

## Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Masuk Terhadap Unjuk Kerja Kolektor Surya Hybrid Pv/T



Amrizal<sup>1</sup>, Christian Cahya Putra<sup>1</sup>, Agung Nugroho<sup>1</sup>, dan Amrul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jln. Prof. Sumantri Brodjonegoro No.1, Bandar Lampung, 35145

Email: [amrizal@eng.unila.ac.id](mailto:amrizal@eng.unila.ac.id)

### Abstract

Solar energy is a renewable energy source which can be used by thermal and photovoltaic collector technologies. Combining these two technologies can produce heat and electricity simultaneously which are better known as hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) collectors. The aim of this study is to determine the effect of the differences between the inlet fluid temperatures on the performance of PV/T collector. The difference of the inlet fluid temperatures used in the present study is above and below the ambient temperature. The thermal performance testing used the EN 12975 standard under indoor system with a solar simulator. Meanwhile, the performance of electricity is derived through the comparison of the electrical power produced by PV and heat received by the PV surface. The results showed that the coefficient of heat losses differed by 15% between the two temperature limits used in the performance testing. While the zero efficiency for the temperature of the inlet fluid below the ambient temperature increased 29% compared to the temperature of the inlet fluid above the ambient temperature. Meanwhile the higher the mass flow rate of the inlet fluid, the higher the electrical efficiency generated by the Photovoltaic/Thermal collector. The maximum electrical efficiency reaches 7% when using a fluid mass flow rate of 0.015 kg/s with the inlet fluid temperature below the ambient temperature. There is an increase in electrical efficiency of 2.5% when compared to the Photovoltaic collector alone without using thermal collector.

**Keywords:** Solar energy, photovoltaic thermal (PV/T), inlet fluid temperature

### Abstrak

Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan dan dapat dimanfaatkan dengan penggunaan teknologi kolektor termal dan Photovoltaic. Penggabungan kedua teknologi ini sekaligus dapat memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan panas dan listrik secara bersamaan yang lebih dikenal dengan teknologi kolektor Photovoltaic/Thermal (PV/T). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan perbedaan temperatur fluida kerja masuk pada kolektor surya hybrid PV/T aliran serpentine baik secara termal maupun listrik. Perbedaan temperatur fluida masuk yang digunakan adalah di atas dan di bawah temperatur lingkungan. Pengujian unjuk kerja termal ini menggunakan standar EN 12975 sistem indoor dengan simulator surya. Sementara itu pengujian unjuk kerja listrik melalui perbandingan daya listrik yang dihasil PV dengan panas matahari yang diterima permukaan PV. Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien rugi-rugi panas berbeda 15 % diantara kedua batasan temperatur yang digunakan. Sedangkan efisiensi zero untuk temperatur fluida kerja dibawah temperatur lingkungan meningkat 29 % dibandingkan dengan temperatur fluida diatas temperatur lingkungan. Sementara itu semakin tinggi laju aliran massa fluida kerja maka semakin tinggi efisiensi listrik yang dihasilkan oleh kolektor Photovoltaic/Thermal. Efisiensi elektrik maksimal yang dihasilkan oleh kolektor PV/T mencapai 7 % saat menggunakan aliran massa fluida 0.015 kg/s dengan temperatur fluida masuk kolektor di bawah temperatur lingkungan dimana terdapat kenaikan efisiensi listrik 2,5 % jika dibandingkan dengan kolektor Photovoltaic saja tanpa menggunakan kolektor termal.

**Kata kunci:** Energi matahari, photovoltaic thermal (PV/T), temperatur fluida masuk

## PENDAHULUAN

Pada saat ini ketersediaan sumber energi fosil dalam negeri seperti minyak bumi, batubara dan gas bumi sudah semakin berkurang jumlahnya seiring dengan bertambahnya waktu. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional bahwa untuk mencapai bauran Energi Primer pada tahun 2025 peran Energi Baru

dan Terbarukan harus ditingkatkan penggunaannya hingga mencapai 23% dan pada tahun 2050 sebesar 31 % sepanjang keenomiannya terpenuhi [6]. Dengan demikian penggunaan sumber energi konvensional terus dikurangi agar tercapai bauran Energi Primer tersebut sesuai yang diamanatkan oleh Peraturan Pemerintah. Hal ini tentu mendorong perlunya pengembangan dan penggunaan energi alternatif dalam bentuk energi baru dan terbarukan.

Energi alternatif adalah energi yang dapat digunakan untuk menggantikan sumber energi dari bahan bakar konvensional. Salah satu energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi matahari atau sering disebut dengan energi surya. Energi surya merupakan energi yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polutan. Energi surya dapat diubah menjadi energi termal dan energi listrik. Energi termal memanfaatkan radiasi matahari dengan menggunakan kolektor surya. Sedangkan energi listrik memanfaatkan sel *silicon* untuk menyerap cahaya matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik. Menurut Zondag, dkk [3] *Photovoltaic* hanya mampu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik dengan efisiensi antara 9-12%. Sedangkan 80% dari radiasi matahari tidak dikonversikan menjadi energi listrik, tetapi diubah menjadi energi panas.

Hal ini menyebabkan meningkatnya temperatur permukaan *Photovoltaic* yang berdampak terhadap penurunan efisiensi listrik. Tingginya temperatur permukaan *Photovoltaic* akibat panas sisa dari cahaya matahari dapat diturunkan dengan menggunakan teknologi *hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T)*. Teknologi *hybrid PV/T* adalah gabungan antara *Photovoltaic* dan kolektor termal surya. Prinsip kerja *hybrid PV/T* adalah menyerap panas pada permukaan *Photovoltaic* dengan cara mengalirkan fluida kerja melalui media absorber yang ditempatkan di bawah permukaan *Photovoltaic*. Panas dari permukaan *Photovoltaic* dipindahkan ke fluida yang mengalir akibatnya temperatur permukaan *Photovoltaic* akan turun dan efisiensi energi listrik akan meningkat

Amrizal, dkk [4-5] telah mengembangkan simulasi unjuk kerja termal kolektor surya pelat datar dengan pendekatan temperatur fluida kerja dan pengujian kolektor PV/T untuk daerah tropis. Beberapa peneliti lain juga telah mengembangkan kolektor surya termal maupun *hybrid PV/T* [6-13]. Sementara itu Allan, dkk [14] melakukan penelitian tentang kolektor surya *hybrid PV/T* berdasarkan susunan pipa paralel dan *serpentine*. Dari hasil penelitiannya unjuk kerja kolektor surya *hybrid PV/T* dengan susunan pipa tipe *serpentine* mempunyai nilai koefisien kehilangan panas lebih baik 2,9 % dibandingkan dengan kolektor surya PV/T tipe paralel.

Indonesia termasuk daerah ekuator yang beriklim udara lembab dan temperatur tinggi. Karakteristik kolektor surya baik kolektor termal, photovoltaic maupun PV/T sangat tergantung kepada kondisi lingkungan dimana jenis kolektor surya itu digunakan. Unjuk kerja kolektor ini juga dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan kecepatan udara serta kondisi awan namun tidak

dilaporkan pengaruh variasi temperatur fluida masuk kolektor. Data-data desain dan hasil pengujian unjuk kerja kolektor surya yang berkaitan dengan daerah ekuator termasuk Indonesia belum banyak dipublikasikan. Dari dasar inilah perlu dilakukan penelitian tentang unjuk kerja kolektor surya *hybrid PV/T* dengan susunan pipa tipe *serpentine* berdasarkan variasi temperatur fluida kerja masuk sehingga dapat diketahui respon fluida kerja terhadap unjuk kerja kolektor surya pada kondisi iklim tropis di Indonesia

## METODELOGI

Unjuk kerja termal pada penelitian ini diuji berdasarkan standar *EN 12975-2* yang dipublikasikan oleh komite standarisasi Eropa atau *Committe European de Normalization (CEN)* pada tahun 2001 yang kemudian direvisi pada tahun 2006 [15]. *EN 12975-2* adalah standar yang berkaitan dengan metode pengujian system panas surya dan komponen-komponen solar kolektor. Sementara itu unjuk kerja listrik diperoleh berdasarkan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV ketika disinari dengan radiasi. Tahapan alur prosedur pengujian dimulai dengan mempersiapkan pengujian baik alat ukur dan kolektor PV/T yang akan diuji unjuk kerjanya. Secara umum prosedur pengujian hingga diperoleh kesimpulan.

Pengujian unjuk kerja termal pada kondisi *steady-state* menggunakan solar simulator dengan prosedur sebagai berikut.

1. Pengujian dilakukan pada 4 (empat) variasi temperatur fluida inlet ( $T_{fi}$ ) yang berbeda yakni mulai dari temperature mendekati nilai temperatur lingkungan sampai dengan mendekati nilai temperatur keluar dan masing-masing dilakukan 4 (empat) kali pengujian.
2. Pengukuran temperatur fluida outlet ( $T_{fout}$ ) disetiap pengujian.
3. Pengukuran dan tegangan dan arus yang diterima oleh PV/T.
4. Pengukuran *Solar Irradiation* disetiap pengujian menggunakan Solarimeter, dengan waktu pengkondisian sebelum pengujian selama 20 menit.
5. Pengukuran temperatur udara lingkungan.

Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan metode *Multiple Linear Regression*. Metode ini digunakan untuk menentukan nilai parameter unjuk kerja termal yang terdapat pada persamaan umum kolektor yang digunakan dalam penelitian ini seperti berikut ini berikut [16].

$$A [F'(\tau\alpha)_{en} G - F'U_L(T_m - T_a)] = \dot{m}_f c_f (T_i - T_0)$$

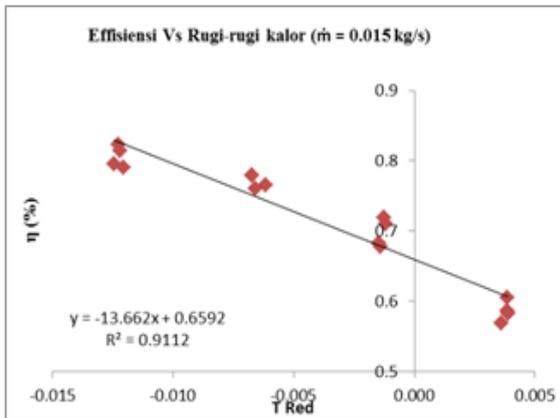
Dimana  $m_f$  adalah laju aliran massa fluida,  $c_f$  adalah panas spesifik dari fluida, adalah *zero loss efficiency* untuk radiasi global normal terhadap permukaan,  $G$  adalah intensitas radiasi matahari,  $T_i$  dan  $T_o$  adalah temperatur fluida dibagian masuk dan keluar dari segmen kolektor,  $T_a$  adalah temperatur lingkungan,  $T_m$  adalah temperatur fluida rata-rata dan  $A$  adalah luas kolektor. Parameter unjuk kerja termal yang dihitung adalah koefisien rugi panas  $[F'U_L]$  dan efisiensi zero  $[F'(\alpha)]$  dan hasilnya terlihat pada Tabel 1. Efisiensi zero merupakan efisiensi kolektor ketika temperatur reduksi berharga nol.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Parameter unjuk kerja termal dan elektrik kolektor surya hybrid PV/T pelat datar dengan arah aliran *serpentine* diperoleh dari data hasil pengujian. Temperatur fluida kerja masuk divariasikan masing-masing lebih rendah dan lebih tinggi dari temperatur lingkungan.

**Unjuk Kerja Termal dengan Temperatur Lebih Rendah dari Temperatur Lingkungan**

Hasil unjuk kerja termal kolektor untuk temperatur fluida kerja di bawah temperatur lingkungan yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.



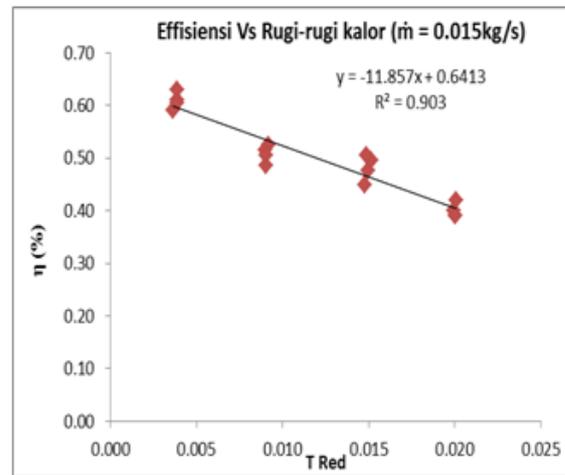
**Gambar 1.** Efisiensi dan temperatur reduksi dengan  $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$  dan temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan

Pada Gambar 1 diberikan hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan laju aliran massa fluida  $0.015\text{kg/s}$ . Dari hasil pengolahan data melalui MLR didapat nilai parameter koefisien rugi rugi ( $F'U_L$ ) sebesar  $13.662\text{ W/m}^2$  dan efisiensi zero sebesar  $0.66$ . Akan tetapi nilai efisiensi zero  $0.66$

yang terjadi bukanlah nilai efisiensi zero yang sebenarnya karena adanya pergeseran grafik kearah kiri. Hal ini disebabkan akibat temperatur fluida masuk yang lebih rendah dari temperatur lingkungan. Dengan demikian efisiensi zero yang menggambarkan kondisi sebenarnya adalah sekitar  $0.85$  jika ditarik garis lurus horizontal pada Gambar 1 yang merupakan nilai maksimum yang terjadi.

**Unjuk Kerja Termal dengan Temperatur Lebih Tinggi dari Temperatur Lingkungan**

Pada Gambar 2 dijelaskan hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan laju aliran massa fluida  $0.015\text{kg/s}$ . Temperatur fluida masuk adalah di atas temperatur lingkungan dan diperoleh nilai koefisien rugi rugi ( $F'U_L$ ) sebesar  $11.857\text{ W/m}^2$  dan efisiensi zero  $0.64$ .



**Gambar 2.** Hubungan efisiensi dan temperatur reduksi  $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$  dengan temperatur fluida masuk lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan

**Tabel 1.** Hasil perhitungan *Multiple Linier Regression* kolektor surya dengan laju aliran fluida  $0.015\text{kg/s}$

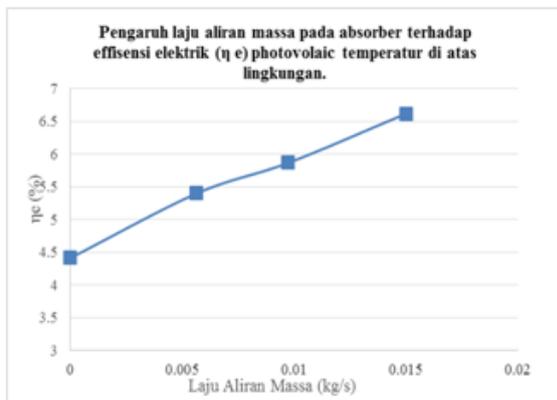
Parameter	Satuan	$T_{fi} < T_{amb}$	$T_{fi} > T_{amb}$
Koefisien rugi panas $[F'U_L]$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{k})$	13.662	11.857
Efisiensi zero $[F'(\alpha)]$	%	65.92	85.00
Nilai regresi		91.12	90.30

Gambar 1 dan 2 menjelaskan bahwa nilai koefisien rugi-rugi panas berbeda  $15\%$  diantara kedua temperatur yang digunakan. Sedangkan efisiensi zero untuk temperatur fluida kerja dibawah

temperatur lingkungan meningkat 29 % dibandingkan dengan temperatur fluida diatas temperatur lingkungan. Ini menunjukkan bahwa kemampuan menyerap panas untuk kolektor dengan fluida kerja dibawah temperatur lingkungan cukup signifikan jika dibandingkan dengan temperatur fluida kerja yang digunakan di atas temperatur lingkungan.

### Unjuk Kerja Listrik Kolektor PV/T dengan Temperatur Dibawah dan Diatas Temperatur Lingkungan

Perbandingan unjuk kerja listrik untuk kedua batas fluida kerja masuk diberikan pada Gambar 3 dan 4. Berdasarkan Gambar 3 efisiensi elektrik maksimal yang dihasilkan oleh kolektor PV/T mencapai 7 % saat menggunakan aliran massa fluida 0.015 kg/s dengan temperatur fluida masuk kolektor di bawah temperatur lingkungan. Terdapat kenaikan efisiensi listrik 2,5 % jika dibandingkan dengan kolektor Photovoltaic tanpa menggunakan kolektor termal. Hal ini disebabkan pada saat aliran massa fluida 0.015 kg/s penyerapan panas yang ada di Photovoltaic oleh fluida kerja berlangsung lebih besar dibandingkan dengan laju aliran massa lainnya yang lebih rendah sehingga temperatur pada permukaan Photovoltaic akan menjadi turun.



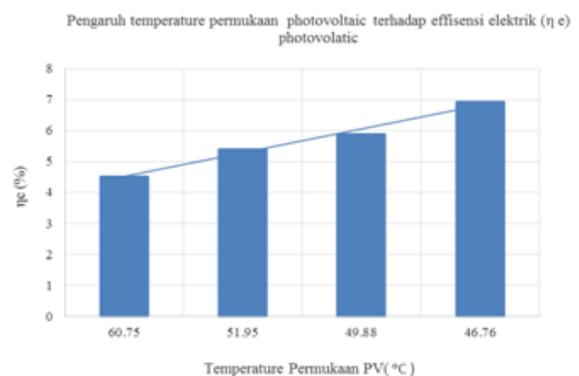
Gambar 3. Efisiensi daya pada PV/T dengan temperatur fluida masuk di atas lingkungan

Pengaruh laju aliran massa terhadap efisiensi listrik dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi laju aliran massa, maka semakin tinggi efisiensi listrik yang dihasilkan oleh kolektor Photovoltaic/Thermal. Hal ini disebabkan semakin banyak kalor pada permukaan kolektor yang ikut terbuang melalui air pendingin kolektor. Sehingga temperatur permukaan kolektor tersebut lebih rendah dibandingkan dengan temperatur permukaan kolektor Photovoltaic tanpa digabungkan dengan kolektor termal. Hasil

pengaruh laju aliran massa dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh laju aliran massa terhadap efisiensi listrik PV/T pada temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan



Gambar 5. Pengaruh temperatur permukaan Photovoltaic terhadap efisiensi elektrik pada fluida masuk di bawah temperatur lingkungan

### KESIMPULAN

Pengujian dan analisa unjuk kerja kolektor surya hybrid PV/T pelat datar tipe aliran serpentine sudah dilakukan baik secara termal maupun listrik. Kemampuan menyerap panas untuk kolektor dengan fluida kerja dibawah temperatur lingkungan cukup signifikan jika dibandingkan dengan temperatur fluida kerja yang digunakan di atas temperatur lingkungan. Nilai koefisien panas berbeda 15 % diantara kedua temperatur yang digunakan. Sedangkan efisiensi zero untuk temperatur fluida kerja dibawah temperatur lingkungan meningkat 29 % dibandingkan dengan temperatur fluida diatas temperatur lingkungan. Sementara itu semakin tinggi laju aliran massa fluida kerja maka semakin tinggi efisiensi listrik yang dihasilkan oleh kolektor Photovoltaic/Thermal. Efisiensi elektrik maksimal yang dihasilkan oleh kolektor PV/T mencapai 7 % saat menggunakan aliran massa fluida 0.015 kg/s dengan temperatur fluida masuk kolektor di bawah

temperatur lingkungan dimana terdapat kenaikan efisiensi listrik 2,5 % jika dibandingkan dengan kolektor *Photovoltaic* tanpa menggunakan kolektor termal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BLU Penelitian Pasca Sarjana (PPs) Universitas Lampung sehingga terlaksananya penelitian ini dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amrizal dan Amrul, (2015). "*Optimasi periode data berdasarkan time constant pada pengujian unjuk kerja termal kolektor surya pelat datar*". Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Indonesia XIV, Banjarmasin ISSN 978-602-73732-0-4.
- [2] Amrizal, (2015). "*Penerapan ISO 9806-1 Dalam Pengujian Unjuk Kerja Termal Kolektor Surya Pada Kawasan Ekuator*". ISSN: 2477- 0477 SENFA, Universitas Padjajaran, Jatinangor, Jawa Barat.
- [3] Amrizal, (2015). "*Penerapan ISO 9806-1 Dalam Pengujian Unjuk Kerja Termal Kolektor Surya Pada Kawasan Ekuator*". ISSN: 2477- 0477 SENFA, Universitas Padjajaran, Jatinangor, Jawa Barat.
- [4] Amrizal, Amrul, Ahmad Yonanda, Zulfa, (2017). "*Comparison Study of Solar Flat Plate Collector With Two Different Absorber Materials*". The 1<sup>st</sup> Faculty of Industrial Technology International Congress, Itenas Bandung.
- [5] Amrizal, Daniel Chemisana, J. I. Rosell, (2010). "*The Use of Filtering for the Dynamic Characterization of PV/T Flat-Plate Collectors*". ISBN 978-3-901425-13-4, International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings EuroSun, Graz University, Austria.
- [6] Biro Perencanaan dan Kerja Sama, (2015). Renstra KESDM 2015-2019. Kementerian Energi Sumber Daya Mineral.
- [7] European Standard EN 12975, 2006. CEN European Committe for Standardisation.
- [8] Federico Bava and Simon Furbo, (2016). "*A numerical model for pressure drop and flow distribution in a solar collector with U-connected absorber pipes*", Solar Energy. 134 : 264–272.
- [9] H.A.Zondag, (2008). "*A Flat Plate PV-Thermal Collector System : A Review, Renewable & Sustainable Energy Reviews*". 12, 891-959.
- [10] James Allan. Et al. (2015). "*Performance testing of thermal and photovoltaic thermal solar collectors*". Energy Science & Engineering 2015; 3(4): 310–326.
- [11] John A. Dufie, William A. Beckman, (1991). "*Solar Engineering of Thermal Processes*". John Wiley & Sons, Inc.
- [12] P. Sivakumar, W. Christraj, M. Sridharan and N. Jayamalathi, (2012). "*Performance Improvement Study of Solar Water Heating System*", *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*". VOL. 7, NO. 1.
- [13] Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 Kebijakan Energi Nasional.
- [14] S.N. Agbo dan C.E. Okeke, (2007). "*Correlations between collector Performance and tube spacing for various absorber plate material in natural circulation solar water heater*". *Trends in Applied Sciences Research* 2 (3) : 251-254.
- [15] Zulfa, Amrizal, dan Amrul, (2017). "*Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Paralel*". Jurnal Mechanical, Volume 8, Nomor 2.