

SISTEM PENDINGINAN PERMUKAAN PANEL SURYA DALAM OPTIMALISASI KERJA PANEL SURYA DENGAN MONITORING INTERNET OF THINGS

Abdullah¹, Maharani Putri², Juli Iriani³, Fitria Nova Hulu⁴, Cholish⁵

^{1,2,3,4,5} Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, 20155 Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia

e-mail: abdullah@polmed.ac.id

Abstrak— Permasalahan akan kebutuhan akan energi yang terus terus meningkat, sehingga dibutuhkan solusi berupa energi alternatif agar permasalahan persediaan energi dapat diatasi. Salah satu solusinya melalui pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan panel surya dengan sifat *photovoltaic* nya. Permasalahannya panel surya harus dioptimalkan kerjanya agar daya keluaran dapat optimal. Metode dalam penelitian ini yaitu konsep sistem pendinginan untuk mengatasi panel surya yang berada diatas *range* suhu kerjanya dimana 1°C (mulai dari 25°C) akan menurunkan daya keluaran yang dihasilkan panel surya sekitar 0,5% menggunakan dua buah pompa yang diletakkan pada bagian timur dan bagian barat untuk mengaliri air dipermukaan panel surya, sehingga sistem pendingin bisa bergerak secara fleksibel untuk proses pendinginan, dimana kondisi air pendingin merupakan air yang sudah didinginkan menggunakan kombinasi *heatsink* dan *peltier*. Dari hasil pengujian terlihat bahwa sistem optimalisasi panel surya dengan sistem pendingin didapatkan total daya keluaran panel surya sebesar 140,64 Watt dengan rata-rata daya keluaran sebesar 14,06 Watt dan daya keluaran panel surya tanpa sistem pendingin sebesar 95,09 Watt dengan rata-rata daya keluaran sebesar 9,51 Watt dengan persentase peningkatan sistem optimalisasi daya keluaran sebesar 47,90% dimana seluruh kendali dan monitoring sistem telah bekerja dengan baik dengan mengintegrasikan *Internet of Things*.

Kata kunci: panel surya, optimalisasi, suhu, energi, *Internet of Things*

Abstract— *The problem of the need for energy continues to increase, so a solution is needed in the form of alternative energy so that the problem of energy supply can be overcome. One of the solutions is through the utilization of solar energy by using solar panels with their photovoltaic properties. The problem is that solar panels must be optimized to work so that the output power can be optimal. The method in this study is the concept of a cooling system to overcome solar panels that are above their working temperature range where 1°C (starting from 25°C) will reduce the output power generated by solar panels by around 0.5% using two pumps placed on the east and west to flow water on the surface of the solar panels, so that the cooling system can move flexibly for the cooling process, where the condition of the cooling water is water that has been cooled using a combination of heatsinks and peltiers. From the test results it can be seen that the solar panel optimization system with a cooling system obtained a total solar panel output power of 140.64 Watts with an average output power of 14.06 Watts and a solar panel output power without a cooling system of 95.09 Watts with an average output power of 9.51 Watts. the average output power is 9.51 Watt with a percentage increase in the output power optimization system of 47.90% where all control and monitoring systems have worked well by integrating the Internet of Things.*

Keywords : solar panels, optimization, temperature, energy, *Internet of Things*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi alternatif telah menjadi isu global sebagai salah satu cara mengantisipasi semakin terbatasnya sumber energi yang berasal dari fosil [1]. Penggunaan energi terbarukan menjadi sorotan sebagai penggunaan energi alternatif karena tersedia melimpah dan ramah lingkungan [2]. Pemanfaatan dan penggunaan energi matahari merupakan salah satu energi alternatif, hal ini terjadi karena kebutuhan energi listrik setiap tahunnya meningkat berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber energi fosil yang semakin berkurang atau terbatas, sehingga menjadi masalah

serius yang harus dihadapi dapat segera diatasi [3], salah satu cara untuk memanfaatkan sumber energi matahari adalah dengan memanfaatkan dan mengoptimalkan kerja panel surya [4].

Panel surya tersusun atas bahan semikonduktor yang bekerja dengan sistem efek *photovoltaic* dalam proses perubahan energi matahari dikonversi menjadi energi listrik. Optimalisasi energi listrik yang dihasilkan panel surya berupa tegangan dan arus listrik sangat dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya suhu panel surya dimana suhu yang tinggi pada permukaan panel surya sebagai akibat paparan sinar matahari secara

terus menerus pada permukaan panel surya mengakibatkan penurunan daya listrik yang dihasilkan yaitu 1°C (mulai dari 25°C) akan mengurangi daya output yang dihasilkan oleh solar panel. panel sekitar 0,5% [5]. Dari permasalahan tersebut, pada penelitian ini dirancang sebuah sistem dengan konsep optimalisasi kerja panel surya yaitu penerapan sistem optimalisasi panel surya dengan mengendalikan suhu permukaan panel surya melalui sistem pendinginan agar sesuai dengan suhu kerja panel surya melalui penggunaan kombinasi material *heatsink* dan peltier untuk mendinginkan suhu air yang digunakan sebagai air pendingin yang difungsikan untuk mengalir secara merata ke permukaan panel surya yang dikomunikasikan melalui sensor suhu pada panel surya serta fitur monitoring untuk semua parameter panel surya untuk memastikan sistem bekerja dengan baik menggunakan Teknologi berbasis *Internet of Things*.

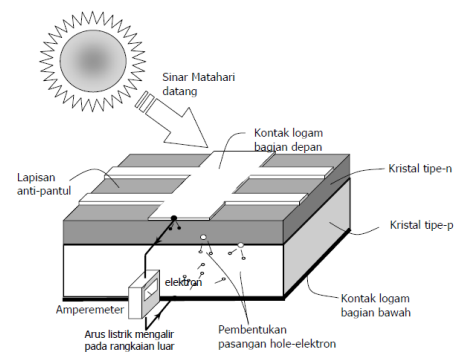
Pada aplikasi monitoring ini akan ditampilkan parameter utama yang diambil dari penelitian ini yaitu data temperatur panel surya, temperatur air pendingin, indikator output seperti kerja pompa bagian timur, pompa bagian barat, status peltier, waktu dan tampilan keterangan cuaca dan arah panel surya serta indikator utama untuk nilai tegangan, arus dan daya keluaran panel surya pada perbandingan panel surya standar (tanpa desain sistem) dengan panel surya berdasarkan desain sistem. Tujuan penelitian ini untuk memaksimalkan produksi energi listrik pada panel surya dengan mengimplementasi sistem pendingin suhu permukaan panel surya serta adanya fitur monitoring seluruh parameter panel surya untuk memastikan sistem bekerja dengan baik menggunakan teknologi berbasis *Internet of Things* secara *realtime*.

II. STUDI PUSTAKA

Permasalahan energi telah menjadi masalah serius saat ini dikarenakan penggunaan energi terus meningkat, sehingga dibutuhkan solusi berupa energi alternatif agar permasalahan energi seperti langka nya persediaan energi dapat diatasi. Salah satu energi alternatif yang dapat dijadikan solusi kelangkaan energi yaitu penggunaan/pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan panel surya dengan sifat *photovoltaic* nya, tetapi panel surya jika tidak dioptimalkan kerjanya maka pemanfaatan energi matahari tidak terlalu efektif, sehingga dibutuhkan metode atau konsep optimalisasi panel surya tersebut, salah satu kelemahan panel surya, yaitu berkurangnya daya keluaran jika panel surya berada diatas *range* suhu kerjanya dimana 1°C (mulai dari 25°C) akan menurunkan daya keluaran yang dihasilkan panel surya sekitar 0,5%, sehingga sistem optimalisasi panel surya dengan menggunakan konsep sistem pendinginan dapat menjadi solusi optimalisasi panel surya tersebut [6].

A. Panel Surya

Panel surya tersusun atas bahan semikonduktor yang bekerja dengan sistem efek *photovoltaic* dalam proses pengubahan energi matahari dikonversi menjadi energi listrik [7]. Permukaan sel surya yang disinari matahari atau mendapatkan energi matahari sehingga menyebabkan terjadinya distribusi spektral cahaya akibat terbentuknya foton yang memberikan energinya kepada foton, sehingga menyebabkan terjadinya beda potensial yang menghasilkan arus listrik dikarenakan adanya energi yang semakin besar [8].



Gambar 1. Efek fotovoltaiik pada sel surya

Pada panel surya terdapat istilah “Parameter Fill Factor (FF)” dimana parameter ini menentukan suatu nilai efisiensi pada panel surya. Dimana untuk mencari besarnya Fill Factor (FF) dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Dimana:

- FF = Fill Factor nilai efisiensi panel surya
- I_{mp} = Arus panel maksimal
- V_{mp} = Tegangan panel maksima
- I_{sc} = Arus pada kondisi hubung_singkat
- V_{oc} = Tegangan pada kondisi hubung_terbuka

B. Sistem Pendingin

Sistem pendingin merupakan sistem yang didesain dapat menjaga kondisi suhu suatu benda/lingkungan berada dalam keadaan ideal melalui proses pemindahan panas dari suatu benda/material ke udara. Proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi dikarenakan ada perbedaan antara dua bagian suhu dari suatu benda. Pada penelitian ini sistem pendingin memanfaatkan kombinasi *heatsink* dan peltier dimana *heatsink* merupakan material pendingin yang terdiri

dari pelat aluminium/tembaga dengan bentuk seperti sirip pendingin dalam memperluas area sentuh dengan udara maupun cairan_pendingin yang dapat menyerap panas lalu ditransfer ke media lain di sekitarnya dapat berupa udara maupun cairan [9] dan peltier merupakan penghasil panas di satu sisi dan dingin di sisi lain ketika arus searah dilewatkan melalui untaian dua jenis bahan yang berbeda. Bahan tersebut adalah bahan semikonduktor dan bahan elemen termoelektrik. Bahan semikonduktor yang dapat digunakan sebagai elemen termoelektrik antara lain *timbal telurida* (Bi_2Te_3), *timbal telurida* (PbTe), *silikon germanium* (SiGe), dan *antimon bismut* (BiSb). *Bismut telurized* baru-baru ini banyak digunakan karena sifatnya yang sangat baik. Dua jenis semikonduktor, "N" (negatif) dan "P" (positif), dibuat dari bahan semikonduktor ini [9].

Sistem pendinginan dalam penelitian ini memiliki dua buah pompa yang diletakkan pada bagian timur dan bagian barat untuk mengalirkan air dipermukaan panel surya, sehingga sistem pendingin bisa bergerak secara fleksibel untuk proses pendinginan permukaan panel surya, dimana kondisi air merupakan air yang sudah didinginkan menggunakan kombinasi *heatsink* dan peltier.

C. Internet Of Things (IoT)

Internet of Things merupakan konsep komunikasi kendali dan monitoring dengan menggunakan jaringan internet untuk dapat berkomunikasi antar objek, penggunaan konsep IoT ini ditujukan untuk sistem agar dapat berkomunikasi dua arah secara otomatis dan realtime sesuai kebutuhan seperti proses data *transfer* dan *recording* dan proses data dengan menggunakan komunikasi berbasis *Internet of Things* ini sistem dapat dirancang dengan fungsi yang luas dikarenakan akan mempermudah transfer informasi/data lebih cepat antar sistem. Pada penelitian ini, dirancang sebuah sistem penerangan gedung terintegrasi *Internet of Things* sehingga sistem perangkat lunak dan perangkat keras dapat berkomunikasi dengan cepat dan fleksibel [10].

III. METODE

Metode penelitian untuk mengimplementasikan sistem pendinginan permukaan panel surya dalam optimalisasi kerja panel surya dengan monitoring *Internet of Things* adalah dengan menggabungkan bagian perangkat keras dan perangkat lunak.

A. Bagian Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu rancangan sistem mekanik dan rancangan kebutuhan sistem elektronik, dimana

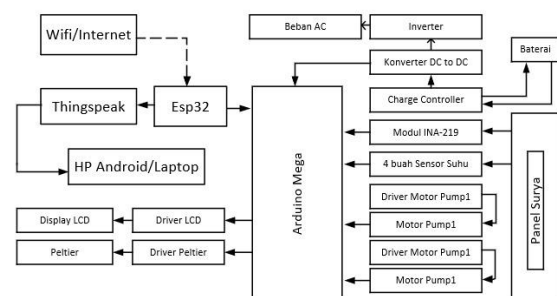
rancangan mekanik sistem terdiri dari rancangan fisik sistem agar sistem dapat divisualkan dan terimplementasikan dengan baik, sedangkan rancangan kebutuhan elektronik terdiri dari rancangan rangkaian/modul elektronik seperti rangkaian sistem minimum kontroler, rangkaian penguat sensor, rangkaian penggerak motor dan lain-lain. Gambar 2 menunjukkan desain rancangan mekanik dari sistem.



Gambar 2. Desain mekanik sistem

Pada rancangan sistem mekanik di atas material utama yang digunakan yaitu besi hollow, besi plat, plat aluminium dan motor DC hidrolik, material mekanik dipilih karena material ini kuat dan mudah dibentuk sesuai kebutuhan sistem.

Rancangan penelitian yang akan dilakukan adalah Arduino Mega sebagai pusat pengolahan data akan menerima masukan berupa sensor suhu dan modul INA-219, mengendalikan aktif tidaknya peltier melalui driver peltier sebagai sistem pendingin air yang akan dialirkan secara merata ke permukaan panel surya diatur sesuai kebutuhan dengan konsep *Pulse Width Modulation*. Rancangan sistem ini juga dilengkapi dengan layar LCD dan monitoring melalui aplikasi terintegrasi *Internet of Things*. Aplikasi monitoring ini berfungsi untuk menampilkan parameter-parameter penting dalam sistem, agar sistem dapat bekerja dan terpantau dengan baik. Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Diagram blok perangkat keras secara keseluruhan

Berdasarkan diagram blok perangkat keras diatas, dapat diuraikan keperluan komponen dari sistem yang dirancang, yaitu Arduino Mega, yaitu sebagai pusat pengolahan input/output dan komunikasi pembacaan modul WiFi ESP32, Panel Surya 100 WP, Driver Motor Pump digunakan untuk mengaktifkan Motor Pump yang difungsikan sebagai pompa untuk mengaliri air ke permukaan panel surya, Peltier sebagai sistem pendingin air yang dikombinasikan dengan heatsink yang aktif jika mendapat instruksi sensor suhu, sensor suhu DS18B20 untuk mengukur suhu air dan panel surya, modul INA219 difungsikan untuk mengukur arus dan tegangan pada keluaran panel surya, ESP32 difungsikan sebagai modul WiFi dalam rancangan IoT, LCD Display 20x4 difungsikan sebagai display untuk menampilkan hasil monitoring secara *offline*, power supply 12 Volt 20 Amp difungsikan sebagai sumber tegangan DC untuk keperluan sistem, Baterai jenis Deep Cycle untuk penyimpanan daya dari panel surya, Charge Controller sebagai pengontrol tegangan dan arus yang akan disalurkan ke baterai, Konverter DC to DC sebagai konversi level tegangan input DC menjadi level tegangan output DC yang berbeda sesuai kebutuhan, inverter sebagai konversi tegangan DC menjadi tegangan AC untuk mengaktifkan beban AC yang digunakan. Adapun alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut:

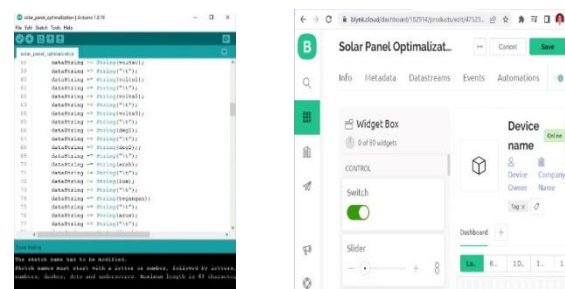


Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Berdasarkan diagram alir diatas tahapan pelaksanaan penelitian diawali dengan mencari studi literatur untuk mendapat referensi-referensi yang berkaitan dengan penelitian, studi literatur atau referensi yang telah didapatkan maka dilanjutkan dengan penentuan dan rancangan mekanik dan kebutuhan modul/rangkaian elektronik yang dibutuhkan, setelah rancangan mekanik dan modul/rangkaian sudah dilakukan maka akan dilanjutkan dengan perancangan alat dan algoritma pemrograman, lalu setelah alat dan algoritma program selesai maka dilanjutkan dengan proses uji coba alat untuk memastikan sistem yang dirancang telah berhasil dan sesuai yang diinginkan, jika masih terdapat ketidaksesuaian maka akan diperbaiki kembali ke proses rancangan alat dan pemrograman sampai sistem/penelitian berhasil dilakukan lalu dilanjutkan dengan pengumpulan data, penyusunan laporan dan publikasi.

B. Desain Perangkat Lunak

Desain rancangan perangkat lunak pada sistem/penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman C dengan perangkat lunak Arduino IDE sebagai perangkat lunak utama untuk pemrograman pengontrol sistem seperti untuk kontrol proses dan pemantauan proses dan menggunakan aplikasi Blynk sebagai desain antarmuka *Internet of Things*. Tampilan perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 5, sebagai berikut:



Gambar 5. Tampilan perangkat lunak yang digunakan pada sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasn yang diperoleh pada penelitian sistem pendinginan permukaan panel surya dalam optimalisasi kerja panel surya dengan monitoring *Internet of Things* terdiri atas pengujian panel surya tanpa adanya sistem pendingin, pengujian sistem pendingin panel surya dan pengujian sistem optimalisasi panel surya dengan sistem pendingin serta pengujian aplikasi sistem terintegrasi *Internet of*

Things. Hasil rancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Rancangan Sistem Secara Keseluruhan

A. Pengujian Panel Surya Tanpa Sistem Pendingin

Pengujian panel surya tanpa adanya sistem pendingin ini bertujuan untuk mengetahui performa awal panel surya sehingga dapat menjadi perbandingan dengan panel surya yang telah dilengkapi sistem optimalisasi berupa sistem pendinginan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Pengujian Panel Surya Tanpa Sistem Pendingin

Jam (WIB)	Panel Surya Tanpa Sistem Pendingin			Keterangan Cuaca
	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	
08:00	18,89	0,22	4,21	Cerah
09:00	19,35	0,25	4,90	Cerah
10:00	19,42	0,26	5,11	Cerah
11:00	20,14	0,41	8,32	Cerah
12:00	20,60	0,67	13,87	Cerah
13:00	20,86	0,84	17,59	Cerah
14:00	19,68	0,76	15,02	Berawan
15:00	19,23	0,64	12,37	Berawan
16:00	19,18	0,41	7,92	Berawan
17:00	19,06	0,30	5,78	Berawan

B. Pengujian Sistem Pendingin Panel Surya

Pengujian sistem pendingin panel surya ini bertujuan untuk memperlihatkan proses kerja dari sistem pendinginan pada permukaan panel surya yang dilakukan secara otomatis pada sistem optimalisasi kinerja panel surya untuk mendapatkan peningkatan daya keluaran panel surya. Sistem pendingin memiliki dua buah pompa yang diletakkan pada bagian timur dan bagian barat untuk mengaliri air dipermukaan panel surya, sehingga sistem pendingin bisa bergerak secara fleksibel untuk proses pendinginan permukaan panel surya, dimana kondisi air merupakan air yang

sudah didinginkan menggunakan kombinasi *heatsink* dan *peltier*. Pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sistem Pendingin Panel Surya

No.	Kondisi Pompa Timur	Kondisi Pompa Barat	Suhu_Air Pendingin (°C)	Waktu	Posisi Panel Surya
1	ON	OFF	19	09.03	Timur
2	ON	OFF	22	10.35	Timur
3	OFF	ON	23	11.37	Tegak Lurus
4	OFF	ON	24	13.56	Barat
5	OFF	ON	24	15.12	Barat

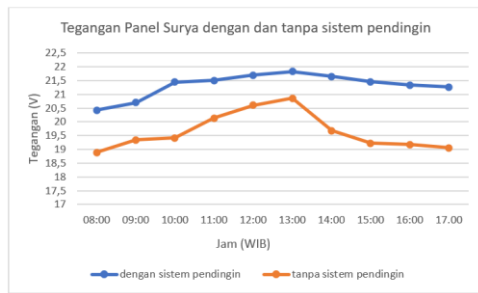
Berdasarkan tabel 2. memperlihatkan kerja sistem pendingin panel surya, dimana proses sistem pendingin akan bekerja jika suhu panel surya berada pada suhu $\geq 35^{\circ}\text{C}$ dan proses pemberhentian sistem pendingin berada pada suhu antara 25°C sampai 30°C . Sistem pendingin ini bekerja dengan mengalirkan air dingin kepermukaan panel surya, proses pengaliran air menggunakan dua buah pompa yang terbagi atas bagian timur dan bagian barat, pompa bagian timur akan bekerja jika panel surya menghadap ke barat dan pompa bagian barat akan bekerja jika panel surya menghadap ke timur. Suhu air pendingin akan terus terjaga dengan memanfaatkan kombinasi efek *peltier* untuk mendinginkan air antara 17°C sampai 25°C .

C. Pengujian sistem optimalisasi panel surya dengan sistem Pendingin

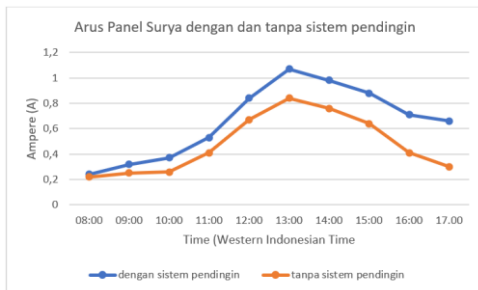
Pengujian sistem optimalisasi panel surya dengan sistem pendingin ini bertujuan untuk memperlihatkan performa optimalisasi yang didapatkan panel surya dengan adanya sistem pendingin terhadap tanpa adanya sistem pendingin untuk menjaga suhu permukaan panel surya sesuai *range* suhu kerja panel surya tersebut. Pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3 dan grafik pada Gambar 7 sebagai berikut.

Tabel 3. Pengujian Panel Surya dengan Sistem Pendingin

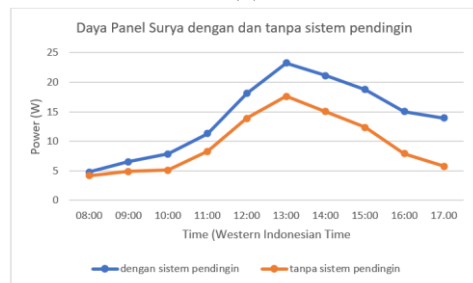
Jam (WIB)	Panel Surya Dengan Sistem Pendingin			Keterangan Cuaca
	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	
08:00	20,42	0,24	4,80	Cerah
09:00	20,70	0,32	6,52	Cerah
10:00	21,45	0,37	7,83	Cerah
11:00	21,51	0,53	11,29	Cerah
12:00	21,70	0,84	18,12	Cerah
13:00	21,83	1,07	23,24	Cerah
14:00	21,65	0,98	21,10	Berawan
15:00	21,46	0,88	18,77	Berawan
16:00	21,34	0,71	15,04	Berawan
17:00	21,27	0,66	13,93	Berawan



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Grafik (a) tegangan terhadap waktu (b) arus terhadap waktu dan (c) daya keluaran panel terhadap waktu antara panel surya dengan sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin

Berdasarkan Tabel 3. pengujian sistem optimalisasi panel surya dengan sistem pendingin didapatkan total daya keluaran panel surya dengan sistem pendingin sebesar 140,64 W dengan rata-rata daya keluaran sebesar 14,06 Watt dan daya keluaran panel surya tanpa sistem pendingin sebesar 95,09 W dengan rata-rata daya keluaran sebesar 9,51 Watt sehingga selisih daya dapat dihitung, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Selisih } P_{\text{total}} &= P_{\text{total}} \text{ dengan sistem pendingin} - \\ & P_{\text{total}} \text{ tanpa sistem pendingin} \\ &= 140,64 \text{ Watt} - 95,09 \text{ Watt} \\ &= 45,55 \text{ Watt} \end{aligned}$$

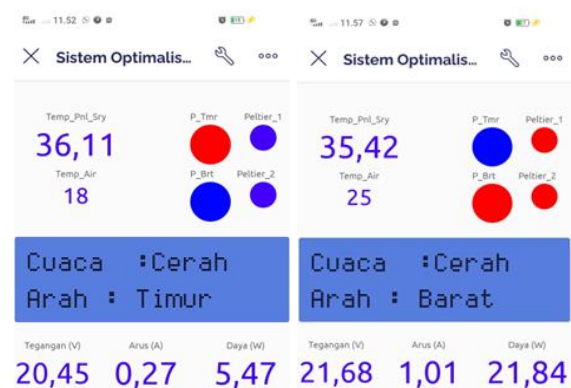
$$\begin{aligned} \% \text{ Peningkatan } P &= (\text{Selisih } P_{\text{total}} \text{ sistem} / P_{\text{total}} \text{ tanpa} \\ & \text{sistem}) \times 100 \\ &= (45,55 / 95,09) \times 100 \\ &= 47,90 \% \end{aligned}$$

Sehingga, persentase peningkatan daya keluaran panel surya dengan adanya sistem pendingin yaitu sebesar 47,90 %.

D. Pengujian Keseluruhan Sistem Terintegrasi Internet of Things

Pengujian keseluruhan sistem pendinginan permukaan panel surya dalam optimalisasi kerja panel surya baik pada sistem monitoring maupun sistem kendali sudah terintegrasi dengan *Internet of Things* memperlihatkan bagaimana konsep komunikasi *Internet of Things* yang sudah terintegrasi dengan sistem telah bekerja dengan baik menggunakan aplikasi blynk, sehingga kendali dan monitoring sistem dapat dilakukan dari jarak jauh.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sistem berupa data-data monitoring menggunakan aplikasi blynk yaitu data temperatur panel surya, temperatur air pendingin, indikator output seperti kerja pompa bagian timur, pompa bagian barat, status peltier, waktu dan tampilan keterangan cuaca dan arah panel surya serta indikator utama untuk nilai tegangan, arus dan daya keluaran panel surya. Beberapa pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian keseluruhan sistem terintegrasi *Internet of Things*

Berdasarkan pengujian yang dilakukan seluruh data dapat termonitoring dengan baik terintegrasi *Internet of Things* menggunakan aplikasi Blynk.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian sistem pendinginan permukaan panel surya dalam optimalisasi kerja panel surya dengan monitoring *Internet Of Things*, sistem optimalisasi panel surya dengan konsep sistem pendingin dengan proses otomatisasi pengaliran air dingin dengan memanfaatkan kombinasi *heatsink* dan peltier pada permukaan panel surya disaat suhu permukaan panel surya terkategori tinggi cukup baik, hanya saja perlu ditambahkan pendingin pasif untuk membantu agar meredam panas pada panel surya

sehingga pendingin aktif seperti pada sistem ini tidak bekerja secara terus menerus, dengan pengaturan seluruh sistem secara otomatis maka sistem monitoring dan perekaman data dapat terekam dengan baik. Dari hasil pengujian yang dilakukan bahwa sistem optimalisasi panel surya dengan sistem pendingin didapatkan total daya keluaran panel surya sebesar 140,64 Watt dengan rata-rata daya keluaran sebesar 14,06 Watt dan daya keluaran panel surya tanpa sistem pendingin sebesar 95,09 Watt dengan rata-rata daya keluaran sebesar 9,51 Watt dengan persentase peningkatan sistem optimalisasi daya keluaran sebesar 47,90 % dimana seluruh kendali dan monitoring sistem telah bekerja dengan baik dengan mengintegrasikan *Internet of Things*.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Medan atas pendanaan yang diberikan melalui Kontrak: B/455/PL5/PT.01.05/2022 yang berasal dari dana DIPA POLMED tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dirwan, A., "Peningkatan Ketahanan Pangan dan Energi sebagai Bagian dari Perwujudan Ketahanan Nasional," *Mitra Manajemen Journal*, vol. 4, no. 1, 2020.
- [2] Azhar, M., & Satriawan, D. A., "Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energi nasional," *Administrative Law and Governance Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 398-412, 2018.
- [3] Nasional, D. E. (2015). *Ketahanan Energi Indonesia*. Jakarta: Sekjen DEN.
- [4] Elsherbiny, M. S., Anis, W. R., Hafez, I. M., & Mikhail, A. R., "Design of single-axis and dual-axis solar tracking systems protected against high wind speeds," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 6 no. 9, pp. 84-89, 2017.
- [5] Nadia, A.-R., Isa, N. A. M., & Desa, M. K. M., "Efficient single and dual axis solar tracking system controllers based on adaptive neural fuzzy inference system," *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, vol. 32 no. 7, pp. 459-469, 2020.
- [6] Shufat, S. A. A., Kurt, E., & Hancerliogullari, A., "Modeling and Design of Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracker for Maximum Solar Energy Generation," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 8 no. 1.
- [7] Sitorus, T., Lubis, Z., Sembiring, F., Christopel, B., & JA, R. S., "Utilization of peltier cooling systems driven by solar power for storing vegetables and fruits," Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (2020).
- [8] Munanga, P., Chinguwa, S., Nyemba, W. R., & Mbohwa, C., "Design for manufacture and assembly of an intelligent single axis solar tracking system," *Procedia CIRP*, pp. 91, 571-576, 2020.
- [9] Suryanto, A., Hudallah, N., Andrasto, T., Adhiningtyas, C. F., & Khusniasari, S. A., "Optimalisasi Keluaran Panel Surya Menggunakan Solar Tracker Berbasis Kamera Terintegrasi Raspberry Pi," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 10, no.3, pp. 282-290.
- [10] Hamdani, H., Pulungan, A. B., Myori, D. E., Elmubdi, F., & Hasannuddin, T., "Real Time Monitoring System on Solar Panel Orientation Control Using Visual Basic," *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, vol. 2, no. 2, pp. 112-124, 2021.