawah dan samping struktur guna mengurangi kehilangan kalor dan menjaga agar udara yang dipanaskan tidak cepat mendingin sebelum dialirkan keluar. Udara masuk dari bagian inlet, kemudian diarahkan melalui ruang kolektor dengan bantuan kipas

yang terpasang di sisi outlet. Kipas ini berfungsi untuk mengalirkan udara secara paksa (konveksi paksa) agar sirkulasi udara panas lebih efisien dan distribusi panas menjadi merata.

Dengan kombinasi struktur mekanik ini, sistem diharapkan dapat memaksimalkan pemanfaatan panas serta mengalirkannya dengan baik ke aliran pemanas udara. Desain ini juga mempertimbangkan perakitan yang mudah untuk keperluan eksperimental maupun implementasi skala kecil. Berikut merupakan perancangan mekanik untuk penelitian ini.



GAMBAR 2
Perancangan Mekanik.

2.3 Metode Pengukuran

Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi solar insolation (G), suhu udara masuk (T_{in}), suhu udara keluar (T_{out}), dan kecepatan aliran udara. Lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1
Parameter yang Diukur.

No	Parameter	Satuan	Alat Ukur	Spesifikasi
1	Radiasi matahari (G)	W/m ²	Solar Power Meter	SM206-SOLAR
2	Suhu udara masuk (T_{in})	°C	Thermocouple	Type K 0-400K
3	Suhu udara keluar (T_{out})	°C	Thermocouple	Type K 0-400K
4	Kecepatan aliran udara (v)	m/s	Anemometer	UNI-T UT363 Mini Anemometer
5	Tegangan keluaran PV (V)	Vol	Wattmeter DC	80V 100A Digital LCD Display Lipo Battery Power Analyzer - 100A Biru
6	Arus keluaran PV (I)	Ampere	Wattmeter DC	80V 100A Digital LCD Display Lipo Battery Power Analyzer - 100A Biru

Pengukuran dilakukan untuk mengevaluasi kinerja termal sistem PVT Air Heater pada setiap variasi jumlah sirip. Solar insolation diukur menggunakan solar power meter yang diposisikan sejajar dengan permukaan panel surya. Suhu udara masuk dan keluar diukur menggunakan thermocouple yang ditempatkan pada bagian inlet dan outlet saluran udara. Kecepatan aliran udara diukur menggunakan anemometer yang dipasang pada sisi keluaran udara. Pengukuran dilakukan pada masing-masing konfigurasi, yaitu PVT polos, PVT 3 sirip, PVT 5 sirip, dan PVT 8 sirip, pada hari yang berbeda sesuai kondisi pengujian.

Efisiensi termal dihitung berdasarkan perubahan suhu udara dan laju aliran massa menggunakan persamaan:

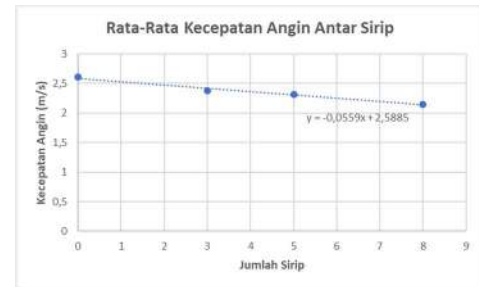
$$\eta_{th} = \frac{\sum_{i=1}^n m \cdot c_p \cdot (T_{o,i} - T_{i,i}) \cdot \Delta t}{\sum_{i=1}^n G_i \cdot A \cdot \Delta t} \times 100\% \quad (1)$$

di mana m merupakan laju aliran massa fluida (kg/s), C_p merupakan kapasitas panas jenis (J/kg.K) di mana C_p bernilai 1005 J/kg.K [1], $T_{o,i}$ merupakan suhu keluar pada interval i (K) sedangkan $T_{i,i}$ merupakan suhu masuk pada interval i (K), G_i merupakan solar insolation (W/m^2) pada interval i , Δt merupakan durasi tiap interval, A adalah luas panel surya (m^2), dan n merupakan jumlah data.

3. Pembahasan

Pengujian sistem PVT dengan variasi jumlah sirip dilakukan pada kondisi lingkungan yang berbeda karena pengambilan data dilakukan pada hari yang berbeda. Hal ini menyebabkan nilai solar insolation yang diterima oleh masing-masing konfigurasi bervariasi. Pada PVT polos, solar insolation berada pada rentang 3271–5069 Wh/m^2 , pada PVT 3 sirip 1969–3153 Wh/m^2 , pada PVT 5 sirip 2491–4915 Wh/m^2 , dan pada PVT 8 sirip 1718–4543 Wh/m^2 . Meskipun terdapat variasi intensitas radiasi, seluruh data masih berada dalam rentang operasional yang realistis untuk aplikasi sistem energi surya. Oleh karena itu, analisis difokuskan pada kecenderungan perubahan kinerja termal terhadap variasi jumlah sirip, bukan pada perbandingan absolut nilai radiasi.

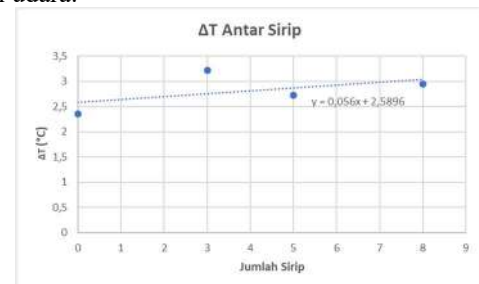
Penambahan sirip pada saluran udara memberikan pengaruh langsung terhadap karakteristik aliran dan mekanisme perpindahan panas. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sirip yang dipasang, kecepatan aliran udara cenderung menurun. PVT polos memiliki kecepatan aliran tertinggi, diikuti oleh konfigurasi 3 sirip, 5 sirip, dan 8 sirip dengan kecepatan terendah. Penurunan kecepatan ini disebabkan oleh meningkatnya resistensi aliran akibat penyempitan penampang dan bertambahnya gesekan antara udara dan permukaan sirip. Sirip bertindak sebagai penghalang aliran yang memecah aliran udara dan meningkatkan turbulensi, namun sekaligus menambah hambatan aliran.



GAMBAR 3

Grafik Pengaruh Jumlah Sirip Terhadap Kecepatan Angin.

Di sisi lain, penambahan sirip cenderung meningkatkan selisih suhu antara udara masuk dan udara keluar (ΔT). Peningkatan ΔT menunjukkan bahwa udara mampu menyerap panas lebih banyak selama mengalir di dalam saluran. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya luas permukaan kontak panas serta meningkatnya waktu tinggal udara di dalam saluran akibat penurunan kecepatan aliran. Kombinasi antara peningkatan luas permukaan dan waktu kontak inilah yang berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan penyerapan panas oleh udara.



GAMBAR 4

Grafik Pengaruh Jumlah Sirip Terhadap Selisih Suhu.

Pada konfigurasi PVT polos, efisiensi termal berada pada rentang sekitar 15–42%. Nilai ini menunjukkan bahwa tanpa penambahan sirip, kemampuan sistem dalam memindahkan panas ke udara relatif terbatas. Kecepatan aliran yang tinggi menyebabkan waktu kontak antara udara dan permukaan panas menjadi singkat, sehingga panas yang dapat diserap udara tidak maksimal. Selain itu, aliran yang cenderung laminar menyebabkan koefisien perpindahan panas konveksi relatif rendah, sehingga laju perpindahan panas menjadi terbatas.

Penambahan 3 sirip menghasilkan peningkatan efisiensi termal yang paling signifikan dibandingkan konfigurasi lainnya. Efisiensi termal pada konfigurasi ini berada pada rentang sekitar 40–73%. Peningkatan ini disebabkan oleh keseimbangan yang baik

antara peningkatan luas permukaan perpindahan panas, meningkatnya turbulensi aliran, serta kecepatan aliran udara yang masih relatif tinggi. Jarak antar sirip yang cukup lebar (9,2 cm) memungkinkan aliran udara tetap lancar tanpa mengalami hambatan yang berlebihan, sehingga udara dapat menyerap panas secara optimal. Konfigurasi ini juga menghasilkan nilai ΔT tertinggi, yang menunjukkan efektivitas penyerapan panas yang sangat baik.

Pada konfigurasi 5 sirip, efisiensi termal berada pada rentang 20–47%. Meskipun lebih tinggi dibandingkan PVT polos, kinerja termal konfigurasi ini tidak mampu melampaui konfigurasi 3 sirip. Penambahan jumlah sirip yang lebih rapat meningkatkan resistensi aliran secara signifikan, sehingga kecepatan aliran udara menurun cukup besar. Kondisi ini menyebabkan aliran udara menjadi kurang merata dan berpotensi menimbulkan zona stagnan, di mana sebagian udara tidak melakukan kontak efektif dengan permukaan panas. Akibatnya, meskipun luas permukaan perpindahan panas meningkat, efektivitas pemanfaatannya tidak optimal.

Konfigurasi 8 sirip menunjukkan efisiensi termal pada rentang 25–53%. Peningkatan jumlah sirip hingga 8 buah mampu meningkatkan ΔT karena bertambahnya luas permukaan dan waktu tinggal udara di dalam saluran. Namun, resistensi aliran yang sangat besar menyebabkan kecepatan aliran udara menjadi paling rendah dibandingkan konfigurasi lainnya. Penurunan kecepatan ini membatasi kemampuan udara dalam membawa energi panas keluar dari sistem dan meningkatkan potensi terbentuknya zona stagnan. Oleh karena itu, meskipun kinerja termal 8 sirip lebih baik dibandingkan PVT polos dan 5 sirip, nilainya tetap tidak mampu melampaui konfigurasi 3 sirip.

Untuk memperoleh perbandingan yang objektif antar variasi jumlah sirip, dilakukan normalisasi solar insolation dengan menggunakan nilai rata-rata sebesar 3339 Wh/m² sebagai input pada persamaan regresi efisiensi termal masing-masing konfigurasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada kondisi input energi yang sama, efisiensi termal PVT polos sebesar 32,47%, PVT 3 sirip sebesar 51,47%, PVT 5 sirip sebesar 34,38%, dan PVT 8 sirip sebesar 35,19%. Hasil ini menegaskan bahwa konfigurasi 3 sirip memberikan kinerja termal paling optimal dibandingkan konfigurasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan

sirip efektif meningkatkan kinerja termal hingga jumlah tertentu, namun penambahan yang berlebihan justru dapat menurunkan efektivitas sistem akibat meningkatnya hambatan aliran udara.



GAMBAR 5

Grafik Perbandingan Efisiensi Termal PVT Dengan Persamaan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah menganalisis pengaruh variasi jumlah sirip terhadap kinerja termal sistem Photovoltaic Thermal (PVT) berbasis udara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan sirip mampu meningkatkan efisiensi termal dibandingkan konfigurasi PVT polos karena bertambahnya luas permukaan perpindahan panas dan meningkatnya waktu kontak antara udara dan permukaan panas. Namun, penambahan jumlah sirip juga meningkatkan resistensi aliran udara yang menyebabkan penurunan kecepatan aliran, sehingga jumlah sirip tidak dapat ditingkatkan secara bebas tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap kelancaran aliran.

Di antara seluruh konfigurasi yang diuji, PVT dengan 3 sirip menunjukkan kinerja termal paling optimal. Konfigurasi ini menghasilkan keseimbangan terbaik antara peningkatan selisih suhu (ΔT) dan kecepatan aliran udara, sehingga perpindahan panas berlangsung secara efektif tanpa hambatan aliran yang berlebihan. Konfigurasi 5 sirip dan 8 sirip memang meningkatkan ΔT , namun penurunan kecepatan aliran yang signifikan serta potensi terbentuknya zona stagnan membatasi efektivitas distribusi panas, sehingga kinerja termalnya tidak mampu melampaui konfigurasi 3 sirip.

Berdasarkan normalisasi solar insolation, pada kondisi input energi yang sama konfigurasi 3 sirip tetap memberikan efisiensi termal tertinggi dibandingkan konfigurasi lainnya. Hal ini menegaskan bahwa perbedaan kinerja termal sistem PVT tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, tetapi terutama ditentukan oleh karakteristik desain saluran udara. Dengan

demikian, konfigurasi 3 sirip dapat direkomendasikan sebagai desain yang paling optimal untuk sistem PVT berbasis udara pada penelitian ini.

Daftar Pustaka:

- [1] M. L. Umar, P. B. W. Wardana, A. Finali, A. F. Hanafi, and R. I. Yaqin, "Studi Eksperimen Panel Surya Dengan Kolektor Pemanas Udara," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 7, no. 2, p. 86, 2021, doi: 10.31884/jtt.v7i2.335.
- [2] A. D. Prabowo, T. Mesin, F. Teknik, U. Lampung, and J. P. Soemantri, "Pengaruh Konfigurasi Sirip Kolektor Panas terhadap Kinerja Termal pada Luas Permukaan Perpindahan Panas yang Sama Menggunakan CFD," vol. 01, no. 01, pp. 1–8, 2025.
- [3] K. Astawa, I. G. Ngurah, P. Tenaya, I. G. Teddy, and P. Surya, "Analisis unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan penambahan sirip posisi staggered," vol. 01, no. 02, pp. 349–356, 2023.
- [4] M. S. Ghanim and A. A. Farhan, "Performance evaluation of the photovoltaic thermal system with a fin array and surface zigzag layout," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 17, no. October, pp. 1166–1176, 2022, doi: 10.1093/ijlct/ctac092.
- [5] A. Fudholi, M. F. Musthafa, A. Ridwan, R. Yendra, and A. P. Desvina, "Energy and exergy analysis of air based photovoltaic thermal (PVT) collector : a review," vol. 9, no. 1, pp. 109–117, 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i1.pp109-117.