

Analisis Karakteristik Modul Panel Surya Dengan Sistem Pendingin Air

Nurul Miftahhul Janna¹ dan Djoko Adi Widodo²

¹ Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang, ² Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang

nurulmiftjann@students.unnes.ac.id, djokoadiwidodo@mail.unnes.ac.id,

Copresent Author : nurulmiftjann@students.unnes.ac.id

Abstract — The operation of photovoltaic is affected by solar radiation and module temperature. When the current generated is high, it creates excess heat which can damage the module and reduce the voltage. To reduce the temperature and increase the characteristic values are carried out by using a cooling system. However, cooling system is not recommended to be done continuously because it considers the power consumption of the pump used. This research uses water on the surface of monocrystalline Solar Power Plant with 1 kWp capacity type using a 360° water sprayer with a cooling frequency of every 2 minutes. The test results for the characteristic values of the solar panels reach 65.2V, 11.4A, module temperature 30-38oC, increasing the output power up to 35% and efficiency up to 15%. The consumption of pump power used is not greater than the increase in power generated.

Keyword — Active Cooling, Characteristic, Photovoltaic, Cooling, Temperature.

Abstrak — Pengoperasian panel surya dipengaruhi oleh radiasi matahari dan suhu modul. Ketika arus yang dihasilkan besar maka menimbulkan panas berlebih yang dapat merusak modul serta menurunkan tegangan yang dihasilkan. Upaya penurunan suhu modul dilakukan dengan sistem pendinginan. Namun pendinginan tidak disarankan dilakukan secara terus-menerus karena mempertimbangkan konsumsi daya pompa yang digunakan. Penelitian ini menggunakan Air pada permukaan PLTS berkapasitas 1 kWp jenis *monocrystalline* menggunakan *water sprayer* 360° dengan frekuensi pendinginan 2 menit sekali. Hasil pengujian nilai karakteristik panel surya mencapai 65,2V, 11,4A, suhu modul 30-38°C, meningkatkan daya keluaran hingga 35% dan efisiensi hingga 15%. Konsumsi daya pompa yang digunakan tidak lebih besar dari peningkatan daya yang dihasilkan.

Kata kunci — Active Cooling, Karakteristik, Panel Surya, Pendinginan, Suhu

I. PENDAHULUAN

Sebuah modul panel surya bekerja secara maksimal untuk merubah energi surya menjadi energi listrik pada suhu modul sebesar 25°C dengan kapasitas produksi 1 kW/m². Pengoperasian modul panel surya biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti radiasi matahari, suhu modul panel surya, solar altitude dan solar spectrum[1]. Daya listrik yang dihasilkan sel surya berbanding lurus dengan radiasi yang diterima sel surya, semakin besar radiasi yang diterima oleh sel surya maka semakin besar output daya yang dihasilkan[2]. Semakin besar intensitas matahari maka arus yang dihasilkan akan semakin besar[3]. Arus yang tinggi

dapat menimbulkan panas berlebih (*overheating*) pada modul panel surya. Apabila fenomena ini terjadi terus-menerus dapat menimbulkan kerusakan pada sel surya dan mempercepat degradasi material penyusunnya menjadi tidak tahan lama[4]. Kenaikan suhu mengakibatkan tegangan rangkaian terbuka (Voc), daya dan efisiensi listrik panel surya turun[5].

Untuk mengurangi suhu permukaan sekaligus meningkatkan efisiensi modul panel surya maka digunakan sistem pendinginan. Dua teknik utama dalam pendinginan modul panel surya adalah Active Cooling System (pendinginan berbasis air dan udara) & Passive Cooling System (pendinginan menggunakan kipas, heatsink, PCM, TEC). Active Cooling System dapat menurunkan suhu hingga 20°C dan meningkatkan efisiensi elektrik modul panel surya mencapai 13% [6]. Untuk menghindari efek cermin, pengoperasian sistem pendinginan tidak dianjurkan dilakukan secara terus menerus dan seharusnya dilakukan sewaktu-waktu[7-8]. Selain itu estimasi konsumsi atau penggunaan daya untuk menjalankan sistem pendinginan tersebut harus dikaji lebih lanjut agar peningkatan daya yang dihasilkan modul panel surya berpendingin tidak lebih kecil daripada konsumsi daya yang dibutuhkan[6].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Modul Panel Surya

Modul panel surya atau *photovoltaic* memiliki arti Cahaya-Listrik atau perubahan energi cahaya menjadi listrik. Satu buah modul panel surya biasanya terdiri dari 36 keping sel surya yang disusun seri dan dapat menghasilkan tegangan 20 – 50 V. Sel surya terbuat dari bahan silikon yang memiliki sifat sebagai penyerap energi matahari yang baik sehingga ketika sel surya ini terkena sinar matahari maka akan terjadi efek fotolistrik atau efek fotovoltaik. Modul panel surya jenis *monocrystalline silicon* (MonoSi) merupakan jenis sel surya yang menggunakan *crystalline* tunggal. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi 14 – 17% dan disebut panel surya yang paling efisien diantara semua generasi panel surya. Panel surya ini dapat bertahan lama hingga 20 tahun pemakaian namun tidak dapat berfungsi dengan baik ditempat cahaya yang teduh.

B. Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja panel surya diantaranya adalah :

1. Radiasi Matahari

Radiasi matahari memiliki pengaruh langsung terhadap keluaran modul panel surya. Meningkatnya iradiasi matahari maka juga akan meningkatkan daya keluaran panel surya[1].

2. Suhu Modul Panel Surya

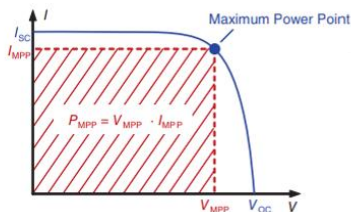
Suhu modul panel surya merupakan faktor yang sangat mempengaruhi keluaran modul panel surya[8][16]. Salah satu dampak yang paling signifikan adalah menurunnya tegangan keluaran setiap satu derajat suhu modul meningkat.

3. Solar Altitude dan Solar Spectrum

Solar Altitude atau ketinggian dan sudut matahari saat bergerak di langit berubah setiap hari selama setahun. Hal ini menyebabkan penyebaran radiasi matahari semakin luas dan menurunkan intensitasi radiasi matahari.

C. Karakteristik Modul Panel Surya

Karakteristik modul panel surya dapat didefinisikan dari beberapa parameter seperti Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc}), Arus Hubung Singkat (I_{sc}) dan Fill Factor (FF), Maximum Power Input (P_{max}), Current At Maximum Power Input (I_m), Voltage At Maximum Power Input (V_m) dan Efisiensi (η). Karakteristik tegangan terhadap arus yang panel surya dapat dilihat dalam sebuah kurva hubungan tegangan dan arus ($V-I$ Curve). Kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik bekerja maksimal (Maximum Power Point) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum pula (P_{MPP}). Besarnya tegangan pada titik kerja maksimal (V_{MPP}) lebih kecil dari pada nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Selain itu besarnya arus pada titik kerja maksimal (I_{MPP}) juga lebih kecil nilainya dibandingkan dengan arus hubung singkat (I_{sc}).



Gambar 1. Kurva Karakteristik Arus dan Tegangan

1) Daya Keluaran (P_{out})

Daya keluaran dari modul panel surya merupakan tegangan dan arus listrik searah (DC). Untuk mengetahui besarnya daya yang dihasilkan modul panel surya menggunakan persamaan 1 [9] :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \tag{1}$$

Dimana :

P_{out} = Daya Keluaran

FF = Faktor Pengisi

V_{oc} = Tegangan Rangkaian Terbuka (Volt)

I_{sc} = Arus Hubung Singkat (Ampere)

2) Daya Masukan (P_{in})

Daya masukan atau daya input modul panel surya merupakan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh permukaan modul panel surya.

$$P_{in} = I_r \times A \tag{2}$$

Dimana :

P_{in} = Daya Masuk (Watt)

I_r = Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)

A = Luas area permukaan modul fotovoltaik (m^2)

3) Peningkatan Daya

Peningkatan Daya Keluaran merupakan selisih daya yang dihasilkan modul panel surya ketika dioperasikan secara normal dengan ketika dioperasikan menggunakan sistem pendinginan dan dinyatakan dalam bentuk persentase [10].

$$P = \frac{P_B - P_A}{P_A} \times 100\% \tag{3}$$

Dimana :

P = Peningkatan Daya (Watt)

P_A = Daya Panel Surya Standart (Watt)

P_B = Daya Panel Surya Berpendingin (Watt)

4) Konsumsi Daya Pompa

Konsumsi daya merupakan estimasi daya yang dibutuhkan untuk menjalankan pompa sistem pendinginan yang diberikan pada modul panel surya. Untuk mengetahui konsumsi daya pompa terlebih dahulu dihitung daya pompa berdasarkan spesifikasinya menggunakan persamaan 4 :

$$P = V \times I \tag{4}$$

Dimana :

P = Daya Pompa (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

5) Efisiensi (η)

Unjuk kerja sebuah modul panel surya diukur berdasarkan efisiensinya. Nilai efisiensi modul panel surya berasal dari perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari iradiasi matahari yang diterimanya[11].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{5}$$

Dimana :

η = Efisiensi modul (%)

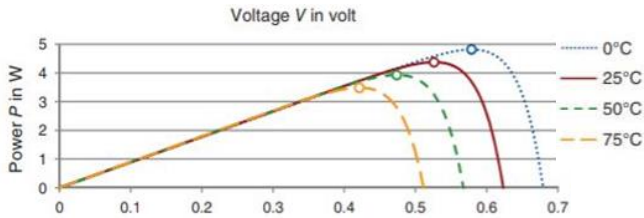
P_{out} = Daya Keluaran (Watt)

P_{in} = Daya Masuk (Watt)

D. Pengaruh Suhu

Sel surya seperti halnya semikonduktor lain akan peka terhadap suhu sehingga selain besaran intensitas cahaya matahari, suhu panel surya juga dapat mengubah kurva hubungan tegangan dan arus. Semakin tinggi suhu modul panel surya maka tegangan yang dihasilkan semakin menurun. Sel surya akan bekerja secara optimal pada suhu konstan yaitu 25°C. Nilai ini didapat pada kondisi pengujian

standart atau *Standart Test Conditions* (STC) yaitu dengan radiasi sinar matahari sebesar 1000 W/m^2 dan spektrum cahaya AM 1,5. Perubahan suhu modul panel surya juga berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan, dimana semakin tinggi suhu modul panel surya maka daya yang dihasilkan semakin menurun.



Gambar 2. Kurva Karakteristik Daya dan Tegangan

E. Sistem Pendinginan

Sistem pendinginan (*Cooling System*) merupakan suatu metode pelepasan kalor pada sebuah komponen atau peralatan agar tidak terjadi *overheating*. Dua teknik utama dalam pendinginan modul panel surya diantaranya :

1. Active Cooling System

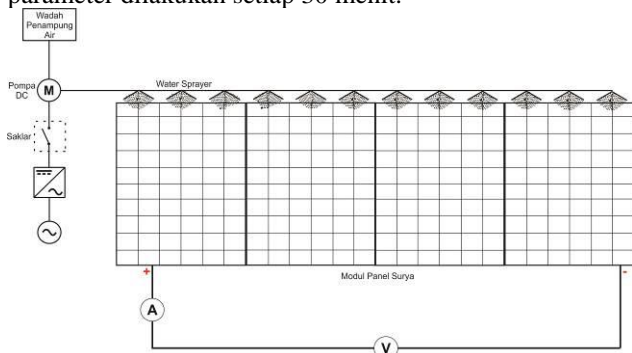
Active Cooling System adalah salah satu metode pendinginan yang menggunakan energi sebagai media transfer panas dari satu tempat ke tempat lain. Energi yang digunakan dalam pendinginan ini biasanya berbentuk gas dan cairan. Contohnya air dan udara.

2. Pasive Cooling System

Pasive Cooling System adalah salah satu metode pendinginan yang tidak menggunakan energi sebagai media transfer panas melainkan lebih mengutamakan pengendalian panas atau penguapan secara alami contohnya evaporasi.

III. METODE PENELITIAN

Sistem pendinginan dipasang pada permukaan PLTS *Rooftop* LP2M UNNES. PLTS *Rooftop* LP2M UNNES merupakan PLTS *stand alone* (sistem 48V) yang diletakan pada atap gedung terkait. Selanjutnya energi hasil konversi panel surya digunakan untuk beban gedung berupa lampu taman ketika malam hari. Sistem Pendinginan diberikan selama 6 jam mulai pukul 09.00 hingga 15.00 dengan rentang waktu 2 menit sekali, 5 menit sekali dan 10 menit sekali. Durasi pengairan selama 30 detik dan pengukuran parameter dilakukan setiap 30 menit.



Gambar 3. Diagram Eksperimen Alat dan bahan yang digunakan :

1. Alat
 - a. Panel Surya *Monocrystalline* 250 Wp
 - b. Pompa Air DC 120 Psi
 - c. Adaptor
 - d. *Solar Power Meter*
 - e. *Thermometer Gun*
 - f. *Clamp Meter*
 - g. Baterai
2. Bahan
 - a. Selang Air PE 20mm
 - b. *Water Sprayer Nozzle 360°*
 - c. Lem Pipa
 - d. Saklar
 - e. Kran
 - f. Air



Gambar 4. Modul Panel Surya Ketika Diberi Pendingin

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran pada panel surya tanpa sistem pendinginan menunjukkan bahwa tegangan dan arus maksimal yang dapat dihasilkan adalah 60,6 V dan 9,84 A. Daya keluaran tertinggi sebesar 568,75 Watt. Rentang suhu modul panel surya saat dioperasikan 41 – 57,6 °C dengan rata-rata 47,4 °C. Efisiensi maksimalnya mencapai 12%.

Pengukuran untuk sistem pendinginan 2 menit sekali menghasilkan tegangan dan arus maksimal 65,2 V dan 11,4 A. Daya keluaran tertinggi sebesar 665,76 Watt. Rentang suhu modul panel surya setelah diberi pendingin menjadi 30,9 – 38,4 °C dengan rata-rata 34,42 °C. Efisiensi maksimalnya mencapai 15% mendekati nilai efisiensi maksimum panel surya tersebut sesuai spesifikasinya.

Untuk sistem pendinginan 5 menit sekali. Hasil yang didapatkan adalah tegangan dan arus maksimal yang dihasilkan PLTS berpendingin 5 menit sekali adalah 62,2 V dan 10,86 A. Daya keluaran tertinggi sebesar 624,45 Watt. Rentang suhu modul panel surya setelah diberi pendingin menjadi 29,8 – 38,9 °C dengan rata-rata 33,61 °C. Efisiensi maksimalnya mencapai 15%.

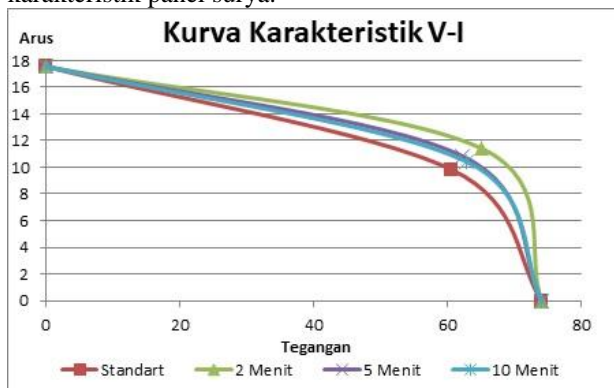
Untuk hasil pengukuran sistem pendinginan 10 menit sekali, didapati bahwa tegangan dan arus maksimal yang dihasilkan PLTS berpendingin 10 menit sekali adalah 62,8 V dan 10,45 A. Daya keluaran tertinggi hanya sebesar 617,6 Watt. Rentang suhu modul panel suryanya lebih tinggi

daripada pendinginan yang lain yaitu 33,6 – 41,2 °C dengan rata-rata 38,24 °C. Efisiensi maksimalnya mencapai 14%.

A. Analisis Tegangan dan Arus

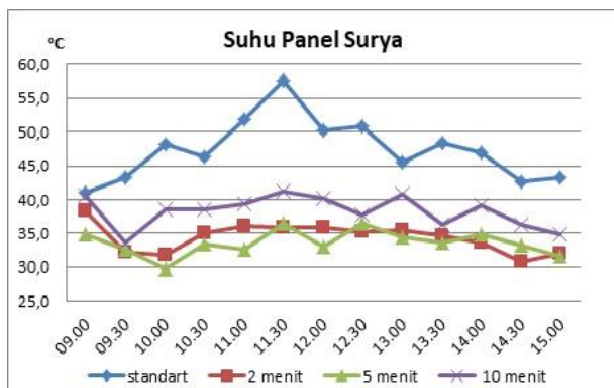
Tegangan tertinggi yang dihasilkan PLTS standart hanya 60,6 V, sedangkan tegangan tertinggi dari keseluruhan uji coba sistem pendinginan yaitu 65,2 V saat panel surya diberi pendinginan 2 menit sekali. Nilai rata-rata tegangan tertinggi adalah 59,57 V yang dihasilkan PLTS berpendingin 2 menit sekali dan terendah dihasilkan oleh PLTS standart atau tidak berpendingin yaitu 57,7 V.

Arus tertinggi yang dihasilkan PLTS adalah ketika PLTS diberi sistem pendinginan 2 menit sekali dengan nominal arus 11,4 A. PLTS standart hanya menghasilkan arus tertinggi sebesar 9,84 A. Nilai rata-rata arus tertinggi adalah 7,46 A yang dihasilkan PLTS berpendingin 5 menit sekali dan terendah dihasilkan oleh PLTS standart atau tidak berpendingin yaitu 6,92 A. Pada Gambar 7 kurva karakteristik panel surya tidak berpendingin adalah yang paling rendah dari keseluruhan dan yang paling tinggi adalah karakteristik panel surya dengan sistem pendingin air 2 menit sekali. Hal ini membuktikan bahwa sistem pendinginan yang diberikan dapat meningkatkan nilai-nilai karakteristik panel surya.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Kurva Karakteristik V-I

B. Analisis Suhu Modul Panel Surya



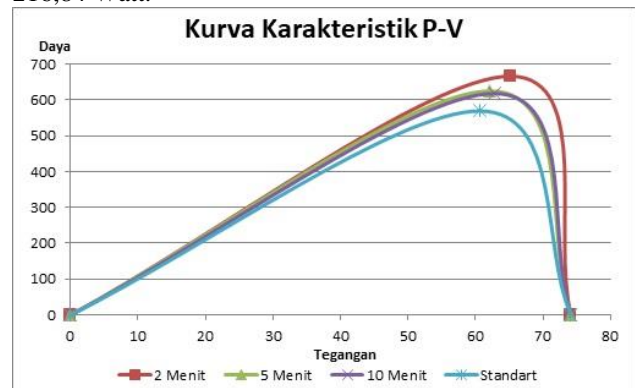
Gambar 6. Grafik Suhu Modul Panel Surya

Suhu panel surya tertinggi pada PLTS tanpa menggunakan sistem pendinginan, suhunya bisa mencapai

57,6°C. Sedangkan suhu panel surya yang mendekati kondisi terbaik menurut STC (*Standart Test Condition*) sebesar 25°C adalah suhu panel surya saat PLTS menggunakan sistem pendinginan 5 menit sekali, suhu rata-ratanya hanya 33,6°C. Untuk PLTS dengan sistem pendinginan 2 menit sekali mengakibatkan suhu panel surya yang lebih konstan antara 30,9 – 38,4°C. Suhu panel surya berpendingin 10 menit sekali berada di rentang nilai 33,6 – 41,2 °C. Puncak suhu tertinggi yang dialami panel surya sekitar pukul 11.30.

C. Analisis Daya

Rata-rata daya keluaran yang dihasilkan panel surya tanpa pendingin adalah 399,45 Watt, panel surya berpendingin 2 menit 427,81 Watt, panel surya berpendingin 5 menit 430,82 Watt dan panel surya berpendingin 10 menit 426,34 Watt. Sehingga rata-rata daya keluaran tertinggi dihasilkan oleh panel surya berpendingin 5 menit sekali. Daya keluaran tertinggi dihasilkan oleh PLTS berpendingin 2 menit sekali dengan daya keluaran mencapai 665,76 Watt. Daya keluaran terkecil yang dihasilkan oleh PLTS berpendingin 10 menit sekali yaitu 216,84 Watt.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kurva Karakteristik P-V

Berdasarkan Gambar 7, sistem pendinginan yang diberikan khususnya sistem pendinginan 2 menit sekali mampu meningkatkan daya keluaran panel surya. PLTS dengan sistem pendinginan 2 menit sekali menghasilkan peningkatan daya mencapai 159 W atau 35%. PLTS dengan sistem pendinginan 5 menit sekali mencapai 90 W atau 24% dan PLTS dengan sistem pendinginan 10 menit sekali menghasilkan peningkatan daya mencapai 91W atau 22%.

D. Analisis Konsumsi Daya

Spesifikasi pompa yang digunakan pada penelitian ini tegangannya 12 V dan arusnya 2 – 4,5 A sehingga rentang nilai daya yang dibutuhkan untuk menjalankan pompa yaitu antara 24 – 54 Watt. Apabila dikaitkan dengan peningkatan daya yang dihasilkan panel surya berpendingin 2 menit sekali yang menghasilkan peningkatan daya mencapai 159 Watt konsumsidaya pompa yang digunakan tidak lebih besar dari pada peningkatan daya yang dihasilkan. Begitu pula dengan sistem pendinginan 5 menit dan 10 menit sekali yang peningkatan dayanya berturut-turut 90 W dan 91 W

masih lebih besar dibandingkan konsumsi daya pompa yang digunakan. Konsumsi daya pompa dapat diminimalisir dengan menggunakan pompa yang memiliki daya lebih kecil namun hal ini dapat mempengaruhi tekanan penyemprotan air sehingga juga akan mempengaruhi pendinginan yang diberikan.

E. Analisis Efisiensi

Efisiensi yang dihasilkan PLTS standart berkisar 8 – 12%. Lalu untuk PLTS berpendingin 2 menit efisiensinya 6 – 15%. PLTS berpendingin 5 menit efisiensinya 7 – 15%. Sedangkan PLTS 10 menit memiliki efisiensi 7 – 14%. Efisiensi rata-rata PLTS standart dalam sehari sebesar 10% dan efisiensi rata-rata PLTS berpendingin sebesar 11%. Rentang nilai peningkatan efisiensi yang dihasilkan adalah 1 – 5%. Peningkatan efisiensi tertinggi dihasilkan oleh sistem pendinginan 2 menit sekali. Untuk peningkatan efisiensi pada PLTS berpendingin 5 menit dan 10 menit sekali hanya sampai 4% dengan masing-masing rerata peningkatan sebesar 1 – 2%.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Panel Surya

Karakteristik Panel Surya	PLTS Standart	PLTS Berpendingin		
		2 Menit	5 Menit	10 Menit
Tegangan Max	60,6 V	65,2 V	62,2 V	62,8 V
Arus Max	9,84 A	11,4 A	10,86 A	10,45 A
Rentang Suhu	41 - 57°C	30 - 38°C	29 - 36°C	33 - 41°C
Daya Keluaran Max	568,75 W	665,76 W	624,45 W	617,6 W
Peningkatan Daya	-	35%	24%	22%
Efisiensi Max	12%	15%	15%	14%
Peningkatan Efisiensi	-	5%	4%	4%

Dari data hasil pengukuran dan perhitungan karakteristik panel surya, menunjukkan bahwa PLTS berpendingin 2 menit sekali menghasilkan tegangan, arus serta daya keluaran yang lebih besar dengan besar peningkatan daya mencapai 35%. Selain itu dengan menggunakan sistem pendinginan berfrekuensi 2 menit sekali membuat suhu modul panel surya lebih konstan pada rentang 30 – 38°C (tidak mengalami perubahan yang signifikan tiap jamnya). Sedangkan untuk hasil analisis efisiensi atau unjuk kerja, PLTS dengan sistem pendinginan 2 menit sekali mampu meningkatkan efisiensi mencapai 15% dimana nilai ini lebih tinggi dari pada peningkatan efisiensi penelitian sebelumnya yang hanya 13,9% [6].

Konsumsi daya pompa pada penelitian ini sekitar 24 – 54 Watt dan peningkatan daya yang dihasilkan bisa mencapai 90 – 159 Watt. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan konsumsi daya pompa yang digunakan bukan merupakan suatu masalah lain dalam pengoperasian sistem pendinginan menggunakan air, selama spesifikasi pompa yang digunakan sesuai dengan yang digunakan dalam penelitian ini. Konsumsi daya pompa juga dapat

diminimalisir dengan menggunakan pompa yang spesifikasinya lebih rendah (watt lebih kecil) namun penggunaan spesifikasi yang lebih rendah dapat mempengaruhi tekanan penyemprotan air sehingga juga akan mempengaruhi pendinginan yang diberikan.

Dalam segi ekonomis, penelitian ini dapat dikatakan lebih murah daripada penelitian sebelumnya yang menghabiskan biaya Rp 248.000,- per modul panel surya[6]. Penelitian ini menghabiskan biaya Rp 251.200,- atau Rp 62.800,- per modul panel surya. Sistem pendinginan ini lebih murah jika digunakan dalam skala PLTS karena semakin banyak modul yang didinginkan akan membuat biaya instalasinya semakin murah. Namun untuk penerapan pada PLTS skala besar atau yang memiliki banyak *array* perlu dikaji lebih lanjut terutama hubungannya pada spesifikasi pompa yang dibutuhkan.

VI. KESIMPULAN

Karakteristik modul panel surya menggunakan sistem pendingin air mengalami peningkatan dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Sistem pendinginan 2 menit sekali menghasilkan nilai karakteristik paling tinggi dengan tegangan mencapai 65,2 V, arus 11,4 A, daya keluaran 665,75 W, efisiensi 15% dan suhu modul fotovoltaik 30 – 38°C. Sistem pendinginan 2 menit sekali karena mampu meningkatkan daya keluaran hingga 35% dengan biaya instalasi sistem pendinginan ini sebesar Rp 62.800,- per modul dikarenakan semakin banyak modul panel surya yang didinginkan akan membuat biaya instalasinya semakin murah. Estimasi konsumsi daya pompa yang digunakan untuk menjalankan sistem pendinginan juga tidak lebih besar daripada peningkatan daya yang dihasilkan.

DAFTAR ACUAN

- [1] Mohanty, P., & Muneer, T. (1981). "Solar Photovoltaic System and Applications." In M. Kolhe (Ed.), *Japanese Journal of Applied Physics* (Vol. 20, Issue S2). Springer. <https://doi.org/10.7567/jjaps.20s2.235>
- [2] Yuliananda, S., Sarya, G., & Hastijanti, R. R. (2015). Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, 01(02), 193–202.
- [3] Suwanti, Wahyono, & Prasetyo, B. (2018). Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya. *Jurnal Teknik Energi*, 14(3), 78–85.
- [4] Alqahtani, A. (2018). A Photovoltaic System Experiment In A Laboratory Environment. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 55(1), 31–43. <https://doi.org/10.1177/0020720917750956>
- [5] Tiyas, puteri kusumaning, & Widartono, M. (2020). Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya. *Jurnal Teknik Elektro*, 09, 871–876.
- [6] Benato, A., & Stoppato, A. (2019). An Experimental Investigation Of A Novel Low-Cost Photovoltaic Panel Active Cooling System. *Energies*, 12(8), 1–24. <https://doi.org/10.3390/en12081448>

- [7] Khan, M. A., Ko, B., Nyari, E. A., Park, S. E., & Kim, H. J. (2017). Performance Evaluation Of Photovoltaic Solar System With Different Cooling Methods And A Bi-Reflector PV System (BRPVS): An Experimental Study And Comparative Analysis. *Energies*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/en10060826>
- [8] Idoko, L., Anaya-Lara, O., & McDonald, A. (2018). Enhancing PV Modules Efficiency And Power Output Using Multi-Concept Cooling Technique. *Energy Reports*, 4, 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.05.004>
- [9] Pido, R., Himran, S., & Mahmuddin. (2018). Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi. *Jurnal Teknologi*, 19(1), 31–38.
- [10] Rahayu, W. S., & Tri Rijanto. (2017). Rancang Bangun Sistem Pendinginan Menggunakan Air Untuk Meningkatkan Daya Keluaran Pada Modul Photovoltaic Berbasis Arduino Mega 2560 Dan Kendali Fuzzy. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya*, 2(8). 313-320.
- [11] Demak, R. K., Hatib, R., & Asrul. (2016). Komparasi Energi Surya Dengan Lampu Halogen Terhadap Efisiensi modul photovoltaic tipe muticrystalline. *Jurnal Mekanikal*, 7(1), 625–633.