

# Peningkatan Performa Sel Surya Dengan Sistem Peredam Panas

Soni Prayogi  
Teknik Elektro  
Universitas Pertamina  
Jakarta, Indonesia  
soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id

Fitria Silviana  
Ilmu Fisika  
Universitas Negeri Medan  
Medan, Indonesia  
silviana@gmail.com

Zainuddin  
Pendidikan Fisika  
Universitas Syiah Kuala  
Banda Aceh, Indonesia  
zainuddin@usk.ac.id

Diterima : Februari 2023  
Disetujui : Juni 2023  
Dipublikasi : Juli 2023

**Abstrak:** Dalam studi ini, kami melakukan investigasi eksperimental terhadap kinerja sel surya yang digabungkan dengan peredam panas dengan sistem yang relatif sederhana. Pengaturan eksperimen dalam ruangan dirancang dan dirakit untuk menyelidiki dampak penggunaan sistem pendingin peredam panas terhadap performan dari kinerja sel surya. Lampu halogen digunakan untuk mensimulasikan radiasi matahari dan penelitian dilakukan pada nilai radiasi matahari yang bervariasi dari panjang gelombang tertinggi ke panjang gelombang terendah. Selain itu, penelitian dilakukan pada udara alami dan paksa untuk mendinginkan peredam panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin peredam panas meningkatkan kinerja sel surya. Suhu sel surya menurun sekitar 5,4 % dan 11 % masing-masing dengan menggunakan sistem pendingin peredam panas pada udara alami dan udara paksa di atas peredam panas. Kami meyakini, efisiensi dan daya sistem sel surya meningkat sekitar 16% saat sistem pendingin peredam panas digunakan.

**Kata Kunci:** Sel surya; Peredam panas; Sirip; Pendingin Kinerja

**Abstract:** In this study, we conducted an experimental investigation of the performance of a solar cell coupled with a heat sink in a relatively simple system. An indoor experimental setup was designed and assembled to investigate the impact of using a heat sink cooling system on the performance of solar cell performance. Halogen lamps are used to simulate solar radiation and research is carried out on the value of solar radiation which varies from the highest wavelength to the lowest wavelength. In addition, research was carried out on natural and forced air to cool the heat sink. The results showed that the use of a heat dissipation cooling system increases the performance of solar cells. The temperature of the solar cell was decreased by about 5.4 % and 11 % respectively by using natural air and forced air to overheat sink cooling systems. We believe the efficiency and power of the solar cell system increase by about 16% when a heat dissipation cooling system is used.

**Kata Kunci:** Solar cells; Heat sinks; Fins; Performance Coolers

## I. PENDAHULUAN

Energi matahari adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling vital yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem tenaga surya, sistem pendingin dan pemanas surya, dan sistem sel surya [1].

Sistem sel surya dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan bantuan efek fotovoltaik [2]. Hanya 20% dari spektrum energi sinar matahari diubah menjadi listrik [3], tetapi lebih dari 50% ditransfer menjadi panas berlebih [4]. Peningkatan suhu sel surya mengakibatkan penurunan daya dan efisiensi [5]. Selain itu, kelebihan panas di sel surya dapat memengaruhi lapisan silikon sel surya dan mengakibatkan performa menjadi kurang maksimal [6]. Jadi, suhu dan keseragaman sel surya harus dikontrol dengan penggunaan sistem pendingin yang sesuai [7]. Sistem pendingin dapat diklasifikasikan menjadi sistem pasif dan sistem aktif tergantung pada daya input yang digunakan dalam sistem pendingin [8]. Sistem pasif tidak membutuhkan daya input sedangkan sistem aktif membutuhkan daya input [9].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menguji kinerja sel surya menggunakan berbagai jenis sistem pendingin yang berbeda [10]. Pendinginan sel surya terkonsentrasi saat ini telah menarik perhatian yang dilakukan melalui berbagai penelitian. Hal ini sangat penting dilakukan karena efisiensi sel surya sangat dipengaruhi oleh suhu operasinya [11]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sel surya fotovoltaik berkurang sekitar 0,5% saat suhu sel surya fotovoltaik naik satu derajat [12]. Selain itu, distribusi suhu pada fotovoltaik sangat mempengaruhi pada kinerja dan kualitas fotovoltaik [13]. Penurunan kinerja fotovoltaik karena hilangnya output daya dari fotovoltaik dan kenaikan termal dapat terjadi karena peningkatan tegangan termal [14]. Banyak investigasi yang berhubungan dengan pendinginan fotovoltaik telah dipresentasikan secara eksperimental dan numerik [15]. Dengan menggunakan teknik pendinginan yang efektif, akan menghasilkan suhu fotovoltaik yang rendah yang mengakibatkan efisiensi fotovoltaik semakin meningkat [16]. Teknik pendinginan yang berbeda telah digunakan untuk meningkatkan kinerja fotovoltaik yang dapat diklasifikasikan menjadi pendinginan pasif atau aktif [17]. Pendinginan pasif tidak memerlukan daya berlebih tetapi memiliki sedikit kinerja pendinginan [18]. Beberapa contoh pendinginan pasif adalah pendinginan dengan memanfaatkan bahan pengubah fasa, pendinginan dengan menggunakan *heat sink*, dan perendaman atau pencelupan fotovoltaik dalam cairan

pendingin [19]. Pendingin aktif membutuhkan tenaga ekstra untuk memompa air atau memampatkan udara [20]. Teknik ini memiliki efisiensi pendinginan yang lebih tinggi daripada teknik pendinginan pasif [21]. Pendinginan dengan pelampiasan jet dan penyemprotan air, media pendingin melewati saluran atau saluran, pendinginan dengan saluran mikro adalah beberapa contoh pendinginan pasif.

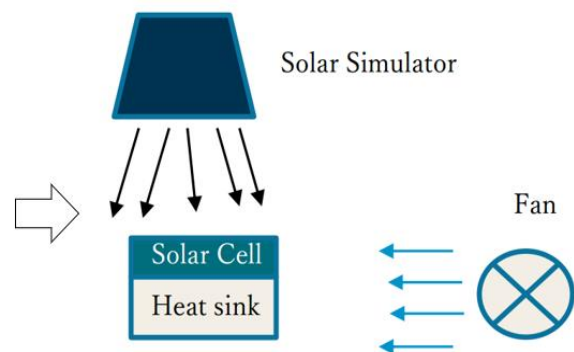
Berdasarkan uraian di atas diketahui bahwa berbagai penelitian telah dilakukan untuk mempelajari kinerja sel surya menggunakan teknik pendinginan yang berbeda. Namun berbagai penelitian yang dilakukan sebagian besar hanya menguji teknik pendinginan pasif pada pendinginan sel surya fotovoltaik, misalnya dengan menggunakan *heat spreader* metal sebagai peredam panas [22]. Namun, beberapa penelitian telah menyelidiki kinerja sistem pendingin peredam panas sebagai teknik pendinginan pasif untuk pendinginan sel surya [23]. Hasil studi pendahuluan juga menunjukkan bahwa penelitian yang menggabungkan sistem pendinginan pasif dan aktif menggunakan peredam panas udara alami dan udara paksa belum dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini menyelidiki kinerja sel surya yang digabungkan dengan sistem pendingin peredam panas yang didinginkan oleh udara pendinginan alami dan paksa. Kinerja sel dipelajari dengan mengukur suhu sel dan karakteristik listrik. Selain itu, menghitung efisiensi dan daya sel surya disajikan.

## II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium. Metode ini dipilih agar peneliti dapat memiliki kontrol penuh dalam melakukan manipulasi dan akan lebih

mudah dalam melakukan pengamatan atau pengukuran. Penelitian ini mengukur dan melihat hubungan beberapa variabel penelitian, yaitu eksperimen dalam ruangan dilakukan untuk mempelajari kinerja sistem pendingin peredam panas sel surya. Eksperimen dalam ruangan dilakukan di lab departemen teknik elektro di universitas Pertamina Jakarta, Indonesia. Lampu halogen digunakan untuk mensimulasikan radiasi matahari. Sel surya 6-volt digunakan. Pendingin aluminium digunakan untuk mendinginkan sel surya. Udara alami dan paksa digunakan untuk mendinginkan peredam panas. Kinerja sel dievaluasi dengan mengukur suhu sel, voltase dan ampere serta daya dan efisiensi sel di bawah perbedaan rasio konsentrasi dan kecepatan udara dihitung.

Setup eksperimental yang digunakan untuk menyelidiki kinerja sistem pendingin yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 1. Lampu halogen 1000-watt dengan pengatur tegangan digunakan untuk mensimulasikan radiasi matahari dari matahari. Sel surya polikristalin dengan 6-volt dan 12,5 mA dan dimensi 65 mm × 165 mm digunakan. Termokopel tipe K dan kamera pencitraan termal digunakan untuk mengukur suhu sel surya. Intensitas spektrum matahari diukur dengan menggunakan luxmeter. Anemometer digunakan untuk mengontrol kecepatan udara di atas peredam panas dan unit pendingin udara digunakan untuk menjaga suhu sekitar tetap konstan. Volt dan ampere sel diukur dengan menggunakan multimeter pada nilai resistansi yang berbeda. Terakhir, data logger yang terhubung ke PC digunakan untuk menyimpan hasil pengukuran.



Gambar 1. Setup eksperimen dan Diagram skematik yang digunakan

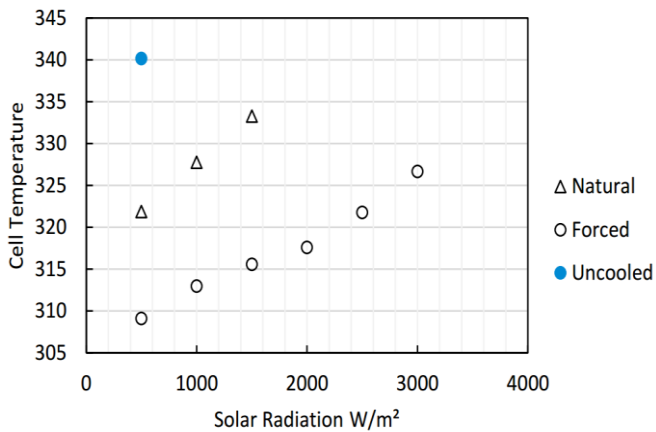
Pendingin aluminium bersirip digunakan untuk menghilangkan panas dari sel surya. Unit pendingin terdiri dari 18 sirip dan dimensi unit pendingin adalah 180 mm × 100 mm × 45 mm. Panas dihilangkan dari peredam panas dengan menggunakan udara alami. Kipas DC 12-V digunakan untuk mengalirkan udara di atas sirip peredam panas. Kinerja sel surya diselidiki di bawah radiasi matahari yang berbeda dan menggunakan konveksi paksa atau alami di atas peredam panas. Radiasi matahari disimulasikan dengan menggunakan lampu halogen dengan penggeser tegangan untuk memodifikasi radiasi matahari. Radiasi matahari (500, 1000, 1500, 2000, 2500 dan 3000 W/m<sup>2</sup>) diterapkan untuk menyelidiki kinerja sistem pendingin di

bawah angka radiasi matahari yang berbeda. Kinerja sel surya diselidiki dengan mengukur suhu sel surya, tegangan keluaran dan arus listrik. Selain itu, daya dan efisiensi sel surya dihitung untuk menyelidiki kinerja sistem pendingin pada pendingin sel.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

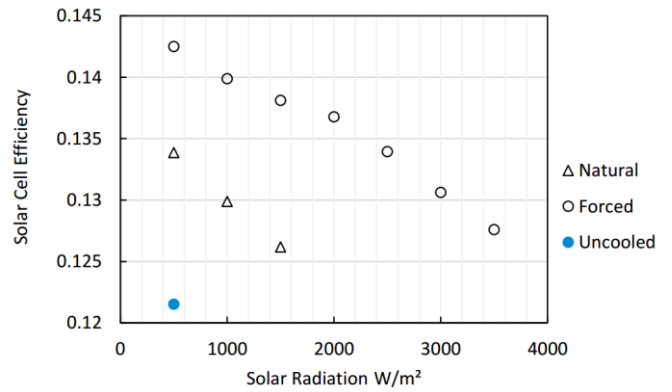
Kinerja sel surya digabungkan dengan sistem pendingin peredam panas pada radiasi matahari yang berbeda dan pada pendinginan udara alami dan paksa melalui heat sink diselidiki secara eksperimental. Gambar 2 menunjukkan variasi suhu sel surya pada kejadian yang berbeda nilai radiasi matahari untuk pendinginan sel surya dengan peredam

panas yang didinginkan oleh udara alami dan pendinginan sel dengan peredam panas yang didinginkan secara paksa. Dibandingkan sel surya yang didinginkan dengan konveksi alami tanpa menggunakan peredam panas pada radiasi matahari insiden  $500 \text{ W/m}^2$  seperti yang tertera pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa suhu meningkat dengan meningkatnya radiasi matahari. Suhu sel surya menurun sebesar 5,4% ketika peredam panas didinginkan dengan konveksi alami karena bertambahnya luas perpindahan panas dengan bantuan peredam panas dan 11% ketika peredam panas didinginkan dengan konveksi paksa karena peningkatan koefisien perpindahan panas karena aliran udara paksa. Pada radiasi matahari  $500 \text{ W/m}^2$ , suhu sel surya yang tidak didinginkan adalah  $340,2 \text{ }^\circ\text{C}$  sedangkan  $321,9 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $309,1 \text{ }^\circ\text{C}$  ketika sistem pendingin peredam panas didinginkan oleh pendinginan udara alami dan paksa. Pada kejadian radiasi matahari  $1500 \text{ W/m}^2$  digunakan, suhu sel surya menurun sebesar 6 % ketika aliran udara konveksi paksa diterapkan pada peredam panas alih-alih konveksi alami. Pada kejadian radiasi matahari  $3000 \text{ W/m}^2$ , suhu sel surya yang dikopel dengan peredam panas yang didinginkan oleh udara paksa dan lebih rendah dari suhu matahari yang tidak didinginkan pada sel surya  $500 \text{ W/m}^2$  sekitar  $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .



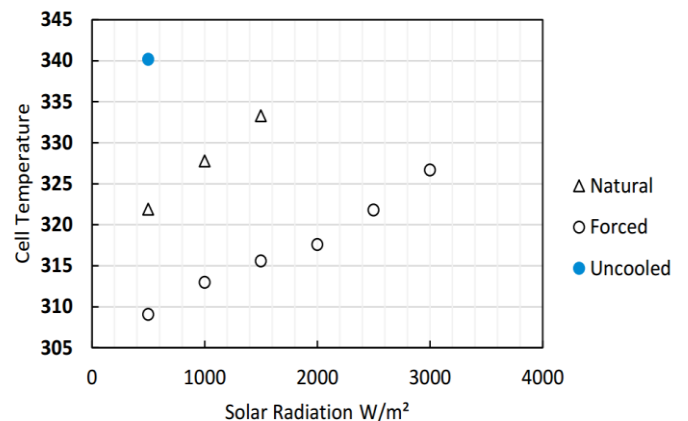
Gambar 2. Variasi suhu sel surya dengan radiasi matahari yang berbeda

Gambar 3 menunjukkan variasi efisiensi sel surya listrik dengan nilai radiasi matahari insiden yang berbeda untuk pendinginan sel dengan peredam panas pada pendinginan konveksi paksa dan alami di atas peredam panas. Efisiensi sel surya juga dibandingkan dengan efisiensi sel surya tanpa pendinginan pada insiden radiasi matahari  $500 \text{ W/m}^2$ . Gambar 3 juga memperlihatkan bahwa efisiensi sel surya listrik menurun dengan meningkatnya radiasi matahari karena peningkatan kehilangan panas untuk radiasi matahari yang lebih tinggi. Penggunaan peredam panas dengan udara pendinginan alami dan paksa meningkatkan efisiensi listrik masing-masing sekitar 8 % dan 16 % dibandingkan dengan sel surya yang tidak didinginkan [24]. Pada insiden radiasi matahari  $1500 \text{ W/m}^2$ , efisiensi meningkat sebesar 9 % ketika konveksi paksa diterapkan pada sirip peredam panas dari pada konveksi alami. Ditemukan juga bahwa efisiensi sel surya dengan sistem pendingin peredam panas pada  $3500 \text{ W/m}^2$  lebih besar daripada efisiensi sistem tanpa pendingin pada  $500 \text{ W/m}^2$  sekitar 5 %.



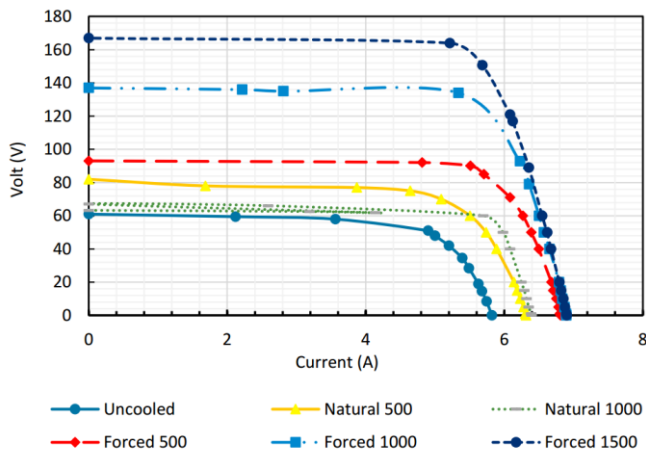
Gambar 3. Variasi efisiensi sel surya dengan radiasi matahari yang berbeda

Gambar 4 menunjukkan variasi daya listrik sel surya dengan nilai radiasi matahari insiden yang berbeda untuk peredam panas yang didinginkan oleh aliran udara alami dan paksa di atas peredam panas dan juga dibandingkan dengan sel surya yang tidak didinginkan pada energi matahari insiden  $500 \text{ W/m}^2$ . Gambar 4 juga memperlihatkan bahwa daya listrik meningkat dengan meningkatnya radiasi matahari. Selain itu, peningkatan maksimum daya sel surya dengan sistem pendingin adalah 16% lebih besar dari yang tidak didinginkan [25]. Pada kejadian penyinaran matahari  $1500 \text{ W/m}^2$ , daya listrik sel surya yang dikopel dengan peredam panas yang didinginkan dengan sistem pendingin alami adalah  $1,86 \text{ W}$  dan untuk sistem sel surya yang didinginkan dengan udara paksa adalah  $2,04 \text{ W}$ .



Gambar 4. Variasi daya listrik sel surya dengan radiasi matahari yang berbeda

Gambar 5 menunjukkan kurva I-V untuk sel surya tanpa pendinginan dan sel surya yang didinginkan dengan heat sink untuk pendinginan alami dan pendinginan udara paksa untuk radiasi matahari yang berbeda. Jelas dari gambar bahwa peningkatan suhu sel menyebabkan penurunan tegangan dan peningkatan arus [26]. Selain itu, peningkatan radiasi matahari meningkatkan volt dan arus karena peningkatan radiasi matahari yang datang [27]. Hal ini juga menunjukkan bahwa volt keluaran sel surya meningkat dengan menurunnya arus keluaran sel surya.



Gambar 5. Kurva I-V untuk sel surya di bawah radiasi matahari yang berbeda

Hasil yang kami lakukan, menguatkan tentang penggunaan peredam panas untuk meningkatkan kinerja sel surya seperti yang pernah juga dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Pritesh et al, menyelidiki kinerja sistem pendingin *Thermo Electric Generator* (TEG) sel surya secara teoritis dan eksperimental [28]. TEG diapit di antara sel surya dan heat sink secara eksperimental untuk menyelidiki radiasi matahari yang optimal. nilai optimal untuk konsentrasi geometris ditemukan dengan bantuan model computer [29]. Untuk radiasi matahari  $800 \text{ W/m}^2$  dan peredam panas dengan panjang 0,15 m konsentrasi geometri optimum adalah 13. Ramy et al, menggunakan material perubahan fasa yang berbeda untuk pendinginan fotovoltaik terkonsentrasi secara numerik [30]. Konfigurasi baru tangki material perubahan fasa diusulkan untuk mengatasi masalah hotspot yang terjadi pada tangki biasa. hasil mereka menunjukkan bahwa konfigurasi tangki material perubahan fasa jajaran genjang mengurangi suhu sebesar  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### IV. KESIMPULAN

Kinerja sel surya yang didinginkan dengan sistem pendingin peredam panas bersipir diselidiki secara eksperimental. Studi ini dilakukan pada insiden radiasi matahari yang berbeda dan pada aliran udara konveksi alami dan paksa di atas sirip peredam panas. Kinerja sel surya dengan menggunakan sistem pendingin peredam panas dibandingkan dengan kinerja sel surya yang didinginkan hanya dengan konveksi alami tanpa menggunakan peredam panas. Suhu dan karakteristik listrik sel diukur. Selain itu, daya dan efisiensi sel dihitung. Temuan dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kinerja sel surya ditingkatkan dengan menggunakan sistem pendingin peredam panas. Suhu sel surya menurun sebesar 5,4% dan 11% ketika sel didinginkan oleh sistem pendingin peredam panas dengan konveksi alami dan paksa dari aliran udara di atas peredam panas. Efisiensi dan daya sel surya meningkat sebesar 8% dan 16% ketika sel didinginkan oleh sistem pendingin peredam panas dengan konveksi alami dan paksa dari aliran udara di atas peredam panas. Tegangan dan arus keluaran sel surya meningkat dengan meningkatnya radiasi matahari input ke sel surya. Secara keseluruhan penelitian yang kami lakukan berhasil dalam meningkatkan kinerja sel surya dengan menggunakan peredam panas.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Universitas pertama atas dukungan dan fasilitas yang diberikan.

#### REFERENSI

- [1] S. Prayogi, Y. Cahyono, I. Iqballudin, M. Stchakovsky, and D. Darminto, "The effect of adding an active layer to the structure of a-Si: H solar cells on the efficiency using RF-PECVD," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 32, no. 6, pp. 7609–7618, Mar. 2021, doi: 10.1007/s10854-021-05477-6.
- [2] N. A. Handayani and D. Ariyanti, "Potency of Solar Energy Applications in Indonesia," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 1, no. 2, pp. 33–38, Jul. 2012, doi: 10.14710/ijred.1.2.33-38.
- [3] D. Hamdani, S. Prayogi, Y. Cahyono, G. Yudoyono, and D. Darminto, "The influences of the front work function and intrinsic bilayer ( $i_1$ ,  $i_2$ ) on p-i-n based amorphous silicon solar cell's performances: A numerical study," *Cogent Eng.*, vol. 9, no. 1, p. 2110726, Dec. 2022, doi: 10.1080/23311916.2022.2110726.
- [4] S. Irvine, "Solar Cells and Photovoltaics," in *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials*, S. Kasap and P. Capper, Eds. Boston, MA: Springer US, 2007, pp. 1095–1106. doi: 10.1007/978-0-387-29185-7\_46.
- [5] A. D. Dhass, Y. Prakash, and K. C. Ramya, "Effect of temperature on internal parameters of solar cell," *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 732–735, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.079.
- [6] A. Q. Malik, C. C. Hah, C. S. Khwang, L. C. Ming, and T. K. Sheng, "Characterisation of multicrystalline solar cells," *ASEAN J. Sci. Technol. Dev.*, vol. 23, no. 1–2, Art. no. 1–2, 2006, doi: 10.29037/ajstd.96.
- [7] D. Ahuja and M. Tatsutani, "Sustainable energy for developing countries," *SAPIENS Surv. Perspect. Integrating Environ. Soc.*, no. 2.1, Art. no. 2.1, Apr. 2009, Accessed: Nov. 16, 2022. [Online]. Available: <https://journals.openedition.org/sapiens/823>
- [8] E. Delyannis and V. Belessiotis, "Solar Water Desalination☆," in *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, Elsevier, 2013. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.01492-5.
- [9] J. Machacek, Z. Prochazka, and J. Drapela, "System for measuring and collecting data from solar-cell systems," in *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, Oct. 2007, pp. 1–4. doi: 10.1109/EPQU.2007.4424164.
- [10] S. Prayogi, "Studi Struktur Elektronik Sel Surya a-Si: H Lapisan Jamak Menggunakan Spektroskopi Elipsometri," doctoral, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2022. Accessed: Dec. 16, 2022. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/94763/>
- [11] T. K. Ghosh and M. A. Prelas, "Solar Energy," in *Energy Resources and Systems: Volume 2: Renewable Resources*, T. K. Ghosh and M. A. Prelas, Eds. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011, pp. 79–156. doi: 10.1007/978-94-007-1402-1\_2.
- [12] S. C. Bhatia, "3 - Solar devices," in *Advanced Renewable Energy Systems*, S. C. Bhatia, Ed. Woodhead Publishing India, 2014, pp. 68–93. doi: 10.1016/B978-1-78242-269-3.50003-6.
- [13] H. Messel and S. T. Butler, Eds., "Sunlight and Electrons," in *Solar Energy*, Pergamon, 1975, pp. 277–292. doi: 10.1016/B978-0-08-019817-0.50027-6.
- [14] S. Prayogi, Y. Cahyono, and D. Darminto, "Electronic structure analysis of a-Si: H p-i-i2-n solar cells using ellipsometry spectroscopy," *Opt. Quantum Electron.*, vol. 54, no. 11, p. 732, Sep. 2022, doi: 10.1007/s11082-022-04044-5.
- [15] J. Krautmann and J. Zhu, "Photovoltaic Solar Energy Systems: Market Trends In The United States," *Int. J. Appl. Power Eng. IJAPE*, vol. 1, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2012, doi: 10.11591/ijape.v1.i3.pp123-128.

- [16] L. Ardhenta and W. Wijono, "Photovoltaic Array Modeling under Uniform Irradiation and Partial Shading Condition," *Int. J. Appl. Power Eng. IJAPE*, vol. 6, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2017, doi: 10.11591/ijape.v6.i3.pp142-149.
- [17] A. G. Djafar and Y. Mohamad, "Method to assess the potential of photovoltaic panel based on roof design," *Int. J. Appl. Power Eng. IJAPE*, vol. 11, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2022, doi: 10.11591/ijape.v11.i3.pp186-198.
- [18] M. Venkateshkumar and R. Raghavan, "Hybrid Photovoltaic and Wind Power System with Battery Management System Using Fuzzy Logic Controller," *Int. J. Appl. Power Eng. IJAPE*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Aug. 2016, doi: 10.11591/ijape.v5.i2.pp72-78.
- [19] K. A. Prior, "SEMICONDUCTOR PHYSICS | Impurities and Defects," in *Encyclopedia of Modern Optics*, R. D. Guenther, Ed. Oxford: Elsevier, 2005, pp. 442–450. doi: 10.1016/B0-12-369395-0/00624-2.
- [20] S. Prayogi, Y. Cahyono, and Darminto, "Fabrication of solar cells based on a-Si: H layer of intrinsic double (P-ix-iy-N) with PECVD and Efficiency analysis," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1951, no. 1, p. 012015, Jun. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1951/1/012015.
- [21] S. Kasap, C. Koughia, J. Singh, H. Ruda, and S. O'Leary, "Optical Properties of Electronic Materials: Fundamentals and Characterization," in *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials*, S. Kasap and P. Capper, Eds. Boston, MA: Springer US, 2007, pp. 47–77. doi: 10.1007/978-0-387-29185-7\_3.
- [22] L. Micheli, K. S. Reddy, and T. K. Mallick, "Plate Micro-fins in Natural Convection: An Opportunity for Passive Concentrating Photovoltaic Cooling," *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 301–308, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.037.
- [23] C. G. Popovici, S. V. Hudişteanu, T. D. Mateescu, and N.-C. Cherecheş, "Efficiency Improvement of Photovoltaic Panels by Using Air Cooled Heat Sinks," *Energy Procedia*, vol. 85, pp. 425–432, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.223.
- [24] P. Gokhale, B. Loganathan, A. Date, and A. Date, "Theoretical and Experimental Study to Determine the Solar Concentration Limit with Passive Cooling of Solar Cells," *Energy Procedia*, vol. 110, pp. 286–291, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.141.
- [25] R. Rabie, H. Hassan, S. Ookawara, and M. Ahmed, "Performance enhancement of the concentrated photovoltaic using different phase change material configurations," *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 61–65, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.012.
- [26] R. D. Dako and W. Ridwan, "Penguujian karakteristik Functional Suitability dan Performance Efficiency tesadaptif.net," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2021, doi: 10.37905/jjee.v3i2.10787.
- [27] S. Prayogi et al., "Observation of resonant exciton and correlated plasmon yielding correlated plexciton in amorphous silicon with various hydrogen content," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-24713-5.
- [28] D. Darminto et al., "Unrevealing tunable resonant excitons and correlated plasmons and their coupling in new amorphous carbon-like for highly efficient photovoltaic devices," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, Art. no. 1, May 2023, doi: 10.1038/s41598-023-31552-5.
- [29] S. Prayogi, A. Ayunis, Y. Cahyono, and D. Darminto, "N-type H<sub>2</sub>-doped amorphous silicon layer for solar-cell application," *Mater. Renew. Sustain. Energy*, Apr. 2023, doi: 10.1007/s40243-023-00232-9
- [30] R. S. Poliyama, F. E. P. Surusa, and R. K. Abdullah, "Rancang Bangun Alat Sistem Monitor Lampu Jalan Umum Tenaga Surya Berbasis Teknologi Lo - Ra," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2021, doi: 10.37905/jjee.v3i2.10202.