SISTEM PENDINGIN PANEL SURYA OTOMATIS UNTUK MENGKATKAN DAYA KELUARAN PANEL SURYA

Riyani Prima Dewi
Jurusan Teknik Elektronika, Program Studi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Cilacap
Email: riyanipdewi@gmail.com

Saepul Rahmat
Jurusan Teknik Elektronika, Program Studi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Cilacap

Hendi Purnata
Jurusan Teknik Elektronika, Program Studi Teknik Elektronika
Politeknik Negeri Cilacap

ABSTRAK

Panel surya merupakan komponen utama dari PLTS. Panel surya berperan sebagai tempat terjadinya konversi energi matahari menjadi energi listrik. Hasil energi listrik yang dihasilkan panel surya bergantung pada banyaknya intensitas matahari yang diterima oleh panel surya. Selain itu, suhu kerja panel surya juga sangat berpengaruh. Suhu panel surya yang ideal adalah sebesar 25° C, yang berarti bahwa panel surya akan bekerja sangat optimal pada suhu tersebut. Saat temperatur naik, maka kinerja sel surya justru akan menurun. Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang sistem pendingin panel surya dengan metode aktif dan pasif menggunakan cara mengalirkan air diatas permukaan panel surya dan menambahkan serabut kelapa basah dibagian belakang panel surya. Adapaun tujuan memberikan perlakuan ini adalah untuk menjaga temperatur permukaan panel surya tidak mengalami panas berlebih. Penelitian ini menggunakan panel surya 100 WP dan diperoleh hasil rata-rata daya yang dihasilkan adalah 69 W dengan nilai tegangan rata-rata 15,47 V dan arus rata-rata sebesar 4,5 A. Hasil pengujian menunjukkan kinerja panel surya 100 WP meningkat 24% dari kinerja panel surya referensi yang menjadi pembanding.

Kata kunci: NodeMCU ESP8266, Optimalisasi Daya, Panel Surya, Sistem Pendingin

ABSTRACT

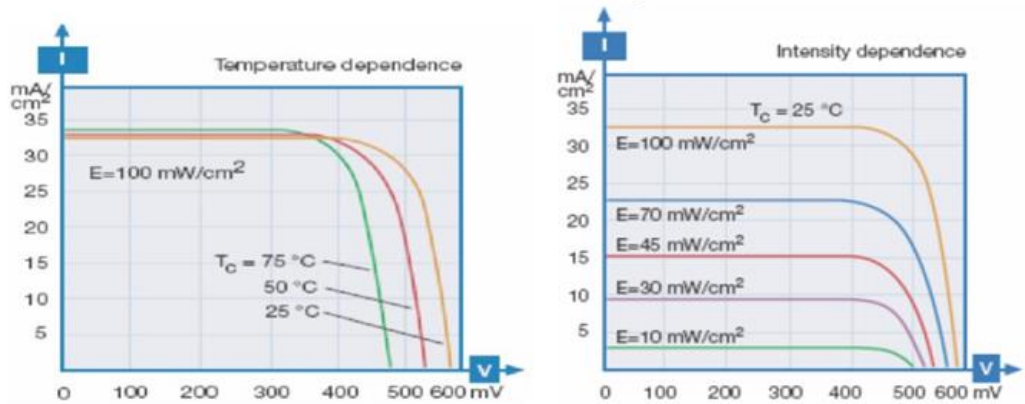
Solar panels are the main component of solar power plant. In the Solar panels, conversion of solar energy into electrical energy are done. The results of the electrical energy produced by solar panels depend on the amount of solar intensity received by the solar panels. In addition, the working temperature of solar panels is also crucial. The ideal solar panel temperature is 25 C, which means that the solar panel will work optimally at that condition. When the temperature rises, the solar cell performance will decrease. This study aims to design a solar panel cooling system with active and passive methods using a way of flowing water over the surface of the solar panel and adding wet coconut coir on the back of the solar panel. The purpose of providing this treatment is to keep the surface temperature of the solar panel from overheating. This study uses a 100 WP solar panel and the results obtained that the average power generated is 69 W with an average voltage value of 15.47 V and an average current of 4.5 A. The performance 100 WP solar panels increased 24% of the reference solar panels being compared.

Keywords: Cooling system, *NodeMCU ESP8266, Solar Panel, Power*

1. PENDAHULUAN

Salah satu sumber enegi terbarukan di Indonesia yang akhir-akhir ini banyak diminati adalah energi surya melalui pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam skala besar maupun kecil. Dalam RUEN, Pemerintah Indonesia menetapkan kebijakan peningkatan EBT dalam bauran energi nasional hingga 23% pada tahun 2025[1]. Untuk mendukung upaya tersebut, terutama di bidang pemanfaatan energi surya, pemerintah telah mengeluarkan beberapa kebijakan teknis sebagai landasan pelaksanaannya, salah satunya melalui Permen ESDM No.49 tahun 2018,jo. Permen ESDM No.13 tahun 2019,jo. Permen ESDM No.16 tahun 2019, tentang penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap oleh pelanggan PLN [2]. Aturan ini dimaksudkan untuk membuka peluang bagi seluruh pelanggan PLN untuk berperan serta dalam pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi, khususnya energi surya.

Dalam proses pembangkitan listrik, panel surya mempunyai karaketrsiktik yang disajikan dalam kurva arus-tegangan ditunjukkan dalam Gambar 1. yang menggambarkan daya listrik yang mampu dibangkitkannya. Karakteristik arus-tegangan panel surya ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja panel surya [3][4].



(a) (b)

Gambar 1. Kurva Karakteristik (a) Arus dan (b) Tegangan Panel Surya

Semakin besar radiasi matahari yang ditangkap oleh panel surya makan semakin besar daya listrik yang dibangkitkan. Sekitar 15%-20% energi matahari yang diserap panel surya diubah menjadi listrik, sementara sisanya menghasilkan panas yang menyebabkan naiknya temperatur permukaan panel surya [5]. Kenaikan temperatur ini justru akan menurukan daya listrik yang dihasilkan. Temperatur ideal panel surya untuk menghasilkan daya listrik paling maksimal adalah pada suhu 25°C. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu pada panel surya sekitar 1°C dari suhu idealnya dapat menurunkan efisiensi sebesar 0,45% [6]. Dari permasalahan tersebut maka untuk meningkatkan efisiensi daya listrik dari PLTS, suhu kerja panel surya harus bisa dipantau dan dikontrol secara otomatis pada temperatur yang ditentukan dengan cara memasang sistem pendingin.

Beberapa penelitian untuk menyelesaikan permasalahan panas pada panel surya telah dilakukan. Sistem pendingin yang terdiri dari perangkat pembuangan panas seperti kipas atau pompa untuk sirkulasi udara atau air diklasifikasikan sebagai sistem pendingin aktif. Sistem ini memerlukan pasokan energi eksternal untuk menyalakan perangkat seperti kipas dan pompa. Pada penelitian sebelumya [7], sistem pendingin pada panel 250Wp dirancang dengan membuat heatsink dari alumunium yang dibuat seperti sirip untuk membantu pendinginan yang ditempatkan dibelakang panel surya sebagai sirkulasi udara. Pendinginan kedua menggunakan air yang dituangkan secara manual pada permukaan panel. Dari penelitian ini diperoleh hasil penurunan suhu 80% dan efisiensi meningkat sebesar 3% dengan penambahan daya keluar sebesar 20,96

Watt. Pada tahun 2020, penelitian [8] mengenai penambahan reflektor pada panel surya 50Wp ternyata menyebabkan suhu panel tinggi sehingga ditambahkan dengan kipas untuk mendinginkan panel. Penelitian dilakukan dengan membandingkan nilai suhu panel surya yang menggunakan reflektor dengan kipas dan tanpa kipas. Hasil penelitian menunjukkan suhu permukaan panel dengan menggunakan kipas lebih rendah kurang lebih 5-10°C dibandingkan dengan tanpa kipas. Pada penelitian lainnya [9] yang diujikan pada 3 panel surya identik dengan 3 kondisi, yaitu panel biasa, panel dengan reflektor, dan panel dilengkapi reflektor dan sistem pendingin. Sistem pendingin bekerja mengalirkan air pada permukaan panel secara otomatis menggunakan pipa dan pompa. Air mengalir selama penelitian dan data suhu permukaan panel yang dialiri air disimpan dalam sebuah data logger untuk kebutuhan analisis. Dari penelitian ini dihasilkan kenaikan efisiensi sebesar 6,5% pada penambahan reflektor saja sedangkan jika ditambah sistem pendingin naik sebesar 17,7%.

Grubisic-Cabo dkk [10], menyimpulkan bahwa untuk menghilangkan panas dari panel PV, metode ekstraksi perlu bekerja pada bagian belakang panel sebanyak mungkin. Studi numerik menunjukkan bahwa bagian belakang panel lebih dekat dengan suhu sel jika dibandingkan dengan bagian depan panel. Selain itu Nizetic dkk [11] memberikan studi ekstensif tentang teknik pendinginan aktif. Studi tersebut menyimpulkan bahwa teknik pendinginan berbasis udara sangat berbahaya bagi lingkungan karena meningkatkan pemanasan global dan efek pengasaman. Pada tahun 2021 sebuah metode pendingin menggunakan nanofluida diajukan. Pada penelitian [12], telah dilakukan sebuah simulasi aliran nanofluida pada bagian belakang panel untuk tujuan menurunkan suhu permukaan panel surya. Perangkat lunak COMSOL Multiphysics dan metode elemen hingga digunakan untuk analisis numerik dan simulasi. Nanofluida yang digunakan adalah MgO yang ditambahkan ke air dengan konsentrasi 1% dan laju aliran diatur dari 0,5-4 liter/menit dialirkan bagian belakang panel surya. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan 1% MgO yang dicampurkan pada air dengan laju 1 L/menit menghasilkan pendingin dan efisiensi daya yang paling maksimal. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa penambahan aliran diatas 1 L/menit justru menurunkan efisiensi. Simulasi yang lain dilakukan pada penelitian [13], menggunakan perangkat lunak ANSYS dan fluida yang digunakan adalah air. Bagian belakang panel ditambah dengan kotak saluran air yang dibuat setebal 3 mm (kotak tipis) dan 15mm (kotak tebal). simulasi dilakukan pada nilai radiasi matahari sebesar 1000 W/m^2 dengan laju aliran optimal yakni 3 L/menit. Hasil dari simulasi menunjukkan Suhu permukaan rata-rata dan suhu pendinginan air masing-masing adalah 30,7 °C dan 38,9 °C untuk penukar panas kotak tipis, sedangkan untuk penukar panas kotak tebal masing-masing adalah 30,8 C dan 32,4 °C.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya belum ada penelitian yang membahas tentang penggunaan metode pasif untuk sistem pendingin panel surya. Sistem pendingin pasif yaitu sistem pendingin yang tidak memerlukan sumber daya eksternal. Sistem ini menggunakan metode alami untuk menyediakan sirkulasi udara atau cairan untuk mengurangi panas sistem. Berdasarkan permasalahan di atas, pada penelitian ini akan dikombinasikan sistem aktif dan pasif untuk pendingin panel surya. Pada penelitian ini juga suhu permukaan panel surya dapat dipantau melalui smartphone. Pemantauan suhu ini berkaitan dengan proses maintenance dan sebagai warning jika ternyata suhu panel terpantau selalu tinggi dalam waktu yang cukup lama. Dalam artikel ini akan dibahas mulai dari pendahuluan, metodologi penelitian, analisis hasil pembahasan, dan kesimpulan.

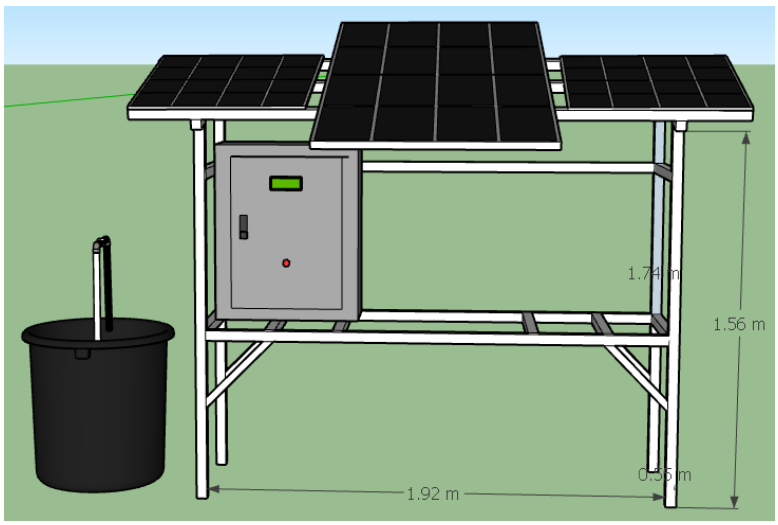
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 *Tahapan Penelitian*

Alur penelitian dibagi 3 yaitu Studi Pendahuluan, Perancangan dan Pembuatan, serta Pengujian dan Analisis. Dalam studi pendahuluan dilakukan identifikasi permasalahan yang ada pada panel surya yang berkaitan dengan pengaruh temperatur kerja panel surya terhadap efisiensi melalui referensi–referensi yang didapatkan. Setelah mendapatkan rumusan masalah kemudian

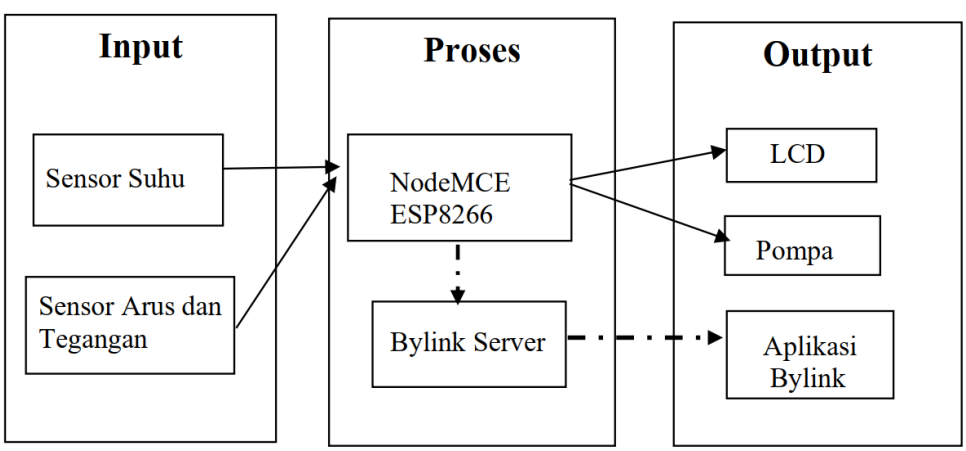
dilanjutkan dengan studi literatur untuk mengetahui penelitian dan pengembangan solusi yang telah dilakukan sebelumnya sehingga dapat menjadi *state of the art* penelitian.

Dalam tahap perancangan pada pembuatan alat dibagi menjadi 2 kegiatan utama yaitu: pembuatan komponen mekanik dan pembuatan rangkaian elektrik. Desain mekanik sistem pendingin panel surya ditunjukkan oleh Gambar 2. Desain ini merupakan desain keseluruhan dari sebuah rankaian penelitian inti yang menggunakan 3 buah panel. Dalam penelitian yang akan dibahas pada artikel ini, panel surya yang digunakan adalah panel surya kapasitas 100wp jenis Polycrystalline Silikon (bagian tengah pada gambar) dengan kemiringan panel surya diatur sebesar 30°.



Gambar 2. Desain Alat

Blok diagram sistem pendingin otomatis digambarkan pada Gambar 3. Sistem pendingin ini dilengkapi dengan sistem kontrol untuk memonitoring temperatur, arus, dan tegangan panel surya. Suhu pada permukaan panel surya dipertahankan kurang dari 40°C. Apabila suhu pada permukaan panel lebih dari 40°C maka sistem pendinginan akan bekerja. Adapun beberapa komponen elektrik yang digunakan yaitu sensor arus dan tegangan PZEM17, sensor temperature DS18B20, pompa DC, LCD 16x2, dan NodeMCU ESP8266, serta aplikasi Bylink untuk memantau suhu permukaan panel dari smartphone.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Sensor DS18B20 berfungsi untuk mendeteksi temperature permukaan panel surya, sensor PZEM17 akan membaca nilai arus dan tegangan dari panel surya. NodeMCUu ESP8266 sebagai pemroses data kemudia menampilkan data tersebut pada LCD. NodeMCU ESP8266 terhubung dengan aplikasi Blynk secara *wireless* digunakan untuk memonitoring suhu permukaan panel surya melalui smartphone. Program pengendalian dibuat pada komputer kemudian diunggah(*upload*) pada mikrokontroler. Sistem juga mengelola data dan menentukan kapan pompa bekerja mengalirkan air dipermukaan panel surya, yaitu saat sensor suhu membaca nilai diatas 40°C.

Tahap terakhir dari penelitain ini adalah pengujian dan analisis. Pengujian dilakukan di halaman jurusan Teknik elektronika Politeknik Negeri Cilacap. Pengujian dilakukan selama 5 jam dari pukul 09.00 - 14.00 WIB. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sensor, kinerja pompa, kinerja mikrokontroler, serta komunikasi yang dilakukan antara sensor dan komponen lainnya dengan mikrokontroler. Data yang diambil dari sistem ini adalah nilai suhu permukaan panel surya, tegangan, dan arus panel surya. Setelah didapatkan data-data yang dibutuhkan, dilakukan analisis data. Analsis difokuskan pada penurunan suhu dan kenaikan daya yang terjadi pada panel surya. Kedua nilai ini diperoleh dengan membandingkan data dari panel surya tanpa sistem pendingin dari data referensi penelitian sebelumnya dengan data dari penelitian ini menggunkan persamaan:

$$\%P = \frac{P_2 - P_1}{P_2} \times 100\% \%P = \frac{P_2 - P_1}{P_2} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$\%P$ = persentase peningkatan dayamax panel surya
P_1 = daya rata − rata panel surya tanpa pendingin
P_2 = daya rata − rata panel surya dengan pendingin

P_2 = daya rata − rata panel surya dengan pendingin

2.2 *Efiseinsi Panel Surya*

Efisiensi panel surya dipengaruhi oleh nilai daya output dari panel surya. Padahal daya yang dihasilkan panel surya bergantung pada nilai tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya yang besarnya dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan suhu panel surya itu sendiri. Untuk menghitung daya maksimum dari panel surya digunakan persamaan:

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} = V_{oc} \times I_{SC} \times FF P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} = V_{oc} \times I_{SC} \times FF \quad (2)$$

Keterangan:

$P_{mp} = daya\ maksimum\ (W)$
$V_{mp} = tegangan\ pada\ kondisi\ maksimum\ (V)$
$I_{mp} = arus\ pada\ kondisi\ mkasimum\ (A)$
$V_{oc} = open\ circuit\ voltage\ (V)$
$I_{SC} = short\ circuit\ current\ (A)$
$FF = fill\ factor, menyatakan\ kualitas\ sel$

Saat suhu panel surya naik, besarnya arus Isc akan meningkat sedangkan nilai FF dan Voc berkurang. Efiseinsi dari panel surya merupakan perbandingan antara energi output terhadap energi input yag berasal dari matahari, yang direpresentasikan dalam sebuah persamaan:

$$\eta = \frac{FF \times V_{OC} \times I_{SC}}{P_{in}} \times 100\% \eta = \frac{FF \times V_{OC} \times I_{SC}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{OC} \times I_{SC}} FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{I(t) \times A} \times 100\% \eta = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{I(t) \times A} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

$\eta = efisiensi\ sel\ surya$

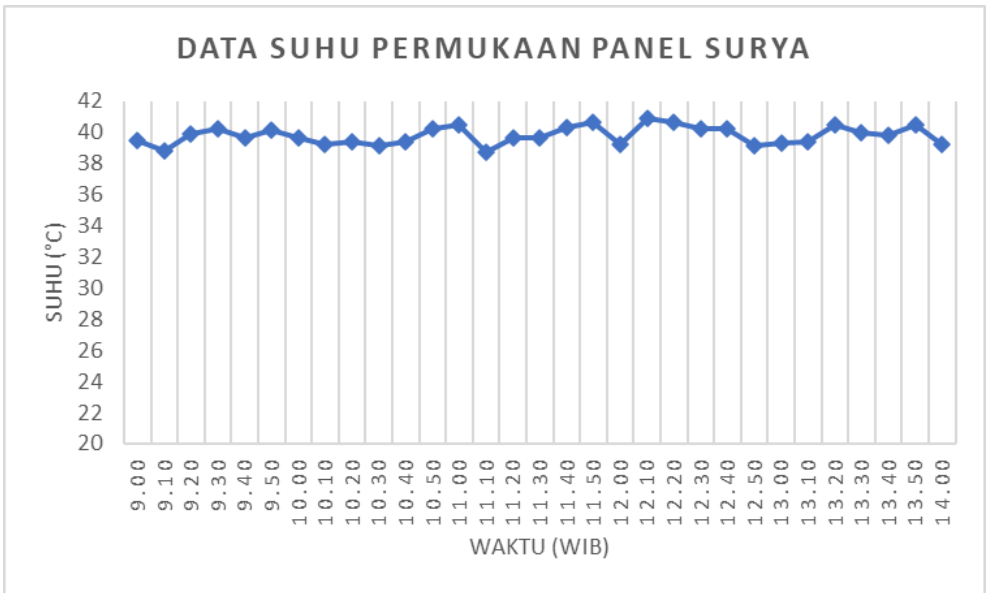
$P_{in} = Daya\ masuk$

$I(t) = intensitascahaya$

Panel surya memiliki nilai koefisien suhu. Koefisien ini menunjukkan sejauh mana suhu sel PV mempengaruhi daya yang dihasilkan dari modul. Koefisien suhu ini diberi nilai negatif karena ketika suhu sel PV meningkat, output daya berkurang. Koefisien suhu dari model modul PV 100WP yang digunakan dalam percobaan ini adalah 0,44%/°C, nilai ini menunjukkan bahwa untuk setiap derajat kenaikan suhu di atas 25°C, modul daya maksimum mengalami pengurangan 0.44%. Ketika suhu meningkat di atas 25°C, output daya berkurang dan ketika suhu permukaan modul berkurang di bawah 25°C, output daya meningkat di atas nilai modul yang diharapkan. Saat suhu modul PV meningkat karena paparan sinar matahari, proses panas pada permukaan panelpun dimulai. Efisiensi dan daya keluaran berkurang secara substansial dengan meningkatnya suhu, tingkat pengurangan adalah fungsi dari bahan yang digunakan untuk membuat sel surya.

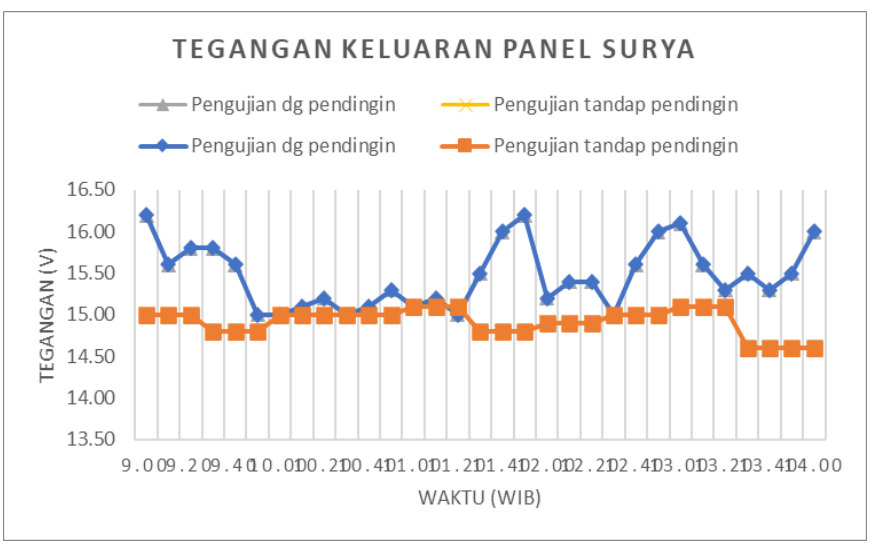
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan selama 5 jam mulai dari pukul 9.00 - 14.00 WIB di halaman jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap. Pengujian pertama yang dilakukan adalah menguji sistem pendingin bekerja optimal dengan mempertahankan suhu permukaan panel surya sebesar 40°C. Sistem ini berjalan lancar selama pengujuan. Hasil baca dari sensor suhu selama pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Data Suhu Permukaan Panel Surya

Dari grafik pada gambar 5 diketahui bahwa suhu panel surya berkisar antaran 38,7° C sampai 40,88° C. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah berhasil mempertahankan suhu kerja permukaan panel dengan batas maksimal 40°C. Untuk data referensi panel surya yang dijadikan bahan perbandingan, tidak memiliki data suhu permukaan panel surya sehingga data ini tidak bisa dibandingkan dengan data referensi awal. Akan tetapi meiihat sistem ini bekerja dengan frekuensi yang cukup banyak, maka bisa disimpulkan bahwa panel surya yang bekerja tanpa sistem pendingin memiliki nilai suhu permukaan panel lebih besar dari 40°C.

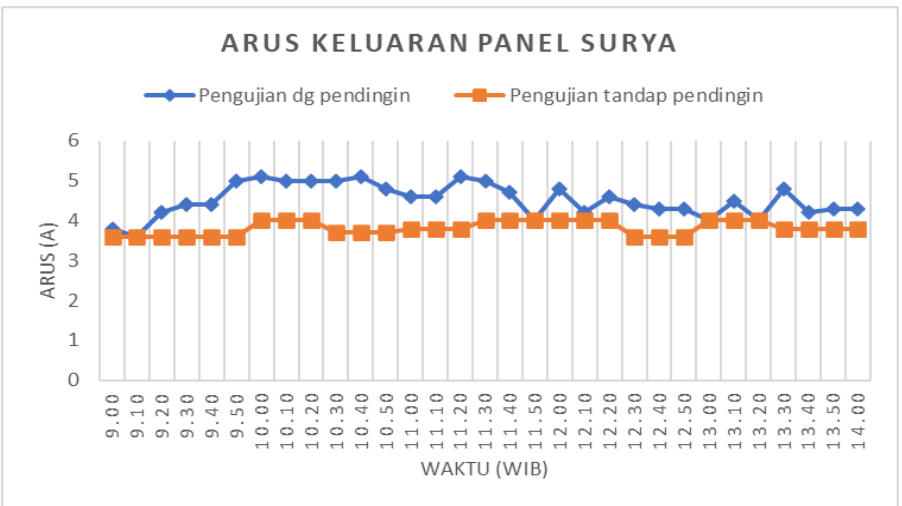


Gambar 5. Data Perbandingan Nilai Tegangan Panel Surya

Pengujian selanjutnya adalah mengukur luaran atau output dari panel surya, yaitu tegangan dan arus. Tegangan panel surya dibaca oleh sensor setiap saat dan dipantau setiap 10 menit sekali. Data hasil pengujian ditampilkan oleh Gambar 5. Dalam grafik yang ditunjukkan Gamabar 5,

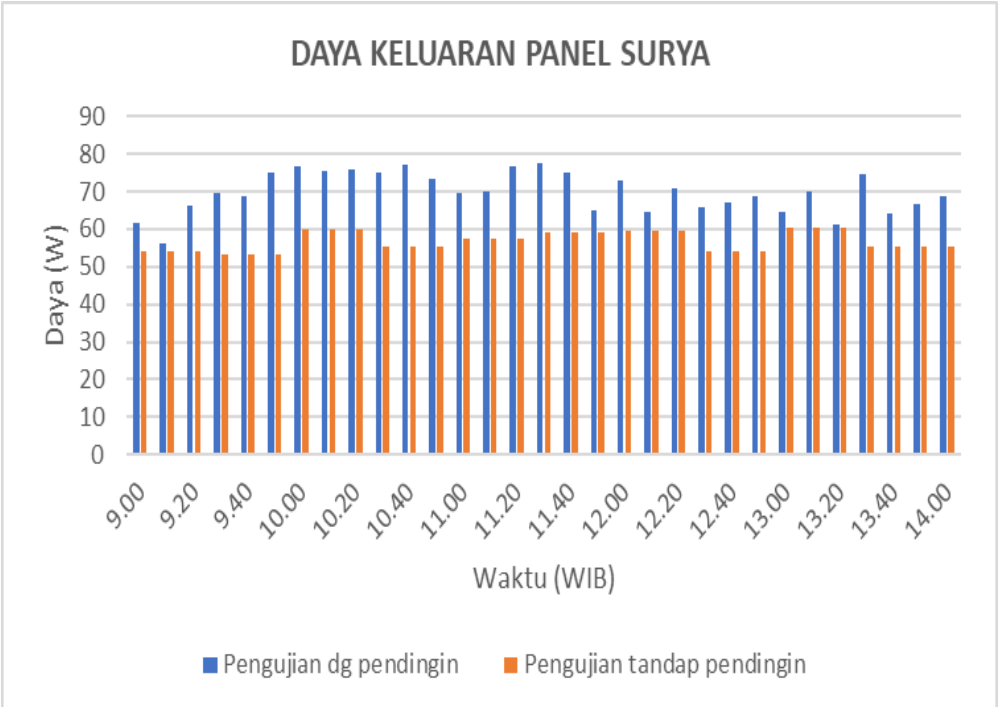
grafik warna jingga merupakan data tegangan panel surya tanpa menggunakan pendingin yang diambil dari penelitian sebelumnya dengan jenis panel yang sama dan tempat pengujian yang sama [14]. Kedua grafik ini menunjukkan bahwa terdapat selisih nilai tegangan antara panel surya yang menggunakan pendingin dengan yang tidak menggunakan pendingin. Nilai tegangan output dari panel surya yang menggunakan pendingin, secara umum lebih tinggi daripada yang tidak menggunkan pendingin. Nilai rata-rata tegangan yang diperoleh adalah 15,47 V dengan tegangan tertinggi 16,10 V dan tegangan terendah adalah 15 V.

Arus keluaran dari panel surya juga diukur dan dibandingkan dengan arus dari panel surya referensi yang tidak menggunakan pendingin. Data pengukuran arus ditunjukkan oleh Gambar 6. Grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai arus keluaran panel surya lebih tinggi pada pengujian panel menggunakan sistem pendingin dibandingkan dengan tidak menggunakan pendingin. Rata-rata arus keluar pada pengujian ini adalah sebesar 4.5 A dengan rentang nilai arus diantara 3,6 A – 5,1 A.



Gambar 6: Data Perbandingan Nilai Arus Panel Surya

Arus dan tegangan panel surya yang terukur kemudian menjadi acuan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Daya listrik diperoleh dari hasil perkalian antara arus dan tegangan keluaran dari panel surya. Daya listrik yang dihasilkan dalam pengujian ini ditampilkan oleh grafik pada Gambar 7. Dalam Gambar 7 juga ditampilkan daya listrik dari panel surya referensi. Dalam grafik ditunjukkan bahwa total daya listrik yang dihasilkan panel surya dengan sistem pendingin lebih tinggi daripada data referensi. Kenaikan daya listrik yang terjadi adalah sebesar 24% dari nilai daya listrik referensi.



Gambar 7. Data Perbandingan Daya Listrik Panel Surya

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem pendingin panel surya mampu meningkatkan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Dalam pengujian yang telah dilakukan pada panel surya 100 WP, terjadi kenaikan daya listrik sebesar 24% jika dibandingkan dengan data referensi. Kenaikan daya ini disebabkan oleh kenaikan tegangan dan arus keluaran panel surya. Hasil pengujian menunjukkan tegangan keluaran rata-rata sebesar 15,47 V dan arus keluaran ratan-rata sebesar 4,5 A pada pengujian panel surya yang suhu permukaannya diatur stabil pada suhu 40°C. Sistem pendingin yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode aktif berupa aliran air diatas permukaan panel surya ditambah dengan metode pasif yaitu menambahkan sabut kelapa pada bagian belakang panel surya. Sistem pendingin metode aktif diatur secara otomatis bekerja untuk mempertahankan suhu panel tidak lebih dari 40°C dengan menggunakan mikrokontroler ESP8266. Sistem yang telah diuji berjalan baik dengan suhu rata-rata selama 5 jam adalah sebesar 39,78°C. Untuk hasil pendingin yang lebih maksimal maka perlu diteliti metode pendinginan yang lebih optimal untuk meningkatkan produksi daya listrik panel surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Akademik Pendidikan Vokasi, Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi Tahun Anggaran 2022 Nomor Kontrak: 063/PL43/PM.01.01/2022.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. ESDM, “Rencana Umum Energi Nasional (RUEN),” 2016.
[2] Permen, *Peraturan Menteri ESDM Nomor 49 Thn 2018 Tentang Penggunaan Sistem*

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh Konsumen PT. PLN (Persero). 2018.

[3] P. Singh and N. M. Ravindra, "Temperature dependence of solar cell performance—an analysis," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 101, pp. 36–45, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.solmat.2012.02.019.

[4] M. Chegaar, A. Hamzaoui, A. Namoda, P. Petit, M. Aillerie, and A. Herguth, "Effect of Illumination Intensity on Solar Cells Parameters," *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 722–729, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.084.

[5] M. R. Gomaa, W. Hammad, M. Al-Dhaifallah, and H. Rezk, "Performance enhancement of grid-tied PV system through proposed design cooling techniques: An experimental study and comparative analysis," *Sol. Energy*, vol. 211, pp. 1110–1127, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.10.062.

[6] Afriandi, I. Yusuf, and A. Hiendro, "Implementasi Water Cooling System Untuk Menurunkan Temperature Losses Pada Panel Surya," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 2, pp. 3–5, 2017, [Online]. Available: https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/21994%0Ahttp://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/21994/17633.

[7] L. Idoko, O. Anaya-Lara, and A. McDonald, "Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique," *Energy Reports*, vol. 4, pp. 357–369, 2018, doi: 10.1016/j.egyr.2018.05.004.

[8] P. K. Tiyas and M. Widyantoro, "PENGARUH EFEK SUHU TERHADAP KINERJA PANEL SURYA," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, pp. 1–6, 2020.

[9] S. A. Zubeer and O. M. Ali, "Performance analysis and electrical production of photovoltaic modules using active cooling system and reflectors," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 2009–2016, 2021, doi: 10.1016/j.asej.2020.09.022.

[10] F. Grubišić-Čabo, S. Nižetić, I. Marinić Kragić, and D. Čoko, "Further progress in the research of fin-based passive cooling technique for the free-standing silicon photovoltaic panels," *Int. J. Energy Res.*, vol. 43, no. 8, pp. 3475–3495, Jun. 2019, doi: 10.1002/er.4489.

[11] S. Nižetić, E. Giama, and A. M. Papadopoulos, "Comprehensive analysis and general economic-environmental evaluation of cooling techniques for photovoltaic panels, Part II: Active cooling techniques," *Energy Convers. Manag.*, vol. 155, pp. 301–323, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2017.10.071.

[12] M. W. Tian *et al.*, "Energy, exergy and economics study of a solar/thermal panel cooled by nanofluid," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 28, p. 101481, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101481.

[13] M. R. Gomaa, M. Ahmed, and H. Rezk, "Temperature distribution modeling of PV and cooling water PV/T collectors through thin and thick cooling cross-fined channel box," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 1144–1153, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2021.11.061.

[14] B. Ramadhan, *Monitoring Pompa Air Tenaga Surya. Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap, 2022.