

SIMULASI NUMERIK PENGARUH DIAMETER DAN KECEPATAN ALIRAN TERHADAP PERFORMANSI SINGLE SERPENTINE CHANNEL PADA PV

Anak Agung Adhi Suryawan¹, I Gede Nengah Wika Gunawan¹, Ketut Astawa¹, Ni Wayan Rasmini²

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, 80361, Indonesia

² Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

Jalan Raya Kampus Unud, 80361, Indonesia

Nengahwika20@gmail.com¹

ABSTRAK

Penerapan energi fotovoltaik (PV) saat ini sangat masif dikarenakan hemat dan pengimplementasian energi baru terbarukan. Dalam penggunaan PV peningkatan suhu berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan secara optimal. Salah satu cara untuk menurunkan suhu PV yaitu dengan optimasi desain pada saluran pendingin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *three-factor factorial design* dimana variabel yang diatur adalah diameter sebesar 1,5 inci; 2 inci; dan 2,5 inci dan kecepatan aliran inlet sebesar 0,5 m/s; 0,6 m/s; dan 0,7 m/s, menggunakan CFD beserta perhitungan analitik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pengaturan konfigurasi diameter 2,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s menghasilkan suhu rata-rata sebesar 30,188 °C sedangkan pada konfigurasi 1,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s dengan menghasilkan suhu rata-rata sebesar 36,664 °C. Suhu menjadi lebih rendah dengan konfigurasi diameter pipa yang semakin besar serta penggunaan kecepatan fluida semakin tinggi.

Kata kunci : photovoltaic, pendinginan PV, diameter, kecepatan.

Abstract

The application of photovoltaic energy (PV) is currently very massive due to the savings and implementation of new and renewable energy. In the use of PV, an increase in temperature affects the optically generated electrical power. One way to reduce the PV temperature is by optimizing the design of the cooling channel. The method used in this research is a three-factor factorial design where the variable that is set is a diameter of 1.5 inches; 2 inches; and 2.5 inches and an inlet flow rate of 0.5 m/s; 0.6 m/s; and 0.7 m/s, using CFD along with analytical calculations. The results showed that the 2.5 inch diameter configuration with a speed of 0.7 m/s produced an average temperature of 30.188 °C while the 1.5 inch configuration with a speed of 0.5 m/s produced an average temperature of 36.664 °C. The temperature becomes lower with the larger pipe diameter configuration and the use of higher fluid velocity.

Keywords : photovoltaic, PV cooling, diameter, flow.

PENDAHULUAN

Proses implementasi PV dijumpai beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja PV yaitu *Key Performance Index* (KPI) ini menentukan kinerja dari modul PV. Beberapa faktor KPI tersebut dikarenakan cuaca, bayangan, debu, dan gas pada atmosfer [1]. Diantara efek tersebut, suhu permukaan modul PV merupakan parameter yang paling penting dimana peningkatan suhu setiap 1°C menyebabkan penurunan efisiensi sebesar 0,40%-

0,60% [2][3]. Peningkatan yang berlebihan merusak struktur material pada modul PV sehingga mengurangi umur penggunaan modul PV [4]. Peningkatan suhu juga berpengaruh pada performa dalam menghasilkan daya listrik yang optimal. Suhu PV polikristalin pada nilai 37°C menghasilkan efisiensi 13,94% sedangkan peningkatan suhu sebesar 23,4°C menurunkan efisiensi menjadi 12,9% [5]. Sehingga dapat diketahui bahwa efisiensi tertinggi pada PV dapat dicapai ketika temperatur maksimal PV adalah 37 °C. Oleh karena itu, menjadi penting untuk mengontrol agar tetap disuhu kerja

optimal. Banyak cara digunakan untuk menurunkan suhu sebuah modul PV yaitu dengan cara penambahan partikel nano pada cairan pendingin [6]; penambahan konsentrator berupa cermin untuk peningkatan pemusatan energi [7]; dan optimasi desain pada saluran pendingin [8].

Optimasi desain merupakan pilihan yang paling efisien karena variabel dan kondisi target yang ingin dicapai dapat diatur [9]. Salah satu variabel yang berperan aktif dalam menurunkan suhu adalah pengaturan besar diameter pipa untuk laju fluida, hal ini karena besar dan kecilnya diameter berpengaruh pada jumlah volume fluida serta penurunan tekanan [10]. Penggunaan optimasi desain dapat menurunkan suhu dari 39,14°C menjadi 30,67°C dengan efisiensi keseluruhan dari 66,7% menjadi 75,8% [8]. Desain bentuk pola jalur pipa juga dapat mempengaruhi terhadap proses transfer panas, salah satu inovasi yang akan digunakan adalah model *single serpentine channel*, hal ini dikarenakan model ini memungkinkan untuk mengalirkan air secara merata dan efektif. *Single serpentine channel* dapat bekerja secara efektif untuk proses transfer energi panas sehingga temperatur dapat menurun [11]. Pengaturan yang lain secara aktif berpengaruh terhadap kinerja proses pendinginan adalah pengaturan kecepatan aliran fluida, hal ini karena peningkatan kecepatan fluida menyebabkan peningkatan efisiensi panas [12]. Penerapan *single serpentine channel* dengan fluida air pada pengaturan laju aliran massa dengan penambahan nilai dari 0,04 kg/s menjadi 0,18 kg/s dapat menurunkan suhu konsentrator PV dari 70°C menjadi 35°C [11]. Penelitian lain dengan menggunakan bentuk *serpentine* menunjukkan pengaturan laju aliran fluida inlet sebesar 60 kg/s mampu menurunkan suhu sebesar 6,054°C dengan diameter 2 inci [13].

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

$$Q = h \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in}) \dots \dots \dots (2)$$

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R} \dots \dots \dots (3)$$

$$R = \frac{L}{kA} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

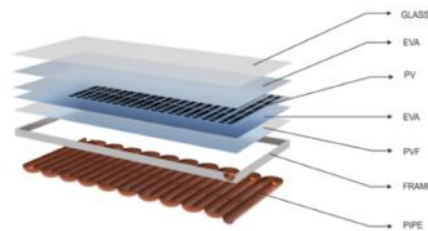
- Q : Kalor (*Joule*)
- q : Suhu setiap lapisan (*W*)
- k : Konduktivitas termal ($\frac{W}{m} \cdot K$)
- R : Resistensi termal (*K/W*)
- T : Suhu (*K*)

Proses pertukaran panas pada *single serpentine channel* ditujukan pada persamaan 2 secara konveksi untuk pemulihan energi termal dari

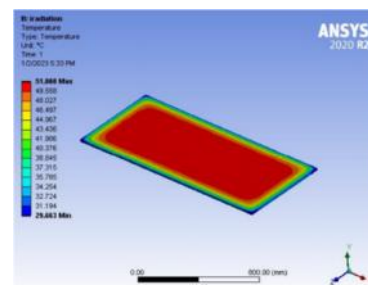
sumbarnya yaitu PV dan dilepaskan ke udara. Penukar panas tersebut terbuat dari material yaitu tembaga. Dalam perpindahan ke setiap lapisannya pada PV dengan cara konduksi pada persamaan 1 pembentukan *single serpentine channel* memiliki jarak yang bertujuan untuk koefisien perpindahan panas konvektif tinggi. Koefisien perpindahan panas konvektif yang tinggi dapat menyebabkan perpindahan panas yang efektif dan juga dapat menghemat material. Seiring terjadinya pertukaran panas yang baik juga dipengaruhi oleh jarak antara bagian *single serpentine channel* serta luasan dari *single serpentine channel* tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *software* ANSYS 2020 R2. Pada iradiasi yang digunakan sebesar 865 W/m². Dengan variasi kecepatan aliran sebesar 0,5 m/s ; 0,6 m/s ; dan 0,7 m/s dan diameter pipa yang digunakan sebesar 1,5 inci, 2 inci, dan 2,5 inci. Gambar 1. Merupakan adalah PV yang digunakan dengan tipe polikristalin. Pemilihan jenis PV ini dikarenakan PV ini mudah ditemukan dipasaran, harganya murah, dan ramah lingkungan dikarenakan sedikitnya penggunaan silikon pada proses produksinya. Dimensi PV ini adalah (1480 mm x 670 mm x 35 mm).



Gambar 1. Pemodelan PV dengan tipe Polikristalin



Gambar 2. Pemodelan simulasi PV terkena radiasi 865 W/m²

Adapun sifat fisik yang digunakan dalam PV ini antara lain pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik lapisan PV

Material	Ketebalan (mm)	Konduktivitas termal (W/m.K)	Massa Jenis ($\frac{Kg}{m^3}$)
Kaca	3	1,8	3000
EVA	0,5	0,35	960
PV Cells	0,225	148	2330
EVA	0,5	0,35	960
PVF	0,01	0,2	1200

Panas yang dihasilkan didinginkan oleh air yang memiliki suhu sebesar 20°C . Adapun sifat fisik air yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pada tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik pada air

Sifat fisik	Nilai	Satuan
Densitas	999,8	$\frac{Kg}{m^3}$
Viskositas	0,0017888	$\frac{Kg}{ms}$
Konduktivitas termal	0,566	$\frac{mK}{W}$
Panas spesifik	4212	$\frac{J}{KgK}$
Percepatan gravitasi	9,81	$\frac{m}{s^2}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

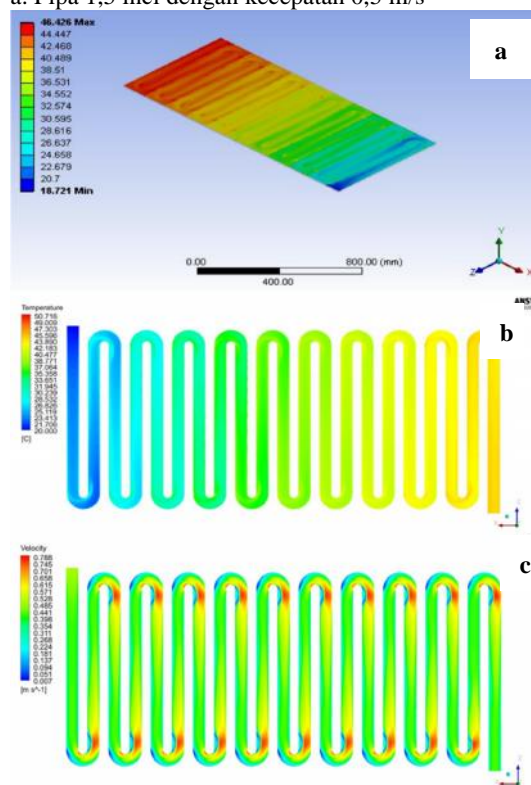
Pengaruh konfigurasi diameter pipa yang bernilai 1,5 inci, 2 inci, dan 2,5 inci berbeda dikarenakan besarnya volume air yang digunakan. Dengan pengaturan kecepatan maksimum sebesar $0,7\text{ m/s}$ mampu mencapai suhu maksimum sebesar $35,893^{\circ}\text{C}$. Dengan pengaturan kecepatan inlet sebesar $0,5\text{ m/s}$ mampu mencapai nilai tertinggi sebesar $36,664^{\circ}\text{C}$.

Dengan penggunaan diameter minimum dapat mencapai suhu dibawah 37°C . Pengaturan ini diameter 1,5 inci dengan kecepatan $0,5\text{ m/s}$ mampu menurunkan suhu capaian $36,664^{\circ}\text{C}$ sedangkan untuk penambahan diameter sebesar $0,5\text{ inci}$ mampu menurunkan suhu sebesar $3,667^{\circ}\text{C}$ dan penambahan diameter sebesar 1 inci dapat menurunkan suhu sebesar $5,99^{\circ}\text{C}$. Pengaruh pengaturan kecepatan juga tidak kalah penting dalam penelitian ini, karena besar kecilnya kecepatan akan mempengaruhi berapa banyak volume air yang tertukar, hal ini secara tidak langsung akan mempengaruhi kinerja perpindahan panas antara panas dari PV dan fluida. Ketiga konfigurasi ini telah memenuhi target minimum capaian pada penelitian ini, dimana menurunkan suhu PV agar mampu mencapai nilai 37°C .

Pengaturan diameter 1,5 inci dengan kecepatan aliran sebesar $0,7\text{ m/s}$ menghasilkan suhu rata-rata sebesar $35,893^{\circ}\text{C}$ akan tetapi terjadi suhu puncak sebesar $45,651^{\circ}\text{C}$ terletak pada bagian akhir PV outlet *single serpentine channel*. Ketercapaian ketercapaian suhu optimum PV sangat dipengaruhi oleh kecepatan serta konfigurasi yang digunakan.

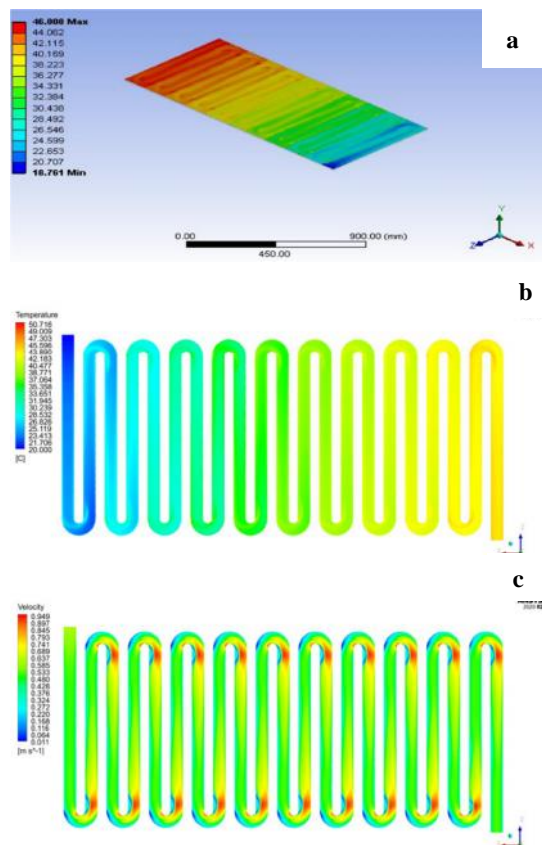
Pengaruh konfigurasi kecepatan inlet yang bernilai $0,5\text{ m/s}$, $0,6\text{ m/s}$, dan $0,7\text{ m/s}$ berbeda dikarenakan besarnya kecepatan air yang digunakan. Dengan pengaturan kecepatan maksimum sebesar $0,7\text{ m/s}$ mampu mencapai suhu maksimum sebesar $35,893^{\circ}\text{C}$. Dengan pengaturan kecepatan inlet sebesar $0,5\text{ m/s}$ mampu mencapai nilai tertinggi sebesar $36,664^{\circ}\text{C}$.

a. Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s



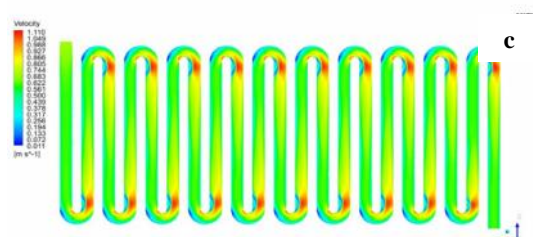
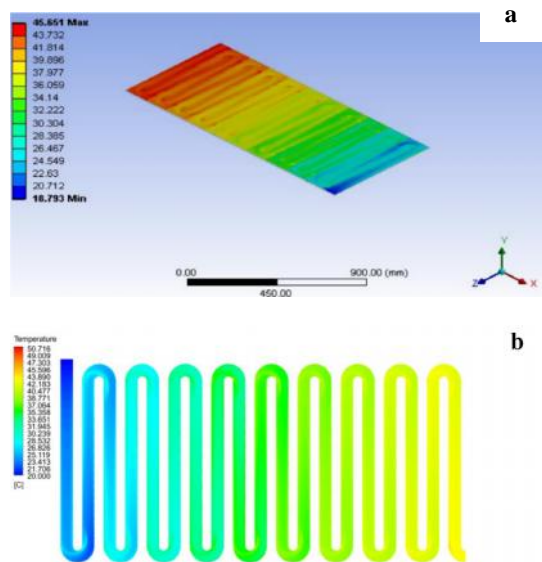
Gambar 3. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s

b. Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s



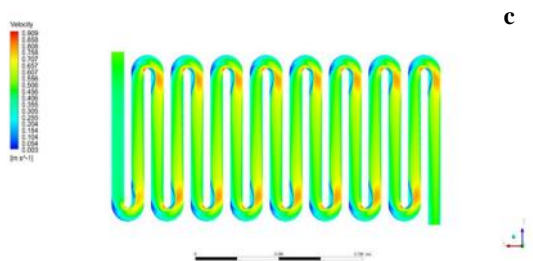
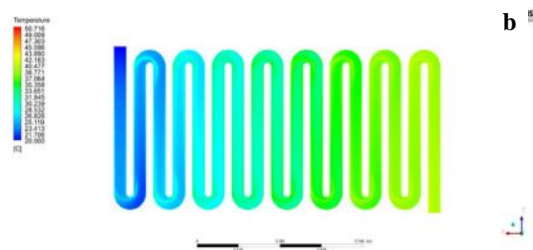
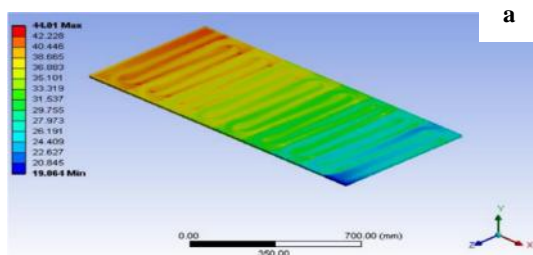
Gambar 4. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

c. Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s



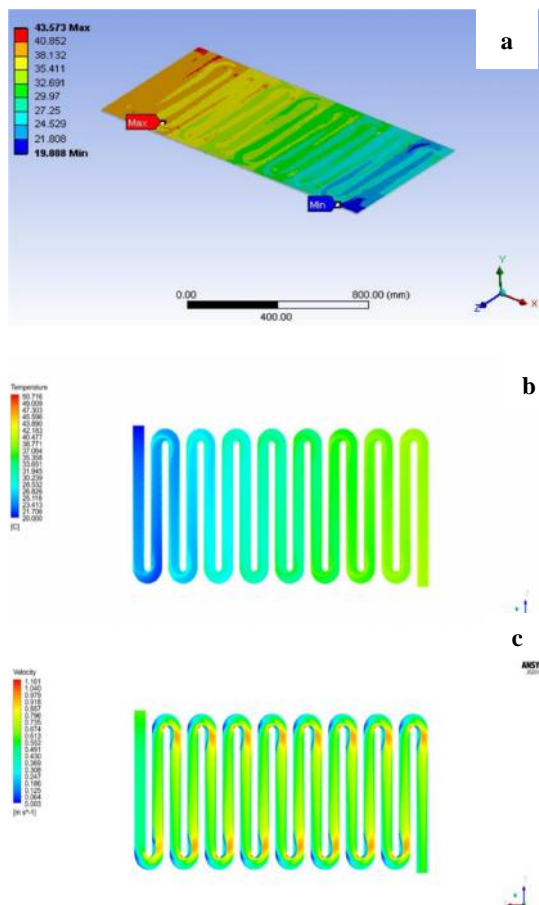
Gambar 5. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s

d. Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,5 m/s



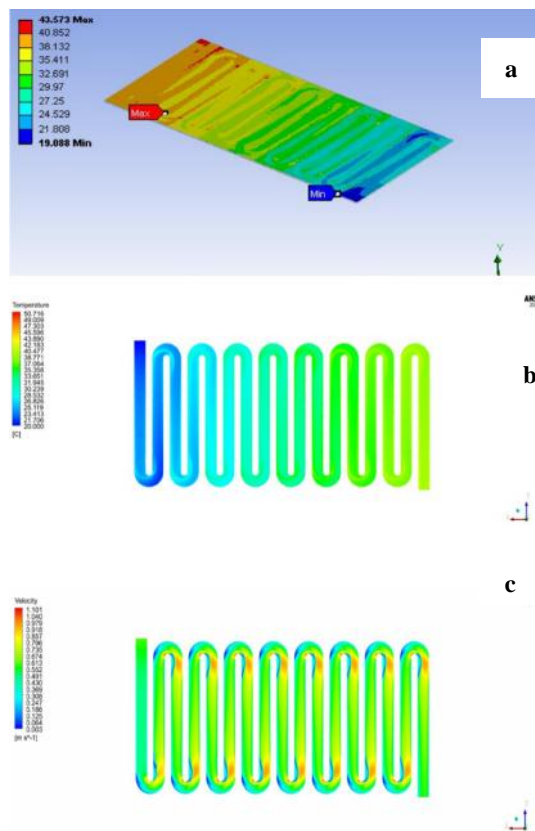
Gambar 6. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,5 m/s

e. Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

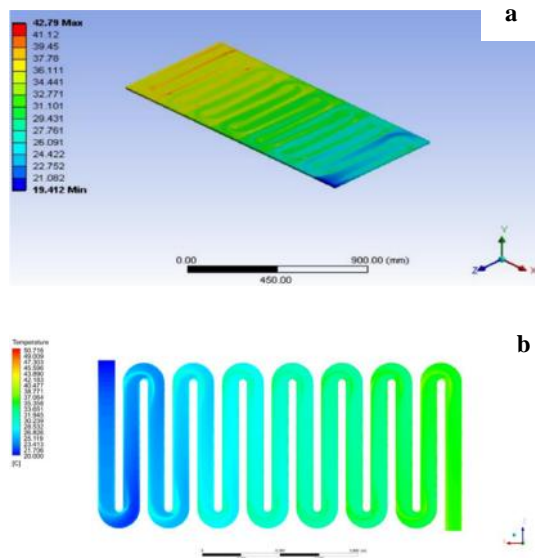


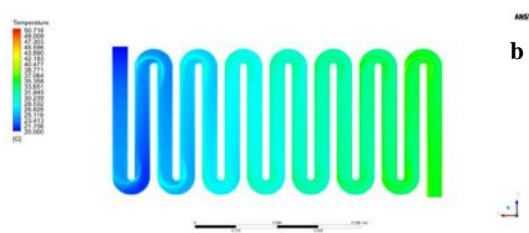
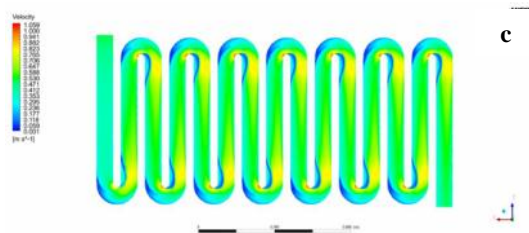
Gambar 7. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi pipa 2 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

f. Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,7 m/s

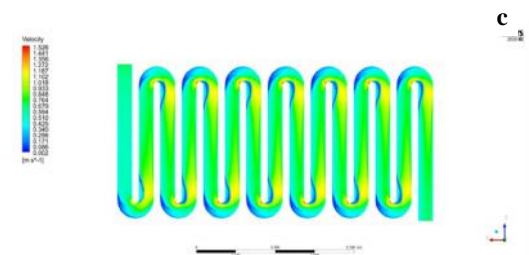


Gambar 8. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi pipa 2 inci dengan kecepatan 0,6 m/s
g. Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s

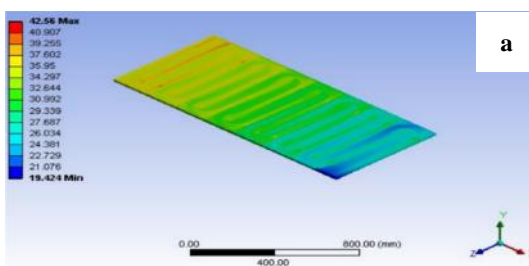




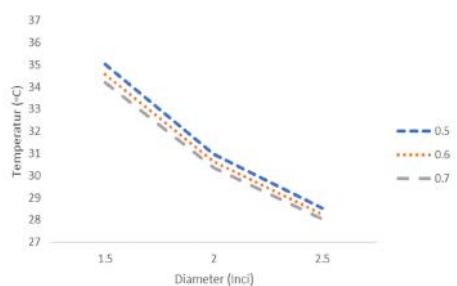
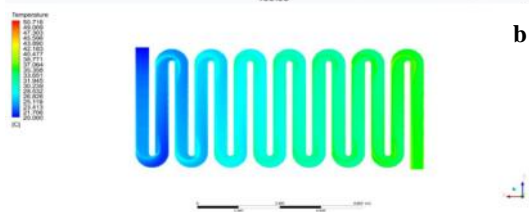
Gambar 9. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,5 m/s



h. Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s



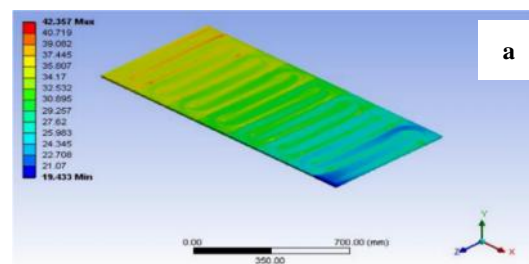
Gambar 11. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s



Gambar 10. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

Gambar 12. Pengaruh diameter dan kecepatan inlet pada lapisan sel PV

i. Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s



Dapat diamati bahwa variasi dengan performa terbaik dapat dilihat pada pengaturan konfigurasi diameter 2,5 inci kecepatan 0,7 m/s. Pengaturan ini menghasilkan suhu rata rata 30,188 °C pada lapisan PV dengan sebaran suhu minimum sebesar 19,433 °C yang terletak pada bagian dekat inlet fluida, sedangkan suhu maksimum dijumpai pada outlet fluida sebesar 42,367 °C.

Sedangkan jika diamati pada faktor ekonomis yang ditinjau pada penggunaan material yang lebih sedikit dan kebutuhan daya pompa pendorong yang minimal, akan tetapi variasi masih memenuhi standar kriteria kinerja, dengan konfigurasi diameter 1,5 inci kecepatan 0,5 m/s menjadi pilihan yang paling tepat. Pengaturan ini menghasilkan suhu rata-rata 36,664 °C pada lapisan PV dengan sebaran suhu minimum sebesar 18,721 °C yang terletak pada bagian dekat inlet fluida, sedangkan suhu maksimum dijumpai pada bagian dekat outlet sebesar 46,426 °C.

Selain itu masih cukup banyak faktor yang tidak dilibatkan secara aktif pada penelitian ini seperti faktor KPI yang terdiri dari cuaca, bayangan, debu dan gas pada atmosfer. Hal ini secara tidak langsung akan mempengaruhi hasil penurunan suhu yang dicapai. Sehingga adanya kombinasi antara hasil simulasi dengan validasi langsung melalui pembuatan model dan pengamatan pada kondisi nyata akan lebih baik ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengkaitkan studi empiris atau teori untuk interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak, bisa mencapai 50% atau lebih. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, tetapi tidak perlu mencantumkan penomorannya.

KESIMPULAN

Pengaruh variasi diameter pipa dan kecepatan aliran terhadap penurunan temperatur menggunakan performansi *single serpentine channel heat sink* dimana suhu menjadi terendah pada diameter paling tinggi yaitu 2,5 inci pada kecepatan fluida sebesar 0,5 m/s; 0,6 m/s; dan 0,7 m/s. Sedangkan penggunaan kecepatan fluida semakin tinggi memberikan nilai suhu yang terendah. Konfigurasi dengan penggunaan nilai diameter pipa dan kecepatan fluida yang besar memberikan nilai *single serpentine channel* lebih baik dengan hasil penurunan suhu yang besar namun dengan batasan suhu optimum kinerja PV sebesar 37°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Kandeal et al., "Photovoltaics performance improvement using different cooling methodologies: A state-of-art review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 273, p. 122772, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122772>.
- [1] A. Zarei, M. Liravi, M. Babaie Rabiee, and M. Ghodrat, "A Novel, eco-friendly combined solar cooling and heating system, powered by hybrid Photovoltaic thermal (PVT) collector for domestic application," *Energy Conversion and Management*, vol. 222, p. 113198, Oct. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113198>.
- [2] B. Tashtoush and A. Al-Oqool, "Factorial analysis and experimental study of water-based cooling system effect on the performance of photovoltaic module," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, no. 7, pp. 3645–3656, Oct. 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2044-9>.
- [3] D. Su, Y. Jia, G. Alva, L. Liu, and G. Fang, "Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors integrated with phase change materials," *Energy Conversion and Management*, vol. 131, pp. 79–89, Jan. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.00>.
- [4] F. Seifikar and S. Azizian, "Super-stable carbon quantum dots nanofluid for efficient solar-thermal conversion," *Energy Conversion and Management*, vol. 228, p. 113675, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113675>.
- [5] H. Chen, Y. Wang, Y. Ding, B. Cai, and J. Yang, "Numerical Analysis on the Performance of High Concentration Photovoltaic Systems Under the Nonuniform Energy Flow Density," *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.705801>.
- [6] J. Kurnik, M. Jankovec, K. Brecl, and M. Topic, "Outdoor testing of PV module temperature and performance under different mounting and operational conditions," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 95, no. 1, pp. 373–376, Jan. 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.04.022>.
- [7] L. Huaxu et al., "Experimental investigation of cost-effective ZnO nanofluid based spectral splitting CPV/T system," *Energy*, vol. 194, p. 116913, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116913>.
- [8] M. M. Rahman, M. Hasanuzzaman, and N. A. Rahim, "Effects of various parameters on PV-module power and efficiency," *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 348–358, Oct. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.06>.
- [9] M. Rahou, M. Y. Othman, S. Mat, and A. Ibrahim, "Performance Study of a Photovoltaic Thermal System with an Oscillatory Flow Design," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 136, no. 1, Jul. 2013, doi: <https://doi.org/10.1115/1.4024743>.

- [10] M. S. B. Ehtesham, S. Ahmad, and Y. Sui, "Water cooling system of PV panel," Proceedings of the 13th International Conference on Mechanical Engineering (ICME2019), 2021, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0037593>.
- [11] S. E. Ghasemi, A. A. Ranjbar, and M. J. Hosseini, "Experimental and numerical investigation of circular minichannel heat sinks with various hydraulic diameter for electronic cooling application," *Microelectronics Reliability*, vol. 73, pp. 97–105, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2017.04.028>.
- [12] Y. Zhang, C. Shen, C. Zhang, J. Pu, Q. Yang, and C. Sun, "A novel porous channel to optimize the cooling performance of PV modules," *Energy and Built Environment*, vol. 3, no. 2, pp. 210–225, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.01.003>.