Perancangan Sistem Pendingin Photovoltaic dengan Memanfaatkan Kontroler Water Spray

Ant. Ardath Kristi^{1*)}, Abdullah Alhaddad²⁾, Muhammad Abdurrahman hafidhuddien³⁾, Noviadi Arief Rachman⁴⁾, Agus Risdiyanto⁵⁾, Bambang Susanto⁶⁾, Agus Junaedi⁷⁾

^{1,4,5,6,7)} P2 TELIMEK LIPI Bandung, Indonesia

^{2,3)} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember, Indonesia

Corresponding Email: ^{*)}ardathmeca@gmail.com

Abstract – Temperature is one of the parameters that can affect the performance of photovoltaic (PV) modules in relation to output power and efficiency. This paper discusses the design of a PV cooling system using water spray mounted on the front and back sides of the module. Each PV module installed with 4 sprayers on both sides. The PV temperature read by the sensor as inputs, then the controller turn on the pump to spray water to maintain the module temperature at ambient temperature. The design of the cooling system implemented and tested on 4 modules with a capacity of 100 Wp (a total of 400 Wp), and measurements of PV output power, pump power and PV temperature simultaneously performed. Testing also involved other modules without cooling system with the same capacity for a comparison. Test results for 12 hours during the day showed the cooling system design proved capable of maintaining PV temperature close to ambient temperature compared to PV without cooling system. PV with cooling system produced more power than PV without cooling system of around 1.26–7.34 %. Further analysis and calculations carried out by involving system power losses, hence the net power efficiency obtained became 0.21–5.04 %.

Key words: temperature, photovoltaic, cooling system, water spray, output power.

I. PENDAHULUAN

Energi adalah suatu hal yang sangat penting dalam kehidupan manusia dimana kebutuhannya semakin terus meningkat seiring dengan perkembangan jaman. Salah satu energi yang sangat dibutuhkan manusia adalah listrik. Penggunaan pembangkit listrik konvensional berbasis fosil dan isu lingkungan menuntut manusia untuk keluar dari ancaman permasalahan krisis energi di masa depan. Sebagai konsekuensinya lambat laun kita harus mulai beralih ke penggunaan energi listrik yang ramah lingkungan.

Selama dekade terakhir sudah banyak sekali penelitian yang berusaha mencari jalan keluar mengatasi permasalahan energi dengan mengembangkan pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan [1]. Salah satu jalan keluar terhadap permasalahan listrik adalah dengan adanya *photovoltaic* (PV) atau yang biasa disebut pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Photovoltaic (PV) merupakan pembangkit listrik yang bersumber dari energi matahari sehingga lebih bersih, tidak menimbulkan polusi udara maupun suara, sehingga ramah lingkungan dan potensinya melimpah [2]. Bagi

wilayah indonesia, pengembangan dan pemanfaatan energi surya sangat menjanjikan karena merupakan daerah tropis yang berada pada garis khatulistiwa, dengan potensi iradiasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m² per hari [3].

Pembangkit listrik yang satu ini bekerja dengan cara mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan bahan-bahan semikonduktor tertentu. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, atau bahan semikonduktor lainnya, yang kemudian tersusun menjadi modul surya seperti pada Gambar 1.

Gambar 1. Cara kerja dan ilustrasi PV [1]

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n. Sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang menimbulkan arus listrik dc pada PV [4].

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi modul PV salah satunya adalah perubahan temperatur sel-sel surya ini karena pengaruh kondisi awan dan kecepatan angin di lingkungan sekitar daerah penempatan modul

surya. Kenaikan temperatur dapat berpengaruh pada karakteristik arus-tegangan (I-V) pada modul PV. Kenaikan temperatur yang sangat cepat dan ekstrim dapat menyebabkan arus PV meningkat sedikit namun tegangan PV menurun dengan tajam yaitu $0,22 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$ [5], sehingga secara umum daya keluaran menjadi turun. Hal ini bisa mengakibatkan terganggunya produksi listrik pada suatu Pembangkit Listrik Tenaga Surya [6]. Setiap kenaikan 1°C temperatur PV diatas 25°C mengakibatkan daya keluaran berkisar antara $0,4 - 0,5 \%$ [7-9]. Setiap modul PV biasanya memiliki karakteristik standar I-V, dengan tegangan radiasi modul PV diberikan dari range $200 \text{ W}/\text{m}^2$ sampai $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, sedangkan temperaturnya tetap 25°C [10]. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk mengantisipasi pengaruh tingginya temperatur terhadap penurunan kinerja modul PV diperlukan sistem pendinginan. Beberapa metode pendinginan PV telah banyak dikembangkan salah satunya adalah dengan media air.

Paper ini membahas perancangan sistem pendingin modul PV dengan memanfaatkan kontroler water spray yang dipasang di atas dan di bawah permukaan panel PV. Sistem pendingin dirancang dengan kontroler berbasis Arduino Uno dengan inputan dari sensor temperatur modul PV dan keluarannya berupa saklar/relay untuk menjalankan pompa sebagai tenaga untuk menyempatkan air ke modul PV. Desain sistem pendingin yang telah dirancang selanjutnya diaplikasikan dan diuji pada 4 buah modul PV dengan kapasitas masing-masing 100 Wp (total 400 Wp). Pengukuran daya PV dan temperatur dilakukan secara simultan, selanjutnya hasil dan analisisnya disajikan.

II. METODOLOGI

A. Perancangan Hardware

Secara umum skematik dari sistem pendingin adalah seperti pada **Gambar 2**. Dimana kontroler mendapatkan inputan dari sensor temperatur PV dan temperatur ambien, serta outputnya adalah berupa perintah on-off relay untuk menjalankan pompa.

Gambar 2. Blok Diagram Rangkaian Sistem Pendingin Modul Surya dengan Spray

Selanjutnya penjelasan mengenai komponen-komponen penyusun hardware adalah sebagai berikut :

- **Kontroler:** Kontroler utama menggunakan Arduino ATmega 2560 seperti pada **Gambar 3**, yaitu sebuah board mikroelektronik open source berbasis Atmega 2560. Mikrokontroler ini memiliki 54 pin input-output digital, 4 UART, 16 MHz crystal oscillator, koneksi USB, header ICSP dan tombol reset [10]. Arduino

bekerja pada tegangan 5V dan bertugas sebagai otak yang mengendalikan proses input, dan output sebuah rangkaian elektronik [11].

Gambar 3. Arduino ATmega 2560

- **Sensor Temperatur :** Sensor temperatur dalam hardware berperan sebagai komponen input yang memberikan sinyal ke kontroler. Di sini ada dua jenis sensor temperatur yang digunakan, yaitu DS18B20 yang berperan mengukur temperatur PV dan DHT11 yang berperan mengukur temperatur lingkungan (ambien) seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Sensor DS18B20 memiliki keluaran digital dan tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu $0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang suhu -10°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$. Sensor suhu pada umumnya membutuhkan ADC dan beberapa pin port pada mikrokontroler, namun DS18B20 ini tidak membutuhkan ADC agar dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler [12].

Gambar 4. Sensor temperatur, (a) DS18B20 dan (b) DHT11. Sensor DHT11 merupakan sensor dengan kalibrasi sinyal digital yang mampu memberikan informasi suhu dan kelembaban. Sensor ini tergolong komponen yang memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik, apalagi digandeng dengan kemampuan mikrokontroler ATmega 2560. Selain kualitas yang baik, respon pembacaannya cepat, dan kemampuan anti-interference [13].

- **Pompa:** Pompa dalam sistem hardware adalah komponen keluaran terakhir dari kontroler. Ketika temperatur PV melebihi nilai seting yang ditentukan, kontroler akan secara otomatis menghidupkan pompa untuk menyempatkan air ke permukaan panel PV. Pompa yang digunakan adalah jenis pompa diafragma dengan daya 48 W , debit 4 liter per menit yang dilengkapi dengan nozzel berdiameter $0,2 \text{ mm}$ seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**.

Gambar 5. (a) Pompa dan (b) Nozzel

Jumlah nozzle yang digunakan untuk setiap panel 8 buah, terdiri dari 4 buah nozzle untuk permukaan atas modul, dan 4 nozzle lainnya untuk permukaan bawah. Dengan jarak pemasangan seperti pada **Gambar 6**.

Gambar 6. Posisi Nozzle pada modul PV, (a) Tampak depan dan (b) Tampang samping

Secara keseluruhan spesifikasi sistem pendingin yang dirancang adalah seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**. berikut :

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Hardware Sistem Pendingin

Komponen	Spesifikasi
Controller	Arduino ATmega 2560, 10 Bit, with 1 DHTII, 2 DS18B20, and modul relay 4 channel 5V optocoupler.
Pump	Diaphragm, 12V, 48 W, 4L/m
Spray nozzle	Ukuran 0.2 mm
Selang air	Tipe PE 4 x 7mm

B. Sistem Kerja Pendingin PV

Program sistem kerja pendingin PV dimulai dengan menghidupkan LCD dan memberikan beberapa perintah penampilan. Selanjutnya program memerintahkan sensor untuk mengambil data temperature, di sini looping sensor akan berjalan sesuai pengaturan, yaitu apabila temperatur PV dengan sistem pendingin melebihi temperatur ambien, maka relay akan on sehingga pompa akan mengaktifkan spray untuk menyemprotkan air ke modul PV. Program akan memerintahkan RTC sebagai timer untuk mengetahui durasi dari proses pendinginan. Sebaliknya, apabila temperatur modul PV kurang dari atau sama dengan temperatur ambien, maka relay akan off dan pompa akan berhenti menyemprotkan air ke PV. Flowchart dari sistem kontrol pendingin PV yang dirancang adalah seperti pada **Gambar 7**.

Gambar 7. Diagram Alir Sistem Pendingin PV

Proses akhir dari looping program ini adalah dengan menampilkan hasil temperatur PV melalui NTC, temperatur lingkungan melalui DHT11, dan timer yang telah tercatat oleh RTC pada LCD berdasarkan pengaturan push button untuk slide penampilan pembacaan yang akan ditampilkan.

C. Alat dan Bahan Pengujian

Dalam pengujian sistem pendingin, pengukuran temperatur PV dan temperatur lingkungan dilakukan dengan pemrograman yang sudah terakomodir dalam kontroler. Sedangkan untuk pengukuran parameter kelistrikan pada PV dan pompa yang berhubungan dengan daya keluaran dilakukan secara manual dengan menggunakan beberapa alat ukur antara lain adalah multimeter untuk mengukur tegangan, clamp meter untuk mengukur arus seperti pada **Gambar 8**.

Gambar 8. Alat dan Bahan Pengujian

Modul PV yang digunakan adalah jenis polycrystalline berjumlah empat buah modul PV yang masing-masing berkapasitas 100 Wp sehingga totalnya menjadi 400 Wp. Untuk mengukur daya PV digunakan inverter. Di sini inverter yang digunakan adalah jenis inverter inputnya

dihubungkan ke modul PV dan outputnya terkoneksi dengan jala-jala PLN yaitu *Grid Tied Inverter* (GTI). Karena alat ukur dipasang pada output GTI maka daya PV yang diukur tersebut sudah dikonversi ke dalam bentuk AC. Spesifikasi dari alat dan bahan seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spesifikasi Alat dan Bahan

Alat	Jumlah	Spesifikasi
Digital Multimeter	2 Buah	SANWA
Digital Clamp meter	4 Buah	KEW SNAP 2003A dan FLUKE 317
Modul Surya	8 Buah	Shinyoku polucristaline solar modul, 100Wp Vmax 17.5V, Imax 5.71 A, Efisiensi modul 13%
Grid Tied Inverter	2 Buah	Smart Grid Tied Microinverter 1000 W range input 20V – 45V DC, Vmp 26V-30V, Voc 34V-38V, Imax 60 A, Voutput 230 VAC range 190-260V AC

D. Proses Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengacu pada tujuan dari kegiatan penelitian. Yang pertama adalah pengambilan data yang bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem pendingin sudah sesuai dengan yang diinginkan yaitu mempertahankan temperatur modul PV sesuai atau berada disekitar temperatur ambien. Hal ini bisa dilihat dari hasil pengukuran temperatur modul PV dengan sistem pendingin dengan temperatur modul PV tanpa sistem pendingin yang datanya terekam dalam kontroler selama pengujian berlangsung. Oleh karena itu pengujian sistem juga dilakukan dengan melibatkan modul PV tanpa sistem pendingin dengan kapasitas yang sama dan dilakukan secara simultan sebagai pembanding. Kemudian yang kedua adalah pengambilan data yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap daya keluaran PV yang dihasilkan. Daya PV yang terukur dihasilkan dari hasil perkalian pengukuran arus dan tegangan yang dilakukan secara manual. Pengukuran arus dilakukan dengan memasang alat ukur clamp meter secara seri dan pengukuran tegangan dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter secara paralel pada setiap jalur penghubung antar komponen dalam rangkaian seperti ditampilkan pada blok diagram pengukuran pada **Gambar 9**.

Gambar 9. Blok Diagram Pengukuran Arus dan Tegangan Menggunakan Clamp Meter dan Multimeter.

Pengambilan data juga dilakukan terhadap pompa untuk mengetahui durasi pompa selama beroperasi dalam kurun waktu 12 jam selama 5 hari pengujian sehingga total daya yang dikonsumsi sistem pendingin bisa diketahui. Daya total yang dikonsumsi sistem pendingin ini merupakan rugi-rugi yang harus dilibatkan sehingga selisish dari daya modul PV dengan rugi-rugi daya dari sistem pendingin akan menghasilkan daya bersih atau net power yang diperoleh sebagai nilai manfaat penggunaan sistem pendingin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem pendingin modul PV dan semua pengukurannya dilakukan selama 5 hari, yaitu dari tanggal 5 – 9 Februari 2020. Adapun hasil pengukuran dan analisisnya dapat dijelaskan pada tahapan-tahapan berikut :

A. Analisis Kinerja Sistem Pendingin

Kinerja dari sistem pendingin dapat dijelaskan berdasarkan hasil pengukuran temperatur modul PV dengan membandingkannya dengan modul PV tanpa sistem pendingin seperti ditunjukkan pada **Gambar 10**.

Gambar 10. Perbandingan Temperatur modul PV1, PV2, dan Ambien

Gambar 10. merupakan hasil pengujian yang diambil pada tanggal 5 April 2020, dimana ditampilkan

perbandingan dari hasil pengukuran temperatur PV dengan sistem pendingin (T-PV1), temperatur PV tanpa sistem pendingin (T-PV2), dan temperatur ambien (T-Amb). Disini terlihat jelas bahwa sistem pendingin berhasil mempertahankan temperaturnya mendekati dengan temperatur ambien sesuai seting yang diinginkan. Pada pukul 06:00 hingga 07:30, temperatur semua modul PV relatif sama dengan temperatur ambien. Namun ketika memasuki pukul 07:45, temperatur PV tanpa sistem pendingin (T-PV2) mulai meningkat signifikan melebihi temperatur ambien. Pada saat yang sama, PV dengan sistem pendingin mulai menjalankan proses pendinginan. Sensor temperatur sudah bekerja dengan baik, meskipun terdapat sedikit kelebihan temperatur dari temperatur ambien, hal ini disebabkan karena pengaruh respon waktu dengan adanya delay waktu pembacaan.

Hasil pengukuran temperatur rata-rata dalam sehari selama 5 hari pengujian adalah seperti ditunjukkan pada **Gambar 11**.

Gambar 11. Rata-rata Temperatur Harian Dalam 5 Hari Pengujian

Rata-rata tertinggi temperatur PV (T-PV2) terjadi pada tanggal 8 Februari, yaitu sekitar 35,4°C dimana temperatur PV dengan sistem pendingin (T-PV1) masih relatif sama dengan temperatur ambien (T-Amb) yaitu dikisaran 29°C. Secara umum dengan meningkatnya temperatur ambien akan menyebabkan meningkatnya temperatur PV. Dan berdasarkan hasil pengukuran rata-rata temperatur harian tersebut, sistem pendingin PV sudah bekerja dengan baik selama 5 hari pengujian dengan mempertahankan temperatur PV relatif hampir sama dengan temperatur ambiennya.

B. Pengaruh Temperatur Terhadap Daya Keluaran PV

Pengaruh temperatur modul PV terhadap daya keluaran yang dihasilkan dapat ditunjukkan seperti pada **Gambar 12**. Daya keluaran PV tersebut merupakan perolehan daya rata-rata dalam satu hari (12 jam pengujian) yang dinyatakan dengan satuan Watt Jam atau Watt hour (Wh).

Gambar 12. Perbandingan Temperatur PV Dengan Daya Keluaran PV

Hasil menunjukkan ada temperatur PV yang lebih tinggi mengakibatkan penurunan daya keluaran yang dihasilkan. Sebagai contoh pada pengukuran temperatur dan daya PV rata-rata harian tanggal 8 Februari, dimana temperatur PV tanpa sistem pendingin (T-PV2 = 35,4°C) lebih tinggi dari temperatur PV dengan sistem pendingin (T-PV1 = 29,1°C), menghasilkan daya PV tanpa sistem pendingin (P-PV2 = 1069,1 Wh) lebih rendah dari perolehan daya PV dengan sistem pendingin (P-PV1 = 1146,6 Wh). Hal ini membuktikan bahwa proses pendinginan modul PV bermanfaat dalam meningkatkan daya kaluarannya. Dari tren karakteristik pada grafik menunjukkan semakin tinggi perbedaan temperatur, maka semakin tinggi pula perbedaan daya keluarannya.

C. Analisa Pengaruh Rugi-Rugi Daya Sistem Pendingin

Dalam merancang sistem pendingin PV terutama jenis sistem pendingin aktif, maka ada konsekuensi yang harus diperhatikan, yaitu salah satunya adalah rugi-rugi. Rugi-rugi yang dimaksudkan adalah energi yang dalam hal ini adalah berupa daya listrik yang dikonsumsi oleh sistem pendingin itu sendiri dalam menjalankan proses pendinginan. Dalam berbagai literatur, hanya sedikit sekali makalah yang melibatkan perhitungan rugi-rugi sistem pendingin, sehingga hasil evaluasi sistem pendinginnya selalu bernilai signifikan.

Hasil perhitungan peningkatan daya PV sebelum dan sudah melibatkan rugi-rugi daya pada sistem pendingin adalah seperti ditunjukkan pada **Gambar 13**.

Gambar 13. Grafik Nilai Daya Kotor (ΔP -Grs), Daya Bersih (ΔP -Net), dan Daya Sistem Pendingin (P-SP)

Peningkatan daya PV sebelum melibatkan rugi-rugi daya sistem pendingin (P-SP) adalah merupakan daya kotor (ΔP -Grs) yang dihitung berdasarkan selisih daya PV dengan sistem pendingin dengan daya PV tanpa sistem pendingin saja (P-PV1 – P-PV2). Sedangkan peningkatan daya PV sesudah melibatkan rugi-rugi daya sistem pendingin (P-SP) adalah merupakan daya bersih (ΔP -Net) yang dihitung berdasarkan selisih daya PV dengan sistem pendingin dengan daya PV tanpa sistem pendingin dan daya sistem pendingin itu sendiri (P-PV1 – P-PV2 – P-SP). Dari hasil tersebut dapat dijelaskan bahwa perbedaan temperatur yang kecil berpengaruh pada penggunaan sistem pendingin PV yang kurang efektif, karena perolehan kenaikan dayanya juga relatif kecil. Sebaliknya jika perbedaan temperatur PV dengan temperatur ambien atau temperatur seting dari sistem pendingin berada pada range yang cukup besar, maka perolehan dayanya pun menjadi besar. Oleh karenanya sistem pendingin akan lebih efektif ketika diterapkan pada saat cuaca cerah, dimana sinar matahari bersinar secara terik sepanjang hari yang dapat meningkatkan temperatur modul PV bisa meningkat tajam.

Seperti sebelumnya bahwa perbedaan temperatur PV tanpa sistem pendingin dengan temperatur PV dengan sistem pendingin terjadi pada pengujian tanggal 8 Februari, dimana T-PV2 adalah 35,4°C dan T-PV1 adalah 29,1°C (selisih 6,3°C) yang berpengaruh pada peningkatan daya PV bersihnya sekitar 53,84 Wh, atau efisiensi daya sistem meningkat sekitar 5,04 %. Lebih lanjut lagi mengenai perhitungan efisiensi PV dengan sistem pendingin dapat ditunjukkan seperti pada **Gambar 14**.

Gambar 14. Perbandingan efisiensi kotor PV (Eff-Grs) dan efisiensi bersih PV (Eff-Net)

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan, efisiensi daya terkecil terjadi pada pengujian tanggal 5 Februari dan efisiensi daya terbesar terjadi pada pengujian tanggal 8 Februari. Efisiensi kotor atau sebelum melibatkan daya sistem pendingin adalah sekitar 1,26 – 7,34 %, sedangkan efisiensi bersih berkisar antara 0,21 – 5,04 %. Dari semua hasil pengujian, rugi-rugi daya dari sistem pendingin PV menyebabkan peningkatan daya PV berkurang sekitar 1 – 2,3 %.

IV. KESIMPULAN

Makalah ini membahas perancangan sistem pendingin modul PV dengan menggunakan pengaturan water spray. Sistem kemudian diuji pada modul PV dengan kapasitas 400 Wp selama 5 hari. Sistem pendingin yang dirancang berhasil mempertahankan temperatur modul PV sesuai setingan, yaitu mendekati nilai temperatur ambien. Secara umum dengan menurunkan temperatur PV maka akan meningkatkan daya keluaran PV yang dihasilkan. Semakin besar range temperatur PV yang diturunkan, maka semakin besar peningkatan daya keluarannya. Namun demikian dalam merancang sistem pendingin aktif, diperlukan energi tambahan untuk menjalankan sistem pendingin yang harus diperhitungkan, sehingga nantinya peningkatan daya PV yang diperoleh merupakan daya bersih (*Net Power*). Dari hasil pengukuran dan perhitungan, sistem pendingin PV yang dirancang mampu menghasilkan peningkatan efisiensi daya kotor sebesar 1,26 – 7,34 % dan peningkatan efisiensi daya bersih PV sebesar 0,21 – 5,04 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Noviadi Arief Rachman dan Bapak Agus Risdiyanto dari Keltian ELDA P2 TELIMEK LIPI Bandung selaku kontributor utama dalam penulisan artikel ini dan Bapak Bambang Susanto yang membantu selama pengujian dan pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Khan, B. Ko, E. A. Nyari, S. E. Park, and H. J. Kim, "Performance Evaluation of Photovoltaic Solar System with Different Cooling Methods and a Bi-Reflector PV System (BRPVS): An Experimental Study and Comparative Analysis," *Energies*, Vol. 10, No. 826, pp. 1-23, 2017.
- [2] W. Ato'ur Rochim, W. Kurniawan, and S. R. Akbar, "Perancangan Sistem Pengendali Temperatur Untuk Optimalisasi Daya Modul Surya Menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 1, 2019.
- [3] I. K. A. Setiawan, I. N. S. Kumara, and I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Satu Mwp Terinterkoneksi Jaringan Di Kayubih, Bangli," *Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 1, 2014.
- [4] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and S. H. Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *ejournal.undip.ac.id*, vol. 2, no. 37, 2016.
- [5] M. K. Yesilyurt, M. Nasiri, and A. N. Ozakin, "Techniques for Enhancing and Maintaining Electrical Efficiency of Photovoltaic Systems", *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, Vol. 4, Issue. 4, pp. 44–53, April 2018.
- [6] K. H. Khwee, "Pengaruh Temperatur Terhadap Kapasitas Daya Modul Surya (Studi Kasus: Pontianak)," *Jurnal ELKHA*, vol. 5, no. 2, 2013.
- [7] I. Cho and H. Kim, "Study on PV Panel Cooling System using IoT with ESS for Preventing Reduced Efficiency of Solar Panel," *2019 the 3rd International Conference on Sustainable Energy Engineering*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 342 (2019), pp. 1-6, 2019.
- [8] A. A. Sequeira, S. Shetty, S. S. Sampath, C. P. Selvan M., "Improvement of Power Output From Solar Panel Using Water Cooling System," *Global Journal of Advanced Engineering Technologies*, Vol. 5, Issue 1, pp. 58-63, 2016.
- [9] N. Khordehgah, A. Z. Gora, and H. Jouhara, "Energy Performance Analysis of a PV/T System Coupled with Domestic Hot Water System," *ChemEngineering* 2020, Vol. 4, No. 22, pp. 1-14, 2020.
- [10] S. Nahela, I. F. Faridyan, N. A. Rachman, A. Risdiyanto, dan B. Susanto, "Analisa Unjuk Kerja Grid Tied Inverter Terhadap Pengaruh Radiasi Matahari dan Temperatur PV pada PLTS On-Grid," *ELKHA*, vol. 11, no. 2, 2019.
- [11] D. D. Dessai, G. B. Gonsalves, M. R. Luis, dan M. S. Cardoso, "Dark Detector System for Paper Waste Detection," *International Journal for Scientific Research & Development*, Vol. 5, Issue 01, pp. 873-875, 2017.
- [12] E. Nurazizah, M. Ramdhani, A. Rizal, "Rancang Bangun Termometer Digital Berbasis Sensor DS18B20 Untuk Penyandang Tunanetra," *e-Proceeding of Engineering*, Vol. 4, No. 3, pp. 3294–3301, 2017.
- [13] M. Y. E. Aditya dan H. Wibawanto, "Sistem Pengamatan Suhu dan Kelembaban Pada Rumah Berbasis Mikrokontroler ATmega8," *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 5, No. 1, pp. 15–17, 2013.