

PASSIVE COOLING PADA PHOTOVOLTAIC POLYCRYSTALLINE 100 WP MENGUNAKAN PELAT ALUMINIUM BERLUBANG UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PV

A. Sofijan^{1*}, W. Adipradana¹, Rendyansyah¹, M. S. A. Syahbana², M. A. Batraling², I. Akbar³, Javen¹ dan M. Nuruddin¹

¹ Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Indralaya

² Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Indralaya

³ Teknik Mesin, Universitas Tridinanti, Palembang

Corresponding author: a_sofijan@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Energi matahari menghasilkan 2 jenis energi yaitu listrik dan panas. Penggunaan panel PV dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang efisien. Peningkatan pada suhu sel PV dapat menurunkan efisiensi dan daya keluaran. Penelitian ini difokuskan pada pendinginan pasif untuk menurunkan suhu sel PV dan meningkatkan efisiensi sel PV menggunakan pelat aluminium berlubang. Pelat aluminium berlubang sebagai sistem pendingin panel PV dengan diameter 15mm berjarak 20mm, dan jumlah lubang 1515. Dapat meningkatkan efisiensi sebesar 12.18703% pada panel PV berjenis polikristalin dengan daya berkapasitas maksimum 100WP.

Kata Kunci: Pendingin pasif, Aluminium berlubang, Polikristalin

ABSTRACT: Solar energy produces 2 types of energy, namely electricity and heat. The use of PV panels can convert solar energy into efficient electrical energy. An increase in pv cell temperature can decrease the efficiency and output power. The study focused on passive cooling to lower the temperature of PV cells and improve the efficiency of PV cells using perforated aluminum plates. The aluminum plate is perforated as a PV panel cooling system with a diameter of 15mm spaced 20mm, and the number of holes is 1515. It can increase efficiency by 12.18703% on polycrystalline PV panels with a maximum capacity of 100WP.

Keywords: Passive cooling, Perforated aluminium plate, Polycrystalline

PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Energi matahari menghasilkan 2 jenis energi yaitu listrik dan panas. Penggunaan panel PV dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang efisien, dikarenakan panel PV dapat memberi manfaat yang signifikan bagi sosial dan lingkungan dibandingkan dengan energi konvensional (Dubey et al., 2013). Energi panas yang dihasilkan matahari dapat meningkatkan temperatur panel PV dan mengurangi kinerja panel PV.

Peningkatan temperatur pada panel PV memiliki dampak buruk pada efisiensi panel PV, untuk menjaga temperatur panel PV berada pada nilai maksimum yang diharapkan saat radiasi mencapai $1000\text{W}/\text{m}^2$, digunakan penelitian dengan *cooling technique* (Amelia et al., 2016). *Output* daya maksimum, tegangan rangkaian terbuka, dan

arus pendek merupakan parameter utama yang dipengaruhi oleh suhu panel surya. Dampak yang dihasilkan temperatur sel pada kinerja panel PV dengan radiasi yang konstan diselidiki secara eksperimental dan numerik (Zaoui et al., 2015).

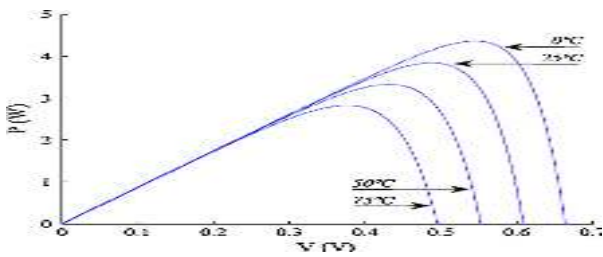
Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan pada suhu sel PV dapat menurunkan efisiensi dan daya keluaran, penurunan disebabkan oleh variasi suhu sel PV dan lokasi panel PV merupakan faktor penting untuk di pertimbangkan. Oleh karena itu, dengan cara yang sederhana penelitian ini difokuskan pada pendingin pasif untuk menurunkan suhu sel PV dan meningkatkan efisiensi sel PV menggunakan pelat aluminium berlubang.

METODE

Panel Fotovoltaik

Modul PV dikategorikan menjadi tiga jenis kristal sel yaitu : polikristalin, monokristalin dan *amorf*. Bahan dasar produksi modul PV menggunakan silikon. Silikon mempunyai dua kelompok utama yaitu modul thin dan silikon kristalin. Hal ini dikelompokkan berdasarkan aplikasi (Sofijan et al., 2020). Silikon kristalin merupakan modul berjenis dominan diaman proses nya berasal dari wafer silikon kristalin. Factor daya output maksimum dan tegangan sirkuit terbuka mempunyai koefisien yang memiliki suhu negative dimana hal ini mempengaruhi kinerja silikon kristalin. Pada arus hubungan singkat yang mempunyai koefisien suhu positif, suhu sekitar yang berasal dari lokasi dan daya keluaran dari fotovoltaiik tidak akan langsung peroprasional. Menurut penelitian (Sofijan, 2020) terjadinya peningkatan temperatur panel yaitu pada saat cuaca di Malaysia terjadi peningkatan suhu panas. Teknik pendinginan dapat mengurangi panas panel dan meningkatkan kinerja panel PV (Nabil & Mansour, 2022).

Tegangan akan mendekati 7V apabila temperatur panel 0°C dan daya 1 W, sedangkan tegangan mendekati 6V apabila temperatur panel 250°C, dan pada tegangan sebesar 5,5V dihasilkan oleh temperatur 500°C. dengan demikian juga untuk mendekati tegangan 5V diperlukan temperatur panel 750°C. penurunan daya output dan tegangan modul PV diakibatkan karena adanya pertambahan temperatur sel, terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik P-V sebagai Fungsi Temperatur (Taşçıoğlu et al., 2016).

Analisis regresi menghasilkan Arus panel fotovoltaiik (I_{pp}), Daya maksimum (P_{max}) dan *Fill Factor* (FF), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), tegangan panel fotovoltaiik (V_{pp}) yang digunakan dalam penentuan parameter koefisien temperature.

Efisiensi konversi energi η modul didefinisikan sebagai berikut :

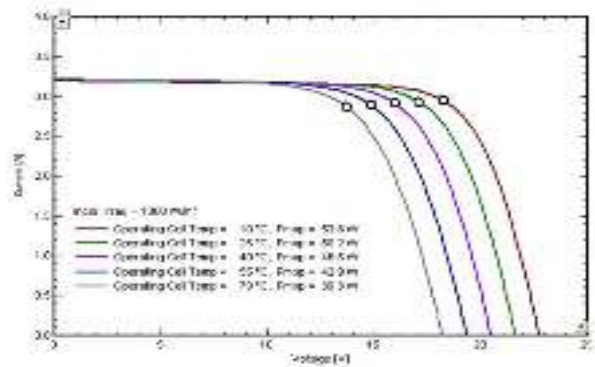
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{pp} \cdot V_{pp}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{P_{in}} \quad (1)$$

P_{in} adalah total daya *input* radiasi dari semua cahaya matahari yang mengenai permukaan sel/modul, dan P_{out} adalah output daya listrik dari sel/modul.

Factor pengisian, FF ditentukan oleh:

$$FF = \frac{I_{pp} \cdot V_{pp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} * 100 \% \quad (2)$$

Gambar 2 merupakan kurva tegangan dan arus yang mengakibatkan penurunan pada keluaran modulnya. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan temperatur operasi sel sebagai fungsi temperatur. Standar nilai variable pada kurva I-V diikuti oleh factor pengisian diaman semakin sel menghasilkan banyak daya maka semakin tinggi FF yang dimiliki.



Gambar 2. Karakteristik I-V modul PV.

Hubungan antara arus hubungan singkat dan tegangan hubung terbuka oleh.

$$I_{sc} = 10 \frac{eq \cdot V_{oc}}{AKT^{-1}} \quad (3)$$

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} * \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0+1}\right) \quad (4)$$

Dimana,

I_{sc} = arus hubung singkat (arus pada $V = 0$). Idelanya, ini sama dengan cahaya yang dihasilkan saat ini (I_L).

V_{oc} = tegangan rangkaian terbuka (tegangan pada $I = 0$, V_{oc} sangat bergantung pada sifat-sifatnya semikonduktor berdasarkan ketergantungannya pada $I = 0$, arus nol.

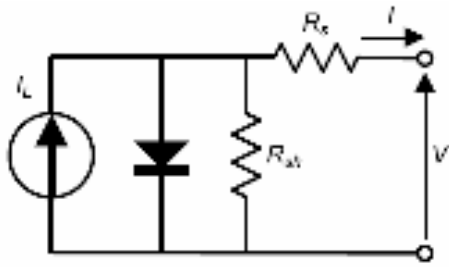
Q = muatan elektronik, faktor kualitas diode dari persimpangan p-n.

Rangkaian terbuka untuk beban maksimum dalam rangkaian.

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = \frac{-\left(\frac{E_g}{q} \cdot V_{oc} + \frac{3KT}{q}\right)}{T} \quad (5)$$

$$I = I_0 \exp\left[\frac{eV}{AKT} - 1\right] - I_L \quad (6)$$

Dimana; E_g = energi band gap; dan T = temperatur sel (K).



Gambar 3. Model dioda tunggal untuk rangkaian ekivalen modul.

PV rangkaian pengganti/ekivalen modul PV model dioda tunggal yang digunakan untuk menggambarkan arus operasional yang dihasilkan modul PV dengan I_L arus yang dibangkitkan cahaya (A), I_0 arus jenuh balik pada sambungan dioda p-n (A), R_s hambatan seri pada sel PV (Ω), R_{sh} hambatan shunt sel PV (Ω), N_s jumlah sel yang tersusun seri, n_1 faktor ideal dioda, dan parameter tunggal dan V_t tegangan termal (V) yang dinyatakan sebagai :

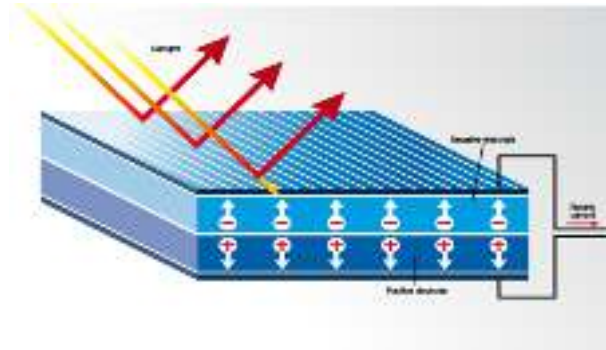
$$V_t = \frac{KTc}{q} \quad (7)$$

Dengan T_c temperatur sel (K), k konstanta Boltzmann (JK) dan q muatan elektron (C). hambatan shunt atau hambatan paralel R_{sh} menunjukkan arus yang bocor (leakage) pada sambungan p-n dioda, dimana nilainya untuk PV modul silikon sekitar $0.1 - 10 \Omega m^2$



Gambar 4. Berikut ini adalah gambar bentuk sel surya yang merupakan modul surya PV yang berbentuk kepingan kecil dan dapat dirangkai seri dan paralel.

Permukaan sel surya PV terbuat dari bahan gelas tembus cahaya. Sebagian permukaan sel surya yang terkena sinar matahari akan dipantulkan dan sebagian lainnya akan mengalami pembentukan kutub positif dan negatif sebagai arus DC karena telah dikonversi menjadi arus listrik.

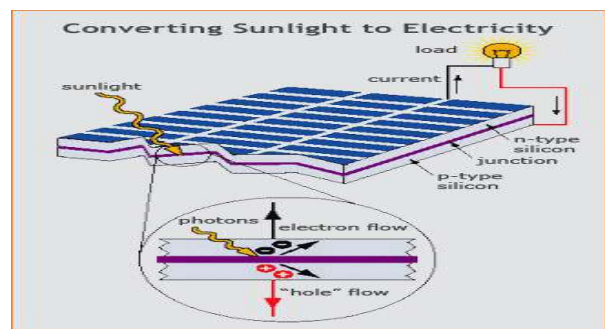


Gambar 5. Struktur dasar sel surya.

Prinsip Kerja Panel PV

Terjadinya perlepasan elektron karena bersentuhan nya cahaya dan sel surya lalu diserap oleh bahan semikonduktor. Sigma gaya pada bahan akan berubah jika pada lapisan yang berbeda elektron tersebut menempuh perjalanan menuju bahan semi konduktor. Pembuatan sel surya memerlukan silikon murni yang memiliki kualitas kristal yang tinggi. Dari atom silikon terbentuk kisi kristal yang bersifat stabil. Pada kulit terluar atom silikon mempunyai empat ikatan elektron. Empat ataom yang berdekatan terbentuk karna adanya iakatan pasangan elektron. Pembentukan pasangan elektron tersebut dengan delapan elektron di kulit terluarnya akan membuat gas mulia yang stabil karena silikon telah mencapai konfigurasi.

Sinar matahari terdiri dari foton dimana partikel yang dimiliki sangat kecil. Foton mampu menghasilkan energi yang mampu memisahkan elektron berstruktur atom karna foton memiliki partikel sinar matahari yang mengenai atom semikonduktor silikon pada sel surya (Marro & Bertsch, 2015), terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Konversi cahaya matahari mnjadi listrik DC (Taşçıoğlu et al., 2016),(Cozzini, n.d.).

Semikonduktor tipe-N adalah wilayah yang bertindak sebagai pendonor elektron dengan elektron negatif yang bebas bergerak. Semikonduktor tipe-P adalah wilayah yang bertindak sebagai akseptor elektron dengan memiliki lubang positif.

Timbulnya arus listrik yang searah (DC *current*) disebabkan karena adanya pemberian beban pada titik temu positif dan negatif (PN *junction*) dalam bentuk lampu atau perangkat listrik lainnya (Karki, 2016).

Kinerja Kelistrikan Yang Tergantung Temperatur Modul PV

Temperatur operasi sel secara linear menjadi patokan efisiensi listrik dan daya keluaran modul PV. Didalam literatur tentang PV/T hanya a-Si dan kristal Si yang ditemukan pada proses praktiknya. Tingginya efisiensi kelistrikan disebabkan karena efisiensi kristal Si yang tinggi juga dan rasio kelistrikan menjadi termal yang lebih tinggi dari PV/T dibandingkan dengan a-Si. Pada kolektor PV/T- cair dan PV/T-udara untuk a-Si dan c-Si, ditemukan bahwa pada suhu nol tereduksi, untuk pengumpul cairan PV/T, efisiensi prototipe c-Si adalah 55% dan prototipe a-Si 60%, sedangkan untuk pengumpulan udara PV/T prototipe c-Si adalah 38% dan prototipe a-Si 45%. Namun, kinerja listrik untuk modul c-Si adalah 12% dan untuk a-Si adalah 6%. Hasil termal yang lebih tinggi juga ditemukan untuk a-Si.

Efisiensi Modul PV Sebagai Fungsi Dari Temperatur Pengoperasian

Efek temperatur pada efisiensi listrik sel PV/modul dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan fundamental (Taşçıoğlu et al., 2016).

$$P_m = I_m V_m = (FF) I_{sc} V_{oc} \quad (8)$$

$$\eta_c = \eta_{Tref} [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref}) + \gamma \log_{10} I(t)] \quad (9)$$

η_{Tref} adalah modul efisiensi listrik pada suhu referensi, T_{ref} , dan pada radiasi matahari 1000 W/m². Koefisien suhu, β_{ref} , dan koefisien radiasi matahari, γ , terutama sifat-sifat material, memiliki nilai sekitar 0,004K dan 0,12, masing-masing, untuk modul silikon kristalin, biasanya diambil sebagai nol, dan pers 10 berkurang menjadi

$$\eta_c = \eta_{Tref} [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref})] \quad (10)$$

yang mewakili ekspresi linear tradisional untuk efisien listrik PV. Jumlah η_{Tref} dan β_{ref} biasanya diberikan oleh pabrikan PV. Namun, dapat diperoleh dari uji coba di mana *output* listrik modul diukur pada dua temperatur yang berbeda untuk *fluks* radiasi matahari yang diberikan.

$$\beta_{ref} = \frac{1}{T_o - T_{ref}} \quad (11)$$

Nilai aktual dari koefisien temperatur dapat juga tergantung pada tref bukan hanya pada bahan PV, itu diberikan pada rasio dipersamaan 11.

Dalam sejumlah korelasi, temperatur sel/modul yang tidak tersedia telah digantikan oleh T_{NOCT} , yaitu temperatur sel operasi nominal (*Nominal Operating Cell Temperature*). Dijelaskan pada persamaan 12.

$$\eta = \eta_{ref} [1 - \beta [T_a - T_{ref} + (T_{NOCT} - T_a) \frac{I(t)}{I(t)_{NOCT}}]] \quad (12)$$

Selain nilai 'instan' untuk efisiensi listrik PV, dapat ditulis juga ekspresi untuk efisiensi rata-rata bulanan. Untuk memperbaiki output energi listrik bulanan modul PV dapat melihat persamaan 13.

$$\eta_c = \eta_{Tref} [1 - \beta_{ref} (T_a - T_{ref}) - \frac{\beta_{ref} (\bar{\tau} \bar{\alpha})}{nU_L} \bar{V} \bar{H}_T] \quad (13)$$

Dimana *over-bar* menunjukkan jumlah rata-rata perbulan, n adalah jumlah jam perhari, U_L adalah koefisien kerugian termal keseluruhan, H_T adalah insulasi perhari dan rata-rata perbulan pada bidang *array* dan \bar{V} adalah fungsi tak berdimensi dari jumlah tersebut sebagai sudut matahari terbenam, indeks kejernihan rata-rata bulanan dan rasio total radiasi bulanan pada array terhadap permukaan horizontal.

Terdapat juga penyajian bentuk-bentuk tambahan untuk Z_c , atas dasar data yang tercantum untuk $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$, rata-rata $\eta_{Tref} \approx 0.12$ dan rata-rata $\beta_{ref} 0.0045^\circ\text{C}$.

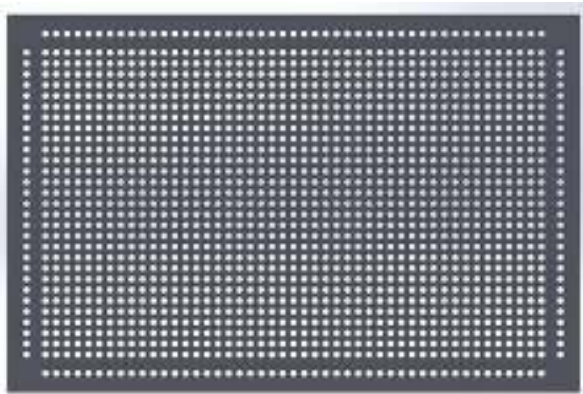
Ketergantungan Daya *Output* PV Pada Modul Operasi Temperatur

Prediksi kinerja modul PV dalam hal *output* daya listrik dalam kondisi lapangan, yaitu penyimpangan dari kondisi pengujian standar dilaporkan oleh pabrikan modul. Misalnya, baru-baru ini diusulkan korelasi untuk daya PV seperti persamaan 14.

$$P = \eta_{Tref} \tau_{pv} AI(t) [1 - 0,0045(T_c - 25)] \quad (14)$$

Efektivitas terhadap panel PV/T sudah banyak dicoba oleh penelitian agar dapat mengalami peningkatan (Handayani & Ariyanti, 2012). Sebagian besar peneliti, mencoba agar sistem pendingin panel PV/T dapat digerakkan dengan penggunaan energi tambahan. Seperti kipas angin dc dan air yang disemprotkan menggunakan pompa pada sistem pendingin air nya (Cozzini, n.d.). jika suhu pada panel PV melebihi batas maka efisiensi pada panel PV akan menurun.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 7. Desain Plat Alumunium Berlubang diameter 15mm.

Tabel 1. Spesifikasi Panel PV.

Electric Rating	Specification
Rated Maximum Power (Pmax)	100W
Open-Circuit Voltage (Voc)	21,6V
Short Circuit Current (Isc)	6,42A
Voltage at Pmax (Vmp)	18,0V
Current at Pmax (Imp)	5,56A
Nominal parating cell temp (Noct)	48±2°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Senes Fuse Rating	18A
Operating Temperature	-40°C±48°C
Cell Technology	Poly-Si

Tabel 2. Spesifikasi Pendingin Pelat Alumunium Berlubang.

Nama Bagian	Spesifikasi
Jenis Logam	Alumunium (Al)
Dimensi	960x600x2mm
Diameter Lubang	15mm
Jarak Antar Lubang	20mm
Jumlah Lubang	1515
Susunan Lubang	In Line

Dapat dilihat pada Gambar.8, perbandingan radiasi matahari terhadap temperatur panel PV tanpa pelat berlubang dan temperatur panel PV menggunakan pendingin pelat berlubang ukuran 15mm. Bahwa radiasi matahari sangat mempengaruhi temperatur panel PV dan dapat dilihat juga pada panel PV yang menggunakan pelat berlubang membuat temperaturnya lebih rendah terhadap temperatur panel PV tanpa menggunakan pelat berlubang. Hal ini menyatakan bahwa penggunaan pelat berlubang dapat menurunkan temperatur panel PV.



Gambar 8. Perbandingan Temperatur Panel PV Terhadap Waktu.

Pada gambar.9 membandingkan radiasi matahari dengan daya keluaran pada panel PV tanpa menggunakan pelat berlubang dan daya keluaran pada panel PV menggunakan pelat berlubang ukuran 15mm. dapat dilihat pada saat pukul 12:00 dengan radiasi mencapai 808 W/m² daya keluaran yang dihasilkan panel PV menggunakan pelat berlubang sangatlah tinggi, sebesar 66.92 W. dibandingkan daya keluaran panel PV tanpa menggunakan pendingin pelat berlubang, sebesar 27.59 W. Dapat dikatakan bahwa penggunaan pelat berlubang bisa meningkatkan daya keluaran panel PV.



Gambar 9. Perbandingan Daya Output Panel PV terhadap Waktu.

Dilihat dari gambar 10. Efisiensi pada pukul 12:00 dengan radiasi 808W/m². Paling tinggi didapat oleh panel PV menggunakan pendingin pelat berlubang dengan nilai efisiensi sebesar 12.18703%, dibandingkan nilai efisiensi panel PV tanpa menggunakan pendingin pelat berlubang hanya sebesar 5.024392%. Jadi,pendingin pelat berlubang dapat meningkatkan nilai efisiensi panel PV.



Gambar 10. Perbandingan efisiensi terhadap waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, A. R., Irwan, Y. M., Leow, W. Z., Irwanto, M., Safwati, I., & Zhafarina, M. (2016). Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(5), 682–688. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.6.5.938>
- Cozzini, M. (n.d.). *Solar Cell Cooling and Heat Recovery in a Concentrated Photovoltaic System*.
- Dubey, S., Jadhav, N. Y., & Zakirova, B. (2013). Socio-economic and environmental impacts of silicon based photovoltaic (PV) technologies. *Energy Procedia*, 33, 322–334. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.073>
- Handayani, N. A., & Ariyanti, D. (2012). Potency of solar energy applications in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 33–38. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.2.33-38>
- Karki, I. B. (2016). Effect of Temperature on the I-V Characteristics of a Polycrystalline Solar Cell. *Journal of Nepal Physical Society*, 3(1), 35. <https://doi.org/10.3126/jnphysoc.v3i1.14440>
- Marro, P., & Bertsch, N. (2015). *Making Renewable Energy a Success in Bangladesh: Getting the Business Model Right by Asian Development Bank*. 41.
- Nabil, T., & Mansour, T. M. (2022). Results in Engineering Augmenting the performance of photovoltaic panel by decreasing its temperature using various cooling techniques. *Results in Engineering*, 15(July), 100564. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100564>
- Sofijan, A. (2020). The Solar Renewable Energy System Study with A Capacity of 1300 W Utilizing Polycrystalline Photovoltaic. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 6(1), 005–011. <https://doi.org/10.36706/jmse.v6i1.29>
- Sofijan, A., Nawawi, Z., Suprpto, B. Y., Bizzy, I., & Sipahutar, R. (2020). Passive cooling using perforated aluminum plate to improve efficiency on monocrystalline of 100 Wp photovoltaic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 909(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/909/1/012006>
- Taşcıoğlu, A., Taşkin, O., & Vardar, A. (2016). A Power Case Study for Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in Bursa City, Turkey. *International Journal of Photoenergy*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7324138>
- Zaoui, F., Titaouine, A., Becherif, M., Emziane, M., & Aboubou, A. (2015). A Combined Experimental and Simulation Study on the Effects of Irradiance and Temperature on Photovoltaic Modules. *Energy Procedia*, 75, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.393>