

IMPLEMENTASI SISTEM PENDINGIN PADA PERMUKAAN BAWAH PANEL SURYA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI KELUARAN DAYA LISTRIK

Muhammad Suyanto^{1*}, Prasetyono Eko Pambudi², Syafriyudin³, Fadly Prasetyo Aji⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas AKPRIND Indonesia, *Penulis
Koresponden

e-mail: ¹myanto@akprind.ac.id, ²prasetyono@akprind.ac.id, ³syafriyudin@akprind.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is a country with a tropical climate so it has quite high sunlight intensity. The high intensity of sunlight allows for maximum solar panel installation. Solar panels are electronic components that function to convert solar energy into electrical energy through photovoltaic phenomena. Where, solar panels have a NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) of 45°C. Solar panels work well when they do not exceed NOCT limits. Research carried out on solar panels used water flowing through a radiator grille. Cooled solar panels had an average temperature of 40.5 °C while uncooled solar panels reached an average of 50.5 °C. Increased output power can be achieved with solar panels cooled by 2.21% and without cooling by 2.68%. The percentage increase in Open Circuit voltage on cooled solar panels is 2.45% and without cooling is 1.47%. The temperature reduction that can be achieved by cooled solar panels reaches 24.9%, while without cooling it is only 14.29%.

Keywords: solar panels, cooling, temperature, power

INTISARI

Indonesia merupakan negara beriklim tropis sehingga memiliki intensitas cahaya matahari cukup tinggi. Intensitas cahaya matahari yang tinggi memungkinkan pemasangan panel surya dapat maksimal. Panel surya adalah komponen elektronik yang berfungsi merubah energi matahari menjadi energi listrik melalui gejala fotovoltaiik. Dimana, panel surya memiliki NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*) sebesar 45°C. Panel surya bekerja dengan baik saat tidak melewati batas NOCT. Penelitian yang dilakukan pada panel surya menggunakan aliran air dialirkan melalui kisi kisi radiator, panel surya ber pendingin rata-rata pada suhu 40,5 °C sedangkan panel surya tanpa pendingin rata-rata mencapai 50,5°C. Peningkatan daya keluaran, dapat dicapai dengan panel surya berpendingin 2,21 % dan tanpa pendingin 2,68 %. Untuk persentase kenaikan tegangan *Open Circuit* pada panel surya berpendingin 2,45 % dan tanpa pendingin 1,47 %. Penurunan suhu yang dapat dicapai panel surya berpendingin mencapai 24,9 %, sedangkan tanpa pendinginan hanya 14,29 %.

Kata kunci: panel surya, pendingin, peningkatan, suhu, daya

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan hal yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Terutama energi listrik yang sudah menjadi kebutuhan pokok di zaman modern ini. Kebutuhan energi listrik pun semakin lama semakin meningkat. Saat ini, kebutuhan energi listrik masih bergantung pada energi tak terbarukan seperti batu bara dan bahan bakar fosil. Ketergantungan ini tentunya lama kelamaan akan menimbulkan krisis energi dimasa yang akan datang, sehingga perlu dikembangkan energi terbarukan yang lebih efisien. Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. (Suyanto et al., 2020).

Upaya pengembangan energi alternatif terbarukan diharapkan dapat menggantikan energi takterbarukan dimasa yang akan mendatang. Pengembangan energi terbarukan tidaklah sia-sia, energi terbarukan merupakan energi bersih yang ramah lingkungan dan terus menerus dapat digunakan. Energi listrik alternatif yang dikembangkan antara lain adalah panel surya. Panel surya merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan memanfaatkan gejala fotovoltik.

Panel surya dapat menjadi salah satu energi alternatif pilihan dalam penerapannya, akan tetapi panel surya memiliki berbagai macam kekurangan yaitu kenaikan temperatur. Pengaruh temperatur terhadap daya panel surya, daya panel surya berkurang seiring dengan kenaikan temperatur. Atas dasar tersebut penulis melakukan penelitian untuk menjaga suhu panel surya agar tidak melewati suhu kritisnya, sehingga panel surya dapat bekerja secara maksimal, sehingga tidak terjadi penurunan efisiensi daya pada cuaca yang sangat panas. Penulis menamakan penelitian tersebut dengan model "Implementasi Sistem Pendingin Pada Permukaan Bawah Panel Surya Untuk Meningkatkan Efisiensi Keluaran Daya Listrik". Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaiik adalah sebuah alat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Umumnya 1 buah cell surya dapat menghasilkan tegangan sebesar 0,5 – 1 V. Besar tegangan ini kurang untuk aplikasi panel

surya, sehingga satu buah panel surya biasanya terdiri dari 28 – 36 cell surya dan total dapat menghasilkan tegangan 12 V DC pada kondisi penyinaran setandar.(Sumbodo et al., 2018).

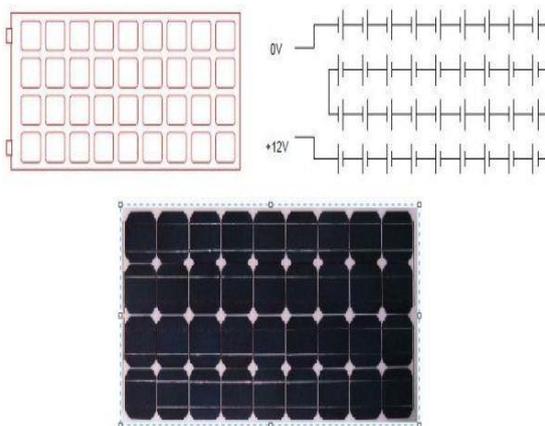
Sel panel surya mengubah hanya sebagian kecil (kurang lebih sekitar 20%) dari radiasi matahari yang dirubah menjadi energi listrik. Panas matahari yang di serap oleh sel surya lama kelamaan akan menimbulkan pemanasan pada sel. Akibatnya, sel surya memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan suhu sekitar. Jika suhu meningkat, ada pengurangan yang berarti pada tegangan sel. Tegangan sel berkurang sekitar 2,2 mV per °C kenaikan suhu operasi.(Muhammad Suyanto, Prastyono Eko Pambudi, 2022).

Panel surya pada penerapannya akan beroperasi pada suhu yang bervariasi. Sedangkan suhu optimal panel surya sesuai dengan *datasheet* yaitu 25°C untuk intensitas cahaya sebesar 1000 W/m². Setiap kenaikan 10°C dari suhu optimalnya yaitu (25°C) akan melemah 0,4% dari daya keluarannya. Peningkatan temperatur udara juga akan mengurangi tegangan sebesar 0,22 V/°C.(Widiantara & Sugiarta, 2019).

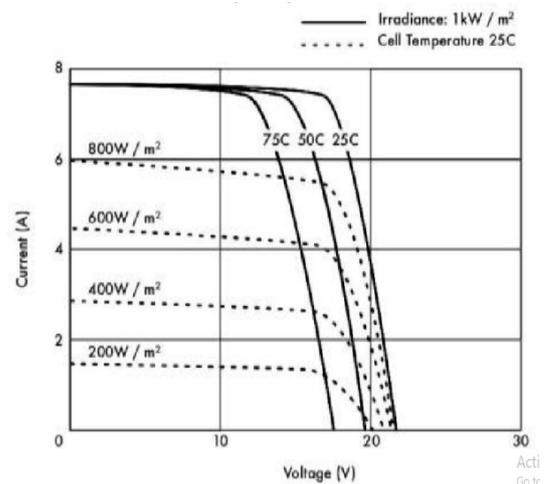
Efisiensi panel surya akan turun dengan bertambahnya suhu operasi panel surya. Pendinginan pada panel surya dapat meningkatkan kinerja panel surya dalam memproduksi listrik dibandingkan dengan panel surya standar. Dengan pendinginan dapat menjaga panel surya dari pemanasan berlebih dan dapat mempertahankan daya keluaran panel surya.(Achmad et al., 2023).

Panel surya berpendingin memiliki efisiensi lebih besar dibandingkan panel surya tanpa pendinginan. Sistem pendinginan panel surya dengan air yang mengalir, dapat meningkatkan efisiensi sebesar 2,31% pada debit 150ml/s. Perbedaan aliran debit air yang berbeda pada bagian bawah panel surya akan memberikan perbedaan hasil efisiensi yang terukur pada panel surya.(Meilia Suryanti & Bagus Fery Citarsa, 2014).

Pengertian *Solar Cell*: Sel surya atau juga sering disebut *fotovoltaik* adalah alat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Photovoltaic merupakan suatu sistem untuk mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan konsep photovoltaic. Radiasi cahaya terdiri dari pembiasan foton yang mempunyai panjang gelombang dengan spectrum cahaya yang berbeda-beda. Pada kondisi tertentu foton akan mengenai permukaan sel PV, maka energi foton akan dibiaskan, kemudian diserap dan diteruskan menembus sel PV yang kemudian menimbulkan energi listrik dari elektron dengan hole pada semikonduktor sel surya, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Modul Panel Surya



Gambar 2. Karakteristik Tegangan Panel Surya

Photovoltaic menggunakan proses konversi cahaya menjadi listrik dengan sel surya. Energi listrik yang dihasilkan oleh sumber surya dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan juga efisiensinya. Menurut teoritis efisiensi dicapai sel surya maksimal sekitar 30 - 40% tergantung tipe dan konstruksinya, namun umumnya hanya mencapai antara 7-17%.(Muhtada, 2023). Karakteristik Panel Surya, sinar matahari dapat menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi foton) sebuah sel surya tidak tergantung pada besaran luas bidang silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar antara ± 0,5 volt maksimum 600 mV pada 2 ampere, dengan kekuatan radiasi solar matahari 1000 W/m²="1 Sun" akan menghasilkan arus listrik (I) sebesar 30mA/cm² per sel surya.

Faktor Pengoperasian Panel Surya, pada pengoperasian panel surya terdapat berbagai macam faktor, agar panel surya dapat bekerja secara maksimal, faktor tersebut antarlain: Batas *Ambien Air Temperature*, Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal pada 25°C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari

temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan Voc. Gambar2. menunjukkan setiap kenaikan temperatur sel surya 10⁰C dari 25⁰C akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10⁰C. Posisi letak sel surya terhadap matahari, Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan memperoleh energi maksimum ± 1000 w/m² atau 1 kw/m². Untuk mempertahankan tegak lurusnya sinar matahari terhadap panel surya dibutuhkan pengaturan posisi modul surya, karena *sun altitude* akan berubah setiap jam dalam sehari (Mutiah & Sudiarto, 2023).

Daya listrik sering diartikan sebagai laju hantaran energi listrik pada sirkuit listrik. Satuan standar internasional daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir dalam satuan waktu (joule/detik). Daya listrik dilambangkan huruf P. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan hukum Joule. Daya pada sumber DC dinyatakan seperti pada Persamaan 1.

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

dimana: P = Daya (W); V= Tegangan (V); I= Arus (A).(Sartika et al., 2023)

Daya Masuk (*P_{in}*), diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya. **Invalid source specified.** Seperti pada Persamaan 2.

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots (2)$$

dimana: P_{in} = Daya Masukan (W); I_r = Intensitas Radiasi Matahari (W/m²); A = Luasan Area Permukaan Sel Surya (m²)

Daya Keluaran (*P_{out}*), pada sel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (Voc) dengan arus hubung singkat (Isc) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya, dapat dihitung dengan Persamaan 3.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots (3)$$

dimana: P_{out} = Daya keluaran (W); Voc = Tegangan rangkaian terbuka (V); Isc= Arus hubung singkat (A); FF = Faktor pengisi

Faktor pengisi (FF), adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar Isc × Voc dari daya maksimum V_m × I_m yang dihasilkan sel surya. menggunakan Persamaan 4.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (4)$$

dimana: FF = Faktor pengisi ; V_m = Tegangan maksimum (Volt) ; I_m = Arus maksimum (Ampere); Voc = Tegangan rangkaian terbuka (Volt); Isc = Arus hubung singkat (Ampere)

Untuk mengetahui penurunan suhu yang dapat dicapai dapat dihitung dengan Persamaan 5 sebagai berikut:

$$\text{Persentase penurunan suhu} = \left(\frac{\text{Suhu Tanpa Pendingin}}{\text{Suhu Dengan Pendingin}} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Untuk mengetahui peningkatan tegangan yang dapat dicapai antara panel surya tanpa pendingin dengan panel surya berpendingin dapat digunakan rumus 6 berikut: (Saputra et al., 2022)

$$\text{Persentase peningkatan tegangan} = \left(\frac{\text{Tegangan Dengan Pendingin}}{\text{Tegangan Tanpa Pendingin}} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Untuk mengetahui peningkatan arus panel surya dengan pendingin dan panel surya tanpa pendingin dapat dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan 7 berikut:

$$\text{Persentase peningkatan arus} = \left(\frac{\text{Arus Dengan Pendingin}}{\text{Arus Tanpa Pendingin}} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Untuk mengetahui besar persentase daya yang dapat ditingkatkan oleh panel surya dengan pendingin dan tanpa pendingin dapat digunakan Persamaan 8 berikut:

$$\text{Persentase peningkatan Daya} = \left(\frac{\text{Daya Dengan Pendingin}}{\text{Daya Tanpa Pendingin}} - 1 \right) \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

2. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan yaitu penelitian langsung atau *direct observation*. Penelitian diawali dengan perancangan alat yang kemudian direalisasikan. Setelah itu perancangan diterapkan pada kondisi nyata, Hal ini akan dilakukan pengambilan data antara panel surya dengan pendingin radiator dan panel surya tanpa pendinginan. Data yang diambil berupa suhu, tegangan, dan arus yang dihasilkan panel surya. Jenis penelitian yang akan dilakukan yaitu pengujian dengan menstabilkan temperatur panel surya serta mengambil data

tegangan, arus dan memperhitungkan daya yang dihasilkan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan panel surya 20 W dua buah masing – masing tanpa pendingin dan yang satu dengan pendingin radiator.

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan sebagai peralatan penelitian, menggunakan beberapa komponen komponen dalam pembuatan modul, sebagai peralatan penelitian yang untuk pengambilan data terdiri dari beberapa komponen elektronik dan perangkat keras lainnya sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3 modul peralatan tampak dari samping dan Gambar 4 memperlihatkan Skema kerja dari perlatan pada panel surya.

Tabel 1. Peralatan dan Alat Pendukung

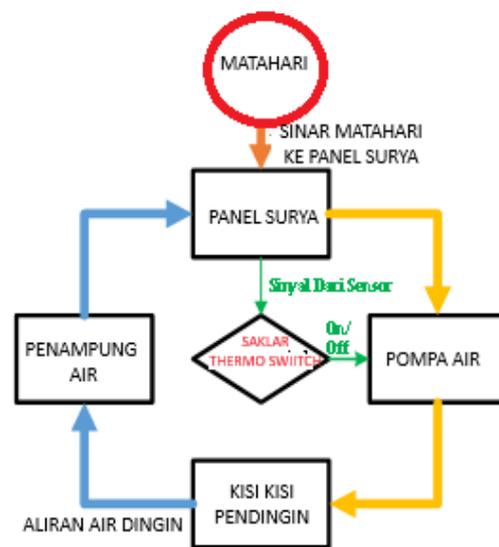
No	Bahan	No	Alat
1	Panel surya <i>polycrystalline</i> 20wp	1	Digital Thermoswitch 12 Volt DC
2	Charger Controller 10A	2	Digital multimeter AC/DC
3	Pompa Air 12 Volt DC 3,5A	3	Tang Universal, tang Rivet
4	Timah/ Tenol	4	Lux-meter
5	Alumunium 3mm	5	Palu
6	Radiator Motor Jupiter MX	6	Gunting
7	Selang Air 1/8, 3/16.	7	Obeng
8	Besi Baja Ringan 2,5 cm persegi	8	Bor Listrik
9	Mur Baut Galvalum	9	Gerinda
10	Paku Revet 3mm	10	Ampere meter
11	Accu/Bateray	11	Solder
12	Pipa tembaga ukuran 10 mm	12	Las Karbit

2.2 Perencanaan

Dalam tahapan ini, dilakukan *study literatur* untuk menentukan penelitian yang akan ditempuh. Baik segi desain, ketersediaan komponen dan kemungkinan perealisasi dalam perancangan. Pada tahapan perencanaan diperoleh referensi – referensi yang digunakan untuk menunjang penelitian, yang digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. Gambar Tampak Samping Alat



Gambar 4. Skema Kerja Alat dari Panel Surya

Gambar 3 merupakan penampakan alat dari samping, pada alat ini terdapat dua buah panel surya berpendingin dan tanpa pendingin dengan masing – masing terpasang sensor suhu untuk memonitoring suhu panel surya. Spesifikasi panel surya yang digunakan antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi panel Surya Sunlite Model 156P-20

Daya Maksimal	Pmax	20 W
Tegangan Maksimal	Vmp	17,2 V
Arus Maksimal	Imp	1,16 A

Arus Hubung Singkat	Isc	1,3 A
Open Circuit Voltage	Voc	20,64 V
Nominal Operating Cell Temperature	NOCT	45± 2 °C
Maximum System Voltage		1000V
Maximum Series Fuse		16 A

Skema Cara Kerja Alat diperlihatkan pada Gambar 4. Ketika matahari menyinari panel surya, maka panel surya akan menyerap panas dari matahari. *Thermo Switch* diatur untuk menstabilkan suhu pada panel surya berpendingin pada suhu 40°C. Panel surya dijaga temperaturnya agar tidak melampaui NOCT panel surya. Ketika panel surya bersuhu 42°C, *Thermo Switch* akan menghidupkan relay yang terhubung pada pompa air, sehingga pompa air pada posisi on untuk mensirkulasi air dalam panel surya. Air panas dalam panel surya bergerak kedalam radiator dan mengalami proses pendinginan kemudian dipompa kembali kedalam panel surya. Panas panel pada prosies pendinginan ini akan berangsur – angsur turun sampai pada suhu 40°C. Pada suhu 40°C *Thermo Switch* mematikan relay sehingga pompa air dalam keadaan *Off* dan aliran air dalam panel surya terhenti. Dengan demikian suhu dalam panel surya akan terjaga pada temperatur 40°C - 42°C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diambil 8 data penelitian. Pengambilan data menggunakan sudut 25° untuk kemiringan panel surya. Variabel penelitian yang digunakan antara lain, kondisi tanpa beban, kondisi berbeban (0 W, 5 W, 10 W, 20W), analisis dilakukan dengan membandingkan data dari hasil penelitian antara panel surya tanpa pendingin dan panel surya dengan pendingin.

Dari Tabel 4 suhu rata – rata yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup jauh antara panel surya tanpa pendingin dengan panel surya tanpa pendingin. Panel surya tanpa pendingin suhu rata – rata yang dicapai 50,5 °C sedangkan panel surya dengan pendingin mencapai 40,5°C. Selisih rata – rata suhu antara panel surya dengan pendingin dan panel surya tanpa pendingin yaitu 10°C.

Untuk persentase rata – rata suhu pendinginan panel surya dapat dihitung dengan persamaan 6. berikut:

$$\text{Persentase penurunan Suhu} = \left(\frac{50,5}{40,5} - 1 \right) \times 100\% = 24,69 \%$$

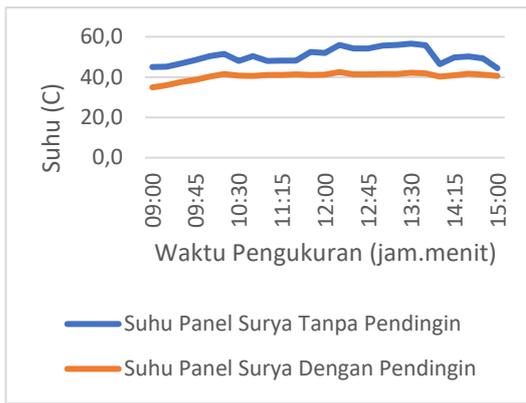
Jadi persentase rata – rata suhu pendinginan panel surya terhadap panel tanpa pendingin dapat mencapai 24,69 %.

Tabel 4. Data Tegangan *Open Circuit* Panel Surya Diatur pada Suhu 40 °C

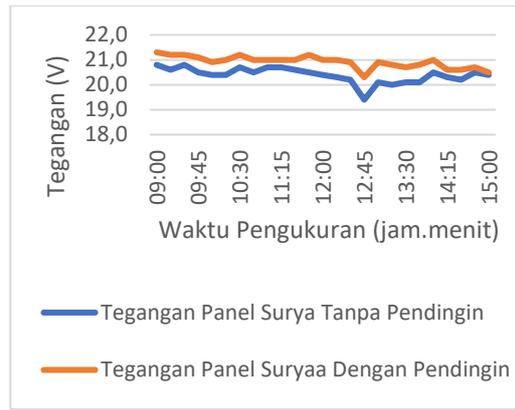
No	Waktu	Panel Surya tanpa Pendingin						Panel Surya ber- Pendingin					
		Suhu (°C)	Voc (V)	Vm (V)	Im (A)	Isc (A)	Daya (W)	Suhu (°C)	Voc (V)	Vm (V)	Im (A)	Isc (A)	Daya (W)
1	09.00	45,0	20,8	13,0	0,94	1,10	12,2	34,9	21,3	13,2	0,94	1,11	12,6
3	09.30	46,8	20,8	13,0	1,03	1,19	13,4	37,5	21,2	13,3	1,03	1,21	14,4
5	10.00	50,4	20,4	13,0	1,03	1,22	14,2	40,2	20,9	13,3	1,03	1,25	14,5
7	10.30	48,1	20,7	12,8	1,03	0,92	12,3	40,7	21,2	13,2	1,03	0,95	14,9
9	11.00	48,1	20,7	13,1	1,03	1,37	13,9	41,0	21,0	14,1	1,03	1,23	13,9
11	11.30	48,2	20,6	12,9	1,03	1,40	15,6	41,3	21,0	13,9	1,03	1,42	15,6
13	12.00	52,0	20,4	13,1	1,03	1,39	15,8	41,2	21,0	13,4	1,03	1,40	16,8
15	12.30	54,2	20,2	13,1	1,03	1,36	15,3	41,4	20,9	13,5	1,03	1,38	15,7
17	13.00	55,7	20,1	13,0	1,03	1,33	14,9	41,6	20,9	13,4	1,03	1,35	15,9
19	13.30	56,6	20,1	13,0	1,03	1,25	13,4	42,1	20,7	13,1	1,03	1,26	14,4
21	14.00	46,5	20,5	12,9	1,03	1,20	12,8	40,3	21,0	13,1	1,03	1,22	13,8
23	14.30	50,3	20,2	12,7	1,03	1,00	10,2	41,7	20,6	12,9	1,03	1,01	11,2
25	15.00	44,4	20,4	12,7	1,03	0,77	9,2	40,6	20,5	12,7	1,03	0,79	9,8
Rata - rata		50,54	20,4	12,9	1,05	1,2	13,51	40,5	20,9	13,4	1,03	1,22	13,9

3.1 Kondisi Pendinginan,

Suhu yang lebih rendah sangat berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Dengan suhu yang lebih rendah dapat menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Dapat dilihat pada tabel 4. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan pendingin tertinggi dapat mencapai 21,3 V sedangkan panel surya tanpa pendingin 20,8 V. Untuk tegangan yang dihasilkan pada terik matahari maksimum pada jam 12.00 panel surya dengan pendingin mencapai 21,0 V sedangkan untuk panel surya tanpa pendingin hanya 20,4 Volt. Tegangan terendah dari kedua panel pada waktu pengukuran yang sama yaitu 19,4 V untuk panel surya tanpa pendingin dan 20,3 V



Gambar 5. Grafik Suhu °C pada Panel

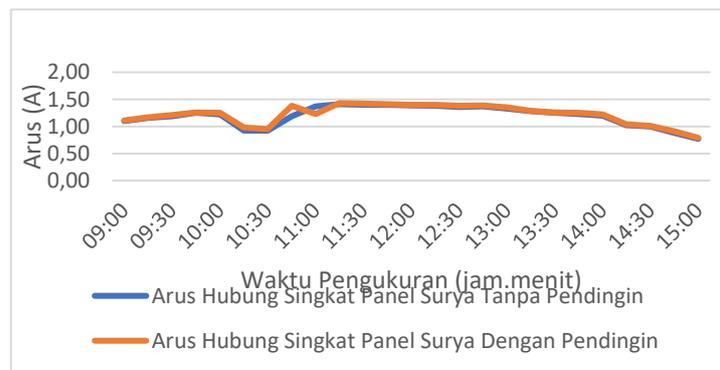


Gambar 6. Grafik Tegangan (Voc)

Gambar 5 merupakan grafik hubungan suhu panel surya pada Tabel 4. Dari grafik dapat dilihat bahwa suhu panel surya berpendingin lebih konstan dan lebih rendah dibandingkan panel surya tanpa pendingin. Secara keseluruhan dari jam 09.00 sampai dengan jam 15.00 suhu panel surya tanpa pendingin jauh diatas panel surya dengan pendingin.

Gambar 6 merupakan grafik Tegangan *Open Circuit* antara panel surya tanpa pendingin dan panel surya dengan pendingin dari Tabel 4. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa tegangan panel surya dengan pendingin lebih besar dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Pada waktu pengukuran jam 11.15 WIB sampai dengan 12.12 WIB, panel surya tanpa pendingin mengalami penurunan suhu sedangkan untuk panel surya dengan pendingin cenderung lebih setabil. Tegangan rata – rata yang dihasilkan panel surya dengan pendingin pada tabel 4.13 yaitu 20,9 V sedangkan untuk panel surya tanpa pendingin tegangan rata – rata yang dapat dicapai yaitu 20,4. Untuk persentase peningkatan rata – rata tegangan panel surya dengan pendingin terhadap panel surya tanpa pendingin dapat dihitung dengan persamaan 7. berikut:

$$\text{Persentase peningkatan tegangan} = \left(\frac{20,9}{20,4} - 1 \right) \times 100\% = 2,45 \%$$



Gambar 7. Grafik Isc Panel Tanpa Pendingin dan Surya dengan Pendingin

Gambar 7 merupakan grafik dari Tabel 4 dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa secara keseluruhan arus yang dihasilkan panel surya dengan pendingin lebih tinggi dibandingkan dengan arus yang dihasilkan oleh panel surya tanpa pendingin. Arus terendah yang dihasilkan panel surya tanpa pendingin mencapai 0,78 A sedangkan untuk panel surya berpendingin arus terendah yang dapat dihasilkan sebesar 0,79 A. Pada pukul 10.00 WIB sampai dengan pukul 11.15 WIB terjadi sedikit penurunan arus yang disebabkan oleh kondisi alam dan cuaca yang sedikit berawan. Sehingga hasil pengukuran pada Gambar 7 terjadi sedikit penurunan.

Dari Tabel 4 didapat bahwa rata – rata arus yang dihasilkan panel surya berpendingin lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Rata – rata arus untuk panel surya tanpa pendingin mencapai 1,20 A sedangkan panel surya dengan mendingin dapat mencapai 1,22 A. Arus tertinggi pada panel surya tanpa pendingin adalah 1.41 A sedangkan untuk panel surya dengan pendingin dapat mencapai 1.43 A.

Untuk persentase rata – rata peningkatan arus yang dapat dihasilkan oleh panel surya dengan pendingin terhadap panel surya tanpa pendingin dapat dihitung dengan persamaan 8. sebagai berikut:

$$\text{Persentase peningkatan arus} = \left(\frac{1,22}{1,20} - 1 \right) \times 100\% = 1,67 \%$$

Jadi Panel surya dengan pendingin radiator dapat meningkatkan arus sebesar 1,67 %.

Dari Tabel 4 merupakan data hasil penelitian dengan variasi daya, yang dihasilkan oleh panel surya. Daya tersebut diperoleh dari perkalian antara tegangan terminal panel surya terukur (V_m) dikalikan dengan arus panel surya terukur (I_m) dari panel surya menuju controller. Karena dalam keadaan tanpa beban *Charger* hanya menarik daya untuk menjaga tegangan baterai agar tetap penuh.

Peningkatan daya dengan perlakuan permukaan bawah panel surya didinginkan, dengan sirkulasi air pendinginan melalui radiator bertekanan dengan menggunakan pompa air. Daya yang dihasilkan baik panel surya dengan pendingin maupun panel surya tanpa pendingin akan terukur acak ketika daya yang dihasilkan panel surya lebih rendah daripada daya yang dibeban kan. Dapat dilihat juga pada tabel 4. Sedangkan untuk pembebanan pada beban penuh (20W), maka dapat diukur tegangan dan arus masuk ke *charger controller* lebih stabil dan dapat digunakan sebagai data pembandingan peningkatan daya yang dihasilkan antara panel surya dengan pendingin dan panel surya tanpa pendingin.

Kondisi lingkungan juga sangat mempengaruhi, dalam proses pengambilan data. Terutamanya pengaruh dari awan terhadap daya yang dihasilkan oleh panel surya. Sehingga pada jam – jam tertentu terjadi penurunan daya hasil pengukuran.

Untuk rata – rata persentase peningkatan tegangan yang dihasilkan pada panel surya berpendingin pompa air dimatikan yaitu 1,47 % dan untuk panel surya berpendingin dengan pompa air dihidupkan dapat mencapai 2,48 %. Persentase daya yang dihasilkan panel surya dengan pendingin terhadap panel surya tanpa pendingin untuk panel dengan pompa air mati mencapai 2,21 % dan 2,68 % untuk pompa air hidup. Persentase peningkatan daya antara pompa dimatikan dan dihidupkan untuk menjaga suhu pada 40°C sebesar 0,47 %.

Selisih rata – rata suhu antara panel surya berpendingin pompa hidup dan panel surya tanpa pendingin yaitu 10°C dengan selisih tegangan *Open Circuit* 0,5 volt. Dengan demikian setiap kenaikan suhu sebesar 10°C dari suhu rata – rata 40,5°C maka panel surya akan mengalami penurunan tegangan sebesar 0,5V atau mengalami penurunan sebesar 2,2%. Setiap kenaikan temperatur Sel surya 10° Celsius (dari 25°C) akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10°C.

Dalam penelitian menggunakan pompa air sebagai penggerak sirkulasi air, air bergerak dari kondisi panas menuju kisi radiator sehingga suhu akan turun perlahan – lahan. Kemudian suhu air yang turun diumpankan ke panel surya untuk mendinginkan panel surya dengan mengisikan air suhu rendah kedalam panel surya. Temperatur panel surya akan turun perlahan – lahan sampai dalam kondisi yang stabil. Pada penelitian ini pengaturan suhu pada suhu 40°C, pompa air menyala pada jam 11.30 WIB sampai dengan 11.45 WIB, pompa air akan menyala kembali pada pukul 12.00 WIB sampai pukul 13.45 sehingga lama pompa hidup dalam penelitian ini selama 2 jam pada kondisi terik matahari maksimal.

4. KESIMPULAN

Dari Penelitian yang sudah dilakukan mengenai pengaruh pendinginan terhadap daya keluaran yang dihasilkan maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Temperatur memiliki pengaruh terhadap daya keluaran panel surya, dalam penelitian ini setiap 1°C kenaikan suhu dari suhu 40°C maka daya keluaran panel surya mengalami penurunan sebesar 0,268%.
2. Ketika panel surya menunjukkan suhu melebihi 40°C maka *thermoswitch* akan menghidupkan pompa dan mengalirkan air panas dari panel surya ke kisi radiator dan mengganti air pada panel surya dengan air yang lebih dingin.
3. Daya yang dihasilkan panel surya tanpa pendingin rata – rata mencapai 13,12 W sampai dengan 13,82 W sedangkan untuk panel surya dengan pendinginan daya yang dihasilkan dapat mencapai 13,41 sampai dengan 14,19.
4. Panel surya dengan pendingin memiliki daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel tanpa pendingin, Sehingga dengan pendinginan dapat meningkatkan daya rata – rata sebesar 0,221% sampai dengan 0,268% dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin.
5. Daya pada keadaan beban 5W, dan 10 W terukur acak hal ini terjadi karena ketika daya panel surya menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan beban maka daya yang terukur acak akibat tegangan dan arus yang berubah – ubah, hal tersebut diakibatkan oleh *charger controller* yang menjaga kapasitas baterai tetap dalam kondisi penuh.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami banyak mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada mitra dan rekan-rekan penelitian, yang telah membantu dalam pengumpulan data, dan membantu dalam proses penulisan. Kalian adalah bagian penting dalam kesuksesan penelitian ini. Pada penelitian selanjutnya, semoga kita masih dapat bekerja sama dalam hal penelitian panel surya sehingga dapat dicapai efektifitas daya yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, M. I., Syarif, A., Ashari, D., & Zuliadin, Z. (2023). Analisa pengaruh pendingin panel surya 50 WP terhadap daya yang dihasilkan. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 2(1), 8–16. <https://doi.org/10.54297/sjme.v2i1.356>
- Meilia Suryanti, E., & Bagus Fery Citarsa, I. (2014). ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM FOTOVOLTAIK ON-GRID PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) GILI TRAWANGAN [Photovoltaic System Performance Analysis On-Grid On Solar Power Plant (PLTS) Gili Trawangan]. *Dielektrika*, 1(2), 82–95.
- Muhammad Suyanto, Prastyono Eko Pambudi, S. (2022). Pelatihan Pemasangan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik Di Objek Wisata Alam Punthuk Ngepoh Brajan. *Dharma Bakti*, 5(2), 135–264. <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/dharma>
- Muhtada, D. (2023). Instalasi PLTS Sebagai Sumber Energi mandiri dan Media. *Sriwijaya University Journal, April*, 59–65. <http://jim.unisma.ac.id/index.php/PENADIMAS/article/view/18901/15336>
- Mutiiah, F., & Sudiarto, B. (2023). Design Analysis Configuration and Capacity of Off-Grid with Implementation of Photovoltaic (PV) and Battery Energy Storage System (BESS) as Power Supply for Shipping Activities at Ports. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 6(1), 48–55. <https://doi.org/10.24036/jptk.v6i1.31623>
- Saputra, E., Purwanto, D., Rahim, S. R., & Bakhtiar, A. I. (2022). Peningkatan Performa Panel Surya Dengan Sistem Pendingin Untuk Mereduksi Panas Permukaan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 23(1), 28–35. <https://doi.org/10.23917/mesin.v23i1.16390>
- Sartika, N., Fajri, A. N. R., & Kamelia, L. (2023). Perancangan Dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Atap Pada Masjid Jami' Al-Muhajirin Bekasi. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 25(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/transmisi.25.1.1-9>
- Sumbodo, J. S., Kirom, M. R., & Pangaribuan, P. (2018). Efektivitas Pendingin Menggunakan Termoelektrik pada Panel Surya Effectiveness of Thermoelectric Cooling on Solar Panel. *E-Proceeding of Engineering*, 5(3), 3895–3902.
- Suyanto, M., Rusianto, T., & Subandi. (2020). Development of a Household Solar Power Plant: System Using Solar Panels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 807(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/807/1/012007>
- Widiantara, I. B. G., & Sugiarta, N. (2019). Pengaruh Penggunaan Pendingin Air Terhadap Output Panel Surya Pada Sistem Tertutup. *Matrix : Jurnal Manajemen Teknologi Dan Informatika*, 9(3), 110–115. <https://doi.org/10.31940/matrix.v9i3.1582>