

Sistem Pengisian *Battery* Berbasis Panel Surya Pada *Ground Station* Untuk *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

1st Prima Raturia Ananda
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

primaraturia@student.telkomuniversity.
ac.id

2nd Angga Rusdinar
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id

3rd Ema
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

emacdef@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Keterbatasan akses listrik di daerah terpencil menjadi tantangan bagi operasional *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), khususnya dalam proses pengisian baterai. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pengisian baterai berbasis panel surya pada ground station untuk menggantikan ketergantungan pada listrik konvensional. Sistem ini difokuskan dengan menggunakan baterai lithium-ion 18650 konfigurasi 4S3P serta baterai VRLA 12V untuk penyimpanan energi. Panel surya monocrystalline yang terintegrasi dengan *Solar Charge Controller* (SCC) *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) digunakan untuk mengoptimalkan konversi energi. Energi dari panel surya dikonversi melalui SCC dan disalurkan ke baterai VRLA untuk proses pengisian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengisi baterai secara mandiri dengan tegangan panel surya berkisar antara 21,2–23,0 V. Tegangan baterai meningkat secara bertahap, sementara arus dan daya pengisian menurun secara bertahap. Sistem ini menunjukkan kinerja sistem yang adaptif terhadap fluktuasi intensitas cahaya matahari tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional.

Kata kunci— panel surya, pengisian baterai, baterai lithium-ion

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan, khususnya energi surya, semakin populer sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Energi surya sangat potensial di negara tropis seperti Indonesia, yang memiliki intensitas sinar matahari tinggi sepanjang tahun. Salah satu penerapan energi surya adalah pada sistem pengisian daya berbasis panel surya, yang terus berkembang, terutama pada ground station untuk *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Di bidang pengoperasian UAV, penggunaan baterai sebagai sumber daya menjadi sangat penting. Namun, pengisian daya UAV masih bergantung pada metode konvensional yang mengandalkan listrik dari jaringan umum. Di Indonesia, terutama di daerah hutan, akses terhadap jaringan listrik terbatas, sehingga menghambat operasional UAV. Oleh karena itu, pengisian baterai UAV yang efektif sangat diperlukan, terutama di wilayah yang sulit dijangkau.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan solar cell pada sayap UAV untuk mengisi baterai, namun pendekatan ini memiliki keterbatasan karena pengisian dan penggunaan baterai secara bersamaan dapat merusak baterai [1]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengisian baterai berbasis panel surya pada ground station untuk UAV. Sistem ini memanfaatkan sinar matahari di wilayah tropis, seperti Jawa Barat, untuk bekerja secara berkelanjutan tanpa bergantung pada infrastruktur listrik konvensional. Sistem ini juga dirancang fleksibel dan portabel, memungkinkan pengisian ulang baterai UAV di lapangan dengan efisien, terutama di daerah terpencil yang sulit dijangkau. Diharapkan solusi ini dapat mendukung operasional UAV yang lebih ramah lingkungan dan mengatasi hambatan terkait akses listrik yang terbatas.

II. KAJIAN TEORI

A. Energi surya Berbasis Panel Surya

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang menjanjikan, dengan potensi lebih besar dibandingkan sumber energi lainnya dalam mengatasi masalah energi global dan ramah lingkungan, terutama melalui pemanfaatan panel surya [3]. Panel surya mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaiik. Penelitian Dewi et al. (2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan radiasi matahari pada panel surya dapat menghasilkan listrik yang signifikan, dengan efisiensi konversi yang bergantung pada kondisi lingkungan dan desain teknis panel [3]. Indonesia, mempunyai potensi besar dalam menghasilkan listrik dari sinar matahari [4]. Namun, faktor lingkungan seperti pencahayaan dan cuaca ekstrem dapat mempengaruhi kinerja panel surya.

B. Sistem Pengisian Battery

Sistem pengisian baterai umumnya menggunakan metode konvensional atau pengisian daya yang terpasang dan

terhubung ke jaringan listrik konvensional [2]. Pengisian ini memiliki keterbatasan terutama dari segi aksesibilitas jaringan listrik yang minim di daerah-daerah terpencil. Dalam mengatasi permasalahan diatas, diperlukannya sistem pengisian baterai berbasis energi terbarukan seperti panel surya. Dengan memanfaatkan panel surya dapat mengatasi keterbatasan infrastruktur listrik konvensional yang sering ditemui di lokasi-lokasi terpencil. Ketersediaan sinar matahari yang melimpah di wilayah Indonesia menjadikan sistem PV sebagai solusi yang sangat potensial.

C. Sistem Pengisian Battery Menggunakan Panel Surya

Sistem pengisian berbasis panel surya merupakan metode yang memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik sebagai sumber daya utama untuk pengisian baterai. Sistem ini bekerja dengan mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik dengan bantuan panel surya yang terdiri dari sel-sel surya, melalui proses fotovoltaiik pada sel surya, dimana foton dari sinar matahari menggerakkan elektron pada material semikonduktor dan menghasilkan arus listrik [5].

Dalam penelitian ini, teknologi pengisian berbasis panel surya diterapkan untuk menyediakan daya cadangan bagi UAV di *ground station*, dengan menggunakan pemilihan panel surya yang memiliki efisiensi tinggi dan daya tahan yang lebih baik terhadap perubahan cuaca.

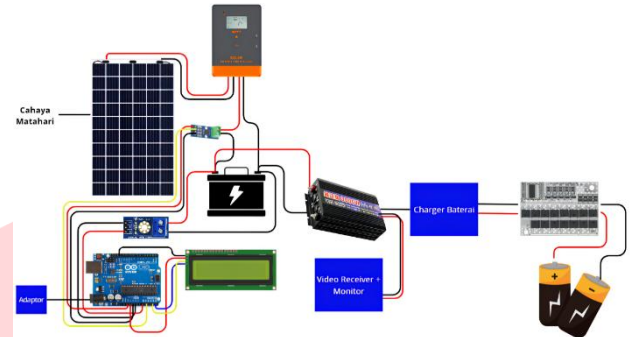
D. Pemantauan Arus dan Tegangan Pada Baterai VRLA

Pemantauan arus dan tegangan pada baterai VRLA merupakan aspek penting dalam pemeliharaan baterai VRLA. Salah satu sensor yang digunakan dalam penelitian ini ialah sensor tegangan dan sensor arus ACS712. Sensor ini dirancang untuk memberikan pengukuran yang akurat. Sensor ini mampu mengukur arus dengan akurasi hingga 20A dan tegangan hingga 25V DC [6].

Pada sistem ini sensor tegangan DC dan sensor arus ACS712 digunakan untuk mengukur arus dan tegangan yang mengalir dari SCC MPPT menuju baterai. Hasil pembacaan nilai tegangan dan arus diteruskan ke mikrokontroler untuk diproses dan ditampilkan pada layar LCD. Hal ini dilakukan untuk mengetahui arus dan tegangan yang masuk

B. Desain Perangkat Keras

Gambar berikut menunjukkan desain perangkat keras sistem yang digunakan dalam penelitian ini, yang mencakup komponen-komponen utama dan konfigurasi interkoneksi antar perangkat dalam implementasi sistem. Desain ini dirancang untuk memastikan kinerja yang optimal sesuai dengan tujuan penelitian.



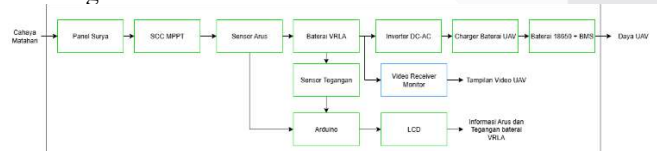
C. Spesifikasi Komponen

Perancangan sistem pengisian baterai berbasis panel surya pada *ground station* untuk *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) ini membutuhkan komponen – komponen pendukung untuk merealisasikan sistem ini. Berikut merupakan spesifikasi komponen yang digunakan :

No.	Jenis Komponen	Komponen Terpilih
1.	Panel surya	Panel Surya <i>Monocrystalline</i> JKM10T-QFS
2.	Mikrokontroler	Arduino Uno R3
3.	Sensor	Sensor Tegangan DC
4.		Sensor ACS712 5A
5.	Baterai lithium-ion	RakkiPanda INR18650
6.	<i>Solar charge controler</i>	PowMr 20A MPPT
7.	<i>Inverter DC to AC</i>	Taffware pure shine wave-500W
8.	Baterai	Baterai VRLA Zeus 12V 26 Ah
9.	LCD	LCD 16X2 <i>With I2C</i>
10.	<i>Buck converter</i>	<i>Buck Converter</i> XL4015 DC-DC

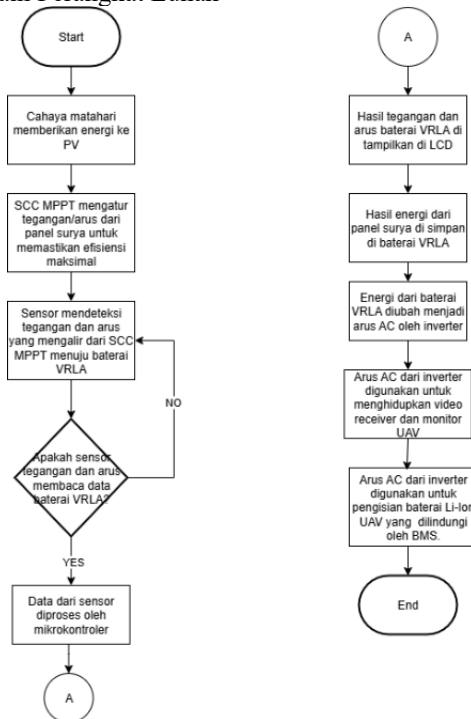
III. METODE

A. Diagram Blok



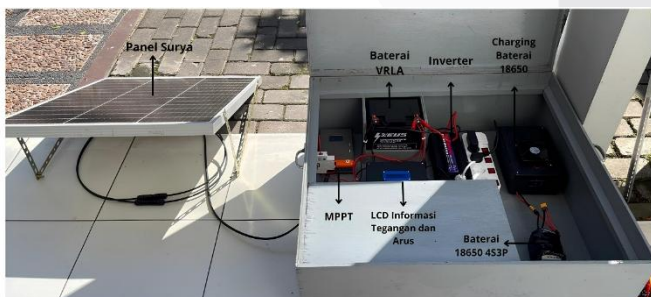
Gambar diatas menunjukkan diagram blok alur kerja sistem yang dirancang, dimulai dengan energi dari cahaya matahari ditangkap oleh panel surya dan diubah menjadi energi listrik. Energi ini diproses oleh *Solar Charge Controller* (SCC) MPPT untuk mengoptimalkan efisiensi konversi energi. Sensor arus dan tegangan memantau aliran energi ke baterai VRLA, yang menyimpan energi untuk digunakan oleh sistem. Terdapat inverter DC-AC untuk mengubah dari baterai VRLA menjadi arus bolak balik (AC), yang digunakan untuk charging baterai Li-Ion UAV dan untuk menghidupkan monitor dan video receiver UAV.

D. Desain Perangkat Lunak



Berdasarkan gambar diatas, sistem dimulai dengan energi dari cahaya matahari yang diterima oleh panel surya (PV), yang mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Energi tersebut diatur oleh Solar Charge Controller (SCC) MPPT untuk memastikan efisiensi maksimal. Sensor arus dan tegangan memantau aliran energi menuju baterai VRLA, dan jika data berhasil dibaca, informasi tersebut diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada LCD. Energi dari panel surya disimpan di baterai VRLA, lalu diubah menjadi arus AC oleh inverter untuk menghidupkan video receiver dan monitor UAV, serta untuk mengisi baterai Li-Ion 18650 4S3P dengan kapasitas 10.050 mAh dan tegangan 14,8 V, yang dilindungi oleh modul BMS untuk mencegah overcharge selama proses pengisian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



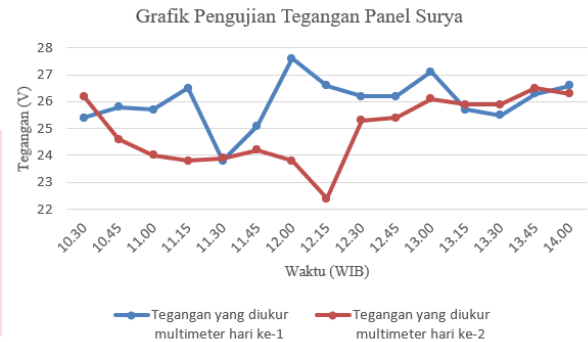
Pada bab ini akan membahas hasil pengujian yang dilakukan oleh penulis terkait dengan sistem pengisian baterai berbasis panel surya pada ground station untuk *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam berbagai aspek, diantaranya:

1. Pengujian panel surya
2. Pengujian sensor tegangan DC

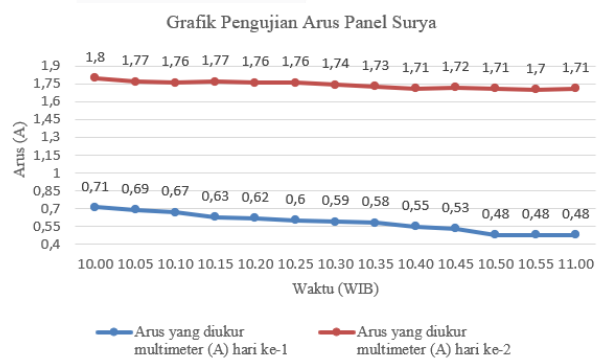
3. Pengujian sensor arus ACS712
4. Pengujian pengisian baterai VRLA dari panel surya melalui *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)
5. Pengujian Keseluruhan Sistem Pengisian Baterai Berbasis Panel Surya

Analisis dilakukan didasarkan pada data yang diperoleh dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan untuk dikaji sejauh mana implementasi yang dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.

A. Pengujian Panel Surya

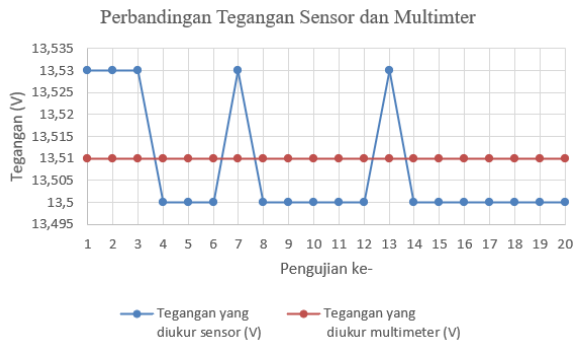


Pengujian selama dua hari berturut-turut menunjukkan bahwa tegangan output panel surya meningkat seiring dengan intensitas cahaya matahari yang diterima. Pada hari pertama, tegangan mulai dari 25,4 V pada pukul 10.30 WIB mencapai 27,1 V pada pukul 12.45 WIB, kemudian sedikit menurun menjadi 26,0–26,6 V pada sore hari. Pada hari kedua, tegangan awal tercatat 26,2 V dan menurun hingga 22,4 V pada pukul 12.15 WIB, sebelum meningkat lagi menjadi 26,5 V. Fluktuasi tegangan ini dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan sudut datang cahaya matahari. Meskipun ada penurunan performa pada kondisi pencahayaan yang kurang stabil, panel surya tetap menunjukkan respons yang baik dan cukup untuk proses pengisian daya.



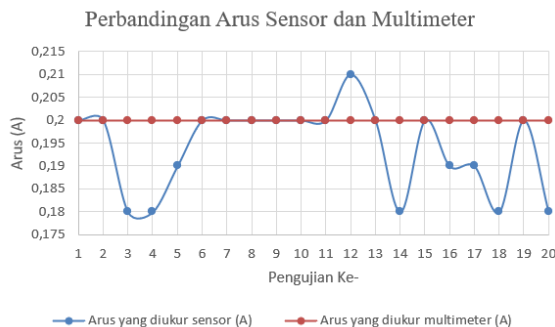
Hasil pengujian menunjukkan fluktuasi arus yang terukur selama dua hari, dengan penurunan arus pada hari pertama dari 0,71 A pada pukul 10.00 WIB menjadi 0,48 A pada pukul 11.00 WIB, yang dipengaruhi oleh berkurangnya intensitas cahaya matahari. Pada hari kedua, arus sedikit lebih tinggi, berkisar antara 1,80 A hingga 1,71 A, yang menunjukkan kinerja panel surya yang lebih baik karena cuaca yang lebih cerah. Penurunan arus yang terjadi tetap dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca dan posisi matahari, menegaskan bahwa fluktuasi intensitas cahaya matahari sangat memengaruhi performa panel surya dalam menghasilkan arus yang stabil.

B. Pengujian Sensor Tegangan DC



Pengujian sensor tegangan DC yang dilakukan sebanyak 20 data menunjukkan bahwa nilai tegangan yang terbaca berkisar antara 13,50 V hingga 13,53 V, dengan selisih sebesar 0,02 V dibandingkan dengan multimeter yang mencatatkan 13,51 V. Deviasi ini menghasilkan persentase error sebesar 0,15%, sementara pada pengujian lainnya, error mencapai 0,07%. Fluktuasi ini disebabkan oleh delay 5 detik antar pengambilan data. Secara keseluruhan, sensor menunjukkan kinerja yang stabil dengan rata-rata error sebesar 0,094%, berada dalam batas toleransi $\pm 1\%$, yang menegaskan bahwa sensor ini cukup akurat dan dapat digunakan dengan baik dalam pemantauan tegangan pada sistem pengisian baterai.

C. Pengujian Sensor Arus ACS712



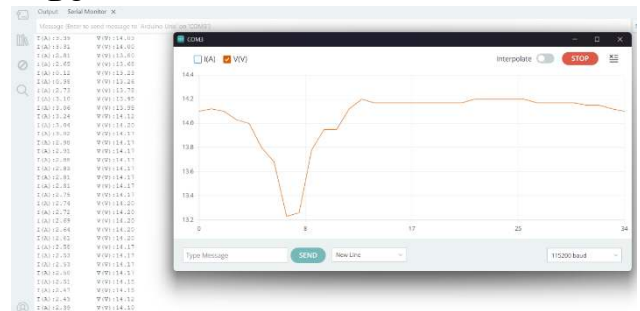
Pengujian sensor arus ACS712 dilakukan sebanyak 20 kali dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap multimeter sebagai alat referensi. Hasil menunjukkan bahwa mayoritas pembacaan sensor berada pada rentang 0,18 A hingga 0,20 A, sementara multimeter konsisten pada 0,20 A. Sebanyak 11 pengukuran menunjukkan error 0%, dan sisanya memiliki deviasi kecil sebesar 0,01–0,02 A dengan error relatif 5–10%. Rata-rata akurasi keseluruhan mencapai 96,5%, mengindikasikan performa sensor yang stabil dan cukup akurat. Faktor-faktor seperti fluktuasi tegangan suplai, waktu pembacaan, dan delay program turut memengaruhi perbedaan pembacaan. Secara keseluruhan, ACS712 layak digunakan untuk pemantauan arus dalam sistem.

D. Hasil Pengujian Respon Time Domain Sensor Arus ACS712



Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ACS712 mampu merekam perubahan arus secara real-time dengan baik. Selama pengujian, arus awal sekitar 4,20 A menurun signifikan pada detik ke-21 hingga 0,12 A akibat penurunan suplai daya, lalu kembali meningkat dan stabil di kisaran 2,80–3,00 A. Hal ini menggambarkan adanya fase transien sebelum sistem mencapai kondisi steady-state, sehingga pengukuran respon time domain menggunakan ACS712 efektif untuk memantau dinamika arus dan kestabilan sistem.

E. Hasil Pengujian Respon Time Domain Sensor Tegangan DC



Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan awal sistem berada pada kisaran 14,10–14,15 V dan sempat mengalami penurunan signifikan hingga sekitar 13,20 V pada detik ke-12 hingga ke-27 akibat perubahan suplai daya. Setelah itu, tegangan meningkat kembali mendekati nilai awal berkat suplai pengisian dari panel surya melalui SCC, lalu stabil dengan fluktuasi kecil di bawah $\pm 0,05$ V. Hal ini menunjukkan adanya fase transien di awal pengujian sebelum sistem mencapai kondisi steady-state.

F. Hasil Pengujian Respon Time Domain Sensor Tegangan DC dan Sensor Arus



Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan sistem berada pada kisaran 14,10–14,17 V di awal pengujian, kemudian sempat turun hingga sekitar 13,95 V sebelum kembali stabil pada kisaran 14,10–14,15 V. Fluktuasi tegangan ini dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya.

Sementara itu, arus awal berada pada kisaran 2,80–2,90 A, menurun secara bertahap hingga mendekati 0 A, lalu meningkat kembali dan stabil di kisaran 2,0–2,1 A. Pola perubahan arus ini menunjukkan adanya fase transien yang kemungkinan disebabkan oleh variasi intensitas cahaya dan gangguan suplai daya, sebelum mencapai kondisi steady-state. Secara umum, sistem menunjukkan stabilitas tegangan yang baik dengan fluktuasi minimal, meskipun arus mengalami perubahan signifikan pada fase transien.

G. Pengujian Keseluruhan Sistem Pengisian Baterai Berbasis Panel Surya

Waktu (WIB)	Tegangan Panel (V)	Baterai VRLA		Daya (W)	Baterai 18650 Konfigurasi 4S3P		Daya (W)
		Tegangan (V)	Arus (A)		Tegangan (V)	Arus (A)	
09.15	21,4	13,26	4,32	57,28	15,4	2,47	38,03
09.30	21,2	13,26	4,35	57,68	15,5	2,32	35,96
09.45	21,3	13,14	4,53	59,52	15,7	2,38	37,36
10.00	21,6	13,28	4,69	62,28	15,8	2,42	38,24
10.15	21,4	13,28	4,63	61,49	15,8	2,48	39,18
10.30	21,5	13,33	4,71	62,78	16,0	2,49	39,84
10.45	22,5	13,14	3,83	50,32	16,2	2,48	40,18
11.00	22,5	13,14	3,88	50,98	16,2	2,42	39,20
11.15	22,5	13,18	3,86	50,87	16,2	2,42	39,20
11.30	22,5	13,18	3,87	51,0	16,3	2,42	39,45
11.45	22,5	13,21	3,80	50,20	16,3	2,40	39,12
12.00	22,5	13,21	3,77	49,80	16,3	2,41	39,28
12.15	22,5	13,21	3,76	49,67	16,3	2,11	34,39
12.30	22,5	13,18	3,19	42,04	16,3	2,05	33,42
12.45	22,8	13,26	2,58	34,21	16,3	1,43	23,31
13.00	22,9	13,26	2,28	30,23	16,3	0,90	14,67
13.15	22,8	13,26	2,10	27,85	16,3	0,56	9,13
13.30	22,9	13,26	2,28	30,23	16,3	0,33	5,38
13.45	23,0	13,31	2,11	28,08	16,4	0,32	5,25
14.00	22,9	13,31	2,14	28,48	16,4	0,32	5,25

Pengujian menunjukkan bahwa tegangan panel surya berada dalam kisaran 21,2–23,0 V dari pukul 09.15 hingga 14.00 WIB, dengan puncaknya sebesar 23,0 V pada pukul 13.45. Pada awal pengisian, arus dan daya yang masuk ke baterai cukup tinggi, yaitu hingga 4,69 A dan 62,28 W untuk baterai VRLA, serta 2,48 A dan 39,18 W untuk baterai 18650. Seiring meningkatnya tegangan baterai dari 13,14 V ke 13,31 V (VRLA) dan dari 15,4 V ke 16,4 V (18650), arus dan daya menurun bertahap hingga 2,14 A dan 28,48 W (VRLA), serta 0,32 A dan 5,25 W (18650), menunjukkan sistem secara otomatis mengurangi suplai daya saat baterai mendekati penuh. Waktu pengisian penuh baterai 18650 tercatat sekitar 4 jam 45 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja stabil dan mandiri menggunakan energi surya, meskipun terjadi fluktuasi intensitas cahaya selama pengujian.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis sistem pengisian baterai berbasis panel surya pada *ground station* untuk *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem pengisian baterai berbasis panel surya berhasil dirancang dan di implementasikan tanpa bergantung pada jaringan listrik konvensional.
2. Pengujian menunjukkan sistem mampu menghasilkan tegangan, arus, dan daya pengisian yang stabil meskipun

terjadi fluktuasi intensitas cahaya, dengan tegangan panel berkisar antara 21,2–23,0 V.

3. Sensor tegangan dan arus bekerja cukup baik dengan memberikan data real-time selama pengisian berlangsung.
4. Kinerja sistem secara keseluruhan stabil dan dapat digunakan sebagai solusi pengisian energi untuk operasional UAV di lapangan.

VI. SARAN

Untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan agar sistem dapat lebih optimal antara lain:

1. Pengujian sistem di lakukan di lokasi dengan kondisi cuaca ekstrem untuk mengukur kinerja dalam situasi yang lebih bervariasi.
2. Perangkat keras harus terus diperbarui sesuai dengan perkembangan teknologi terbaru untuk meningkatkan efisiensi.
3. Penyempurnaan desain dapat lebih di sempurnakan agar mempermudah pemasangan.

REFERENSI

- [1] Masirul Isnanto, “PERANCANGAN DAN UJI COBA SOLAR POWERED PLANE UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) ,” *JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, pp. 1–12, 2019.
- [2] ANDI MUHAMMAD NUR PUTRA and GILANG RAMADHAN, “PENGISIAN BATERAI LI-ION DENGAN METODE CONSTANT CURRENT, CONSTANT VOLTAGE, CONSTANT CURRENT – CONSTANT VOLTAGE ,” *Ensiklopedia of Journal* , vol. 6, no. 1, pp. 546–551, Oct. 2023.
- [3] R. Kusuma Dewi, P. Studi Pendidikan Fisika, F. Keguruan dan Ilmu Pendidikan, and U. Jember, “ANALISIS PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI PADA PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN,” *Jurnal Fisika dan Pembelajarannya (PHYDAGOGIC)*, vol. 6, no. 2, 2024, doi: 10.31605/phy.v6i2.3266.
- [4] Sandra Dewi, Annisya Agustina, Zauzza Stabita, and Bintang Purba, “Analisis Pengaruh Radiasi Matahari Terhadap Cahaya yang Dihasilkan oleh Panel Surya,” *Edukasi Elita : Jurnal Inovasi Pendidikan*, vol. 2, no. 1, pp. 276–281, Dec. 2024, doi: 10.62383/edukasi.v2i1.1032.
- [5] M. Khumaidi Usman, “ANALISIS INTENSITAS CAHAYA TERHADAP ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN PANEL SURYA,” *Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik*, vol. 9, no. 2, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/powerelektron>
- [6] I. Riyana *et al.*, “PENGUKURAN ARUS DAN TEGANGAN PADA PROTOTIPE PLTMH BERBASIS ARDUINO DAN MULTIMETER Info Artikel ABSTRACT,” *Kampus Gunung Kelua Samarinda*, vol. 2, no. 9, pp. 45–52, Sep. 2020.