

Design of a 24 V 10 Ah Battery Charging System Using a 100 Wp Flexible Solar Panel as a Sustainable Alternative Energy Source [Perancangan Sistem Pengisian Baterai 24 V 10 Ah Menggunakan Panel Surya Fleksibel 100 Wp sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan]

Meyga Satria Sugiarta¹⁾, Indah Sulistiyowati²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi : indah_sulistiyowati@umsida.ac.id

Abstract. *Limited access to electrical energy has encouraged the use of solar power the use of solar power as an alternative source for battery charging systems. This study aim tto design an evaluate a 24 V 10 Ah battery charging system using a 100 Wp flexible monocrystalline solar panel equipped with an MPPT charge controller and an IoT monitoring system based on ESP8266. The system consists of a solar panel, MPPT, LiFePO₄ battery, protection circuit, and voltage and current sensors integrated with Telegram notifications. An experimental method was applied through system design, implementation, and performance. The result show that the battery successfully charged from 20% to 80% within 4.2 hours with an average current of 3.6 A and a system efficiency of 90.6%. The protection and monitoring features operated properly. These result indicate that the proposed system perform reliably and has strong potential as a portable and independent alternative energy charging solution..*

Keywords - Flexible solar panel, Battery charging, MPPT, Internet of Things, Alternative energy

Abstrak. *Keterbatasan akses sumber listrik mendorong pemanfaatan energi surya sebagai alternatif pengisian baterai. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem pengisian baterai 24 V 10 Ah menggunakan panel surya fleksibel monokristalin 100 Wp yang dilengkapi MPPT dan monitoring IoT berbasis ESP8266. Sistem terdiri dari panel surya, MPPT charge controller, baterai LiFePO₄, rangkaian proteksi, serta sensor tegangan dan arus yang terintegrasi dengan notifikasi Telegram. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimen melalui perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Hasil pengujian menunjukkan baterai dapat diisi dari 20% hingga 80% dalam waktu 4,2 jam dengan arus rata-rata 3,6 A dan efisiensi sistem sebesar 90,6%. Sistem proteksi dan monitoring juga berfungsi dengan baik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan berpotensi digunakan sebagai sumber pengisian energi alternatif yang portabel dan mandiri.*

Kata Kunci - Panel surya fleksibel, Pengisian baterai, MPPT, Internet of Things, Energi alternatif

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik yang sejalan dengan kemajuan teknologi menuntut adanya pemanfaatan sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Ketergantungan pada energi fosil tidak hanya menyebabkan keterbatasan ketersediaan energi, tetapi juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti meningkatnya emisi karbon [1]. Oleh sebab itu, energi terbarukan menjadi solusi yang potensial, salah satunya adalah energi matahari yang memiliki ketersediaan melimpah dan dapat dimanfaatkan secara langsung menggunakan panel surya. Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki potensi energi matahari yang besar dengan intensitas radiasi rata-rata sekitar 4 hingga 5,5 kWh/m² per hari, sehingga sangat mendukung penerapan sistem pembangkit listrik tenaga surya [2].

Panel surya berfungsi mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan secara langsung maupun disimpan dalam baterai. Salah satu jenis baterai yang umum digunakan pada sistem tenaga mandiri, kendaraan listrik skala kecil, dan perangkat elektronik portabel adalah baterai dengan tegangan 24 V dan kapasitas 10 Ah [3]. Untuk mendukung ketersediaan energi secara berkelanjutan, penggunaan panel surya berkapasitas 100 Wp dapat menjadi solusi alternatif dalam proses pengisian baterai tersebut. Pada kondisi radiasi optimal di wilayah tropis seperti Sidoarjo, panel surya 100 Wp mampu menghasilkan energi listrik harian sekitar 400 hingga 500 Wh, yang cukup untuk mengisi baterai 24 V 10 Ah dengan kapasitas energi sebesar 240 Wh [4]. Namun, kinerja sistem pengisian dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, efisiensi panel, serta efisiensi

solar charge controller. Oleh karena itu, penggunaan Maximum Power Point Tracking (MPPT) diperlukan untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya.

Penelitian sebelumnya umumnya menggunakan panel surya konvensional yang bersifat kaku (rigid), memiliki ketebalan yang relatif besar, serta membutuhkan rangka penyangga khusus dalam proses instalasinya [5]. Panel jenis ini kurang fleksibel untuk diaplikasikan pada sistem portabel atau permukaan terbatas. Seiring perkembangan teknologi, panel surya fleksibel berbasis monokristalin telah dikembangkan dengan karakteristik yang lebih tipis, ringan, dan memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya [6]. Selain itu, panel fleksibel lebih mudah dipasang, tidak memerlukan struktur penyangga yang kompleks, serta lebih sesuai untuk aplikasi modern seperti kendaraan listrik maupun sistem energi mandiri portabel. Selain aspek pembangkitan dan penyimpanan energi, sistem monitoring juga menjadi bagian penting dalam sistem tenaga surya untuk mengetahui kondisi kinerja secara real-time [7]. Penelitian sebelumnya sebagian besar masih menggunakan metode pengukuran manual menggunakan alat ukur konvensional, sehingga kurang efisien dan tidak dapat memberikan informasi secara berkelanjutan. Dengan berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT), sistem monitoring dapat dilakukan secara otomatis dan jarak jauh menggunakan mikrokontroler dan sensor [8].

Dalam penelitian ini, sistem monitoring berbasis IoT dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang terhubung dengan sensor INA219 untuk mengukur arus dan daya, serta sensor tegangan untuk mengukur tegangan baterai dan panel surya [9]. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan secara real-time melalui jaringan internet sehingga dapat dipantau secara langsung. Penggunaan sistem monitoring IoT ini memberikan keunggulan dalam hal kemudahan pemantauan, akurasi pengukuran, serta kemampuan analisis kinerja sistem secara berkelanjutan [10]. Meskipun teknologi panel surya fleksibel dan sistem monitoring IoT telah berkembang, penelitian yang mengintegrasikan panel surya fleksibel monokristalin 100 Wp dengan sistem monitoring berbasis IoT untuk pengisian baterai 24 V 10 Ah pada kondisi iklim tropis seperti di wilayah Sidoarjo masih terbatas [11]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem pengisian baterai 24 V 10 Ah menggunakan panel surya fleksibel monokristalin 100 Wp yang dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis IoT menggunakan ESP8266, sensor INA219, dan sensor tegangan [12]. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan, arus, daya, energi, dan waktu pengisian baterai. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem pengisian baterai berbasis energi surya yang efisien, fleksibel, dan terintegrasi dengan teknologi IoT [13]. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem energi alternatif berkelanjutan, khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia yang memiliki potensi energi matahari yang besar..

II. METODE

Penelitian ini menerapkan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk merancang dan menguji prototipe sistem pengisian daya darurat menggunakan panel surya 100 Wp yang terintegrasi dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan penelitian diawali dengan analisis kebutuhan sistem, dilanjutkan dengan proses perancangan dan pembuatan prototipe, kemudian dilakukan pengujian, serta diakhiri dengan analisis data untuk menilai kinerja sistem yang telah dikembangkan.

A. Peralatan dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian yaitu :

1. Laptop
2. Multimeter digital
3. Solder
4. Obeng
5. Tang potong dan Tang kupas
6. Kabel

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu :

1. Panel surya monokristalin 100Wp
2. MPPT Solar Charge Controller
3. Baterai LiFePO₄ 24 V 10 Ah
4. Modul ESP8266 (NodeMCU)
5. Sensor tegangan
6. Sensor arus
7. Boost converter DC
8. Modul relay / rangkaian proteksi
9. Kabel dan konektor

B. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut antara lain sebagai berikut :

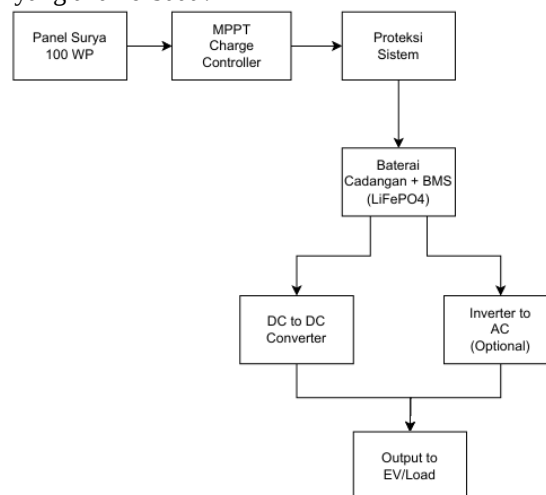


Gambar 1. Tahapan Penelitian

Penelitian dimulai kemudian dilanjutkan dengan identifikasi masalah, yaitu menentukan permasalahan terkait keterbatasan sumber energi listrik dan kebutuhan sistem pengisian alternatif. Selanjutnya dilakukan tinjauan pustaka untuk mempelajari teori, konsep, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan panel surya, MPPT, baterai, dan sistem monitoring IoT [14]. Tahap berikutnya adalah perancangan alat, yang meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Setelah itu dilakukan pengujian alat untuk mengetahui kinerja sistem dalam proses pengisian baterai. Data hasil pengujian kemudian masuk ke tahap analisa dan evaluasi untuk mengetahui tingkat kinerja, efisiensi, dan kehandalan sistem. Tahap terakhir adalah selesai, yang menunjukkan bahwa penelitian telah selesai dilakukan dan diperoleh kesimpulan dari sistem yang dikembangkan.

C. Diagram Blok Sistem

Untuk memudahkan desain alat, dibuatlah blok diagram dari seluruh sistem secara keseluruhan. Dibawah ini adalah diagram blok sistem yang akan dibuat :



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

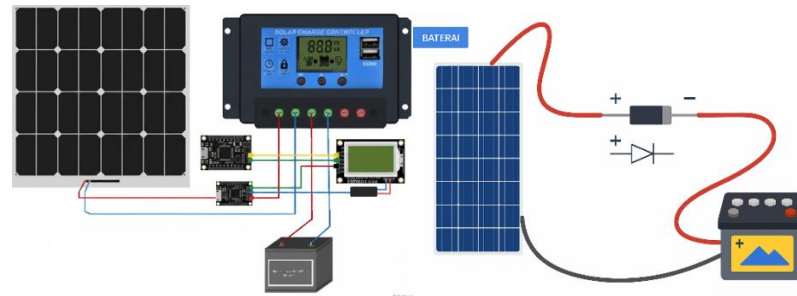
Sistem pengisian daya menggunakan panel surya 100 Wp bekerja dengan memanfaatkan radiasi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik, kemudian energi tersebut disimpan pada baterai sebagai cadangan. Sebelum disalurkan ke baterai, energi listrik yang dihasilkan panel terlebih dahulu diatur oleh MPPT charge controller agar panel dapat beroperasi pada titik daya maksimum secara optimal [15]. Selanjutnya, arus listrik melewati rangkaian pengaman seperti sekering dan dioda untuk mencegah gangguan kelistrikan yang dapat merusak sistem. Energi tersebut kemudian disimpan pada baterai LiFePO₄ yang telah dilengkapi Battery Management System (BMS) untuk menjaga keamanan selama proses pengisian maupun penggunaan. Energi yang telah tersimpan pada baterai cadangan kemudian dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk membantu proses pengisian baterai pada berbagai kebutuhan, khususnya dalam situasi darurat [16]. Dengan adanya sistem ini, kendaraan listrik memiliki suplai energi tambahan yang bersifat mandiri dan tidak sepenuhnya bergantung pada fasilitas pengisian umum, sehingga dapat meningkatkan keandalan ketika berada di lokasi dengan keterbatasan infrastruktur pengisian daya.

D. Perancangan Alat

Bagian ini menjelaskan tahapan perancangan sistem yang bertujuan untuk mengatur dan menjalankan proses pengisian baterai 24 V 10 Ah dengan memanfaatkan panel surya 100 Wp sebagai sumber energi alternatif. Sistem yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung, yaitu panel surya, MPPT charge controller, baterai, rangkaian proteksi, dan sistem monitoring. Konfigurasi serta keterkaitan antar komponen dalam sistem tersebut ditampilkan pada gambar berikut.:

a. Perancangan Hardware

Pada bagian ini dijelaskan rangkaian hardware yang akan dirancang agar dapat bekerja sesuai rencana



Gambar 3. Perancangan Alat

Perancangan alat pada sistem ini melibatkan beberapa komponen utama, yaitu panel surya fleksibel 100 Wp sebagai sumber energi, solar charge controller tipe MPPT sebagai pengendali proses pengisian, baterai 24 V 10 Ah sebagai media penyimpanan energi, serta sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang terdiri dari ESP8266, sensor INA219, sensor tegangan, dan layar LCD sebagai tampilan lokal. Berdasarkan diagram perancangan, panel surya berfungsi mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC), kemudian output tersebut disalurkan ke terminal input solar charge controller. Perangkat ini berperan dalam mengatur dan mengoptimalkan proses pengisian baterai menggunakan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT), sehingga daya dari panel dapat dimanfaatkan secara maksimal sekaligus memberikan perlindungan terhadap baterai dari kondisi overcharge dan overdischarge.

Selanjutnya, pada sisi output charge controller, energi listrik dialirkan ke baterai 24 V 10 Ah untuk disimpan sebagai energi cadangan. Pada jalur antara charge controller dan baterai dipasang sensor INA219 untuk mengukur parameter arus, tegangan, dan daya secara real-time. Selain itu, sensor tegangan digunakan untuk memantau nilai tegangan baterai secara langsung guna mengetahui kondisi kapasitas baterai selama proses pengisian. Data hasil pengukuran kemudian diproses oleh ESP8266 dan ditampilkan pada layar LCD sebagai monitoring lokal. Selain itu, ESP8266 juga mengirimkan data melalui jaringan WiFi ke aplikasi Telegram dalam bentuk notifikasi real-time. Informasi yang dikirim meliputi nilai tegangan, arus, daya, serta kondisi baterai, sehingga pengguna dapat memantau kinerja sistem dari jarak jauh secara efektif.

b. Perancangan Software

Perangkat lunak pada sistem ini diprogram menggunakan Arduino IDE yang berfungsi sebagai media untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP8266 (NodeMCU). Program dibuat menggunakan bahasa pemrograman C/C++ dengan memanfaatkan beberapa library, seperti ESP8266WiFi.h untuk koneksi jaringan, Adafruit_INA219.h untuk pembacaan sensor arus dan tegangan, serta UniversalTelegramBot.h untuk mengirim notifikasi Telegram.

```

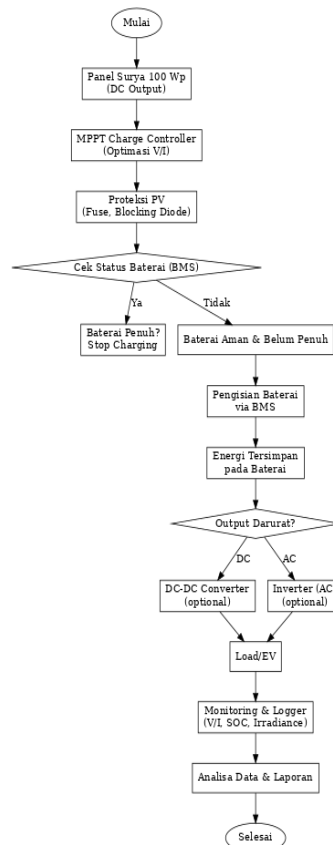
1 #include <ESP8266WiFi.h>
2 #include <UniversalTelegramBot.h>
3 #include <ArduinoJson.h>
4 #include <Adafruit_INA219.h>
5
6 // ===== WIFII =====
7 const char* ssid = "ESPTEST";
8 const char* password = "12345678";
9
10 // ===== TELEGRAM =====
11 #define BOT_TOKEN "849498863:AAHF3q9b0eCCT79Q3R8d67Fe895NM20zJA"
12 #define CHAT_ID "1798450858"
13
14 // ===== INA219 =====
15 #define PIN_ADC A0
16
17 // ===== SENSOR TEGANGAN =====
18 float R1 = 100000.0; // 100k
19 float R2 = 20000.0; // 20k
20
21 // ===== TIMING =====
22 unsigned long lastSend = 0;
23 const unsigned long interval = 10000; // 10 detik
24
25 // ===== CLIENT =====
26 WiFiClientSecure client;
27 UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, client);
28
29 void setup() {
30   Serial.begin(9600);
31   delay(500);
32
33   // I2C Modul
34   Wire.begin(D0, D1); // SDA, SCL
35
36   // INA219
37   if (!ina219.begin()) {
38     Serial.println("X INA219 tidak terdeteksi");
39     while (1);
40   }
41
42   // WIFII
43   WiFi.mode(WIFI_STA);
44   WiFi.begin(ssid, password);
45   Serial.print("Menghubungkan WIFII");
46
47   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
48     delay(500);
49     Serial.print(".");
50   }
51
52   Serial.println("\nWIFII Terhubung");
53   Serial.print("IP Address: ");
54   Serial.println(WiFi.localIP());
55 }
56
57 void loop() {
58   // Cek status sensor
59   float voltage = ina219.getVoltage();
60   float current = ina219.getCurrent();
61   float power = ina219.getPower();
62
63   // Kirim data ke Telegram
64   String json = "{\"voltage\": " + String(voltage, 2) + ", \"current\": " + String(current, 2) + ", \"power\": " + String(power, 2) + "}";
65   bot.sendMessage(CHAT_ID, json);
66
67   // Delay
68   delay(10000);
69 }

```

Gambar 4. Perancangan Kode Program Perangkat Lunak

E. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk merancang logika dan alur kerja sistem secara terstruktur, agar seluruh fungsi dan fitur yang diinginkan dapat berjalan dengan optimal. Berikut adalah *flowchart* dari sistem yang dibuat



Gambar 5. Flowchart

Flowchart tersebut menunjukkan alur kerja sistem pengisian baterai 24 V 10 Ah menggunakan panel surya 100 Wp sebagai sumber energi alternatif. Proses dimulai ketika panel surya mengubah energi matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Energi listrik yang dihasilkan kemudian dialirkan ke MPPT charge controller yang berfungsi mengatur tegangan dan arus agar panel bekerja pada titik daya maksimum, sehingga proses pengisian baterai dapat berlangsung secara optimal. Selanjutnya, energi listrik melewati rangkaian proteksi yang terdiri dari fuse dan blocking diode. Fuse berfungsi sebagai pengaman untuk memutus arus apabila terjadi kelebihan arus, sedangkan blocking diode digunakan untuk mencegah aliran arus balik dari baterai menuju panel surya. Setelah itu, energi disalurkan ke baterai melalui Battery Management System (BMS) yang berfungsi mengontrol proses pengisian dan melindungi baterai dari kondisi overcharge, overdischarge, dan gangguan lainnya.

Jika kapasitas baterai telah mencapai batas maksimum, maka proses pengisian akan dihentikan secara otomatis. Sebaliknya, jika kapasitas baterai masih di bawah batas, maka proses pengisian akan terus berlangsung hingga energi tersimpan dengan baik di dalam baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai dapat digunakan sebagai sumber daya untuk berbagai kebutuhan beban DC maupun melalui konverter sesuai kebutuhan. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur monitoring berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP8266, sensor arus INA219, dan sensor tegangan untuk memantau parameter seperti tegangan, arus, daya, dan kapasitas baterai. Data tersebut dikirimkan secara real-time melalui aplikasi Telegram sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh. Tahap akhir adalah analisis data hasil pengujian untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensi sistem sebagai sumber energi alternatif

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

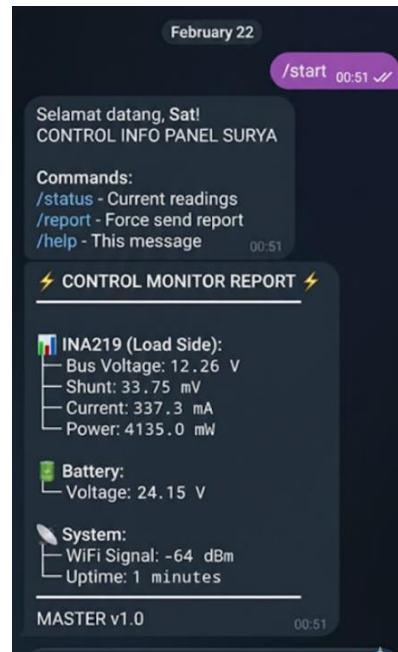
A. Hasil Perangkat Keras

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi dengan baik pada kondisi luar ruangan, dimana energi yang dihasilkan panel surya dapat mengisi baterai secara stabil dan bertahap. Desain panel surya fleksibel yang dipasang dengan bentuk melengkung bertujuan untuk meningkatkan penerimaan intensitas cahaya matahari dari berbagai sudut sepanjang hari, mulai dari pagi hingga sore. Dengan bentuk tersebut, permukaan panel dapat menangkap radiasi matahari secara lebih optimal dibandingkan posisi datar, sehingga potensi energi yang dihasilkan menjadi lebih maksimal. Selain itu, karakteristik panel fleksibel yang ringan dan mudah menyesuaikan bentuk menjadikan sistem lebih praktis dan berpotensi digunakan sebagai sumber energi alternatif yang portabel dan mandiri

**Gambar 6. Perangkat Keras**

B. Hasil Perangkat Lunak

Hasil perancangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE menunjukkan bahwa ESP8266 dapat membaca data sensor tegangan dan arus serta mengirimkannya melalui jaringan WiFi dengan baik. Data hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk notifikasi Telegram secara real-time, meliputi informasi tegangan, arus, dan daya baterai. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring IoT dapat berfungsi dengan baik dan memudahkan pemantauan kondisi pengisian baterai dari jarak jauh.



Gambar 7. Tampilan Monitoring Telegram

C. Analisis Data Hasil

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengisian baterai berbasis panel surya fleksibel 100 Wp, meliputi karakteristik panel, efisiensi MPPT, proses pengisian baterai, serta sistem proteksi dan ketahanan lingkungan. Rencana pengujian terbagi menjadi beberapa bagian :

1. Uji Karakteristik Panel (I–V Curve)

Hasil pengujian panel surya pada kondisi standar (25°C) menunjukkan bahwa tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang dihasilkan sebesar 22,4 V dan arus hubung singkat (Isc) sebesar 6,12 A. Selain itu, pada titik daya maksimum diperoleh nilai tegangan (Vmp) sebesar 18,5 V dan arus (Imp) sebesar 5,40 A, sehingga daya maksimum yang dihasilkan mencapai 99,9 W.

Daya maksimum panel dihitung menggunakan Persamaan.:

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp}$$

Tabel 1. Pengujian Panel

Suhu (°C)	Voc (V)	Isc (A)	Vmp(V)	Imp (A)	Pmax (W)	Efisiensi (%)
25	22.4	6.12	18.5	5.40	99.9	99.9
27	21.8	4.95	18.1	4.45	80.5	80.5
30	20.9	3.20	17.6	2.85	50.2	50.2

2. Uji Efisiensi MPPT

Pengujian MPPT bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengekstraksi daya maksimum dari panel surya. Efisiensi MPPT dihitung menggunakan persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{pv}} \times 100\%$$

Tabel 2. Pengujian MPPT

Ppv (W)	Pout (W)	η (%)	Waktu Settling (s)	Kondisi Uji
99.9	94.2	94.3	2.1	Statis
80.5	74.8	92.9	2.5	Statis
50.2	45.6	90.8	3.2	Dinamis

3. Uji Pengisian Baterai

Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi 24 V 10 Ah, dengan kapasitas energi total:

$$E = V \times Ah$$

$$E = 24 \times 10 = 240Wh = 0,240kWh$$

Target pengisian : 20% - 80%

Energi yang dibutuhkan :

$$0,240 \times 60\% = 0,144kWh$$

Tabel 3. Pengujian Baterai

SoC Awal (%)	SoC Akhir (%)	Arus Rata-rata (A)	Waktu Pengisian (jam)	Energi Masuk (kWh)	Energi PV (kWh)	Efisiensi Sistem (%)
20	80	3.6	4.2	0.145	0.160	90.6

4. Uji Proteksi & Keamanan

Uji fungsi pemutusan saat overcurrent, overvoltage, reverse polarity detection, dan thermal shutdown.

Tabel 4. Pengujian Keamanan

Jenis Uji Proteksi	Kondisi Uji	Respon Sistem	Status (Berhasil/Gagal)
Overcurrent	Beban > 10 A	Sistem memutuskan arus	Berhasil
Overvoltage	Tegangan > 29.4 V	Charging berhenti	Berhasil
Reverse Polarity	Polaritas dibalik	Tidak ada arus	Berhasil
Thermal Shutdown	Suhu > 60°C	Sistem shutdown	Berhasil
Isolasi DC	Pengujian isolasi	Tidak bocor	Berhasil
Tahanan Isolasi	Pengukuran	> 2 MΩ	Berhasil

5. Uji Lingkungan Sederhana

Tabel 5. Pengujian Lingkungan

Jenis Uji	Kondisi Uji (simulasi)	Respon Sistem	Status (OK/Not OK)
Getaran	Simulasi getaran ringan	Sistem normal	OK
Water Ingress	Percikan air ringan	Sistem normal	OK
Pemasangan Mekanik	Pemasangan sunroof	Stabil	OK

VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem pengisian baterai 24 V 10 Ah menggunakan panel surya fleksibel monokristalin 100 Wp dapat berfungsi dengan baik sebagai sumber energi alternatif. Panel surya mampu menghasilkan energi listrik yang kemudian dioptimalkan oleh MPPT charge controller sehingga proses pengisian baterai berlangsung secara stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai dapat diisi dari kondisi State of Charge (SoC) 20% hingga 80% dalam waktu sekitar 4,2 jam dengan arus rata-rata 3,6 A dan efisiensi sistem sebesar 90,6%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang efisien dan mampu menyimpan energi dengan baik. Selain itu, sistem proteksi seperti overcurrent, overvoltage, reverse polarity, dan thermal shutdown dapat bekerja sesuai dengan fungsinya sehingga sistem pengisian aman digunakan. Sistem juga tetap beroperasi dengan baik saat dilakukan pengujian mekanik dan simulasi lingkungan sederhana. Secara keseluruhan, prototype sistem ini dapat digunakan sebagai solusi pengisian daya alternatif yang praktis dan portabel, serta memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai sumber energi cadangan, khususnya pada kendaraan listrik atau sistem kelistrikan mandiri di daerah dengan ketersediaan sumber listrik yang terbatas..

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh civitas akademika yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan fasilitas selama ini. Penulis juga berterima kasih kepada jodoh saya atas dukungan dan doa-doanya di akhir masa menjadi mahasiswa serta teman-teman serta keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan, bantuan, dan doa sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman dan semua pihak yang telah membantu, memberikan dukungan, semangat, serta motivasi, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

REFERENSI

- [1] S. D. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 6, no. 1, pp. 40–48, 2021, doi: 10.21831/elinvo.v6i1.40429.
- [2] M. R. Pratama, J. Jamaaluddin, and I. Sulistiyowati, "Electric Bicycle Battery Charging System Design Using Solar Panel," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 71–81, 2024, doi: 10.21070/jeeeu.v8i2.1698.
- [3] I. Sulistiyowati, J. Jamaaluddin, and I. Anshory, "Hybrid Energy Storage Performance Evaluation of Fuel Cell Injection on Standalone Photovoltaic System," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 6, no. 1, pp. 41–48, 2022, doi: 10.18196/jet.v6i1.14841.
- [4] M. Fikri Nugroho, D. Riyanto, and G. Nanang Syaifuddin, "Analysis of the Effectiveness of Solar Cell Voltage Based on the Angle of Exposure to Sunlight," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 120–132, 2022, doi: 10.21070/jeeeu.v6i2.1559.
- [5] "Pr ep rin t n ot pe er re v Pr t n ot pe er ed".
- [6] U.-H. J. Myong-Jin Ju, Pyong-Hun Kim, "Pr ep rin t n ot pe er re vie we d Pr ep rin t n ot pe er," *CAMA Cent. Appl. Macroecon. Anal.*, vol. 7, no. 3, pp. 285–292, 2020.
- [7] H. Bisri and S. Syahririni, "IoT revolutionizes orchid cultivation in Indonesia with precision and efficiency," *Indones. J. Innov. Stud.*, vol. 25, no. 4, pp. 1–12, 2024, doi: 10.21070/ijins.v25i4.1181.
- [8] J. Jamaaluddin, "Rancang Bangun Pengaman Pintu Rumah, Beserta Otomasi Lampu Dan Kipas Berbasis Arduino Android," *SinarFe7*, vol. 7, no. 1, pp. 719–730, 2025.
- [9] A. Wisaksono, H. Hindarto, A. Efiyanti, and A. Ahfas, "Klasifikasi Sinyal Wicara Untuk Gerakan Kursi Roda Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 1, pp. 40–47, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.1.40-47.
- [10] T. Siagian, "Jurnal AI Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan Jurnal AI Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan," *J. AI Ulum LPPM Univ. Al Washliyah Medan*, vol. 13, no. 1, pp. 21–28, 2025.
- [11] E. T. Bouali, M. R. Abid, E. M. Boufounas, T. A. Hamed, and D. Benhaddou, "Renewable Energy Integration into Cloud IoT-Based Smart Agriculture," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 1175–1191, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3138160.
- [12] Z. Tang, Y. Yang, and F. Blaabjerg, "Power electronics: The enabling technology for renewable energy integration," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 39–52, 2022, doi: 10.17775/CSEJPES.2021.02850.

- [13] and I. C. H. Abidi, L. Sidhom, "Photovoltaic MPPT Techniques," *Energy*, vol. 16, no. 8, p. 3509, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/en16083509>
- [14] E. R. K. Pradani, "Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Topologi DC-DC Boost Converter Sistem Fotovoltaik," *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 91–96, 2024, doi: 10.33379/metrotech.v3i2.5042.
- [15] I. E. Atawi, E. Hendawi, and S. A. Zaid, "Analysis and design of a standalone electric vehicle charging station supplied by photovoltaic energy," *Processes*, vol. 9, no. 7, 2021, doi: 10.3390/pr9071246.
- [16] M. R. S. de Carvalho, R. C. Neto, E. J. Barbosa, L. R. Limongi, F. Bradaschia, and M. C. Cavalcanti, "An overview of voltage boosting techniques and step-up dc-dc converters topologies for pv applications," *Energies*, vol. 14, no. 24, 2021, doi: 10.3390/en14248230.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.