

## PEMANFAATAN SOLAR TRACKER DUAL AXIS BERBASIS IOT PADA FOTOVOLTAIK POLIKRISTALIN

**Adi Octa Pradana<sup>1</sup>, Patia Welly Sirait<sup>2</sup>, Yuliarman Saragih<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Universitas Mitra Karya

Jl Mayor Madmuin Hasibuan, Kota Bekasi Jawa Barat 17113

<sup>3</sup>Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl Hs Ronggowaluyo Telukjambe, Karawang 41673

e-mail: yuliarman@staff.unsika.ac.id

**Abstrak**— Penelitian ini telah diidentifikasi sebagai Implementasi Pelacak Surya Sumbu Ganda Berbasis IoT untuk Fotovoltaik Polikristalin dengan Penyimpanan Energi yang memiliki dua derajat kebebasan yang bertindak sebagai sumbu rotasi, baik horizontal maupun vertikal. Panel polikristalin sangat bagus dalam cahaya difus dan cahaya specular, namun dikenal dengan biaya minimalnya. Proyek akhir tahun berbasis sistem motor servo motor ini adalah self-orientasi panel surya terhadap intensitas maksimum sinar matahari menggunakan Light Dependent Resistor (LDR) sehingga akan menghasilkan suplai ke beban. Sistem utama yang digunakan untuk mengontrol pergerakan motor dan sensor LDR adalah Arduino Uno. Proyek tenaga surya 10W portabel ini dapat digunakan di mana saja kapan saja sebagai perhatian utamanya untuk mendidik masyarakat tentang konsep pelacak surya dasar selain untuk membantu memasok beban 5V Direct Current (DC). Oleh karena itu, sebuah Internet of Things (IoT) ditambahkan sebagai fitur untuk penelitian ini untuk memantau kinerja tegangan fotovoltaik melalui aplikasi Blynk di ponsel

**Kata kunci** : Internet of Things, Panel Surya Polikristalin, Motor Servo, perangkat lunak Blynk, Pelacak Surya Sumbu Ganda

**Abstract**—This research has been identified as an Implementation of IoT-Based Dual Axis Solar Tracker for Polycrystalline Photovoltaics with Energy Storage which has two degrees of freedom that act as rotational axes, both horizontal and vertical. Polycrystalline panels are excellent in diffuse and specular light but are known for their minimal cost. This year-end project based on a servo motor system is self-orienting solar panels to the maximum intensity of sunlight using a Light Dependent Resistor (LDR) so that it will produce a supply to the load. Arduino Uno is the central system used to control the movement of motors and LDR sensors. This portable 10W solar power project can be used anywhere, anytime, as its primary concern is educating the public on basic solar tracker concepts and helping supply 5V Direct Current (DC) loads. Therefore, an Internet of Things (IoT) was added as a feature for this study to monitor photovoltaic voltage performance through the Blynk application on mobile phones.

**Keywords** : Internet of Things, Polycrystalline Solar Panel, Servo Motor, Blynk software, Dual Axis Solar Tracker

### I. PENDAHULUAN

Saat ini, penggunaan energi matahari untuk melistriki rumah tangga telah banyak diterapkan. Manfaat yang jelas dari penggunaan sumber energi terbarukan dan bersih mempercepat pertumbuhan penelitian dan pengembangan di bidang teknologi pemanenan matahari [1]. Dalam konteks Malaysia, musim iklim yang panas memberikan keuntungan besar bagi instalasi solar PV [2] dimana biaya instalasi solar masih mahal dibandingkan dengan jenis pembangkit energi konvensional.

Pergerakan matahari sepanjang hari menyebabkan instalasi solar PV statis terlihat kurang efisien dibandingkan dengan panel PV yang dapat melacak pergerakan matahari [2]-[5]. Oleh karena itu, kemampuan tata surya yang dapat melacak matahari

dan menggerakkan permukaan panel untuk selalu menghadap matahari memberikan banyak keuntungan dibandingkan dengan sistem statis [4]-[8]. Dengan demikian, proyek ini mengeksplorasi dan mempelajari perbedaan antara panel surya statis dan surya dengan sistem pelacakan. Proyek berbasis surya yang diusulkan akan dalam skala kecil yang berfokus pada perangkat pendidikan untuk mendemonstrasikan cara kerja sistem PV, dengan beban terhubung yang proyek ini terhubung ke strip RGB, bersama dengan konsep Internet of Things (IoT) untuk tujuan pemantauan [9] - [17]. Pemilihan sistem sumbu ganda diharapkan memperoleh efisiensi 25% lebih banyak dibandingkan dengan sistem sumbu tunggal dalam menangkap energi surya dari matahari [6].

### A. Cakupan dan Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari proyek ini adalah untuk merancang dan mempelajari pemrograman Arduino yang merasakan LDR dan mampu membandingkan intensitas cahaya. Sistem juga harus mampu mensimulasikan motor servo berputar  $0^{\circ}$  -  $360^{\circ}$  panel surya pada penginderaan LDR untuk mendapatkan efisiensi maksimum energi matahari. Akhirnya, konstruksi dan validasi proyek solar tracker sumbu ganda yang memiliki tampilan pemantauan untuk keperluan pemantauan dan perbandingan harian menggunakan aplikasi Blynk.

Namun, beberapa batasan telah ditetapkan untuk mencapai tujuan proyek.

A. Menggunakan light dependent resistor (LDR) sebagai sensor cahaya dimana sensor ini memvariasikan resistansi tergantung pada jatuhnya cahaya. Bentuk digital yang dikonversi menjadi sinyal Analog melalui ADC yang tertanam pada mikrokontroler Arduino akan membandingkan perbedaan level tegangan LDR.

B. Dengan menggunakan motor servo untuk mengatur sudut putaran matahari. Perbedaan level tegangan LDR akan menggerakkan motor servo ke arah kejadian normal sinar matahari dimana sinar matahari paling banyak ditangkap. Sudut rotasi diatur oleh pengontrol.

C. Merancang mikrokontroler C++ Arduino uno sebagai pengontrol proyek termasuk interfacing Nodemcu untuk IoT.

## II. STUDI PUSTAKA

Sistem *Solar Photovoltaic* (PV) adalah sistem kelistrikan yang mengubah cahaya menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan dari Modul PV berupa *Direct Current* (DC). Karena pendistribusian listrik menggunakan *Alternating Current* (AC), listrik dari Modul PV mengubah DC menjadi AC menggunakan inverter. Trafo adalah untuk meningkatkan level tegangan sistem PV agar sesuai dengan level tegangan jaringan. Pada dasarnya komponen Solar PV System terdiri dari Modul Solar PV, solar charger controller, baterai, inverter jika diperlukan dan beban. Modul PV dikemas, rakitan sel surya fotovoltaik 6x10 yang terhubung. Modul Photovoltaic Ada 3 jenis Modul PV yaitu *Thin Film* dan *Monocrystalline*, *Polycrystalline*. Ketiga jenis modul PV ini memiliki karakteristik dan kontrasnya masing-masing.

### A. Panel Surya

Komponen terpenting dalam sistem ini adalah panel surya itu sendiri. Proyek ini menggunakan panel surya *Polycrystalline* karena dikenal sebagai tipe efisiensi tinggi selain film tipis. Panel surya silikon polikristalin hemat ruang, yang cocok untuk proyek skala kecil ini selain menghasilkan daya tinggi. *Polycrystalline* juga hidup sebagai yang terpanjang, sehingga dapat digunakan untuk jangka

waktu yang lama. Sangat mudah didapat karena pembuatan kristal PV adalah produksi di seluruh dunia. Panel surya polikristalin cenderung memiliki toleransi panas yang sedikit lebih rendah daripada panel surya monokristalin. Proyek ini menggunakan panel surya 10W, 12V seperti pada Gambar 1



Gambar 1. Panel surya polikristalin

Untuk memilih produsen panel surya Polycrystalline terbaik, beberapa perhitungan efisiensi model (1) harus dipertimbangkan sebagai berikut dan perhitungan lebih lanjut akan ditunjukkan di bagian selanjutnya:

$$Efficiencv = \frac{P_{out\ STC}}{P_{in}} = \frac{I_{ms\ STC} \times V_{mp\ STC}}{h \times A} \quad (1)$$

### B. Solar Tracker dalam Aplikasi Fotovoltaik

Biasanya, sistem yang ada memiliki energi maksimum dari matahari yang diterima hanya dari pagi jam 11 pagi hingga sore jam 2 siang, karena panel surya selalu dimiringkan  $30^{\circ}$  menghadap ke utara dan mengisi sel kering yang biasanya memiliki peringkat 5V hingga 24V. Dua tipe solar tracker terdiri dari single axis tracker dan dual axis tracker. Sistem pelacakan surya sumbu tunggal dapat meningkatkan sudut datangnya sinar matahari. Untuk memastikan mempertahankan dan meningkatkan keluaran daya maksimum dari sel PV, sudut datang sinar matahari harus selalu tegak lurus terhadap panel surya. Hal ini membutuhkan pelacakan konstan dari gerakan siang hari yang tampak matahari, namun akan mengembangkan sistem pelacakan matahari otomatis yang membawa panel surya dan memposisikannya sedemikian rupa sehingga sinar matahari langsung selalu terfokus pada matahari.

Sel PV. Pelacak surya sumbu tunggal berputar dengan satu sumbu bergerak bolak-balik dalam satu arah. Berbagai jenis pelacak sumbu tunggal termasuk horizontal, vertikal, miring, dan sejajar kutub, yang berputar sesuai namanya, sedangkan pelacak surya sumbu ganda terus menghadap matahari karena dapat bergerak dalam dua arah yang berbeda. Jenis termasuk tip-tilt dan azimuth-altitude. Pelacakan sumbu ganda biasanya digunakan untuk memutar

cermin dan mengarahkan sinar matahari sepanjang sumbu tetap menuju penerima yang tidak bergerak. Kedua pelacak ini mengikuti matahari secara vertikal dan horizontal, sehingga membantu mendapatkan pembangkitan energi matahari yang maksimal.

### C. Baterai Isi Ulang

Sebuah sel kering baterai isi ulang yang memiliki fungsi di dengan cara yang sama seperti sel primer yang merupakan baterai yang tidak dapat diisi ulang. Perbedaan antara kedua baterai ini adalah reaksi kimia yang terjadi secara terbalik selama siklus pengisian ulang. Pada panel surya, baterai isi ulang digunakan untuk menyimpan kumpulan energi dari matahari yang nantinya akan digunakan oleh beban dan biasanya digunakan adalah jenis asam timbal. Adonan ini adalah penerapan yang luas karena harganya yang murah dan masa pakai yang relatif lama, yang dapat bertahan hingga 15 tahun. Baterai berkapasitas 7,2Ah, 12V diperkirakan akan bertahan selama 8 jam seperti yang ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Baterai Isi Ulang

### D. Motor Servo

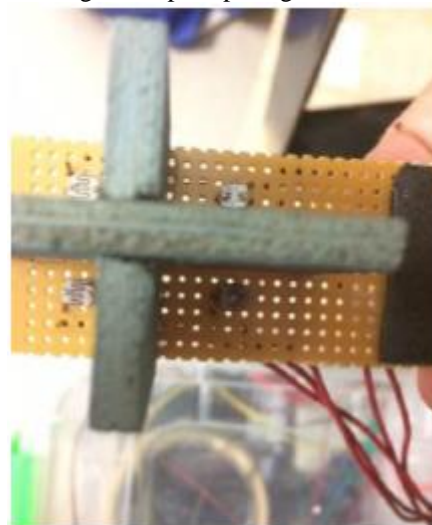
Motor Servo atau Motor Servo Tanpa Sikat memiliki belitan di stator dan magnet permanen yang terpasang pada rotor. Tidak ada kuas yang digunakan. Motor servo brushless memberikan akselerasi tinggi, torsi tinggi, dan tanpa perawatan [2]. Proyek ini menggunakan tipe MG946R Towerpro Digital Metal Servo yang mampu membawa torsi dan beban hingga 13KG Tinggi seperti pada Gambar 3. Dua jenis motor yang sama digunakan untuk sudut putaran, horizontal dan vertikal. Motor terpasang pada baja ringan untuk menahan panel surya dan mendapatkan instruksi dari Arduino yang merasakan LDR.



Gambar 3. Motor Servo

### E. Sensor Cahaya

Salah satu sensor yang mendeteksi keberadaan sinar matahari atau cahaya adalah *Light Dependent Resistor* (LDR) selain photoresistor. Ini berfungsi sebagai resistor, dua terminal, tidak ada polaritas, resistansi berkurang ketika terkena intensitas cahaya yang lebih tinggi dan biasanya digunakan dengan resistor lain sebagai pembagi tegangan. Pada dasarnya, ini adalah resistor peka cahaya, resistansi akan berkurang ketika permukaan terkena cahaya. Jumlah LDR yang digunakan untuk proyek ini adalah empat dan masing-masing LDR akan membandingkan nilai resistansi untuk memberikan sinyal ke kontroler sehingga motor akan berputar. Partisi digunakan untuk membiarkan LDR merasakan resistansi tertinggi sebelum menginstruksikan motor untuk bergerak seperti pada gambar 4.



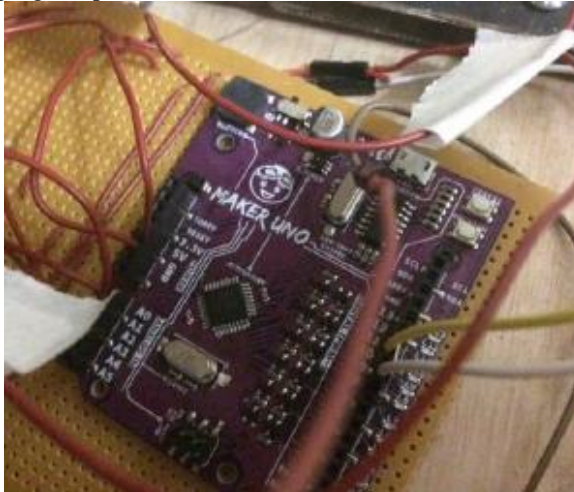
Gambar 4. Sensor cahaya

### F. Mikrokontroller

Arduino Uno adalah jenis kontrol yang digunakan dalam proyek untuk menjaga agar panel surya sejajar



dengan matahari untuk memaksimalkan efisiensi daya. Arduino Uno merupakan salah satu mikrokontroler yang dipilih untuk mengubah tegangan fotosel sinyal analog menjadi nilai digital dan menyediakan saluran keluaran untuk putaran motor. Proyek ini terhubung dengan Arduino Maker Uno sebagai otak proyek karena sepenuhnya kompatibel dengan Arduino. Itu juga dapat berbagi pustaka dan kode yang sama selain dilengkapi 12 LED, 1 piezo buzzer dan 1 tombol yang dapat diprogram pada Maker UNO.



Gambar 5. Arduino Uno

Salah satu kontroler yang tersedia dan dapat digunakan dalam proyek ini adalah NodeMCU. NodeMCU dapat bertindak sebagai antarmuka antara perangkat keras dan perangkat lunak melalui aplikasi Blynk. Komponen IoT ini adalah sumber terbuka yang mengacu pada berbagai firmware. Ini termasuk firmware yang berjalan pada WiFi ESP8266 dan perangkat keras yang didasarkan pada modul ESP-12. Bahasa yang terlibat dalam firmware ini termasuk bahasa skrip C dan C++. Input untuk proyek ini berupa tegangan sensor dan internet, sedangkan untuk outputnya ditampilkan pada smart phone [4].



Gambar 6. Mikrokontroler Node MCU

### G. Pengontrol Pengisi Daya PWM

Pengontrol muatan PWM atau pengatur muatan adalah pengatur tegangan dan arus untuk menjaga baterai dari pengisian daya yang berlebihan (Gbr. 7). Ini mengatur tegangan dan arus yang datang dari panel surya ke baterai. Panel surya dari proyek ini adalah 12V dan perlu mengisi 12V, jadi jika tidak ada peraturan baterai akan rusak karena pengisian yang berlebihan. Biasanya baterai membutuhkan sekitar 12V hingga 14V untuk terisi penuh. Tujuannya adalah untuk menjaga agar baterai sistem tetap terisi dan aman untuk waktu yang lama. Solar charger jenis Pulse Width Modulation (PWM) dipilih karena dapat mengurangi pemanasan baterai dan gas. Ini juga secara otomatis menyesuaikan penuaan baterai, mengatur sendiri penurunan voltase dan efek suhu di sistem tata surya.



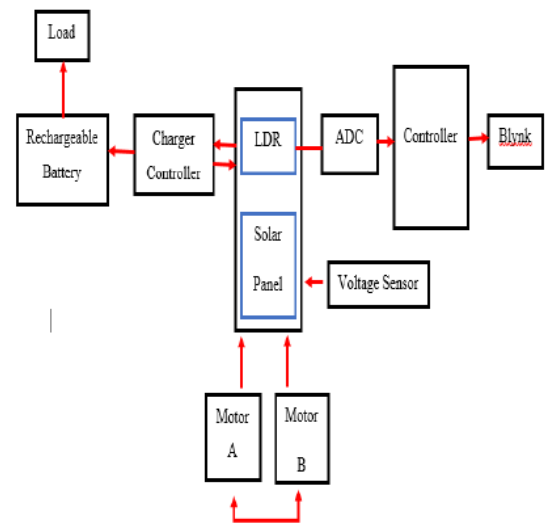
Gambar 6. Pengisi Daya PWM

### H. Voltage Sensor

Sensor elektronik semacam ini memiliki tegangan input yang tegangan yang akan diukur dibatasi hingga 25V. Modul sederhana dan berguna yang menggunakan pembagi potensial untuk mengurangi tegangan input dengan faktor 5 [3]. Hal ini memungkinkan untuk menggunakan input analog mikrokontroler untuk memantau voltase yang jauh lebih tinggi daripada yang mampu dideteksi. Modul ini juga mencakup terminal sekrup yang nyaman untuk sambungan kabel yang mudah dan aman (Lihat Gambar 7). Ini akan mengirimkan data ke Arduino yang berinteraksi dengan NodeMCU untuk Blynk.



Gambar 7. Voltage sensor



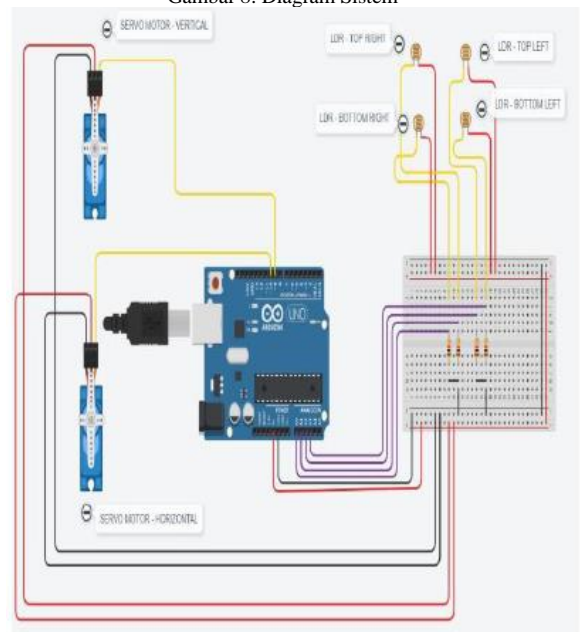
Gambar 8. Diagram Sistem

### III. METODE

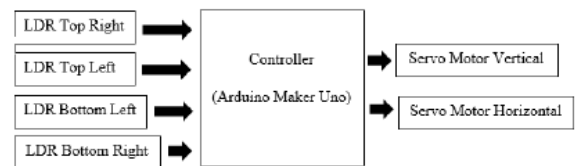
Penelitian ini dirancang dengan panel surya, *Light Dependent Resistor* (LDR), pengontrol Arduino Uno, Motor Servo dan sirkuit penggerak khususnya. LDR memvariasikan resistansi tergantung pada jatuhnya cahaya. Resistansi yang bervariasi diubah menjadi sinyal tegangan analog. Sinyal tegangan analog dari sensor surya kemudian diumpungkan ke controller Arduino Uno yang didalamnya terdapat ADC (*Analog Digital Converter*). Sinyal digital yang dikonversi diberikan sebagai input dari Arduino Uno. Ketika ada perbedaan antara level tegangan LDR, program pengontrol menggerakkan motor servo menuju kejadian normal sinar matahari di mana ia menangkap sinar matahari paling banyak. Blynk tambahan untuk tujuan pemantauan dari jarak jauh untuk panel surya untuk memastikannya mempertahankan kinerja optimal.

#### A. Diagram Sistem

Berdasarkan diagram pada Gambar 8, proses diawali dengan penginderaan sinar matahari dengan *Light Dependent Resistor* (LDR) dan akan menyampaikan hasilnya ke Arduino Uno. Program bekerja dengan membandingkan resistansi keempat sensor dan menggerakkan motor. Seberapa sensitif sensor tersebut sepenuhnya tergantung pada pengkodean pemrograman. Saat sinar matahari mengenai sensor, nilai rangkaian pembagi potensial akan berubah.



Gambar 9. Rangkaian Elektronik



Gambar 10. Blok diagram mikrokontroler

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan sensor input dan output yang terhubung ke pengontrol Arduino. Pertama, sensor akan memberikan sinyal ke controller. Saat sensor normal terhadap matahari, tidak ada bayangan objek pada LDR. Kemudian, intensitas cahaya yang pada LDR sama. Oleh karena itu, nilai digital juga sama. Dengan demikian, motor tidak akan berputar. Jika sensor tidak normal terhadap matahari, seharusnya ada bayangan objek di salah satu LDR. Kemudian nilai digital LDR yang menjadi gelap lebih kecil dari nilai digital LDR lainnya.

Misalnya, jika nilai tegangan LDR A lebih kecil dari LDR C dan LDR B lebih kecil dari LDR D, motor akan berputar ke arah yang benar karena LDR C dan D memiliki tegangan yang lebih tinggi. Setelah semua voltase sama, motor akan berhenti berputar. Pada malam hari, semua tegangan sensor harus tetap sama agar tidak bergerak dari posisi awalnya. Ini dapat dilakukan dengan pemrograman.

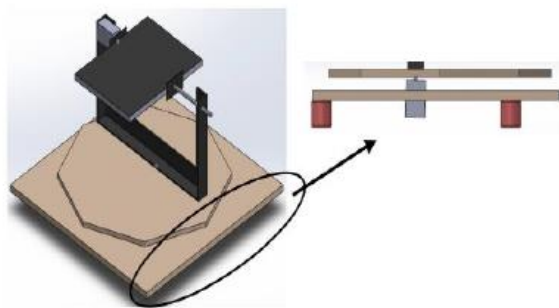
**B. Spesifikasi Sistem dan Pemodelan Berbasis PV**

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi rinci dari sistem. Bagian yang paling penting dan tersulit adalah merakit baja ringan dengan kayu lapis. Baja ringan harus dibuat dengan baik sesuai dengan proyek dan harus sesuai dengan motor. Dibutuhkan banyak waktu untuk mengonfigurasi dimensi dan penempatan material yang tepat. RGB ditempatkan di akhir produk untuk melihatnya berfungsi.

Tabel 1. Spesifikasi penelitian dengan daftar peralatan

Item	Spesifikasi
Pemrosesan Utama	Untuk melacak intensitas sinar matahari tertinggi dan mengubahnya menjadi energi listrik dengan memasang pengontrol
Panel Surya Sumbu Rotasi	Horizontal dan Vertikal, (X dan Y) tipe Polycrystalline
Sistem Tegangan	ASLI GP 12V 7.2Ah Isi Ulang Baterai Asam Timbal Tertutup
Pengontrol Pengisian Tenaga Surya Baterai	PWM 12V/ 24V Auto SwitchControllerArduino Maker Uno
Fitur	Aplikasi Blynk (untuk smartphone)
Bahan	Baja Ringan (penyangga), Plywood (alas) Plastic Conduit Flexible (Cable Trunking)

Gambar 11 menunjukkan prototipe model sistem yang dikembangkan dalam grafik 3D. Model ini memberikan gambaran tentang bagaimana sistem akan terlihat dan pengaturan yang diperlukan untuk membangun yang sebenarnya.



Gambar 11. Prototipe alat

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gambar 12 di bawah ini menunjukkan gambaran proyek yang telah selesai. Itu sistem lengkap terdiri dari panel PV surya, pengisi daya PWM pengontrol, baterai, dan pengontrol sensor dengan sistem Blynk.



Gambar 12. Solar Tracker Dual Axis

**A. Pengujian Fungsionalitas**

Pengujian dilakukan selama 3 hari berturut-turut (Gbr. 13). Setiap hari memiliki waktu yang berbeda karena cuaca yang tidak dapat diprediksi. Proyek ini diuji sekitar 10 menit, dalam 3-4 jam, diletakkan di bawah sinar matahari langsung untuk mendapatkan hasil seoptimal mungkin. Performa tersebut kemudian dipantau melalui aplikasi Blynk. Pembacaan pengujian sebenarnya dengan Blynk hampir sama. Hal ini disebabkan rumus dan nomor deklarasi dalam pengkodean Arduino, sehingga pembacaannya sedikit berbeda dengan yang sebenarnya.

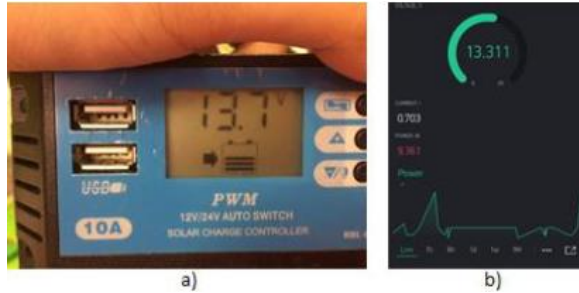


Gambar 13. Pengujian alat dibawah sinar matahari

Pengujian dilakukan setelah menjelang sore hari saat matahari hampir berada di puncak. Pekerjaan pendataan dimulai sekitar pukul 11.00, selesai sebelum pukul 16.00, pada 7 Jan – 10 Jan 2023. Solar tracker juga mendeteksi intensitas tertinggi melalui LDR dan memberikan nilai optimumnya. Berputar sesuai dengan penginderaan LDR yang memberi



sinyal ke motor servo. Selain itu, pada kondisi cuaca redup, sinar matahari dapat diganti dengan lampu sorot untuk mereplikasi cahaya matahari. Karena cuaca yang tidak menentu, percobaan ini hanya dilakukan selama 10 menit, ulangi percobaan yang sama setelah beberapa jam. Untungnya, hasilnya masih seperti yang diharapkan.



Gambar 14. a) Pengontrol pengisi daya keluaran tegangan ke baterai, b) Keluaran arus dan daya dari antarmuka Blynk

Gambar 14 menggambarkan tegangan output panel PV yang dibaca dari charger controller PWM dan dari sensor tegangan yang ditunjukkan pada aplikasi Blynk. Dalam cuaca redup, di mana sinar matahari tertutup, pembacaan panel surya menurun. Hal ini dapat dilihat seperti pada Gambar 14.

**B. Perbandingan Performa Pelacak Surya dan Pelacak Surya Statis**

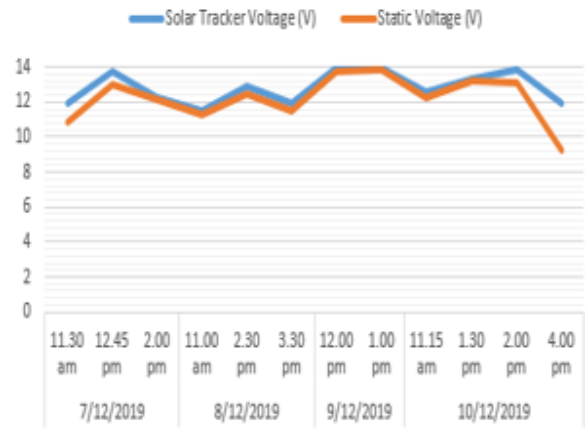
Tabel 2 dan Gambar 15 menunjukkan perbandingan kinerja solar tracker versus solar statis. Dapat diamati bahwa sistem dengan fungsi pelacakan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem statis. Meskipun pembacaannya sedikit berbeda, efisiensi keseluruhan masih berkisar antara 2% sampai 9% dari total efisiensi yang mampu.

Tabel 2. Pembacaan tegangan antara pelacakan matahari dan solar statis

Tanggal	Waktu	Solar Tracker Voltage (V)	Static Solar Voltage (V)
07/12/2019	11.30 am	11.89	10.9
	12.45 pm	13.8	13
	2.00 pm	12.21	12.1
08/12/2019	11.00 am	11.5	11.3
	2.30 pm	12.89	12.5
	3.30 pm	11.97	11.5
09/12/2019	12.00 pm	13.98	13.78
	1.00 pm	13.96	13.9
10/12/2019	11.15 am	12.59	12.3
	1.30 pm	13.31	13.2
	2.00 pm	13.9	13.08
	4.00 pm	11.9	9.2

Prototipe proyek ini dapat digunakan sebagai kit pendidikan Amati beberapa perilaku kinerja dalam sistem PV dengan atau tanpa sistem pelacakan. Terbukti yang tertinggi Sinar matahari Irradiance dapat memberikan kinerja output tertinggi. Namun, dengan sistem pelacakan surya, kinerja sedikit

meningkat dibandingkan dengan sistem dengan pelacakan seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan grafik garis antara pelacak surya dan solar statis

**V. KESIMPULAN**

Makalah ini menguraikan metode pemodelan yang sederhana dan akurat dari panel fotovoltaik yang tersedia secara komersial menggunakan kedua sumbu arah. Pertama, pengujian ini sedang melakukan diskusi tentang metode pemodelan panel fotovoltaik yang ada (aktual dan simulasi). Kemudian, metodologi yang terkait dengan proyek ini dan kemudian pengujian panel fotovoltaik yang sebenarnya telah dijelaskan. Dalam metodologi juga, komponen utama dibahas secara rinci dengan spesifikasi dan terkait desain.

Pemodelan panel PV yang tersedia secara komersial ini didasarkan pada spesifikasi yang diberikan pada pelat pabrikan. Pengujian aktual memberikan ide singkat tentang bagaimana kinerja output surya berperilaku dengan dan tanpa sistem pelacakan surya. Perbandingan output menyimpulkan hipotesis sebelumnya bahwa sistem dengan pelacakan surya memberikan kinerja output yang lebih baik. Dengan demikian, mencapai tujuan utama penelitian

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Vijay Devabhaktuni, Mansoor Alam, Soma Shekara Sreenadh Reddy Depuru, Robert C. Green, Douglas Nims, Craig Near, Solar energy: Trends and enabling technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 19, 2013, Pages 555-564,
- [2] W.X. Shen, Optimally sizing of solar array and battery in a standalone photovoltaic system in Malaysia, Renewable Energy, Volume 34, Issue 1, 2009, Pages 348-352,
- [3] Maulidan, Muhammad Sekal, et al. "THE INFLUENCE OF TILT ANGLE ON THE PERFORMANCE OF SOLAR PANELS AS A SMART HELMET POWER SUPPLY IN A MOTORCYCLE SAFETY SYSTEM." TEKNIKOM 5.2 (2022): 143-148.
- [4] Yingxue Yao, Yeguang Hu, Shengdong Gao, Gang Yang, Jinguang Du, A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies,

- Renewable Energy, Volume 72, 2014, Pages 88-98,
- [5] Alexandru C, Pozna C. Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2010;224(6):797-811.
- [6] J. F. Lee and N. A. Rahim, "Performance comparison of dual-axis solar tracker vs static solar system in Malaysia," 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT), Lankgkawi, 2013, pp. 102-107
- [7] S. Makhija, A. Khatwani, M. F. Khan, V. Goel and M. M. Roja, "Design & implementation of an automated dual-axis solar tracker with data-logging," 2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, 2017, pp. 1-4
- [8] Prabodh and S. Kumar, "Design, development and performance test of an automatic two-Axis solar tracker system," 2011 Annual IEEE India Conference, Hyderabad, 2011, pp. 1-6
- [9] Brushed Servo Motors. (n.d.). Retrieved July 1, 2019, from <https://servo2go.com/products/servo-motors-drives/brushed-servo-motors/>.
- [10] 25V Voltage Sensor Module. (n.d.). Retrieved January 15, 2019, from <https://hobbycomponents.com/sensors/389-25v-voltage-sensor-module>.
- [11] Maehlum, M. A. (2018, May 16). Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film. Retrieved February 12, 2019, from <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>.
- [12] Stepper vs Servo. (n.d.). Retrieved February 13, 2019, from <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/stepper-vs-servo/>
- [13] L. (2016, November 25). Difference between Stepper Motor and Servo Motor. Retrieved February 2, 2019, from <https://www.youtube.com/watch?v=x48ggHZDFLY>
- [14] Worthy, E. (2014, January 25). Dual Axis Solar Tracker. Retrieved February 6, 2019, from <https://www.youtube.com/watch?v=cIC6237TLRA>
- [15] Suzhou Sunlight Well Photovoltaic Technology Co., Ltd. (n.d.). Poly 4W Datasheet. Retrieved February 11, 2019, from <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/61>
- [16] L. Flysky co., "Digital proportional radio control system Table of contents."
- [17] Cytron Technologies Sdn. Bhd., "SmartDrive160," 2017. [Online]. Available: <https://www.cytron.com.my/p-mds160a>.