

Pengaruh Jarak antar Pipa *Absorber* terhadap Unjuk Kerja Kolektor Surya PV/T Pelat Datar Menggunakan Metode CFD

Amrizal*, Amrul, Muhammad Irsyad, Angelia E. Salsabillah

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jln. Soemantri Brojonegoro, No.1 Gedongmeneng, Bandar Lampung, Indonesia, 35145

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

Diajukan: 30-05-2022; Diterima: 08-12-2022; Diterbitkan: 23-12-2022

Abstrak

Karakteristik dari kolektor *PV* mengindikasikan bahwa kenaikan suhu operasi dapat menurunkan efisiensi listrik. Dengan demikian penggunaan kolektor jenis *PV/T* perlu diimplementasikan untuk mengatasi permasalahan ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari kolektor jenis *hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T)* baik secara termal maupun *pressure drop* berdasarkan variasi jarak antar pipa dari 43,5 mm hingga 170 mm. Parameter pengujian yang diteliti adalah temperatur keluar (T_{out}) fluida kerja, temperatur permukaan kolektor dan *pressure drop* aliran yang terjadi. Intensitas radiasi yang digunakan adalah sebesar 960,9 W/m² dengan laju aliran massa 0,01 kg/s. Penelitian ini dilakukan melalui metode simulasi *CFD*. Lebih lanjut, hasil pengembangan simulasi menunjukkan bahwa perubahan jarak antar pipa hanya mampu menurunkan temperatur fluida keluar kolektor maksimum 1 °C, sebaliknya kenaikan tekanan fluida keluar (*pressure drop*) hampir tiga kali lipat. Sementara itu kolektor dengan jarak antar pipa 43,5 mm memiliki temperatur permukaan lebih rendah dan distribusi temperatur permukaan lebih merata dibandingkan dengan dua kolektor lainnya.

Kata kunci: kolektor; *pressure drop*; termal; unjuk kerja

Abstract

The characteristic of the PV collector indicates that the increase in operating temperature can reduce the electrical efficiency. Thus, the use of PV/T type collectors needs to be implemented to overcome this problem. The purpose of this study is to determine the performance of the hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) collector both thermally and pressure drop based on variations in the tube spacing from 43.5 mm to 170 mm. The parameters studied in the present work are the fluid outlet temperature (T_{out}), the collector surface temperature and the pressure drop. The radiation intensity used is 960.9 W/m² with a mass flow rate of 0.01 kg/s. This research was conducted through the CFD simulation method. Furthermore, the results of the simulation development show that the change in the tube spacing is only able to reduce the temperature of the fluid outlet temperature to a maximum of 1 °C, on the other hand, the increase in pressure drop is almost three times. Meanwhile, the collector with a tube spacing of 43.5 mm has a lower surface temperature and a more homogeneous distribution of surface temperature compared to the other two collectors.

Keywords: collector; *pressure drop*; thermal; performance

1. Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan energi saat ini berdampak pada menipisnya cadangan bahan bakar fosil yang tersedia. Peningkatan ini berpengaruh pada tingginya laju pemanasan global yang terjadi di Indonesia akibat penggunaan energi yang berlebih dari bahan bakar fosil. Hal ini mendorong para peneliti untuk terus mengembangkan penggunaan energi pilihan lainnya. Salah satu diantaranya yang memiliki potensi cukup besar di Indonesia adalah energi matahari.

Teknologi baru yang dapat menunjang untuk pemanfaatan energi surya adalah panel surya yang mampu menangkap radiasi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Namun panel surya yang terpapar panas matahari secara langsung memicu terjadinya peningkatan temperature pada permukaan panel surya sehingga mempengaruhi efisiensi elektrikalnya. Menurut Chow dkk panel surya yang terpapar matahari secara terus-menerus dapat menurunkan efesiensi elektrikal sebesar 0,45% setiap kenaikan temperatur kerja 1°C [1].

Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut diantaranya dengan menggunakan *Photovoltaic Thermal (PV/T)* yang menggabungkan dua sistem dalam satu rangka, sehingga paparan panas yang disebabkan oleh radiasi cahaya matahari dapat dikurangi. Kolektor termal surya yang banyak dikembangkan yaitu kolektor pelat datar yang memiliki desain sederhana dan lebih mudah untuk diaplikasikan. Allan dkk menguji unjuk kerja *Photovoltaic/Thermal (PV/T)* dengan susunan pipa tipe serpentine yang memiliki nilai koefisien kehilangan panas yang lebih baik 2,9% dibandingkan tipe paralel[2].

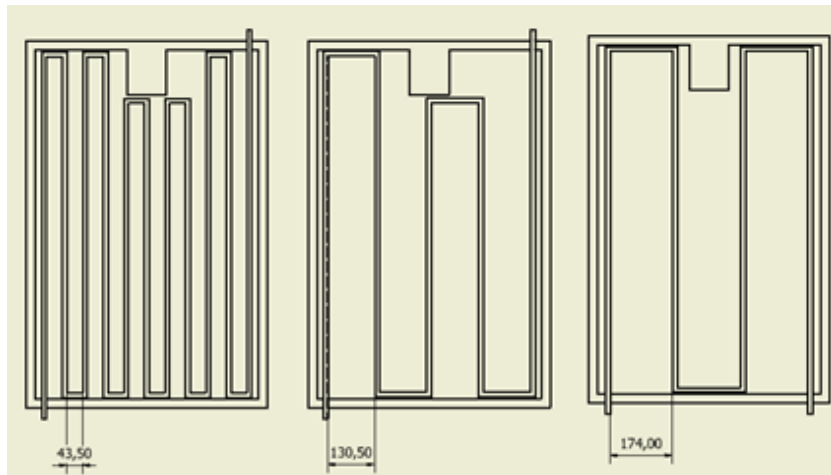
Selanjutnya pada kolektor termal dapat digunakan air dan udara sebagai fluida kerja. Penggunaan fluida air dianggap lebih efisien dibandingkan dengan fluida udara namun terdapat kelemahan dimana seringkali terjadi kebocoran pada lintasan pipa. Beberapa penelitian pendahuluan tentang kolektor PV/T dengan air sebagai fluida sudah dilakukan oleh Amrizal dkk. Penelitian ini mengembangkan metode pengujian dengan penggunaan metode aliran fluida piston dan *filtering data* [3-4]. Hasil penelitian menunjukkan adanya kesesuaian model dengan hasil eksperimen. Penelitian lain adalah karakterisasi dinamik kolektor PV/T baik secara termal maupun elektrik dengan air sebagai fluida kerja dimana hasil simulasi juga menunjukkan kesesuaian antara model dengan hasil eksperimen [5]. Amrizal dkk juga melakukan penelitian tentang simulasi penggunaan absorber dengan bentuk penampang pipa absorber berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan saluran persegi mampu meningkatkan efisiensi termal kolektor PV/T dibandingkan dengan penggunaan pipa bundar [6]. Selanjutnya pemodelan secara numerik juga dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem kolektor PV/T[7] dimana dengan meningkatkan laju aliran massa fluida kerja akan menurunkan suhu panel PV sehingga dapat meningkatkan efisiensinya. Dua model sistem PV/T dengan air sebagai fluida kerja diteliti secara eksperimental dan teoritis[8]. Amrizal dkk [9] juga melakukan simulasi penggunaan temperatur fluida kerja rata-rata pada kolektor surya mewakili temperatur permukaan absorber

Pengembangan penelitian kolektor pelat datar terus dilakukan seperti penelitian Wahyono [10] memodifikasi material serta desain dari sistem hybrid dengan bentuk saluran pipa persegi berbahan aluminium yang menghasilkan unjuk kerja termal sebesar 65,03% pada rata-rata temperatur permukaan panel 43,82°C. Dalam upaya untuk meningkatkan perpindahan panas, berbagai jenis sirip yang digunakan dapat memperluas daerah perpindahan panas [11-13]. Perubahan dari luas daerah perpindahan panas dan penambahan gangguan aliran fluida akan mempengaruhi jenis aliran sehingga mampu memberikan perbedaan efek turbulensi pada masing-masing geometri[14-15].

Berbagai hasil kajian dan penelitian yang berkaitan dengan unjuk kerja kolektor PV/T sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya namun belum tersedia referensi yang cukup diantaranya tentang pengaruh jarak antar pipa absorber dari kolektor jenis PV/T dimana penggunaan temperatur fluida kerja bagian masuk (T_{in}) berdasarkan kondisi iklim di daerah Khatulistiwa. Karakteristik kolektor jenis ini kemudian diuji berdasarkan perbedaan jarak absorber dengan menggunakan data fluida kerja dan intensitas radiasi sesuai dengan iklim daerah Lampung. Selanjutnya, karakteristik unjuk kerja yang dihasilkan dari kolektor PV/T adalah berdasarkan kemampuan perpindahan panas dan *pressure drop* yang terjadi akibat perbedaan jarak antar pipa. Jenis penampang pipa yang digunakan berbentuk persegi karena memiliki area kontak perpindahan panas yang lebih luas dengan permukaan kolektor PV/T[6]. Pengaruh jarak pipa ini memberikan informasi terhadap kemampuan kolektor PV/T untuk merespon kondisi kerja yang diberikan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *Computing Fluid Dynamic (CFD)* yang merupakan salah satu cabang ilmu dinamika fluida dengan distribusi temperatur dan tekanan yang terjadi[16] serta menggunakan *Program Ansys Student Version* [17].

2. Material dan metodologi

Desain benda uji kolektor PV/T dengan variasi geometri pipa persegi berdasarkan jarak antar pipa dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

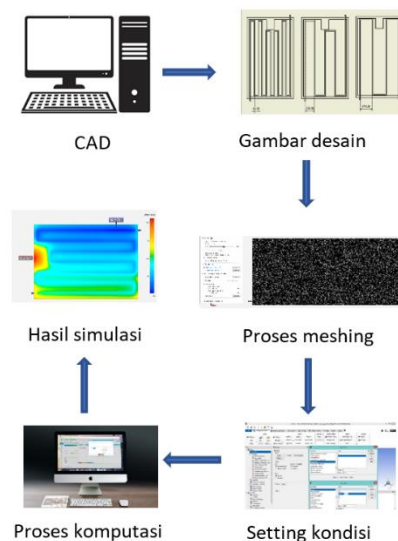


Gambar 1. Variasi geometri benda uji berdasarkan jarak antar pipa

Sementara itu proses simulasi meliputi beberapa tahap seperti *pre-processing*, *solution* dan *post-processing* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Pada tahap *pre-processing* dilakukan proses input geometri yang telah dirancang pada *software Autodesk Inventor*. Langkah utama yang dilakukan adalah memberikan penamaan serta penentuan material pada setiap geometri dimulai dari air sebagai fluida kerja, pipa aluminium, pelat absorber hingga panel surya. Kemudian dalam proses ini juga mengimplementasikan jenis meshing tetrahedron dengan ukuran meshing 2,5 mm.

Selanjutnya proses *solution* yang merupakan proses penting diantaranya melakukan input *inlet* dengan nilai temperatur 27°C serta mass flow rate 0,01 kg/s. Kemudian menentukan permukaan *heat flux* dan menginput nilai 960,6 W/m² serta melakukan isolasi termal (*insulated*) pada bagian pipa aluminium. Simulasi yang dilakukan menggunakan batasan konvergen dengan iterasi sebanyak 100 kali serta penyajian data hasil simulasi yang memiliki ketelitian sebesar 0,0001.

Tahap *post-processing* adalah menyajikan hasil akhir dari proses simulasi dengan menampilkan kontur warna yang menggambarkan karakteristik atau unjuk kerja benda uji. Seluruh proses simulasi dalam penelitian ini menggunakan *Program Ansys*.



Gambar 2. Alur proses simulasi unjuk kerja kolektor

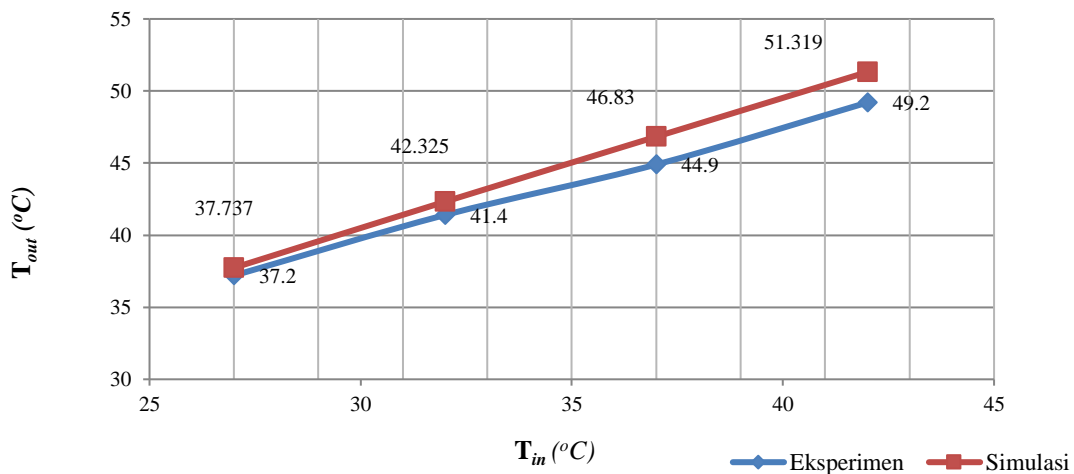
Sementara itu kesetimbangan energi yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada persamaan 1[18]:

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

dimana Q_u adalah daya (W), A merupakan area perpindahan panas permukaan kolektor (m^2), $\tau\alpha$ adalah efisiensi termal kolektor PV/T, G adalah irradiansi (W/m^2), F' adalah faktor efisiensi, U_L adalah koefisien rugi-rugi termal menyeluruh ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$), T_a adalah temperatur fluida lingkungan, T_m adalah temperatur fluida kerja rata-rata ($^\circ\text{C}$).

3. Hasil dan pembahasan

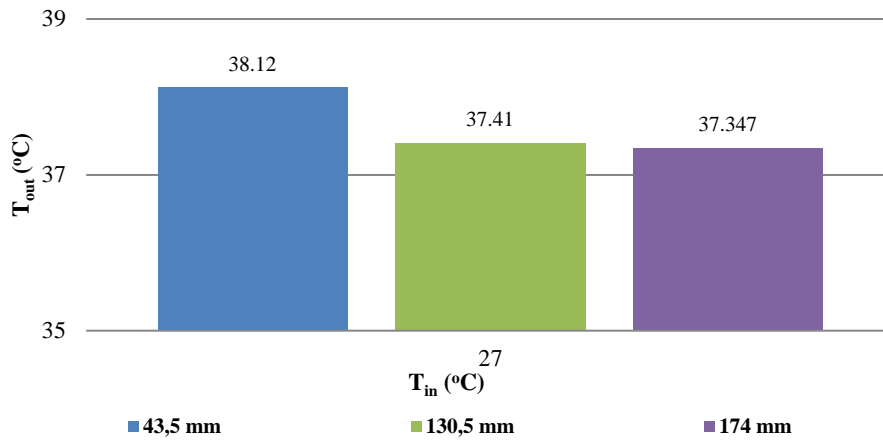
Proses validasi perlu dilakukan terhadap program *Ansys* yang digunakan dalam penelitian ini dengan membandingkan antara hasil simulasi dan hasil eksperimen[10] seperti terlihat pada Gambar 3.



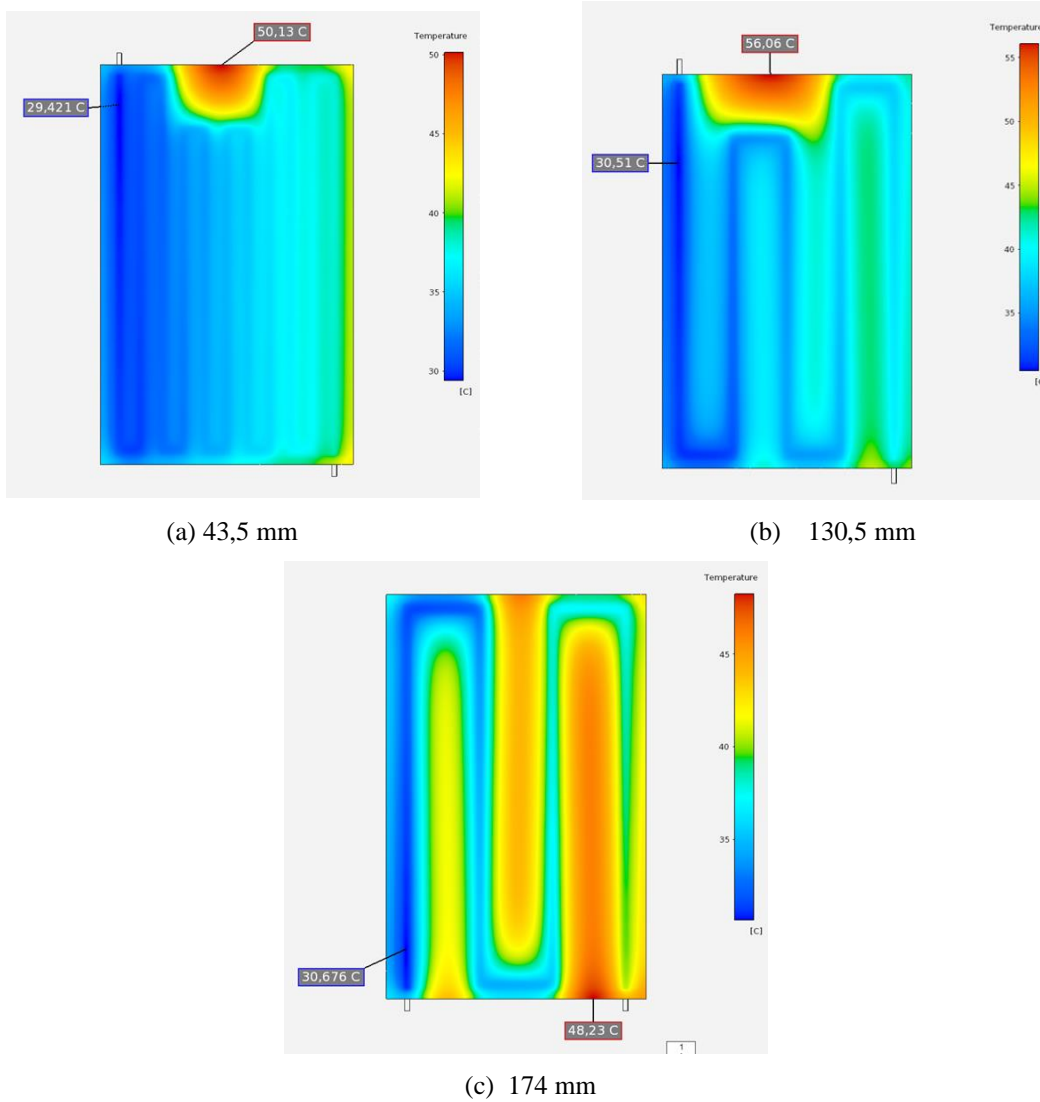
Gambar 3. Perbandingan antara hasil simulasi dengan eksperimen

Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa perbedaan hasil simulasi dengan eksperimen adalah ($< 5\%$). Dengan demikian kondisi ini menunjukkan bahwa Program simulasi yang digunakan dapat mewakili proses eksperimen. Selanjutnya simulasi dengan *Ansys Student Version* dapat digunakan dalam pengembangan karakteristik kolektor PV/T dalam penelitian ini.

Untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja kolektor PV/T dalam penelitian ini, jarak antar pipa divariasikan mulai dari 40 mm hingga 175 mm dengan laju aliran massa 0,01 kg/s. Hasil simulasi adalah berupa perbandingan dari temperatur keluar fluida berdasarkan jarak antar pipa dengan temperatur inlet fluida sebesar $27\text{ }^\circ\text{C}$ seperti dijelaskan dalam Gambar 4. Berdasarkan data hasil simulasi dimana semakin tinggi jarak antar pipa maka temperatur fluida kerja yang keluar dari kolektor (T_{out}) semakin rendah. Berdasarkan hasil referensi [15] untuk kolektor termal pelat datar dimana terjadi penurunan karakteristik unjuk kerja termal yang diwakili oleh F' terjadi ketika adanya peningkatan jarak antar pipa dan peningkatan parameter U_L yang diberikan oleh persamaan (1). Kondisi ini disebabkan oleh semakin berkurangnya area perpindahan panas dari pipa yang menyerap panas dari permukaan kolektor. Sementara itu dalam penelitian ini dimana dengan meningkatkan jarak antar pipa kolektor jenis PV/T dari 43,5 mm hingga 170 mm dapat menghasilkan penurunan temperatur fluida kerja sekitar $1\text{ }^\circ\text{C}$.



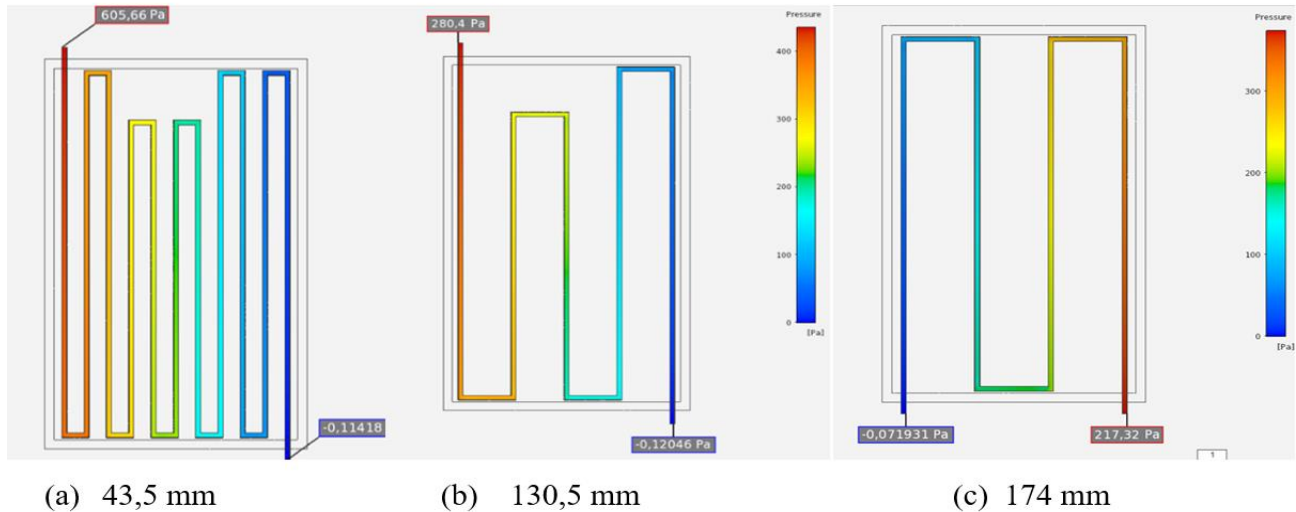
Gambar 4. Variasi temperatur fluida keluar berdasarkan jarak antar pipa



Gambar 5. Variasi temperatur permukaan kolektor PV/T berdasarkan jarak antar pipa

Sementara itu variasi jarak 43,5 mm pada Gambar 5 menampilkan kontur warna permukaan kolektor PV/T yang didominasi oleh warna biru gelap menuju biru terang. Warna biru ini menandakan bahwa panas pada permukaan kolektor PV/T telah diserap secara maksimal oleh fluida. Area warna biru ini lebih dominan dibandingkan dengan dua kolektor PV/T lainnya (130,5 mm dan 174 mm). Kondisi ini disebabkan oleh pengurangan jarak antar pipa maka membuat peningkatan panjang lintasan fluida kerja sehingga penyerapan panas dapat lebih maksimal. Kondisi ini menyebabkan temperatur pada permukaan kolektor PV/T akan turun dibandingkan dengan dua kolektor lainnya. Sebaliknya kolektor dengan jarak antar pipa 174 mm memiliki kontur warna merah yang lebih dominan yang mengindikasikan temperatur permukaan kolektor lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor lainnya.

Berkaitan dengan tekanan fluida yang melewati ketiga jenis kolektor, nilai tekanan fluida keluar yang dihasilkan oleh jarak antar pipa 43,5 mm memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan dua kolektor lainnya. Hal ini disebabkan oleh belokan pipa yang lebih banyak untuk kolektor dengan jarak antar pipa 43,5 sehingga meningkatkan gesekan yang terjadi antara fluida kerja dengan belokan pipa. Pada jarak 43,5 mm menampilkan hasil kontur tekanan fluida yang cukup tinggi dan grafik perbandingan hasil kontur tekanan fluida berdasarkan variasi jarak antar pipa dapat dilihat pada Gambar 6. Dengan perubahan jarak antar pipa dari 174 mm ke 43,5 mm dapat meningkatkan perubahan tekanan hingga 278 % atau hampir tiga kali lipat. Perubahan tekanan yang tinggi ini menghasilkan perubahan kontur temperature pada permukaan PV. Namun distribusi suhu permukaan PV pada jarak pipa rapat terlihat lebih merata dibandingkan dengan kontur temperatur permukaan PV lainnya seperti diilustrasikan pada Gambar 5. Ini mengindikasikan proses pendinginan permukaan PV pada pipa absorber yang rapat menjadi lebih baik untuk dapat meningkatkan efisiensi listrik sesuai referensi[1]. Namun biaya pemompaan untuk mengalirkan fluida kerja akibat adanya peningkatan *pressure drop* terjadi kenaikan dengan demikian sekaligus akan menaikkan biaya operasi.



Gambar 6. Variasi tekanan fluida kerja berdasarkan jarak antar pipa

4. Kesimpulan

Data yang berkaitan dengan unjuk kerja termal dan *pressure drop* kolektor PV/T didapatkan dari hasil simulasi yang dilakukan dengan Program *Ansys*. Jarak antar pipa pada kolektor PV/T divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai temperatur keluar (T_{out}) fluida kerja, temperatur permukaan kolektor dan *pressure drop* aliran yang terjadi. Perubahan jarak antar pipa dari 174 mm hingga 43,5 mm hanya mampu menurunkan temperatur fluida keluar kolektor 1 °C, sebaliknya menaikkan tekanan fluida keluar (*pressure drop*) hampir tiga kali lipat. Sementara itu kolektor dengan jarak

antar pipa 43,5 mm memiliki temperatur permukaan lebih rendah dan distribusi temperatur permukaan lebih merata dibandingkan dengan dua kolektor lainnya. Hasil ini menginformasikan bahwa jarak antar pipa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distribusi dan penurunan temperatur permukaan kolektor PV/T serta *pressure drop* yang terjadi. Namun, semakin tinggi nilai tekanan fluida keluar dari kolektor maka akan terjadi pemborosan energi pompa dalam mendistribusikan fluida kerja.

Daftar Pustaka

- [1] Chow T.T., Hand J.W., Strachan P.A., Building-integrated PV and thermal applications in a subtropical hotel building. 2003.
- [2] Allan, James. D. Zahir, Mauricette., Performance Testing of Thermal and Photovoltaic Thermal Solar Collectors. School of Engineering and Design Brunel University; 2015.
- [3] N. Amrizal, D. Chemisana, J.I. Rosell, J. Barrau., A dynamic model based on the piston flow concept for the thermal characterization of solar collectors. Applied Energy. 2012; 94: pp. 244-250.
- [4] Amrizal Nalis, Daniel Chemisana, J. I. Rosell, The Use of Filtering for the Dynamic Characterization of PV/T Flat-Plate Collectors. International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings EuroSun, Graz University, Austria. 2010.
- [5] N. Amrizal, D. Chemisana, J. I. Rosell., Hybrid Photovoltaic-Thermal Solar Collector Dynamic Modelling. Applied Energy. 2013;101: pp. 797-807.
- [6] Amrizal, Amrul, Ahmad Yonanda., Simulasi unjuk kerja kolektor surya PV/T berdasarkan bentuk penampang pipa absorber. Journal of Science and Applicative Technology. 2021; 5 (1): pp. 245-252
- [7] M. Boubekri, A. Chaker, A. Cheknane., Numerical approach for performance study of hybrid PV/Thermal collector. Revue des Energies Renouvelables. 2008;12: pp. 388-315
- [8] S. Dubey, A.A. Tay., Testing of two different types of photovoltaic–thermal (PV/T) modules with heat flow pattern under tropical climatic conditions. Energy for Sustainable Development. 2013;17: pp. 1-12.
- [9] Amrizal, Simulasi unjuk kerja termal kolektor surya pelat datar dengan pendekatan temperature fluida kerja. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, (SNTTM) XIII, Teknik Mesin Universitas Indonesia; 2014. ISBN 978-602-9841-23-7.
- [10] Wahyono, Danar Sri., Peningkatan Unjuk Kerja Kolektor Surya Photovoltaic/Termal (PV/T) Menggunakan Saluran Pipa Persegi. Skripsi Teknik Mesin Universitas Lampung; 2020.
- [11] Moustafa A.D., Darron W.D.H., CFD Analysis of a One Pass Photovoltaic/Thermal Air System with and without Offset Stip Fins. EDP Sciences: United Kingdom; 2018.
- [12] Elsafi A., Gandhidasan P., Performance of a Photovoltaic Thermal Double Pass Solar Air Heater with Different Fin Configuration. Journal of Clean Energi Technologies; 2015.
- [13] Rosen, M.A., Kumar, R., Performance of a Photovoltaic/Thermal Solar Air Heater: Effect of Vertical Fin on a Double Pass System. International Journal of Energi and Enviromental Engineering; 2011.
- [14] Vinoth, R., Enhancement of Heat Transfer Rate in a Solar Flat Plate Collector Using Twisted Tapes and Wire Coiled Turbulators. World Academy of Science; 2014.
- [15] Duffie, J.A., W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes. New York: John Wiley and Sons; 2020.

- [16] Mahdi, M.A., A. Smaili, Numerical investigations of thermal behaviour of a HAWT using Ansys Fluent. Berlin: Elsevier Ltd; 2017.
- [17] Ansys Fluent Tutorial Guide, Ansys Inc; 2021.
- [18] Incropera, F.P., Fundamental of Heat and Mass Transfer. Sixth Edition. New York: Jhon Wiley and Sons; 2020.