



Unjuk Kerja Termal Kolektor Surya PV/T Bersirip Menggunakan Metode *Computing Fluid Dynamic*

Amrizal Nalis^{1*}, Muhammad Irsyad², Ahmad Yonanda³, Rizal Khairudin⁴

^{1, 2, 3, 4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

^{1, 2, 3, 4}Jln. Soemantri Brojonegoro, No.1 Gedongmeneng, Bandar Lampung, Indonesia, 35145

E-mail: amrizal@eng.unila.ac.id¹, muhammad.irsyad@eng.unila.ac.id², ahmad.yonanda@eng.unila.ac.id³, rizalkhairudin7@gmail.com⁴

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 29 April 2023

Direvisi: 13 Juni 2023

Diterima: 14 Juni 2023

Kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T) adalah sebuah kolektor surya yang dapat menghasilkan energi listrik dan energi termal secara bersamaan. Namun energi termal tersebut dapat meningkatkan suhu permukaan PV sehingga dapat menurunkan efisiensi listrik. Untuk mengatasi hal tersebut diantaranya dapat digunakan kolektor termal bersirip yang ditempatkan dibawah permukaan PV yang lebih dikenal dengan kolektor PV/T. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan unjuk kerja termal kolektor PV/T dengan menggunakan sirip jenis *staggered* dan udara sebagai fluida kerja. Geometri sirip dan laju aliran massa udara divariasikan masing-masing (25–50) mm dan (12–48) g/s. Dalam penelitian ini metode *Computing Fluid Dynamic* (CFD) diimplementasikan dan besar radiasi termal yang digunakan adalah 860 W/m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahwa jika dibandingkan dengan tinggi sirip 25 mm maka terjadi penurunan suhu rata-rata permukaan PV/T masing-masing secara berturut turut sebesar 7.04 % untuk tinggi sirip 37.5 mm dan 11.9 % untuk tinggi sirip 50 mm. Dengan demikian pendinginan permukaan PV/T yang lebih besar terjadi pada tinggi sirip 50 mm akibat peningkatan luas bidang perpindahan panas.

Abstract

Keywords:

photovoltaic;

thermal;

fins;

staggered;

CFD

Photovoltaic Thermal (PV/T) collector is a device that can produce electrical energy and thermal energy simultaneously. However, the thermal energy increases the surface temperature of the PV and therefore it may reduce electrical efficiency. To overcome this problem, a finned thermal collector should be joined underneath the PV surface. The aim of this study is to simulate the thermal performance of a PV/T collector by using staggered fins with air as a working fluid. The parameters are varied from 25 to 50 mm in the fin geometry and from 12 to 48 g/s in air mass flow rate, respectively. Furthermore, the heat radiation used was 860 W/m² and Computing Fluid Dynamic (CFD) method was implemented in this research. The results showed that the PV/T surface temperature decreased by 7.04 % for the fin height of 37.5 mm and 11.9 % for the fin height of 50 mm when compared to the fin height of 25 mm. Thus, a greater cooling of the PV/T surface occurs in the fin height of 50 mm due to an increase in the heat transfer area which might absorb more of the unused thermal energy in comparison with others.

*Penulis korespondensi:

Amrizal Nalis

E-mail: amrizal@eng.unila.ac.id

1. Pendahuluan

Matahari mempunyai pancaran gelombang elektromagnetik berupa cahaya dan panas yang sering disebut sebagai radiasi matahari. Energi yang dipancarkan matahari merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat dijadikan sebagai energi alternatif untuk menggantikan energi konvensional seperti batu bara, minyak bumi dan gas bumi. Sementara itu, Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa memiliki tingkat intensitas radiasi matahari yang cukup tinggi. Salah satu upaya dalam pemanfaatan potensi energi matahari adalah dengan penggunaan panel surya (PV) yang dapat merubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Namun terdapat kelemahan ketika terjadi peningkatan temperatur operasi PV akibat paparan sinar matahari secara terus menerus. Kondisi ini menyebabkan penurunan efisiensi listrik sebesar 0,45% setiap kenaikan temperatur kerja sebesar 1 °C [1].

Upaya dalam memaksimalkan efisiensi listrik dari PV diantaranya adalah dengan penggunaan secara bersamaan PV dengan kolektor termal yang lebih dikenal dengan kolektor PV/T [2-3]. Pada kolektor PV/T ini dapat digunakan air [4-5] dan udara [6-8] sebagai fluida kerja. Penggunaan fluida air dianggap lebih efisien dibandingkan dengan fluida udara namun terdapat kelemahan dimana seringkali terjadi kebocoran pada bagian lintasan dan sambungan pipa [2]. Selanjutnya, Amrizal dkk juga melakukan penelitian tentang simulasi penggunaan absorber dengan bentuk penampang saluran berbeda dengan air sebagai fluida kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan saluran persegi mampu meningkatkan efisiensi termal kolektor PV/T dibandingkan dengan penggunaan pipa bundar [9].

Jenis aliran udara pada suatu sistem kolektor PV/T dapat berupa aliran single pass dan aliran double pass [10-11]. Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh pendinginan permukaan PV dengan udara sebagai fluida kerja dapat digunakan tambahan area perpindahan panas dalam bentuk sirip. Dalam hal ini bentuk sirip (*fin*) yang biasa digunakan ada beberapa jenis antara lain *rectangular fin*, *parabolic fin*, *triangular fin* dan *pin fin* [12]. Penambahan area perpindahan panas dengan jenis sirip *rectangular fin* lebih mudah dalam proses pembentukannya dibandingkan dengan jenis sirip yang lainnya.

Salah satu yang mendorong untuk dilakukan penelitian ini adalah masih sedikit literatur yang tersedia berkaitan dengan daerah kawasan ekuator dan kolektor PV/T bersirip. Selain itu penelitian yang telah dilakukan Amrizal dkk [10] menjelaskan bahwa penggunaan sirip *rectangular* jenis *straight fins* sebagai *thermal absorber* pada aliran fluida *single pass* terbukti mampu menyerap panas sisa pada kolektor PV/T. Namun temperatur permukaan kolektor yang dihasilkan masih tergolong tinggi yaitu dalam rentang 52-65 °C.

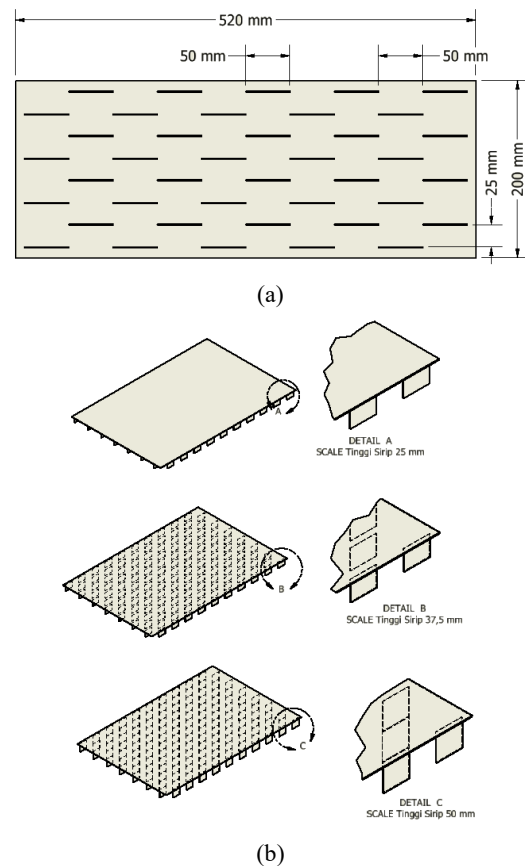
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan unjuk kerja termal kolektor PV/T dengan jenis sirip *rectangular* bertingkat (*staggered*) yang diharapkan dapat mengarahkan aliran fluida lebih merata ke berbagai sisi-sisi dari sirip sehingga lebih baik dalam menurunkan temperatur permukaan kolektor PV/T. Proses simulasi dalam penelitian ini juga diperlukan untuk melengkapi pengujian secara eksperimen yang akan dilakukan pada tahap berikutnya.

Proses simulasi dengan penggunaan jenis sirip ini akan lebih mudah dan sederhana untuk mengkarakterisasi unjuk kerja termal suatu kolektor PV/T. Dalam penelitian ini fluida kerja yang digunakan adalah udara yang disesuaikan dengan iklim tropis Indonesia. Proses simulasi menggunakan bantuan perangkat lunak *Computing Fluid Dynamic (CFD)* yang disimulasikan berdasarkan variasi ketinggian sirip dan laju aliran massa fluida untuk mengetahui karakter termal dari kolektor PV/T.

2. Metode

2.1. Geometri Sirip *Staggered*

Geometri PV/T sirip pada penelitian ini menggunakan sirip lurus yang berbentuk *staggered* seperti terlihat pada Gambar 1a. Ukuran pelat absorber adalah 520 mm x 200 mm dimana panjang dan ketebalan sirip adalah 50 mm dan 1 mm. Jarak antar baris sirip diatur menjadi 50 mm. Sementara itu Gambar 1b menginformasikan tiga variasi pelat absorber dengan ketinggian sirip yang berbeda masing-masing adalah 25 mm; 37,5 mm dan 50 mm.



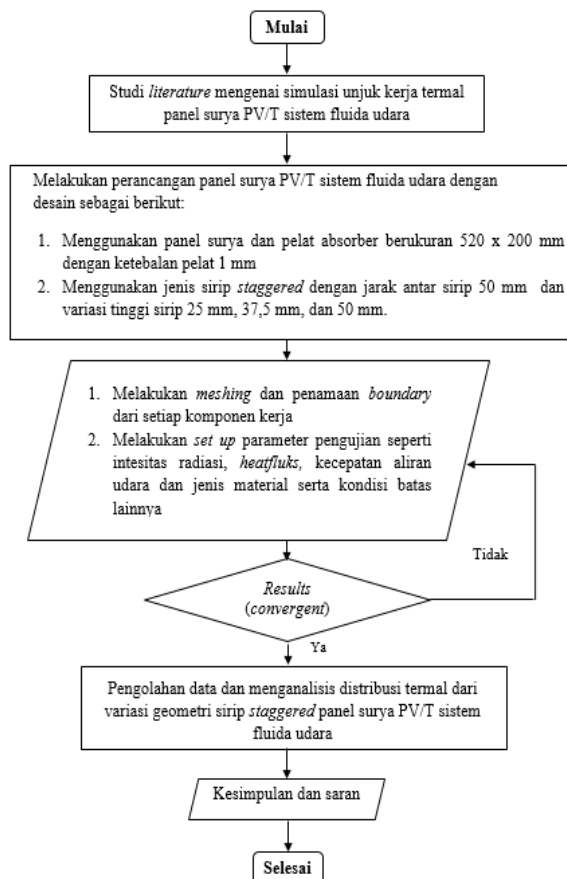
Gambar 1. Bentuk geometri sirip *staggered* (a) jarak antar baris sirip dan antar sirip, (b) variasi tinggi sirip 25 mm; 37,5 mm dan 50 mm.

2.2. Metode CFD

Proses simulasi menggunakan bantuan *software* CFD yaitu *Ansys Student Version* [13]. Gambar 2 menjelaskan alur proses simulasi yang dilakukan pada penelitian ini. Proses ini diawali dari desain dengan CAD dan diakhiri dengan hasil simulasi.



Gambar 2. Alur proses simulasi unjuk kerja kolektor surya PV/T



Gambar 3. Flow chart penelitian

Secara umum tahap proses simulasi yang dilakukan pada Program Ansys terdiri dari *pre-processing*, *solution* dan *post-processing*. Tahap *pre-processing* meliputi proses untuk menginput geometri yang telah dirancang pada Software Autodesk Inventor ke dalam Ansys Student Version. Desain PV dan sirip jenis *staggered* seperti yang terlihat pada Gambar 1a diinputkan ke dalam proses Ansys Program. Tahap berikutnya adalah memberikan penamaan serta

penentuan material pada setiap geometri yang dimulai dari fluida kerja (udara), sirip jenis *staggered*, pelat absorber hingga panel surya (PV). Kemudian proses *meshing* dengan menggunakan jenis *meshing heksahedron*.

Sementara itu proses *solution* berkaitan dengan kegiatan input terhadap fluida kerja dengan nilai temperatur serta variasi laju aliran massa. Kemudian proses berikutnya adalah menentukan permukaan sistem dan menginput nilai radiasi serta melakukan isolasi termal (*insulated*) pada bagian sistem. Simulasi yang dilakukan menggunakan batasan konvergen dengan jumlah iterasi serta dengan batasan nilai ketelitian tertentu. *Post-processing* adalah tahap akhir dari simulasi yang menampilkan kontur warna sehingga dapat dianalisis dan dikembangkan seperti yang diilustrasikan pada hasil simulasi dalam Gambar 2.

Selanjutnya Gambar 3 menjelaskan alur penelitian secara umum dan diawali dengan persiapan studi literatur. Desain model yang dibuat adalah gabungan antara sel PV dan pelat absorber yang terpasang dengan sirip jenis *staggered*. Model ini kemudian diinputkan ke Program Ansys untuk dilakukan proses *meshing* dan *set up*. Sebelum hasil simulasi diperoleh maka perlu adanya proses *run calculation* yang konvergen untuk memenuhi persyaratan. Jika proses simulasi telah memenuhi persyaratan tersebut maka dilakukan perbandingan dan analisa dari hasil yang diperoleh. Selanjutnya hasil *simulasi* dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5-6.

2.3. Persamaan Kestimbangan Energy

Pada penelitian ini menggunakan kesetimbangan energi yang tertera pada persamaan 1 [14]:

$$Q_u Q_u = AF'[(\tau\alpha)G - U_L(T_m - T_a)] \quad (1)$$

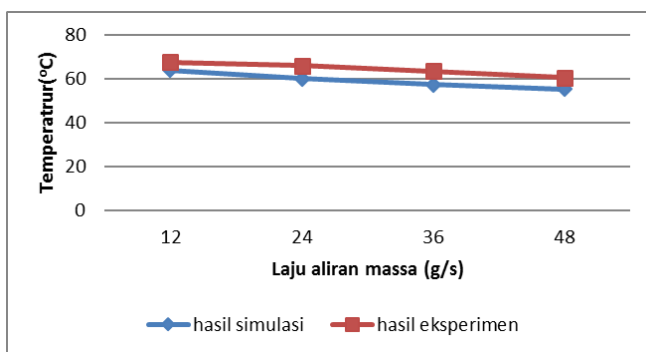
dimana $Q_u Q_u$ adalah energi berguna, A adalah luas kolektor, $\tau\alpha$ adalah zero loss efficiency untuk radiasi global normal terhadap permukaan, G adalah intensitas radiasi matahari, F' adalah faktor efisiensi dari kolektor, U_L adalah koefisien rugi termal menyeluruh, T_a adalah temperatur lingkungan, T_m adalah temperatur fluida rata-rata dari temperatur fluida dibagian masuk dan keluar dari kolektor.

3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil simulasi berupa temperatur fluida dan temperatur permukaan PV berdasarkan variasi ketinggian sirip dan laju aliran massa fluida kerja ditampilkan pada Tabel 1. Sedangkan dalam Gambar 4 disajikan data perbandingan antara hasil simulasi dan hasil eksperimen yang diperlukan untuk proses validasi. Selanjutnya beberapa parameter awal berupa temperatur udara masuk dan radiasi masing-masing disesuaikan dengan temperatur daerah tropis Indonesia berkisar 30 °C dan 860 W/m² [15].

Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil eksperimen seperti digambarkan pada Gambar 4. Proses ini dibutuhkan untuk meyakinkan bahwa Program Software yang digunakan dapat mewakili karakteristik unjuk kerja kolektor PV/T untuk berbagai kondisi pengujian. Data eksperimen diperoleh dari pengujian

unjuk kerja termal kolektor PV/T secara *indoor* menggunakan *solar simulator*. Fluida kerja dialirkan dengan *blower* yang selanjutnya disirkulasikan melewati sirip saluran bawah permukaan PV/T. Permukaan PV yang disinari oleh lampu simulator dapat meningkatkan suhu PV yang kemudian panasnya diserap oleh fluida kerja. Hasil data eksperimen kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi pada kondisi batas yang sama dan selanjutnya dianalisis perbedaan diantara kedua hasil eksperimen dan simulasi. Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan hasil antara simulasi dan eksperimen kurang dari 8%. Hasil perbedaan ini mengindikasikan program simulasi yang dipilih dapat digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya hasil pengembangan simulasi terhadap karakteristik kolektor PV/T bersirip jenis *staggered* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 5-6.



Gambar 4. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen

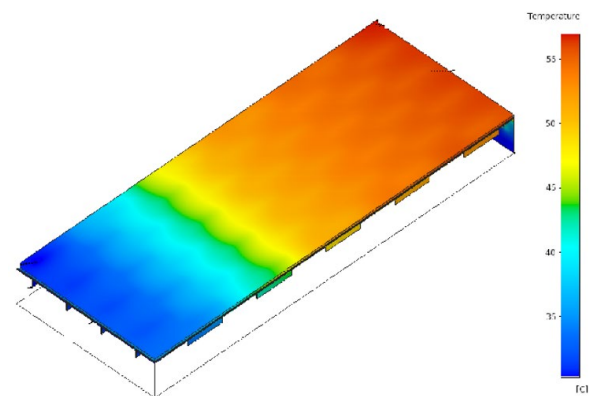
Tabel 1. Hasil pengujian PV/T sirip *staggered* dengan variasi tinggi sirip dan laju aliran massa fluida

m (g/s)	Tinggi sirip (mm)	Temperatur (°C)	
		Fluida out	Permukaan PV
12	25	35,79	57,54
	37,5	35,58	51,66
	50	35,60	48,01
24	25	32,95	49,20
	37,5	32,87	45,39
	50	32,85	43,04
36	25	31,99	45,27
	37,5	31,93	42,41
	50	31,92	40,64
48	25	31,50	42,89
	37,5	31,46	40,58
	50	31,48	39,31

Berkaitan dengan karakteristik termal dari kolektor PV/T seperti terlihat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin besar variasi ketinggian sirip maka temperatur permukaan PV/T semakin rendah akibat penyerapan panas oleh udara yang semakin tinggi. Sementara itu semakin besar laju aliran massa fluida juga menyebabkan temperatur permukaan PV/T semakin rendah.

Secara umum hasil simulasi berdasarkan kontur dan distribusi temperatur dari masing-masing permukaan kolektor serta permukaan sirip mempunyai kemiripan dan kecenderungan yang sama untuk semua variasi pengujian namun mempunyai besaran yang berbeda seperti disajikan secara lengkap pada Tabel 1. Berdasarkan kondisi tersebut maka penyajian kontur dan distribusi temperatur permukaan

kolektor PV/T dapat diwakili oleh salah satu variasi sirip seperti terlihat pada Gambar 5 (*tinggi sirip 25 mm dengan laju aliran massa fluida 36 g/s*). Gambar 5 menunjukkan kontur temperatur permukaan PV/T berdasarkan perbedaan warna sesuai skala temperatur. Pada daerah awal permukaan PV/T mempunyai warna biru yang menggambarkan suhu permukaan PV/T mendekati suhu fluida kerja masuk. Sementara bagian ujung dekat dengan daerah keluar fluida kerja mempunyai warna merah yang menggambarkan suhu permukaan PV/T lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan yang lainnya. Hal ini disebabkan karena fluida kerja lebih banyak menyerap panas sisa dari permukaan PV/T pada daerah awal PV/T atau bagian awal masuk fluida kerja.



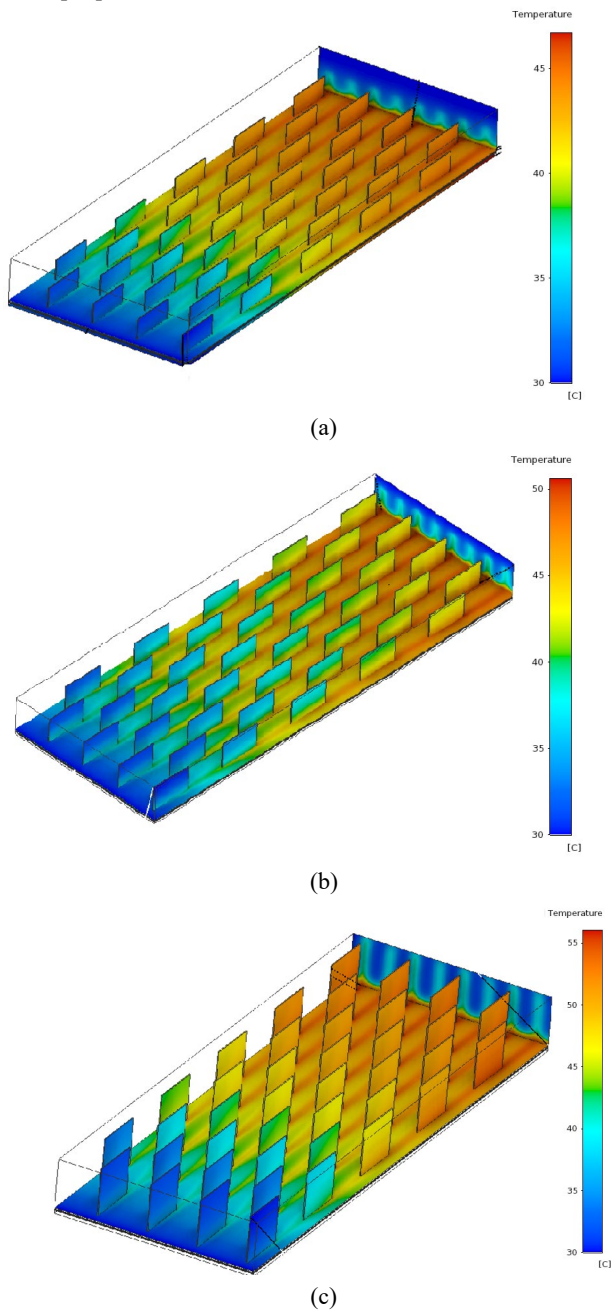
Gambar 5. Kontur hasil simulasi temperatur permukaan PV/T dengan tinggi sirip *staggered* 25 mm dengan laju aliran massa fluida 36 g/s.

Dari Tabel 1 dan Gambar 5 juga dapat diketahui bahwa temperatur tertinggi permukaan PV/T adalah 57,54°C yang terjadi dari hasil simulasi dengan tinggi sirip 25 mm dan laju aliran massa 12 g/s. Temperatur terendah dari permukaan panel PV/T adalah 39,31°C yang terjadi pada tinggi sirip 50 mm dan laju aliran massa 48 g/s. Ketika laju aliran massa udara meningkat empat kali lipat, temperatur permukaan panel rata rata mengalami penurunan sebesar 21,7% dari kondisi awal. Karakteristik ini terjadi seiring adanya peningkatan laju aliran massa fluida maka pergerakan udara akan semakin cepat dan lebih besar sehingga mengakibatkan panas yang terbawa oleh udara semakin besar.

Berkaitan dengan ketinggian sirip, ketika tinggi sirip menjadi 50 mm terjadi penurunan temperatur permukaan sebesar 11,9 % jika dibandingkan dari kondisi awal untuk setiap laju aliran massa. Penurunan temperatur permukaan PV/T dengan seiring bertambahnya tinggi sirip dapat terjadi karena penambahan luas area permukaan yang bersentuhan dengan udara yang mengakibatkan peningkatan pendinginan permukaan PV/T[12].

Gambar 6(a-c) dengan aliran massa fluida 36 g/s merupakan hasil distribusi temperatur yang terjadi pada sekitar permukaan sirip dan pelat absorber. Temperatur permukaan sirip menjadi lebih rendah ketika ketinggian sirip bertambah. Hal ini dapat dilihat dari skala temperatur maksimum untuk ketinggian 50 mm adalah sekitar 45 °C jika dibandingkan dengan ketinggian 25 mm yang memberikan skala temperatur 55 °C. Sekali lagi, kondisi ini disebabkan

oleh peningkatan luas area perpindahan panas sehingga penyerapan panas sisa pada permukaan PV menjadi lebih besar[16].



Gambar 6. Kontur distribusi temperatur sirip staggered untuk laju aliran massa fluida 36 g/s (a) tinggi sirip 50 mm, (b) tinggi sirip 37,5 mm, (c) tinggi sirip 25 mm.

Hasil penelitian ini menunjukkan terjadi penurunan temperatur permukaan kolektor PV/T yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya[10] dan untuk tahap selanjutnya perlu dilakukan pengujian dan pembuktian secara eksperimen.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi unjuk kerja termal dari PV/T sirip staggered sudah dianalisa secara detail berdasarkan perbedaan ketinggian sirip dan laju aliran massa fluida kerja.

Referensi [1] menyatakan bahwa penurunan suhu permukaan PV menyebabkan peningkatan efisiensi listrik. Selanjutnya, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sirip pada kolektor PV sebagai thermal absorber dapat menyerap panas sisa pada permukaan PV sehingga terjadi penurunan temperatur permukaan kolektor PV/T masing-masing untuk tinggi sirip 37,5 mm sebesar 7.04 % dan ketika tinggi sirip 50 mm sebesar 11.9 % dari kondisi awal. Penurunan temperatur permukaan kolektor PV/T ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi listrik PV sekaligus mengindikasikan adanya potensi penggunaan jenis sirip staggered berbagai ketinggian sirip pada kolektor PV/T untuk kondisi iklim tropis di Indonesia dan perlu dikembangkan dan diaplikasikan lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- [1] T.T. Chow, "A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology," *Applied Energy*, 87, pp. 365–379, (2010), <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.037>
- [2] Jia, Yuting, Guruprasad Alva, and Guiyin Fang, "Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 102: 249-265 (2019).
- [3] Hafid El Kharaz, Kaoutar Khallaki, M. Saddik Kadiri, Khadija Chaukairy." Performance's Improvement Methods of PV Solar Panel by Different & Cooling Systems: A Review of Experimental and Numerical Studies". *AIP Conference Proceedings* 2345, 020039 (2021)
- [4] Tomar V, Tiwari GN, Bhatti TS, Norton B. Thermal modeling and experimental evaluation of five different photovoltaic modules integrated on prototype test cells with and without water flow. *Energy Convers Manag* 2018;165:219–35. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.039>
- [5] S. Misha, Amira Lateef Abdullah, N. Tamaldin, M.A.M. Rosli, F.A. Sachit, "Simulation CFD and experimental investigation of PVT water system under natural Malaysian weather conditions." *Energy Reports* 6 28–44 (2020)
- [6] Ahmet Numan Özakin, Ferhat Kaya, Effect on the exergy of the PVT system of fins added to an air-cooled channel: A study on temperature and air velocity with ANSYS Fluent, *Solar Energy*, Volume 184, (2019): 561-569, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.100>
- [7] Wenke Fan, Georgios Kokogiannakis, Zhenjun Ma, Paul Cooper "Development of a dynamic model for a hybrid photovoltaic thermal collector–Solar air heater with fins" *Renewable Energy*, Volume 101, (2017): 816-834, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.039>
- [8] Mohamed Fterich, Houssam Chouikhi, Sadoth Sandoval-Torres, Hatem Bentaher, Ahmed Elloumi, Aref Maalej, "Numerical simulation and experimental characterization of the heat transfer in a PV/T air collector prototype" *Case Studies in Thermal Engineering* 27 101209 (2021)
- [9] Amrizal, et al, " Simulasi unjuk kerja kolektor surya PV/T berdasarkan bentuk penampang pipa absorber," *Journal of Science and Applicative Technology* Vol.5 (1), pp. 245-252, 2021 DOI: <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.375>.
- [10] Amrizal, Y P Hidayat and M Irsyad." Performance comparison of single and double pass PV/T solar collectors integrated with rectangular plate fin absorber," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 1173, IC-STAR (2020)
- [11] Satyender Singh,"Thermohydraulic performance of double pass solar thermal collector with inline, staggered and hybrid fin configurations", *Journal of Energy Storage*, Volume 27,

- (2020), 10.1016/j.est.2019.101080
- [12] Incropera, F.P. “ Fundamental of Heat and Mass Transfer. ” Sixth Edition. *Jhon Wiley and Sons*. New york, 2020.
- [13] Ansys Fluent Tutorial Guide, *Ansys Inc*, 2021
- [14] J.A. Duffie, W.A. Beckman and N. Blair.” Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind.” John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2020)
- [15] Amrizal, Amrul, Warih Winardi, Joko Prasetyo, Muhammad Irsyad,” Performance Analysis of PV/T-TEC Collector for The Tropical Climate Conditions of Indonesia,” *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, Vol. 95 No. 2 : 72-83, (2022) <https://doi.org/10.37934/arfmts.95.2.7283>
- [16] Yogesh K. Prajapati. “ Influence of fin height on heat transfer and fluid flow characteristics of rectangular microchannel heat sink.” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 137, (2019): 1041-1052, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.04.012>