

UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA *HYBRID* PV/T TIPE ALIRAN *SERPENTINE* BERDASARKAN TEMPERATUR FLUIDA MASUK

Christian Cahya Putra,

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

Amrizal,

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

Amrul,

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung

E-mail: cvcahya@gmail.com

ABSTRACT

Sunlight can be utilized as an energy through two types of solar collector namely thermal and photovoltaic solar collectors, respectively. The combination of these two types of solar collectors is known as PV/T or *PhotoVoltaic/Thermal*.

The aim of this study is to investigate the effect of different range of inlet fluid temperature on both electrical and thermal efficiency for a serpentine PV/T collector. The variation of the inlet fluid temperature used in this study is *above* and *below* ambient temperature. The thermal performance test uses the EN 12975 under indoor system with a solar simulator.

The results showed that hybrid PV/T solar collectors with the inlet fluid temperature below ambient temperature have higher values for both heat loss coefficient and electrical efficiency when they compared to those obtained from the above ambient temperature. Meanwhile, the collector with the inlet fluid temperature below ambient temperature and mass flow rate of 0.015 kg/s has a higher value of heat loss coefficient of 2.2 W/m²K if they compared to those obtained from above ambient temperature and also there is an increase of 1% electrical efficiency with average temperature surface of PV/T collector 46.76°C. The application of different range of inlet fluid temperature has no significant effect on zero efficiency of PV/T collector.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic thermal (PV / T), EN 12975.

ABSTRACT

Cahaya matahari dapat dimanfaatkan sebagai penyedia energi melalui dua jenis teknologi yaitu teknologi kolektor *thermal* dan *photovoltaic*. Penggabungan kedua jenis teknologi ini dikenal dengan istilah PV/T atau *photovoltaic thermal*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan perbedaan temperatur fluida masuk pada kolektor surya *hybrid* PV/T aliran *serpentine* baik secara *thermal* maupun daya elektrik yang dihasilkan. Perbedaan temperatur fluida masuk yang digunakan adalah di atas dan di bawah temperatur lingkungan. Pengujian unjuk kerja *thermal* ini menggunakan standar EN 12975 sistem *indoor* dengan simulator surya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolektor surya *hybrid* PV/T dengan temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan memiliki koefisien kerugian panas dan efisiensi listrik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi pengujian di atas temperatur lingkungan.

Sementara itu kolektor surya *hybrid PV/T* dengan temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan dan laju aliran massa fluida 0.015 kg/s memiliki koefisien kerugian panas lebih tinggi 2.2 W/m²K dibandingkan dengan kondisi pengujian yang sama ketika temperatur fluida masuk di atas temperatur lingkungan dan terjadi peningkatan efisiensi daya listrik 1% dengan temperatur rata rata permukaan kolektor PV/T 46.76°C. Sedangkan penerapan variasi temperatur fluida masuk di bawah dan di atas temperatur lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi zero pada kolektor surya *hybrid (PV/T)* aliran *serpentine* ini.

Kata kunci : Energi matahari, *Photovoltaic thermal (PV/T)*, EN 12975.

A. PENDAHULUAN

Pada saat ini energi fosil tidak mampu mencukupi kebutuhan bahan bakar minyak di Indonesia. Hal ini dapat dilihat berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2013) yaitu cadangan minyak mentah di Indonesia pada tahun 2002, dimana konsumsi minyak lebih tinggi dibandingkan produksi dalam negeri. Oleh karena tidak terpenuhinya minyak di dalam negeri, sehingga masih dibutuhkannya pengembangan energi alternatif.

Energi alternatif adalah energi yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar konvensional (fosil). Salah satu energi alternatif yang berpotensi di Indonesia adalah energi surya. Energi surya merupakan energi yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polutan (Kalogirou, 2003). Berdasarkan letak geografis, Indonesia sangat berpotensi menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi masa depan, mengingat posisi Indonesia terletak pada garis khatulistiwa.

Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua cara atau teknologi yang dapat digunakan yaitu energi termal dan energi *photovoltaic*. Energi termal memanfaatkan radiasi matahari dengan menggunakan kolektor surya. Sedangkan energi *photovoltaic* memanfaatkan sel *silicon* untuk menyerap cahaya matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik. Menurut Susandi et al. (2008) *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 menurunkan efisiensi listrik. Tingginya temperatur permukaan *photovoltaic* dapat diturunkan dengan menggunakan teknologi *hybrid photovoltaic thermal (PV/T)*.

Teknologi *hybrid PV/T* adalah gabungan antara *photovoltaic* dan kolektor surya. Prinsip kerja *hybrid PV/T* ialah menyerap panas permukaan *photovoltaic* dengan cara mengalirkan fluida kerja (air) di bawah *photovoltaic* tersebut melalui pipa kolektor. Sehingga panas dari *photovoltaic* dipindahkan ke fluida tersebut akibatnya temperatur permukaan *photovoltaic* akan menurun dan efisiensi energi listrik akan meningkat (Duffie, 1980).

Beberapa peneliti telah meneliti kolektor surya *hybrid PV/T*, salah satunya Allan et al. (2015) melakukan penelitian tentang kolektor surya *hybrid PV/T* berdasarkan susunan pipa yaitu tipe paralel dan tipe *serpentine*. Dari hasil penelitiannya unjuk kerja kolektor surya *hybrid PV/T* dengan susunan pipa tipe *serpentine*, nilai koefisien kehilangan panas lebih baik 2,9 % dibandingkan kolektor surya *PV/T* tipe paralel. Menurut Wang (2000), konfigurasi kolektor surya *hybrid PV/T* tipe pelat datar seperti jarak pipa, arah aliran, pelat *absorber* dan temperatur masuk fluida kerja sangat mempengaruhi unjuk kerja kolektor.

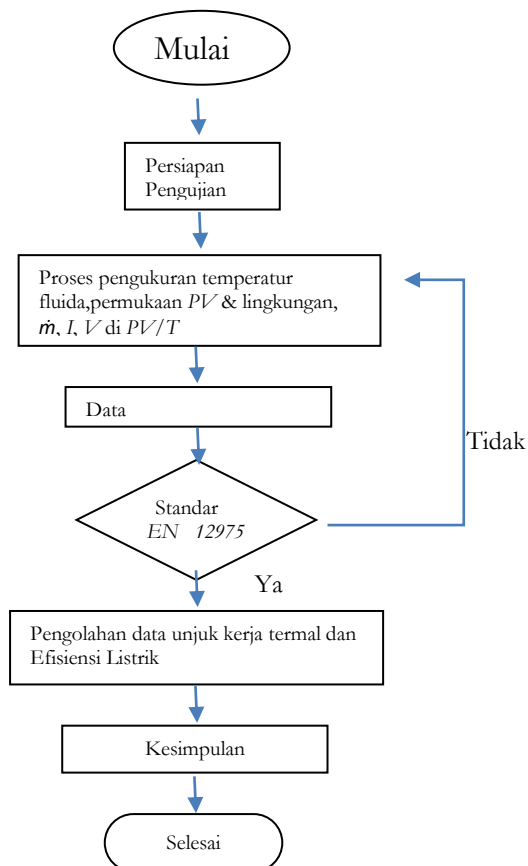
Sementara itu Indonesia termasuk daerah ekuator yang beriklim udara lembab dan temperatur

tinggi. Karakteristik kolektor surya baik kolektor termal, photovoltaic maupun PV/T sangat tergantung kepada kondisi lingkungan dimana jenis kolektor surya itu digunakan. Sebagaimana dilaporkan oleh Prashant Baredar,dkk (2014) yang menguji kolektor surya hybrid PV/T di India yang menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan efisiensi listrik ketika data desain dengan temperatur permukaan kolektor PV/T yang lebih rendah. 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 masuk fluida kerja sehingga diharapkan unjuk kerja kolektor surya pada kondisi iklim tropis di Indonesia dapat dioptimalkan.

METODELOGI

Pada penelitian ini menggunakan metodologi eksperimen yang dilakukan berdasarkan standar *EN 12975-2* yang dipublikasikan oleh komite standarisasi Eropa/*Comite Europeenne de Normalization* (CEN) pada tahun 2001 yang kemudian direvisi pada tahun 2006. *EN 12975-2* adalah standar yang berkaitan dengan metode pengujian system panas surya dan komponen-komponen solar kolektor. Tahapan alur prosedur pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.16, dimana tahapan dimulai dengan mempersiapkan pengujian baik alat ukur dan *PV/T* yang hendak di uji. Setelah pengujian dipersiapkan pengujian dilanjutkan sampai mendapatkan kesimpulan. Diagram alur prosedur penelitian dapat di lihat lebih lengkap di Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alur prosedur Penelitian

Pengujian unjuk kerja *thermal* pada kondisi *steady-state* menggunakan solar simulator.

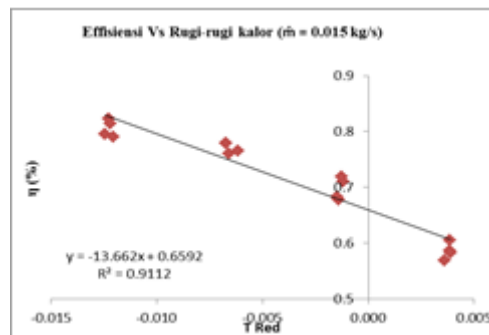
1. Pengujian dilakukan pada 4 (empat) variasi temperatur fluida *inlet* (T_{fi}) berbeda yakni mulai dari temperature mendekati nilai temperatur lingkungan sampai dengan mendekati nilai temperatur keluar, dan masing-masing dilakukan 4 (empat) kali pengujian.
2. Pengukuran temperatur *fluida outlet* (T_{fout})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

HASIL DAN PEMBAHASAN

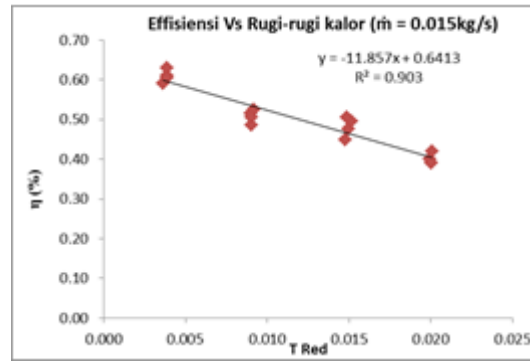
Telah dilakukan penelitian mengenai unjuk kerja *thermal* dan elektrik kolektor surya Hybrid PV/T pelat datar dengan arah aliran *serpentine* dan perbedaan temperatur air masuk di bawah dan di atas temperatur lingkungan. Kemudian di simulasikan menggunakan CFD dan didapatkan hasil validasi simulasi, hasil simulasi unjuk kerja kolektor dan

perhitungan unjuk kerja kolektor. Prosedur memvalidasi dilakukan membandingkan hasil simulasi terhadap data eksperimen dengan melihat perbandingan karakteristik termal. Sedangkan simulasi menggunakan metode *CFD* bertujuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

4.1 Pengujian Thermal dengan temperatur di bawah dan di atas temperatur lingkungan.



Gambar 4.1 Grafik hubungan efisisensi dan temperatur reduksi $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$ dengan temperatur fluida masuk di bawah lingkungan



Gambar 4.2 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$ dengan temperatur fluida masuk di atas lingkungan.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan *multiple linier regression* kolektor surya dengan laju lairan fluida 0.015kg/s .

Parameter	Satuan	$T_{fs} < T_{amb}$	$T_{fs} > T_{amb}$
Koefisien Rugi Panas [$F'U_L$]	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	-13.662	-11.857
Efisiensi Zero [$F'(\alpha\tau)$]	%	65.92	64.13
Nilai Regresi		91.12	90.3

Dari grafik Gambar 4.1 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi *flow* massa 0.015kg/s dengan temperatur di bawah lingkungan di dapat untuk nilai koefisien rugi rugi ($F'U_L$) sebesar -13.662 W/m^2 dan pada gambar 4.2 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi *flow* 0.015kg/s dengan temperatur di atas lingkungan nilai koefisien rugi rugi ($F'U_L$) sebesar -11.857 W/m^2 .

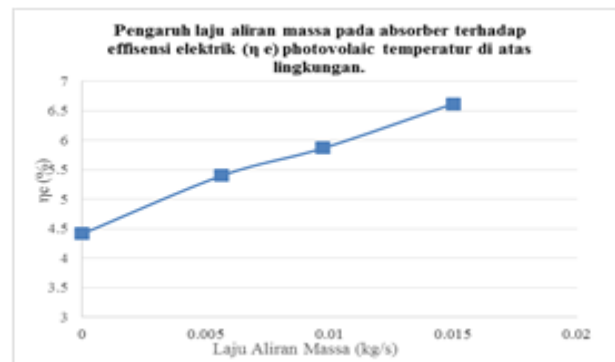
Hal ini menunjukkan bahwa nilai koefisien rugi-rugi lebih tinggi dengan temperatur di bawah lingkungan. Untuk nilai efisiensi zero ($F'[(\alpha\tau)]$) 0.6592 temperatur di bawah lingkungan dan untuk temperatur di atas lingkungan nilai efisiensi *zero* ($F'[(\alpha\tau)]$) adalah 0.6413 . Berdasarkan data tersebut diperoleh nilai efisiensi zero tidak jauh berbeda saat temperatur di bawah lingkungan dibandingkan temperatur di atas lingkungan.

Nilai regresinya di bawah temperatur lingkungan sebesar 0.9112 dan nilai regresi di atas temperatur lingkungan sebesar 0.903 , artinya kemampuan kolektor surya plat datar saat dilakukan dengan pengujian *steady* berdasarkan standar *EN 12975* menunjukkan bahwa koefisien efisiensi zero dari kolektor tersebut sebesar 65% dengan nilai koefisien rugi rugi dari kolektor tersebut sebesar $-13.662\text{ W/m}^2\text{ K}$.

4.2 Efisiensi Elektrik *Photovoltaic*

Berdasarkan Gambar 4.3 dan 4.4, efisiensi maksimal daya elektrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic* mencapai 7% saat menggunakan aliran massa fluida 0.015 kg/s dan temperatur air masuk kolektor di bawah lingkungan. Hal ini dikarenakan pada saat aliran massa fluida 0.015 kg/s penyerapan *thermal* yang ada di *photovoltaic* ke fluida berlangsung

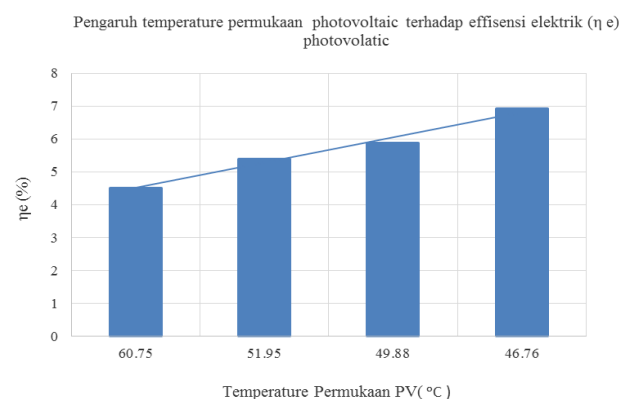
cepat, sehingga temperatur pada permukaan *photovoltaic* rendah (Gambar 4.5) dibandingkan dengan uji coba tanpa kolektor ataupun dengan kolektor $\dot{m} = 0.005$ kg/s dan 0.01 kg/s dengan suhu fluida masuk di atas lingkungan.



Gambar 4.3 Efisiensi daya pada *PV/T* dengan temperatur fluida masuk di atas lingkungan.



Gambar 4.4 Pengaruh laju aliran massa terhadap daya *PV/T* pada temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan.



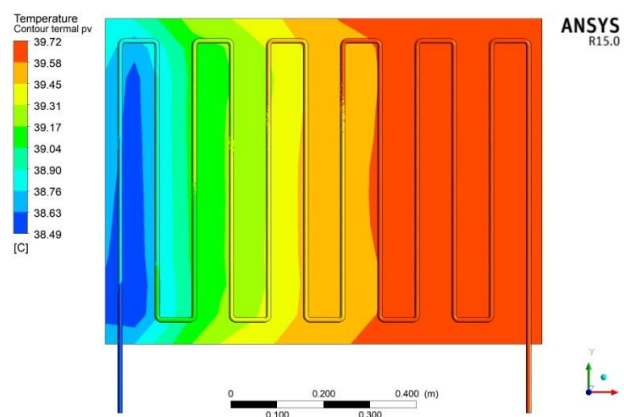
Gambar 4.5 Pengaruh temperatur permukaan *photovoltaic* terhadap efisiensi elektrik *photovoltaic* pada fluida masuk di atas temperatur lingkungan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dengan temperatur fluida masuk di bawah lingkungan, laju aliran massa fluida 0.015 kg/s dan temperatur permukaan *photovoltaic* 46.76 °C mampu meningkatkan efisiensi listrik *photovoltaic* mencapai 7% dibandingkan *photovoltaic* tanpa kolektor yang hanya memiliki efisiensi listrik 4.5%.

Selain itu dari grafik pengaruh laju aliran massa terhadap daya dapat dilihat bahwa, semakin tinggi laju aliran massa, maka semakin tinggi efisiensi listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak kalor di *photovoltaic termal* yang ikut terbuang melalui air pendingin kolektor. Sehingga temperatur permukaan *photovoltaic termal* lebih rendah dibandingkan dengan permukaan *photovoltaic* tanpa kolektor termal (Gambar 4.15) ataupun *photovoltaic* termal dengan temperatur di atas lingkungan dengan laju aliran massa fluida di bawah 0.01 kg/s dan 0.005kg/s.

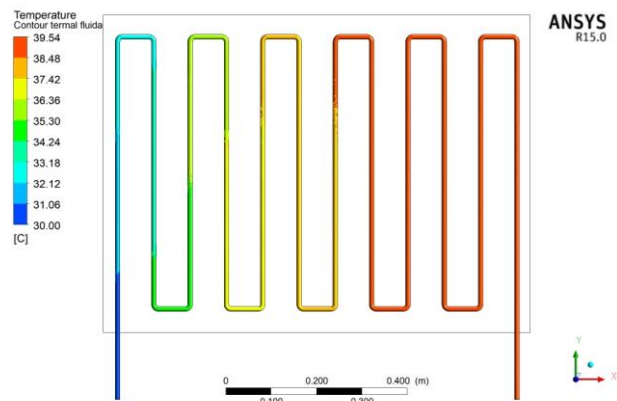
4.3 Validasi Simulasi Terhadap Hasil Data Eksperimen

Validasi data dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan pada simulasi ini cukup mewakili pengujian eksperimen. Simulasi ini dapat dikatakan valid jika hasil dari simulasi penyebaran panas pada permukaan PV/T sesuai dengan hasil pengujian eksperimen.



Gambar 4.6 Simulasi penyebaran panas pada permukaan pv/t dengan fluida masuk di bawah temperatur lingkungan dengan laju aliran massa 0.01 kg/s.

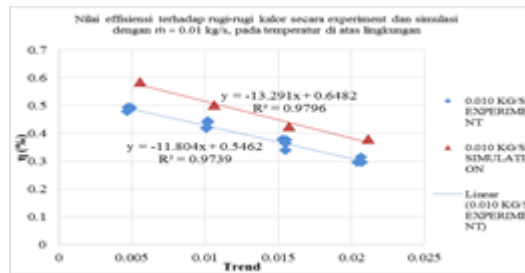
Dari gambar 4.6 di atas diperlihatkan bahwa penyebaran panas pada permukaan PV/T terjadi bertahap. Pada bagian paling kiri, permukaan berwarna biru yang menunjukkan kondisi permukaan temperatur paling rendah 39 °C dan semakin ke kanan permukaan PV/T berwarna hijau, kuning, jingga dan merah pada suhu 40°C.



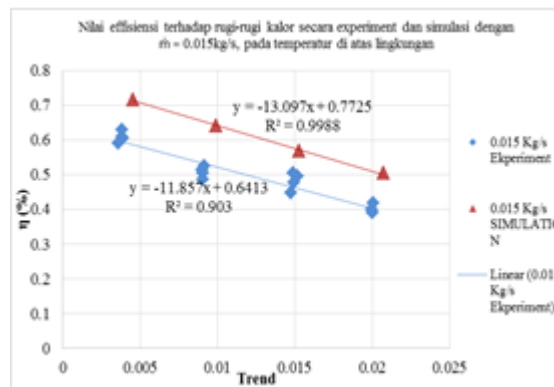
Gambar 4.7 Simulasi kenaikan temperatur pada laju aliran massa fluida 0.01 kg/s

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa dari simulasi kenaikan temperatur pada fluida dengan laju 0.01 kg/s

menghasilkan proses kenaikan temperatur fluida dengan temperatur permukaan PV/T berbanding terbalik. Hal ini berarti saat temperatur fluida semakin tinggi maka penyerapan kalor pada permukaan PV/T semakin menurun.



Gambar 4.8 Perbandingan nilai efisiensi terhadap rugi rugi kalor secara experimental dan simulasi dengan $\dot{m} = 0.01\text{kg/s}$, pada temperatur di atas lingkungan.



Gambar 4.9 Perbandingan nilai efisiensi terhadap rugi rugi kalor secara experimental dan simulasi dengan $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$, pada temperatur di atas lingkungan.

Dari Gambar 4.8 dan 4.9 hasil grafik perbandingan uji eksperimental dan simulasi dengan $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$, pada temperatur di atas lingkungan dapat dilihat kedua grafik linier dan tidak saling bertolak belakang. Sehingga dapat dikatakan simulasi dapat mewakili uji eksperimental dan kita bisa memakai simulasi untuk mempermudah pengembangan penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian unjuk kerja kolektor surya *hybrid PV/T* pelat datar tipe aliran *serpentine* menggunakan standar pengujian thermal *EN 12975*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan variasi temperatur fluida masuk di bawah dan di atas temperatur lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi zero pada kolektor surya *hybrid (PV/T)*.
2. Koefisien rugi-rugi kalor ketika temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan memiliki nilai lebih besar $2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ jika dibandingkan dengan fluida masuk di atas temperatur lingkungan saat laju aliran massa fluida 0.015 kg/s .

3. Efisiensi elektrik lebih tinggi 1 % dengan temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan jika dibandingkan dengan fluida masuk di atas temperatur lingkungan saat laju aliran massa fluida 0.015 kg/s.
4. Efisiensi pada elektrik kolektor surya *hybrid (PV/T)* mengalami peningkatan sebesar 2.5 % dari efisiensi elektrik *photovoltaic* tanpa kolektor *thermal*.
5. Simulasi penyebaran *thermal* permukaan dan aliran massa fluida pada *PV/T* menggunakan simulasi *CFD* dapat mewakili uji eksperimen.

