



Research Article

Studi Eksperimental Performa Photovoltaic Cell dengan Variasi Jenis Pendingin

Andi Ibrahim Soumi¹, Bagus Radiant Utomo¹, Nugroho Tri Atmoko², Edi Sarwono^{2,*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta, Indonesia

*Corresponding author: edi@sttw.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 02 January 2023

Revised : 21 June 2023

Accepted : 17 July 2023

Available online: 25 July 2023

Keywords: fan, heat sink, power, photovoltaic cell, temperature

Kata Kunci: fan, heat sink, power, photovoltaic cell, temperatur

ABSTRACT

Solar energy is a source of energy that can be converted into electrical energy through photovoltaic cells. The purpose of this study is to determine the performance of the photovoltaic cell module when using a cooling fan and heat sink. The parameters measured in this study include the temperature of the photovoltaic cell, voltage, current, and power generated by the photovoltaic cell. The parameter measuring instrument uses a data logger with an Arduino-based program to set temperature sensors and sensors for voltage, current and electric power. Tests were carried out on photovoltaic cell modules without cooling, photovoltaic with fan cooling, and photovoltaic with cooling heat sinks. The test is carried out directly outdoors and exposed to direct sunlight. From the test results, it was shown that the photovoltaic cell module using a cooler produces higher power than the photovoltaic cell module without cooling. The highest voltage achieved by photovoltaic cells with fan cooling was 6.76 V, followed by heat sink cooling at 3.01 V and photovoltaic without cooling with an electric voltage of 2.88 V.

ABSTRAK

Energi matahari salah satu sumber energi yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui photovoltaic cell. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui performa modul photovoltaic cell ketika menggunakan pendingin fan dan heat sink. Parameter yang diukur dalam pelitian ini meliputi suhu photovoltaic cell, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan photovoltaic cell. Alat ukur parameter tersebut menggunakan data logger dengan program berbasis Arduino untuk mengatur sensor suhu dan sensor tegangan, arus dan daya listrik. Pengujian dilakukan pada modul photovoltaic cell tanpa pendingin, photovoltaic dengan pendingin fan, dan photovoltaic dengan pendingin heat sinks. Pengujian dilakukan langsung di luar ruangan dan terkena sinar matahari langsung. Dari hasil pengujian ditunjukkan modul photovoltaic cell

dengan menggunakan pendingin menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan modul photovoltaic cell tanpa pendingin. Tegangan listrik tertinggi yang dicapai photovoltaic cell dengan pendingin fan sebesar 6.76 V, diikuti dengan pendingin heat sink sebesar 3.01 V dan photovoltaic tanpa pendingin dengan tegangan listrik sebesar 2.88 V.

1. PENDAHULUAN

Sumber energi terbarukan sangat dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah kekurangan sumber energi dan permasalahan lingkungan di dunia [1]. Energi terbarukan sebagai energi bersih di dunia mulai mendapatkan banyak perhatian. Pemerintah dari seluruh dunia mulai memperhatikan rencana aksi dekarbonisasi sistem tenaga listrik melalui energi terbarukan. Komisi Eropa merencanakan target untuk pembangkit listrik berbasis energi terbarukan setidaknya 32% dari total kebutuhan energi Uni Eropa [2]. Usaha dilakukan dalam hal produksi energi listrik yang bersumber pada energi alternatif [3]. Pada kemajuan teknologi beberapa sumber energi alternatif ditawarkan dalam mengurangi pencemaran lingkungan, seperti angin, panas bumi, biomassa, dan matahari [4]. Energi dari matahari memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan penggunaan energi dari fosil, salah satunya ramah lingkungan [5]. Sistem sel surya dapat mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan menggunakan photovoltaic [6].

Penelitian photovoltaic dengan pendingin heat sink dengan tujuan merancang sistem photovoltaic yang efisien dengan penggunaan pendingin heat sinks dan struktur sumbu dengan sirip tembaga. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain photovoltaic, stand, thermal grease, heat sinks aluminium, multimeter, dan thermocouple. Hasil pengujian dapat dilihat suhu photovoltaic tanpa sirip lebih tinggi dibandingkan dengan photovoltaic dengan sirip. Modul photovoltaic dengan memanfaatkan pendingin sirip dapat menghasilkan daya tertinggi sebesar 45.12 W. Sedangkan modul photovoltaic tanpa pendingin mampu menghasilkan daya sebesar 27.5 W. Penelitian tersebut menunjukkan peningkatan suhu mempengaruhi efisiensi dan daya photovoltaic sehingga peningkatan suhu photovoltaic dapat diatasi dengan penggunaan pendingin sirip sebagai pendingin. Sirip dengan material tembaga mampu membantu photovoltaic menghasilkan daya dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan sirip dengan material aluminium [7].

Pendekatan numerik pengurangan suhu pada modul photovoltaic menggunakan pendingin heat sinks pada simulasi menggunakan ANSYS-Fluent dan menghasilkan suhu rata-rata photovoltaic. Pada studi ini divariasikan sudut rusuk 45°, 90°, dan 135°C dengan ketinggian masing-masing 0.03 m. Dari hasil simulasi suhu rata-rata terendah pada variasi sudut 45° sebesar 41.87°C dan paling tinggi pada variasi sudut 135° sebesar 42.95°C. Hasil penelitian juga memaparkan daya keluaran tertinggi pada variasi sudut 45° sebesar 18.5 W dengan efisiensi 7.55 % sedangkan daya keluaran terendah pada variasi sudut 135° sebesar 18.3 W dengan efisiensi 6.39%. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan suhu operasional photovoltaic menentukan kinerja dan efisiensi photovoltaic sehingga penggunaan heat sinks untuk pendingin photovoltaic mampu meningkatkan prestasi kerja photovoltaic dalam menghasilkan daya dan dapat meningkatkan efisiensi photovoltaic [8].

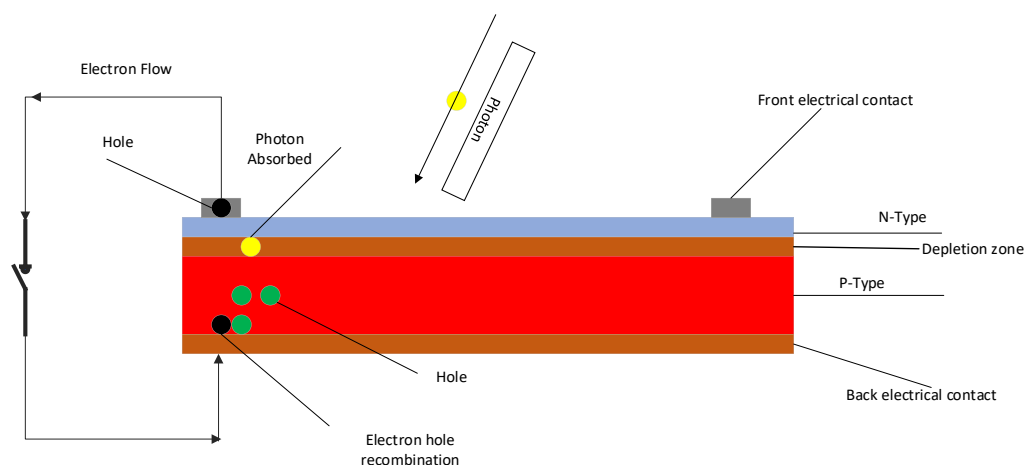
Penelitian photovoltaic yang terintegrasi pada PCM yang bertujuan untuk mengetahui PCM untuk mendinginkan photovoltaic pada berbagai kondisi. Pada penelitian tersebut ditunjukkan bahwa kedalaman PCM mempengaruhi waktu pendinginan. Pada variasi

kecepatan angin dapat dilihat bahwa mengalami penurunan suhu optimum pada peningkatan laju kecepatan angina [9].

Performa concentrator photovoltaic yang terintegrasi pada berbagai desain heat sinks dan penyebar panas menunjukkan photovoltaic cell dengan menggunakan photovoltaic dengan penyebar panas memiliki suhu lebih rendah daripada photovoltaic cell tanpa pendingin namun daya yang dihasilkan dan efisiensi lebih besar photovoltaic cell dengan pendingin penyebar panas daripada photovoltaic cell tanpa pendingin [10]. Penggunaan heat sinks untuk pendingin photovoltaic dengan formulasi analitik thermal, voltage dan arus yang dihasilkan photovoltaic dengan menggunakan pendingin heat sinks mampu menghasilkan voltage dan arus yang lebih besar dibandingkan dengan photovoltaic tanpa pendingin heat sinks [11]. Studi tentang desain sirip baru untuk pendingin photovoltaic dan keseragaman suhu dilakukan oleh E.Z. Ahmad dkk dan dari penelitian tersebut didapatkan desain pendingin heat sinks dengan ujung berbentuk L mampu mendinginkan suhu photovoltaic pada suhu ruang terbuka dan mampu meningkatkan daya keluaran dari modul photovoltaic tersebut dibandingkan dengan photovoltaic tanpa pendingin [12]. Penggunaan heat sinks multi level pada modul photovoltaic yang diselidiki melalui metode elemen hingga (FEA). Pada validasi CFD dengan perbedaan jarak sirip dan ketebalan dapat ditunjukkan bahwa semakin besar jarak sirip maka semakin rendah suhu rata-rata pada modul photovoltaic dan semakin besar ketebalan sirip hasil simulasi menunjukkan rata-rata suhu modul photovoltaic menjadi rendah [13]. Sistem pendingin dari photovoltaic cell dengan penggunaan pendingin air seperti model radiator pada photovoltaic cell dapat meningkatkan keluaran daya listrik dari photovoltaic cell dan meningkatkan efisiensi dari photovoltaic cell [14].

Dalam studi penelitian pendingin photovoltaic cell dengan menggunakan fan menerangkan bahwa penggunaan pendingin fan dapat meningkatkan efisiensi dari modul photovoltaic cell dibandingkan dengan modul photovoltaic cell tanpa pendingin. Photovoltaic cell dengan pendingin fan memiliki suhu lebih rendah. Voltage dan arus yang dihasilkan dari photovoltaic cell dengan pendingin fan lebih tinggi daripada photovoltaic cell tanpa pendingin [15]. Penggunaan fan sebagai pendingin photovoltaic cell menggunakan simulasi Ansys CFX menunjukkan penggunaan fan pada modul photovoltaic cell dapat menurunkan suhu modul photovoltaic cell pada saat penyinaran. Variasi jumlah penggunaan fan mempengaruhi penurunan suhu, pada hasil simulasi penggunaan fan paling banyak mampu menurunkan suhu tertinggi dibandingkan penggunaan jumlah fan dibawahnya dan distribusi suhu menjadi paling rata. Daya yang dihasilkan modul photovoltaic cell paling tinggi pada penggunaan 4 unit fan, namun daya bersih yang tersimpan tertinggi pada penggunaan 2 unit fan [16].

Photovoltaic cell merupakan perangkat yang mampu mengkonversikan energi surya menjadi energi listrik tanpa menimbulkan suara kebisingan dan minim perawatan. Modul photovoltaic cell merupakan dioda dari pertemuan p-n. Ketika cahaya pada pertemuan p-n, foto cahaya dengan mudah masuk melalui persimpangan tipe-p. Elektron bebas pada wilayah penipisan dapat mencapai pada tipe-n pada ujung persimpangan. Karena gerakan elektron dari tipe-p menuju tipe-n maka tegangan dapat dihasilkan [17]. Efisiensi konversi dari modul photovoltaic cell sekitar 12% sampai 18% dan dari pengujian laboratorium efisiensi konversi photovoltaic cell tercatat 24.7%. Sisa dari radiasi pada photovoltaic cell diubah menjadi panas sehingga suhu photovoltaic cell meningkat.[18] Photovoltaic dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan daya listrik searah (DC) dan jika akan diubah menjadi daya listrik bolak-balik (AC) menggunakan inverter [19]. Prinsip kerja modul photovoltaic cell di tunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Prinsip kerja modul photovoltaic cell [17]

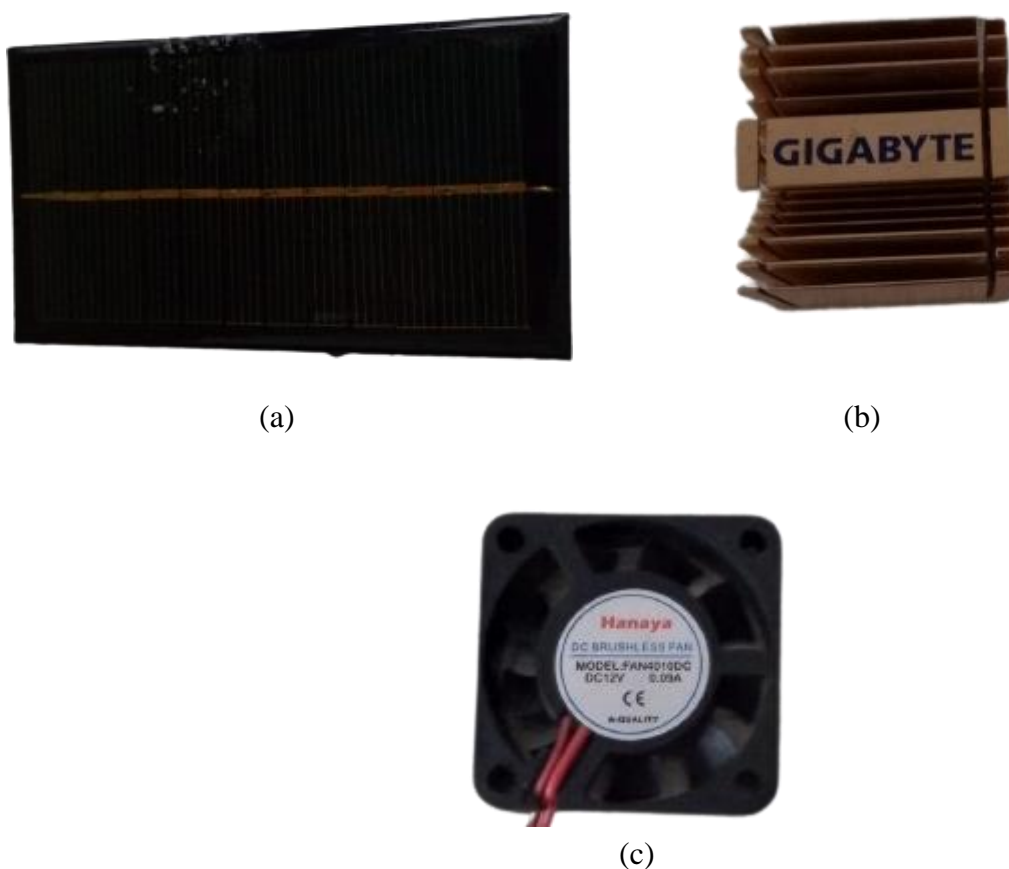
Radiasi matahari sangat penting untuk photovoltaic cell dalam menghasilkan energi listrik [20]. Modul photovoltaic dapat menghasilkan energi listrik dari radiasi matahari langsung dengan efisiensi keseluruhan mencapai 5% sampai 20% [21]. Suhu kerja modul photovoltaic sangat mempengaruhi kinerja modul photovoltaic dalam standarisasi efisiensi [22]. Peningkatan efisiensi pembangkit listrik menjadi fokus pada beberapa studi dan pada beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi karena pengurangan suhu [23]. Peningkatan suhu kerja photovoltaic cell menyebabkan peningkatan resistensi yang berpengaruh pada elektron [24]. Efisiensi photovoltaic cell mengalami penurunan ketika photovoltaic cell mengalami peningkatan suhu. Peningkatan efisiensi dibutuhkan photovoltaic cell karena untuk menghasilkan daya yang lebih besar. Pembuatan sistem pendingin yang efektif menjadi rujukan untuk meningkatkan efisiensi photovoltaic cell [25]. Sistem pendingin diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sistem pendingin pasif dan sistem pendingin aktif. Sistem pendingin pasif merupakan sistem pendingin yang tidak memerlukan daya dalam melakukan pendinginan sedangkan sistem pendingin aktif memerlukan daya dalam melakukan pendinginan [26].

Dari pemaparan di atas tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan performa modul photovoltaic cell dengan variasi model pendingin. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan secara eksperimental performa modul photovoltaic cell dengan pendingin fan, heat sink, dan tanpa pendingin (natural cooling). Dengan pengujian tersebut akan diketahui jenis pendingin mana yang mampu membuat performa modul photovoltaic cell dengan efektif.

2. METODE PENELITIAN

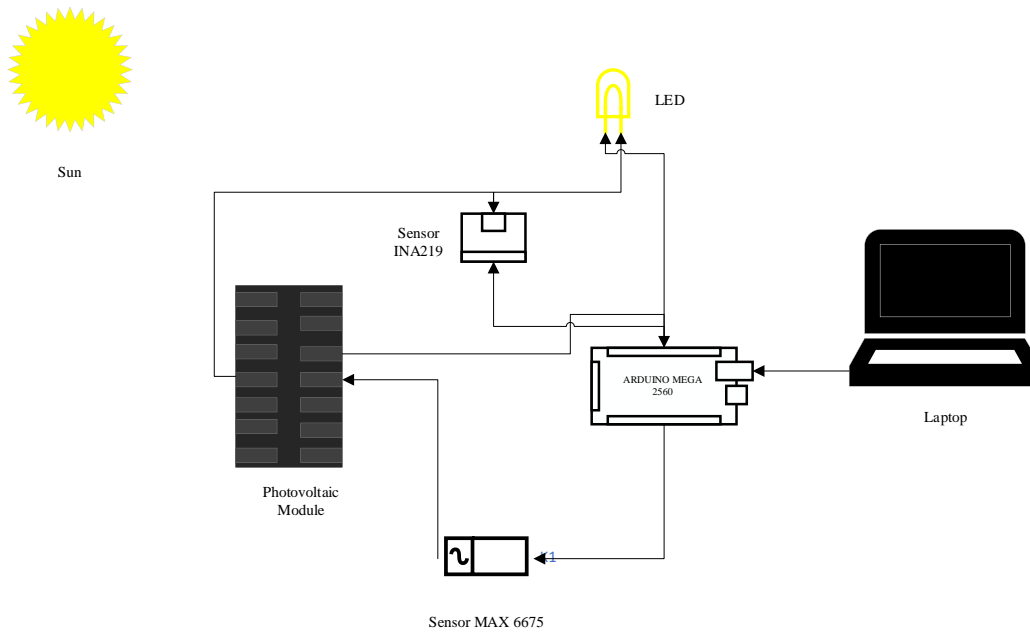
Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa modul photovoltaic cell dengan menggunakan variasi metode pendingin. Penelitian dilakukan dengan eksperimen langsung dengan menguji photovoltaic cell pada ruang terbuka yang terkena sinar matahari. Penelitian dimulai dengan studi literatur pada beberapa artikel. Setelah melakukan studi literatur tentang photovoltaic cell dan sistem pendinginannya, kemudian melakukan persiapan alat dan bahan. Alat dan bahan seperti sensor MAX 6675, sensor INA219, Arduino Mega 2560, dan photovoltaic cell dipersiapkan dan kemudian dirakit. Arduino Mega 2560 sebagai perangkat controller sensor harus dibuat program coding terlebih dahulu menggunakan software Arduino. Setelah semua terakit alat pengujian tersebut diuji coba. Setelah diuji coba dan semuanya benar

maka selanjutnya adalah pengambilan data pada modul photovoltaic cell tanpa pendingin, dengan pendingin fan, dan modul photovoltaic cell dengan pendingin heat sinks. Setelah mendapatkan data berupa suhu, tegangan, arus, dan daya kemudian dianalisa dan ditarik kesimpulan. Modul photovoltaic cell yang digunakan pada penelitian ini berukuran 60 x 110 mm. Gambar 2 menunjukkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu modul photovoltaic cell, heat sink, dan fan. Photovoltaic cell memiliki arus keluaran searah (DC). Pada penelitian ini menggunakan satu modul photovoltaic cell dengan daya yang dihasilkan oleh modul photovoltaic cell disalurkan pada lampu LED. Gambar 2 merupakan bahan yang digunakan dalam pengujian.



Gambar 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian: (a) modul photovoltaic cell, (b) heat sink, (c) fan

Gambar 3 merupakan skema dari penelitian ini. Photovoltaic cell mendapatkan radiasi berupa panas dari matahari sehingga suhu dari modul photovoltaic cell dapat dibaca oleh sensor MAX 6675 yang dihubungkan oleh thermocouple. Dari hasil pembacaan tersebut oleh perangkat Arduino ditampilkan ke serial monitor pada laptop. Fungsi laptop selain menampilkan data hasil pengujian juga berperan sebagai daya listrik untuk Arduino. Ketika modul photovoltaic menghasilkan tegangan dan arus, data tersebut dibaca oleh sensor INA219 Data tegangan, arus, dan daya listrik tersebut oleh Arduino ditampilkan ke serial monitor. Daya yang dihasilkan dari modul photovoltaic akan diaplikasikan pada lampu LED.



Gambar 3. Skema penelitian photovoltaic cell

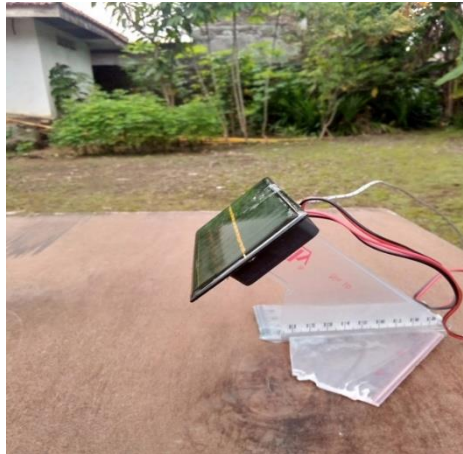
Pada pengujian pertama modul photovoltaic cell tidak menggunakan pendingin. Modul photovoltaic cell langsung diuji pada sinar matahari langsung dan diperoleh data berupa suhu, tegangan, arus, dan daya listrik. Gambar 4 memaparkan saat pengujian photovoltaic cell tanpa pendingin, photovoltaic cell dengan pendingin heat sink, dan photovoltaic cell dengan pendingin fan. Pada pengujian kedua modul photovoltaic cell menggunakan pendingin fan dan diuji pada sinar matahari langsung. Pada pengujian ketiga heat sink digunakan sebagai pendingin modul photovoltaic cell.



(a)



(b)

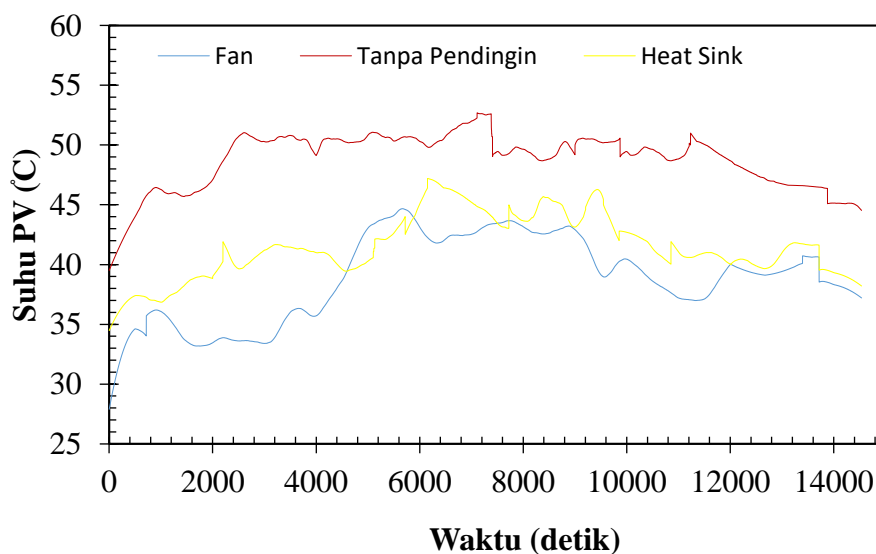


(c)

Gambar 4. Pengujian photovoltaic cell (a) tanpa pendingin, (b) dengan pendingin heat sink, (c) dengan pendingin fan

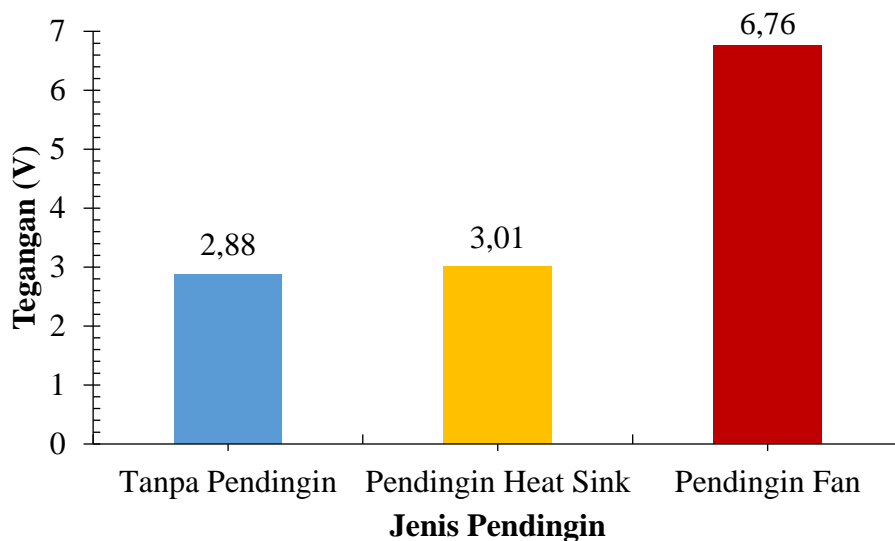
3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian photovoltaic dengan perbedaan jenis pendinginan menunjukkan suhu yang berbeda pada tiap jenis pendingin. Pada setiap variasi jenis pendingin menunjukkan peningkatan suhu photovoltaic kemudian mengalami penurunan suhu photovoltaic. Gambar 5 merupakan grafik suhu pengujian photovoltaic tanpa pendingin, photovoltaic dengan pendingin *heat sink*, dan photovoltaic dengan pendingin fan. Pada pengujian photovoltaic tanpa menggunakan pendingin mengalami peningkatan sampai suhu 52.69°C . Pengujian photovoltaic menggunakan pendingin *heat sink* mengalami kenaikan suhu photovoltaic sampai suhu puncak 47.2°C . Sedangkan pada pengujian photovoltaic dengan pendingin fan mengalami kenaikan temperature sampai 44.67°C . Pengukuran pada parameter suhu photovoltaic paling tinggi pada photovoltaic tanpa pendingin, kemudian photovoltaic dengan pendingin *heat sink*, dan yang paling dingin adalah photovoltaic dengan pendingin fan.



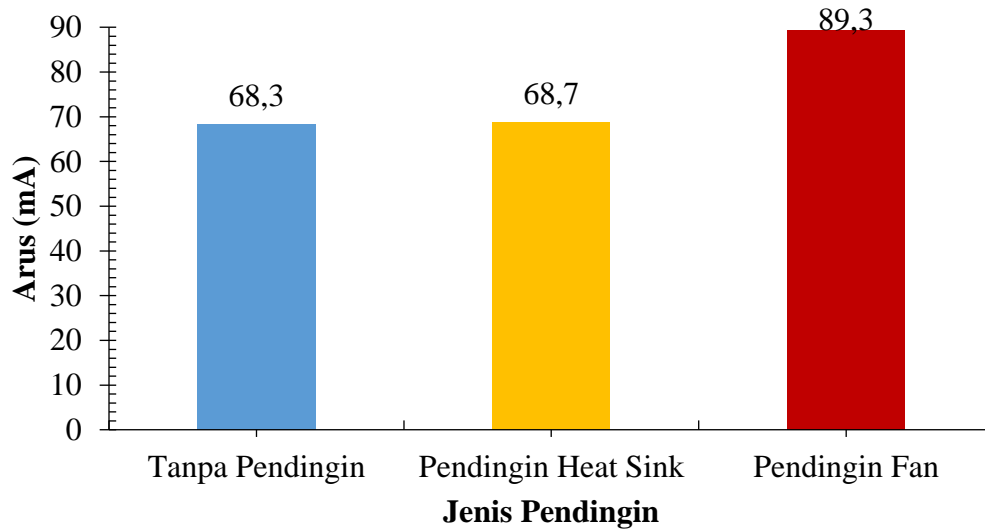
Gambar 5. Suhu photovoltaic selama pengujian

Pengujian photovoltaic perbedaan jenis pendingin menghasilkan perbedaan hasil tegangan yang dikeluarkan photovoltaic. Gambar 6 menunjukkan grafik perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh photovoltaic tanpa pendingin, photovoltaic dengan pendingin *heat sink*, dan photovoltaic dengan pendingin fan. Pengujian photovoltaic tanpa pendingin menghasilkan tegangan listrik puncak sebesar 2.28 V. Pada photovoltaic dengan pendingin *heat sink* menghasilkan tegangan listrik sebesar 3.01 V dan pada photovoltaic dengan pendingin fan menghasilkan tegangan listrik sebesar 6.67 V. Pada pengujian photovoltaic dengan beda pendingin menunjukkan bahwa photovoltaic dengan pendingin dapat menghasilkan tegangan listrik lebih besar daripada photovoltaic tanpa pendingin.



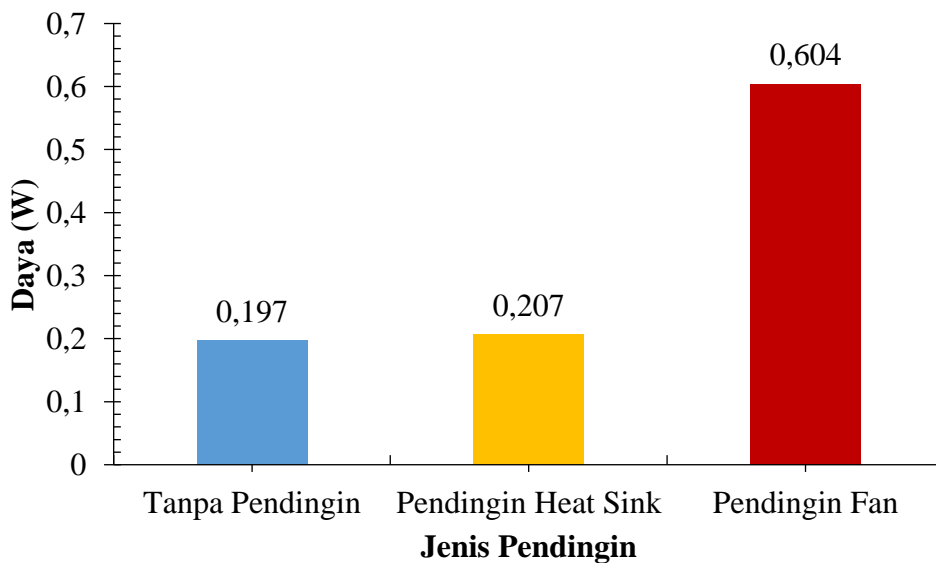
Gambar 6. Hasil tegangan photovoltaic

Pengujian photovoltaic perbedaan jenis pendingin menghasilkan perbedaan hasil arus listrik yang dikeluarkan photovoltaic. Gambar 7 menunjukkan grafik perbedaan arus listrik yang dihasilkan oleh photovoltaic tanpa pendingin, photovoltaic dengan pendingin *heat sink*, dan photovoltaic dengan pendingin fan. Pengujian photovoltaic tanpa pendingin menghasilkan arus listrik puncak sebesar 68,3 mA. Pada photovoltaic dengan pendingin *heat sink* menghasilkan arus listrik sebesar 68,7 mA dan pada photovoltaic dengan pendingin fan menghasilkan arus listrik sebesar 89,3 mA. Pada pengujian photovoltaic dengan beda pendingin menunjukkan bahwa photovoltaic dengan pendingin dapat menghasilkan arus listrik lebih besar daripada photovoltaic tanpa pendingin.



Gambar 7. Hasil arus listrik photovoltaic

Pengujian photovoltaic perbedaan jenis pendingin menghasilkan perbedaan hasil daya listrik yang dikeluarkan photovoltaic. Gambar 8 menunjukkan grafik perbedaan daya listrik yang dihasilkan oleh photovoltaic tanpa pendingin, photovoltaic dengan pendingin *heat sink*, dan photovoltaic dengan pendingin fan. Pengujian photovoltaic tanpa pendingin menghasilkan daya listrik puncak sebesar 0.197 W. Pada photovoltaic dengan pendingin *heat sink* menghasilkan daya listrik sebesar 0.207 W dan pada photovoltaic dengan pendingin fan menghasilkan daya listrik sebesar 0.604 W. Pada pengujian photovoltaic dengan beda pendingin menunjukkan bahwa photovoltaic dengan pendingin dapat menghasilkan daya listrik lebih besar daripada photovoltaic tanpa pendingin. Tabel 1 hasil pengujian photovoltaic dengan perbedaan jenis pendingin.



Gambar 8. Hasil daya listrik photovoltaic

Tabel 1. Hasil pengujian photovoltaic dengan perbedaan jenis pendingin

Jenis Pendingin	Suhu photovoltaic (°C)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)
Tanpa Pendingin	52.69	2.88	68.3	0.197
Pendingin <i>Heat sink</i>	47.20	3.01	68.7	0.207
Pendingin Fan	44.67	6.76	89.3	0.604

4. KESIMPULAN

Pada pengujian kinerja photovoltaic tanpa pendingin, photovoltaic dengan pendingin heat sink, dan photovoltaic dengan pendingin fan dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan pendingin pada photovoltaic dapat menurunkan suhu pada photovoltaic yang mana dapat memengaruhi kinerja photovoltaic dengan meningkatnya tegangan, arus, dan daya listrik. Pada perbandingan kinerja photovoltaic dengan perbedaan jenis pendingin menunjukkan photovoltaic dengan pendingin fan memiliki tegangan, arus dan daya yang paling tinggi serta suhu kerja photovoltaic yang paling rendah dibandingkan pada photovoltaic tanpa pendingin dan photovoltaic dengan pendingin heat sink. Sedangkan pada photovoltaic tanpa pendingin menunjukkan hasil tegangan, arus dan daya listrik yang paling rendah serta memiliki suhu kerja photovoltaic yang tinggi dibandingkan dengan photovoltaic dengan pendingin fan dan photovoltaic dengan pendingin heat sink.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Zhang, C. Shen, C. Zhang, J. Pu, Q. Yang, and C. Sun, "A novel porous channel to optimize the cooling performance of PHOTOVOLTAIC modules," *Energy Built Environ.*, vol. 3, no. 2, pp. 210–225, 2022.
- [2] T. Oderinwale and C. R. Mcinnes, "Enhancing photovoltaic energy generation and usage : Orbiting photovoltaic reflectors as alternative to energy storage," *Appl. Energy*, vol. 317, no. April, p. 119154, 2022.
- [3] N. T. Atmoko, I. Veza, T. Widodo, and B. Riyadi, "Study On The Energy Conversion In The Thermoelectric Liquefied Petroleum Gas Cooking Stove With Different Cooling Methods," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 69, no. 1, pp. 185–193, 2021.
- [4] K. Ranabhat, L. Patrikeev, A. A. evna Revina, K. Andrianov, V. Lapshinsky, and E. Sofronova, "An introduction to photovoltaic cell technology," *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 4, pp. 481–491, 2016.
- [5] B. R. Utomo et al., "Analisa Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Kinerja Modul Photovoltaic," *Creat. Res. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 72–80, 2022.
- [6] A. M. A. Soliman, H. Hassan, and S. Ookawara, "ScienceDirect ScienceDirect An experimental study of the performance of the photovoltaic cell with heat An experimental study of the performance of the photovoltaic cell with heat sink cooling system District Heating and Cooling cooling on Assessing feasibility," *Energy Procedia*, vol. 162, pp. 127–135, 2019.
- [7] N. Parkunam, L. Pandiyan, G. Navaneethkrishnan, and S. Arul, "Environmental Effects Experimental analysis on passive cooling of flat photovoltaic panel with heat sink and wick structure," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 0, no. 00, pp. 1–11, 2019.
- [8] C. G. Popovici, S. V. Hudıșteanu, T. D. Mateescu, and N. C. Cherecheș, "Efficiency Improvement of Photovoltaic Panels by Using Air Cooled Heat sinks," *Energy Procedia*, vol. 85, no. November 2015, pp. 425–432, 2016.
- [9] S. Khanna, K. S. Reddy, and T. K. Mallick, "Optimization of photovoltaic photovoltaic system integrated with phase change material," *Sol. Energy*, vol. 163, no. January, pp. 591–599, 2018.

- [10] M. Awad, A. Radwan, O. Abdelrehim, M. Emam, A. N. Shmroukh, and M. Ahmed, "Performance evaluation of concentrator photovoltaic systems integrated with a new jet impingement-microchannel heat sink and heat spreader," *Sol. Energy*, vol. 199, no. February, pp. 852–863, 2020.
- [11] I. A. Hasan, "Enhancement the Performance of PHOTOVOLTAIC Panel by Using Fins as Heat sink," *Eng. Technol. J.*, vol. 36, no. 7A, 2018.
- [12] E. Z. Ahmad, K. Sopian, A. Fazlizan, H. Jarimi, and A. Ibrahim, "Outdoor performance evaluation of a novel photovoltaic heat sinks to enhance power conversion efficiency and suhue uniformity," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 31, no. June 2021, p. 101811, 2022.
- [13] E. Z. Ahmad, A. Fazlizan, H. Jarimi, K. Sopian, and A. Ibrahim, "Enhanced heat dissipation of truncated multi-level fin heat sink (MLFHS) in case of natural convection for photovoltaic cooling," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 28, no. October, p. 101578, 2021.
- [14] Z. Peng, M. R. Herfatmanesh, and Y. Liu, "Cooled photovoltaic PHOTOVOLTAIC panels for output energy efficiency optimisation," *Energy Convers. Manag.*, vol. 150, pp. 949–955, 2017.
- [15] H. Erol, M. Uçman, and Z. Kesilmiş, "The Effect of Fan Cooling on Photovoltaic Efficiency of PHOTOVOLTAIC Panels in Osmaniye Environment," vol. 6, no. 3, pp. 29–33, 2017.
- [16] Z. Syafiqah, N. A. M. Amin, Y. M. Irwan, M. Irwanto, W. Z. Leow, and A. R. Amelia, "Performance power evaluation of DC fan cooling system for PHOTOVOLTAIC panel by using ANSYS CFX," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1885, 2017.
- [17] M. Sharaf, M. S. Yousef, and A. S. Huzayyin, "Review of cooling techniques used to enhance the efficiency of photovoltaic power systems," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 18, pp. 26131–26159, 2022.
- [18] S. Sargunanathan, A. Elango, and S. T. Mohideen, "Performance enhancement of photovoltaic photovoltaic cells using effective cooling methods: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 64, pp. 382–393, 2016.
- [19] E. Garabitos Lara and F. Santos García, "Review on viability and implementation of residential PHOTOVOLTAIC-battery systems: Considering the case of Dominican Republic," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8868–8899, 2021.
- [20] A. Ouédraogo, B. Zouma, E. Ouédraogo, L. Guissou, and D. J. Bathiébo, "Individual efficiencies of a polycrystalline silicon photovoltaic cell versus suhue," *Results Opt.*, vol. 4, no. March, 2021.
- [21] A. H. A. Salman, K. H. Hilal, and S. A. Ghadhbhan, "Enhancing performance of PHOTOVOLTAIC module using water flow through porous media," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 34, no. March, p. 102000, 2022.
- [22] Y. Zhao, S. Gong, C. Zhang, M. Ge, and L. Xie, "Performance analysis of a photovoltaic photovoltaic power generation system with spray cooling," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 29, no. February 2021, p. 101723, 2022.
- [23] A. Maleki, A. Haghighi, M. El Haj Assad, I. Mahariq, and M. Alhuyi Nazari, "A review on the approaches employed for cooling PHOTOVOLTAIC cells," *Sol. Energy*, vol. 209, no. October 2019, pp. 170–185, 2020.
- [24] M. Hasanuzzaman, A. B. M. A. Malek, M. M. Islam, A. K. Pandey, and N. A. Rahim, "Global advancement of cooling technologies for photovoltaic systems: A review," *Sol. Energy*, vol. 137, pp. 25–45, 2016.
- [25] E. Kermani, S. Dessiatoun, A. Shooshtari, and M. M. Ohadi, "Experimental Investigation of Heat Transfer Performance of a Manifold Microchannel Heat sink for Cooling of Concentrated Photovoltaic Cells," pp. 453–459, 2009.
- [26] A. M. A. Soliman and H. Hassan, "An experimental work on the performance of photovoltaic cell cooled by flat heat pipe," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 146, no. 4, pp. 1883–1892, 2021.