

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN LAMPU PJU SOLAR CELL MENGGUNAKAN KONTROLER ARDUINO

Antonius Padua Berot¹, Widodo Pudji Muljanto², M. Ibrahim Ashari³

Teknik Elektro S-1, ITN Malang, Indonesia

¹brotherberot@gmail.com, ²widodo_pm@lecturer.itn.ac.id, ³ibrahim_ashari@lecturer.itn.ac.id

Abstract— Kebutuhan akan penerangan jalan umum (PJU) yang efisien dan ramah lingkungan semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan kesadaran terhadap energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem PJU berbasis tenaga surya (solarsel) yang dikontrol secara otomatis menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor cahaya LDR. Panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama, yang disimpan dalam baterai melalui Solar Charge Controller (SCC), dan digunakan untuk menyalakan lampu melalui relay dan inverter. Sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya lingkungan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan lampu secara otomatis. Sistem juga terhubung ke platform ThingSpeak, memungkinkan pemantauan dan pengendalian lampu secara real-time melalui internet. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat menghasilkan daya rata-rata 112,60 W dan bekerja dengan stabil sepanjang hari. PJU berbasis solarsel ini tidak hanya efektif dalam menghemat energi, tetapi juga mendukung konsep kota pintar dan berkelanjutan.

Kata Kunci : PJU, Arduino, PJUTS, Sensor, SCC

I. PENDAHULUAN

Penerangan jalan umum (PJU) merupakan salah satu fasilitas publik yang memiliki peran penting dalam menunjang keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan, khususnya pada malam hari. Keberadaan PJU tidak hanya berfungsi sebagai penerang jalan, tetapi juga sebagai upaya untuk mengurangi potensi kecelakaan lalu lintas dan meningkatkan keamanan lingkungan sekitar [1]. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, penggunaan PJU konvensional yang bergantung pada sumber daya listrik dari jaringan PLN menjadi salah satu penyebab meningkatnya beban konsumsi energi nasional. Hal ini menimbulkan perlunya pengembangan sistem penerangan jalan yang lebih efisien dan ramah lingkungan [2].

Pemanfaatan energi surya menjadi solusi yang potensial dalam menjawab kebutuhan energi terbarukan. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) merupakan sistem penerangan yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi utama untuk menghasilkan listrik secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan PLN [3]. Selain ramah lingkungan,

PJUTS memiliki keunggulan dalam efisiensi biaya operasional karena energi yang digunakan berasal dari sumber daya alam yang tidak terbatas dan tidak menimbulkan emisi berbahaya [4]. Dengan demikian, sistem ini sangat cocok diterapkan pada daerah-daerah yang belum terjangkau jaringan listrik atau pada lokasi dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi sepanjang tahun.

Perkembangan teknologi mikrokontroler juga memberikan kontribusi besar dalam pengembangan sistem otomatisasi, termasuk pada sistem PJU. Salah satu perangkat yang umum digunakan adalah Arduino Uno, yang mampu mengendalikan nyala dan padamnya lampu secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor Light Dependent Resistor (LDR) [5]. Sistem otomatisasi ini memungkinkan penghematan energi karena lampu hanya akan menyala ketika diperlukan, yaitu saat kondisi lingkungan gelap, dan akan mati secara otomatis ketika kondisi kembali terang.

Penelitian ini merancang dan membuat sistem Lampu PJU Solarsel menggunakan kontroler Arduino, dengan tujuan untuk menciptakan sistem penerangan jalan yang efisien, hemat energi, serta beroperasi secara mandiri tanpa pasokan listrik konvensional. Sistem ini menggabungkan energi surya sebagai sumber energi utama dengan teknologi kontrol berbasis mikrokontroler untuk meningkatkan efektivitas dan keandalan sistem penerangan [6]. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi penerangan publik yang ramah lingkungan, ekonomis, serta mendukung upaya transisi menuju penggunaan energi terbarukan di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini, Bagaimana menghubungkan board Arduino ke komputer atau laptop melalui kabel USB. Board Arduino juga tidak membutuhkan downloader untuk mendownloadkan program yang telah dibuat dari komputer ke mikrokontroler. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat sistem Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) Solarsel yang dikendalikan secara otomatis untuk mengontrol lampu menggunakan

Arduino yang di buat secara *prototype*.

II. LANDASAN TEORI

A. Penerangan Jalan Umum (PJU)

Penerangan jalan umum merupakan layanan publik yang penting karena dapat memengaruhi tingkat aktivitas manusia serta memberikan keselamatan bagi pengendara dan pejalan kaki. Fenomena kurang optimalnya sistem penerangan dapat menimbulkan dampak negatif seperti meningkatnya angka kriminalitas, kecelakaan lalu lintas, serta gangguan penglihatan akibat pencahayaan yang tidak sesuai standar [6]. Oleh sebab itu, sistem penerangan jalan perlu dirancang dengan mempertimbangkan jenis tiang, sumber cahaya, warna lampu, serta tata letak terhadap badan jalan agar efisien dan estetis.

Namun, implementasi standar tersebut di lapangan masih menghadapi banyak kendala seperti keterbatasan anggaran daerah, kurangnya pemeliharaan rutin, serta ketergantungan pada pasokan listrik konvensional dari PLN. Kondisi ini menyebabkan sebagian PJU tidak berfungsi dengan baik, baik karena kerusakan komponen maupun gangguan pasokan listrik.

Selain aspek keselamatan, penerangan jalan juga berhubungan erat dengan efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Arisman (2023) menjelaskan bahwa penerapan teknologi lampu hemat energi seperti LED dan penggunaan sistem kontrol otomatis dapat meningkatkan efektivitas penerangan sekaligus menurunkan konsumsi listrik secara signifikan. Teknologi tersebut mampu memperpanjang umur lampu, mengurangi biaya operasional, dan mendukung kebijakan energi berkelanjutan. Dalam konteks pengelolaan infrastruktur modern, penerangan jalan yang efisien dan cerdas menjadi salah satu indikator kemajuan tata kota yang ramah lingkungan.

Dengan demikian, penerangan jalan umum memiliki peran strategis dalam mendukung keamanan, efisiensi energi, dan pembangunan berkelanjutan. Peningkatan kualitas dan efektivitas sistem PJU memerlukan dukungan dari berbagai aspek seperti penerapan teknologi kontrol otomatis, penggunaan sumber energi terbarukan, serta penegakan standar teknis yang konsisten di seluruh wilayah. Upaya ini diharapkan dapat menciptakan sistem penerangan jalan yang mandiri, hemat energi, dan ramah lingkungan.

Adapun kelebihan dan kekurangan dari PJU yaitu sebagai berikut:

Kelebihan PJU:

- Ramah lingkungan soalnya menggunakan energi matahari sebagai sumber utama, sehingga tidak menghasilkan polusi udara
- Hemat biaya soalnya tidak ada biaya listrik bulanan yang perlu dibayar
- Mudah di pasang dan dipelihara dan dapat dipasang di berbagai lokasi, termasuk daerah terpencil yang sulit

dijangkau jaringan listrik.

Kekurangan PJU:

- Cuaca ekstrem seperti hujan deras, badai dapat mengganggu kinerja panel surya dan komponen elektronik.
- Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memengaruhi efisiensi panel surya dan komponen elektronik.
- Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan korosi pada komponen logam dan mengganggu kinerja sensor.

B. Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS)

Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) merupakan alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utama [6]. Sistem PJUTS terdiri dari panel surya, baterai, solar charge controller, dan lampu LED yang bekerja secara mandiri tanpa koneksi ke jaringan PLN. Energi dari panel surya diubah menjadi energi listrik DC, disimpan di baterai, dan digunakan untuk menyalakan lampu pada malam hari.

Sistem ini telah diterapkan di beberapa wilayah, salah satunya di Kota Bandung, dengan hasil yang menunjukkan efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional. Selain itu, proses perencanaan PJUTS yang baik dapat disimulasikan menggunakan perangkat lunak seperti Dialux, yang membantu menentukan tata letak dan intensitas cahaya ideal sesuai kebutuhan [6].

Dalam konteks teknis, desain PJUTS membutuhkan analisis menyeluruh mulai dari pemilihan panel surya (modul), baterai penyimpan, sistem pengontrol (solar charge controller), lampu LED sebagai beban, hingga tiang dan fondasi. Sebagai contoh, sebuah penelitian merancang sistem PJUTS di akses Desa Wisata Mantar Kabupaten Sumbawa Barat yang membutuhkan 166 titik dengan jarak antar tiang 35 m dan menggunakan panel surya 150 Wp serta lampu LED 40 W untuk mencapai intensitas pencahayaan yang memadai (Kurniawan, Yamin, & Sakti, 2023). Selain itu, simulasi dengan perangkat lunak seperti DIALux juga dapat digunakan untuk menghitung intensitas cahaya dan jarak optimal antar tiang seperti dijabarkan oleh Yasa & Sarief (2021) yang merancang 158 titik lampu dengan ukuran tiang 7 m jarak antar tiang 25 m menghasilkan intensitas 6,72 lux (Yasa & Sarief, 2021). Dengan demikian, pendekatan simulasi membantu menghindari pemborosan pemasangan dan memastikan sistem PJU bekerja secara efisien.

Selain aspek teknis dan simulasi, faktor ekonomi juga menjadi pertimbangan penting dalam implementasi PJUTS. Analisis cost-benefit yang dilakukan pada daerah tertinggal menunjukkan bahwa instalasi PJUTS secara ekonomi layak dan memberikan manfaat sosial nyata di wilayah terpencil yang tidak mudah dijangkau oleh jaringan listrik (Adiningsih & Nurwahida, 2023). Hal ini menegaskan bahwa sistem PJUTS tidak hanya berdampak pada aspek penerangan dan keamanan, tetapi juga pada pengembangan wilayah dan pengurangan kesenjangan listrik antar daerah.

C. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah salah satu pembangkit listrik yang sangat sederhana dan mudah dipasang di rumah, sehingga PLTS merupakan salah satu sarana untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang sangat ramah lingkungan karena memanfaatkan sinar matahari [7].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau *Photovoltaic Power Plant* merupakan sistem konversi energi yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung melalui sel surya. Menurut Handayani et al. (2024), sistem PLTS terdiri atas beberapa komponen utama yaitu modul surya (panel), pengatur pengisian (*charge controller*), baterai sebagai penyimpan energi, dan inverter untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Panel surya berfungsi menangkap energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik, sedangkan baterai berfungsi sebagai penyimpan energi agar listrik tetap dapat digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung. Secara umum, PLTS dibedakan menjadi dua jenis sistem, yaitu PLTS on-grid dan PLTS off-grid. Sistem *on-grid* terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN, sehingga energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan bersama atau dijual kembali ke jaringan. Sementara itu, sistem *off-grid* bekerja secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik konvensional dan banyak digunakan di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik (Setyawan & Ulinuha, 2022).

Keunggulan utama PLTS dibandingkan pembangkit konvensional adalah sifatnya yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. Selain itu, PLTS memiliki biaya operasional rendah, umur panel yang panjang (sekitar 20–25 tahun), serta dapat diintegrasikan dengan sistem otomatisasi dan *smart grid* (Yanuariza, 2015). Penggunaan PLTS di sektor rumah tangga, fasilitas umum, dan proyek pemerintah seperti PJUTS menjadi salah satu langkah konkret dalam mendukung transisi energi bersih di Indonesia.

Dengan demikian, Pembangkit Listrik Tenaga Surya tidak hanya menjadi solusi teknis untuk menyediakan energi listrik di daerah terpencil, tetapi juga merupakan bagian dari strategi nasional dalam mewujudkan sistem energi berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

D. Photovoltaic

Photovoltaic merupakan sumber listrik yang berasal dari pembangkit listrik tenaga Surya, sistem photovoltaic hanya dapat menghasilkan daya keluar apabila modul photovoltaic disinari matahari, maka photovoltaic system mengirim radiasi menggunakan mekanisme penyimpanan energi, agar energi listrik tetap tersedia dan dapat digunakan apabila matahari sudah berada diujung petang dan pada saat matahari sudah tidak menyinari bumi (malam hari). Baterai merupakan peralatan yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang diperoleh dari array photovoltaic. Salah satu alat penyimpan energi listrik adalah baterai, selain itu dapat juga digunakan untuk mengatur sistem tegangan sumber arus yang melewati kemampuan array photovoltaic [8].

Fotovoltaik (*Photovoltaic*) merupakan teknologi yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari secara

langsung menjadi energi listrik melalui suatu perangkat yang disebut sel surya (*solar cell*). Istilah fotovoltaik berasal dari dua kata, yaitu *photo* yang berarti cahaya dan *voltaic* yang merujuk pada listrik atau tegangan listrik. Dengan demikian, teknologi fotovoltaik dapat diartikan sebagai proses pembangkitan listrik yang dihasilkan dari energi cahaya matahari.

Pada sistem fotovoltaik, energi radiasi matahari diserap oleh material semikonduktor yang terdapat pada sel surya. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, energi foton dari cahaya tersebut akan menyebabkan elektron pada material semikonduktor berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Perpindahan elektron ini menghasilkan aliran elektron bebas yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai arus listrik. Proses inilah yang dikenal sebagai efek fotovoltaik (*photovoltaic effect*).

Teknologi fotovoltaik merupakan salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang dan tidak menimbulkan polusi suara selama proses operasinya. Oleh karena itu, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pembangkit listrik tenaga surya, sistem penerangan, sistem monitoring, serta berbagai perangkat elektronik yang membutuhkan sumber energi mandiri.

Prinsip kerja fotovoltaik didasarkan pada kemampuan material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotovoltaik. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, foton yang terdapat pada cahaya tersebut akan diserap oleh material semikonduktor, biasanya silikon. Energi dari foton ini menyebabkan elektron pada atom semikonduktor terlepas dari ikatannya dan berpindah dari pita valensi ke pita konduksi sehingga menghasilkan elektron bebas. Pada sel surya terdapat dua lapisan semikonduktor yaitu lapisan tipe P dan tipe N yang membentuk sambungan P-N (*P-N junction*). Sambungan ini menghasilkan medan listrik internal yang mengarahkan pergerakan elektron bebas menuju satu arah tertentu. Pergerakan elektron tersebut menimbulkan aliran arus listrik searah (DC). Arus listrik yang dihasilkan kemudian dapat dimanfaatkan untuk menyalakan beban listrik secara langsung atau disimpan terlebih dahulu dalam baterai untuk digunakan pada waktu lain. Dengan demikian, sistem fotovoltaik mampu mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan perangkat elektronik maupun sistem kelistrikan lainnya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi penelitian

Pada penelitian ini, lokasi pengambilan data diambil di area lab praktikum energi terbarukan

B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan dalam perakitan ini adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya



Gambar 1. Panel Surya

Pada gambar 1 Merupakan panel surya dengan jenis Polycrystalline Silicon yang dapat dilihat pada gambar 1 sebanyak 2 buah dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Peak Power (Pmax)	100 Wp
Optimum Operating Voltage (Vmp)	18.0 V
Optimum Operating Current (Imp)	5.55 A
Open Circuit Volt (Voc)	21.24 V
Short Circuit Current (Isc)	6.22 A
Module Effisiensi (EFF)	17.6%
Dimensions (MM)	1020*670*30

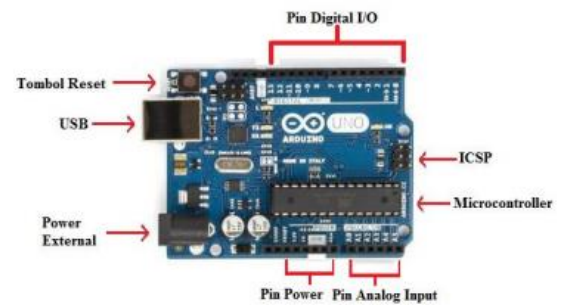
Pada tabel 1 merupakan spesifikasi dari panel surya yang di gunakan pada penelitian ini dengan jenis polycrystalline dengan gambar panel ada pada gambar 1.

Panel Surya merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses yang disebut efek fotovoltaiik. Panel surya menjadi salah satu teknologi penting dalam pemanfaatan energi terbarukan karena mampu menghasilkan listrik tanpa menghasilkan polusi serta memanfaatkan sumber energi yang melimpah di alam, yaitu sinar matahari.

Panel surya tersusun dari sejumlah sel surya (solar cell) yang dirangkai secara seri maupun paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Setiap sel surya biasanya terbuat dari bahan semikonduktor, terutama Silikon, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan aliran elektron ketika terkena cahaya matahari.

Dalam sistem elektronika, panel surya sering digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk berbagai perangkat, seperti sistem penerangan, sistem monitoring lingkungan, perangkat Internet of Things (IoT), maupun sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan secara langsung atau disimpan terlebih dahulu dalam baterai untuk digunakan pada waktu lain

2. Arduino



Gambar 2 Arduino

Pada gambar 2 merupakan Arduino yang berfungsi sebagai pengendali utama (kontroler) dalam sistem lampu PJU otomatis. Peran utamanya adalah membaca sensor cahaya (LDR) dan mengontrol nyala- mati lampu melalui modul relay, berdasarkan kondisi lingkungan (terang atau gelap). Arduino adalah sebuah platform elektronika berbasis mikrokontroler yang bersifat open-source yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam membuat berbagai sistem elektronika, terutama pada bidang otomasi, robotika, dan sistem kendali. Platform ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu perangkat keras (hardware) berupa papan mikrokontroler dan perangkat lunak (software) berupa lingkungan pemrograman yang disebut Arduino IDE.

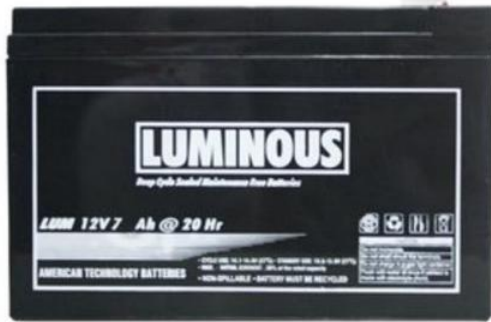
Arduino dikembangkan untuk mempermudah proses pengembangan sistem embedded bagi pemula maupun peneliti. Dengan menggunakan Arduino, pengguna dapat membaca berbagai input dari sensor, memproses data tersebut melalui program yang dibuat, kemudian menghasilkan output untuk mengendalikan perangkat lain seperti lampu, motor, relay, atau aktuator lainnya.

Salah satu keunggulan utama Arduino adalah kemudahan penggunaannya. Sistem pemrograman yang digunakan relatif sederhana karena menggunakan bahasa pemrograman berbasis C++ yang telah disederhanakan sehingga lebih mudah dipahami.

Prinsip kerja Arduino pada dasarnya mengikuti konsep input-process-output. Pertama, Arduino menerima data dari berbagai sensor sebagai input. Data tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler sesuai dengan program yang telah dibuat oleh pengguna. Setelah itu, Arduino akan menghasilkan output berupa perintah untuk mengendalikan perangkat lain seperti LED, motor, relay, atau modul elektronik lainnya.

Sebagai contoh dalam sistem otomatis berbasis cahaya, sensor LDR digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya di lingkungan. Data dari sensor tersebut kemudian dibaca oleh Arduino melalui pin analog. Berdasarkan nilai yang diterima, Arduino dapat menentukan apakah lampu harus dinyalakan atau dimatikan secara otomatis.

3. Baterai



Gambar 3 Baterai

Pada gambar 3 merupakan gambar dari Baterai yang menyimpan energi dalam bentuk kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik saat dibutuhkan. Ini memungkinkan perangkat tetap beroperasi tanpa sumber listrik langsung (seperti listrik PLN). Baterai merupakan suatu perangkat elektrokimia yang berfungsi untuk menyimpan energi kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui proses reaksi kimia. Baterai banyak digunakan sebagai sumber daya listrik pada berbagai perangkat elektronik, terutama pada sistem yang membutuhkan sumber energi portabel atau tidak terhubung langsung dengan jaringan listrik.

Dalam sistem elektronika, baterai sering digunakan sebagai sumber tegangan DC (Direct Current) untuk menyalakan berbagai komponen seperti sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, maupun aktuator. Pada sistem berbasis Arduino, baterai sering dimanfaatkan sebagai sumber daya utama agar perangkat dapat bekerja secara mandiri tanpa harus terhubung dengan komputer atau adaptor listrik.

4. Solar Charge Controller (SCC)



Gambar 4 Solar Charge Controller (SCC)

Pada gambar 4 merupakan Solar charge controller (SCC) akan mengontrol arus dan tegangan yang masuk ke baterai agar tidak melebihi batas.

Solar Charge Controller (SCC) pada sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS)

berfungsi mengatur proses pengisian dan pelepasan energi listrik secara otomatis dengan menjaga kestabilan tegangan serta keamanan baterai. Sistem dikendalikan oleh Arduino Uno yang memproses data dari sensor tegangan dan arus panel surya, sensor cahaya (LDR), serta mengendalikan relay pengisian dan beban.

Pada tahap awal, sistem melakukan proses inialisasi dengan mengaktifkan sensor tegangan panel surya, sensor arus panel surya, sensor cahaya (LDR), serta relay pengisian baterai dan relay beban penerangan. Selain itu, nilai batas tegangan minimum pengisian dan tegangan maksimum baterai ditetapkan sebagai parameter proteksi untuk mencegah terjadinya overcharge maupun overdischarge pada baterai.

Selanjutnya, sistem secara kontinu membaca parameter listrik panel surya berupa tegangan keluaran panel (V_{Panel}) dan arus keluaran panel (I_{Panel}) menggunakan sensor yang terhubung dengan Arduino Uno. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang terbaca, daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya dihitung menggunakan persamaan dasar kelistrikan, yaitu:

$$P_{Panel} = V_{Panel} \times I_{Panel} \quad (1)$$

di mana P_{Panel} merupakan daya keluaran panel surya dalam satuan watt (W). Nilai daya ini digunakan sebagai indikator utama untuk menentukan kondisi operasional sistem, khususnya apakah panel surya mampu melakukan proses pengisian baterai atau tidak.

Energi listrik yang dihasilkan panel surya dihitung berdasarkan akumulasi daya dalam interval waktu tertentu. Karena pengambilan data dilakukan setiap satu jam, maka energi listrik yang dihasilkan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_{Panel} = P_{Panel} \times t \quad (2)$$

dengan E_{Panel} adalah energi listrik dalam satuan watt-hour (Wh) dan t adalah waktu pengamatan (jam). Perhitungan ini digunakan oleh sistem untuk memantau jumlah energi yang masuk ke baterai selama periode pengisian.

Pada kondisi siang hari, ketika tegangan panel surya berada di atas batas minimum pengisian, SCC akan menghubungkan panel surya ke baterai sehingga proses pengisian dapat berlangsung. Selama proses ini, SCC secara terus-menerus memantau tegangan baterai. Apabila tegangan baterai masih berada di bawah batas maksimum, maka pengisian dilanjutkan. Sebaliknya, ketika tegangan baterai telah mencapai batas maksimum yang ditetapkan, SCC akan secara otomatis memutus proses pengisian sebagai bentuk proteksi overcharge.

Seiring berkurangnya intensitas cahaya pada sore hari, tegangan dan arus panel surya akan menurun secara bertahap. SCC tetap memantau kondisi ini dan secara otomatis menghentikan proses pengisian ketika tegangan panel surya tidak lagi mencukupi. Pada kondisi malam hari, ketika panel surya tidak menghasilkan

energi listrik, sistem beralih ke mode pelepasan energi (discharge), di mana baterai berfungsi sebagai sumber daya utama.

Pada mode pelepasan energi, sensor LDR mendeteksi kondisi lingkungan gelap dan mengirimkan sinyal ke Arduino Uno. Berdasarkan sinyal tersebut, Arduino mengaktifkan relay beban sehingga lampu LED dapat menyala menggunakan energi yang tersimpan dalam baterai. Energi listrik yang digunakan oleh beban penerangan dihitung dengan persamaan:

$$E_{Beban} = P_{Beban} \times t \quad (3)$$

Dengan P_{Beban} adalah daya lampu LED dan t adalah lama waktu operasi. Selama proses pelepasan energi, SCC tetap memantau tegangan baterai dan akan memutuskan beban apabila tegangan baterai turun hingga batas minimum yang telah ditentukan, guna mencegah terjadinya overdischarge dan memperpanjang umur baterai.

5. Relay



Gambar 5 Relay

Pada gambar 5 merupakan gambar Relay sebagai saklar elektronik yang dikendalikan sinyal listrik dari mikrokontroler seperti Arduino, berfungsi menghubungkan atau memutuskan arus listrik ke lampu PJU sesuai kondisi cahaya atau waktu. Relay merupakan suatu komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar (switch) yang dioperasikan secara elektrik. Relay digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik dalam suatu rangkaian dengan memanfaatkan prinsip kerja elektromagnetik. Komponen ini sangat umum digunakan dalam berbagai sistem elektronika, terutama pada sistem kontrol otomatis yang memerlukan pengendalian perangkat dengan tegangan atau arus yang lebih besar.

Dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti Arduino, relay sering digunakan sebagai penghubung antara rangkaian kontrol bertegangan rendah dengan perangkat listrik bertegangan lebih tinggi. Dengan menggunakan relay, mikrokontroler dapat mengendalikan perangkat seperti lampu, motor listrik, atau peralatan rumah tangga tanpa harus terhubung langsung dengan tegangan tinggi

6. Sensor LDR



Gambar 6 Sensor LDR

Pada gambar 6 merupakan Sensor LDR yang mengubah resistansi sesuai intensitas cahaya dan digunakan pada lampu jalan surya berbasis Arduino untuk deteksi siang/malam.

Sensor LDR (Light Dependent Resistor) adalah salah satu jenis sensor cahaya yang bekerja berdasarkan perubahan nilai resistansi akibat intensitas cahaya yang diterima. LDR termasuk komponen elektronika pasif yang banyak digunakan dalam sistem otomatisasi berbasis cahaya karena konstruksinya sederhana, harga relatif murah, serta mudah diintegrasikan dengan berbagai rangkaian elektronika maupun mikrokontroler.

Secara umum, LDR merupakan resistor yang nilai hambatannya tidak tetap, melainkan berubah-ubah tergantung pada jumlah cahaya yang mengenainya. Ketika sensor berada dalam kondisi gelap atau menerima sedikit cahaya, nilai resistansinya akan sangat besar, biasanya berkisar antara ratusan kilo-ohm hingga mega-ohm. Sebaliknya, ketika terkena cahaya yang cukup terang, nilai resistansinya akan menurun secara signifikan hingga hanya beberapa ratus ohm atau beberapa kilo-ohm. Perubahan resistansi inilah yang kemudian dimanfaatkan dalam rangkaian elektronika untuk mendeteksi tingkat intensitas cahaya.

C. Perancangan Penelitian

Tujuan pembuatan lampu PJU solar sel berbasis Arduino adalah untuk memanfaatkan energi matahari secara mandiri, mengurangi ketergantungan energi fosil dan emisi karbon, mengoptimalkan kontrol cerdas, menyesuaikan dengan lingkungan, dan menekan biaya operasional.

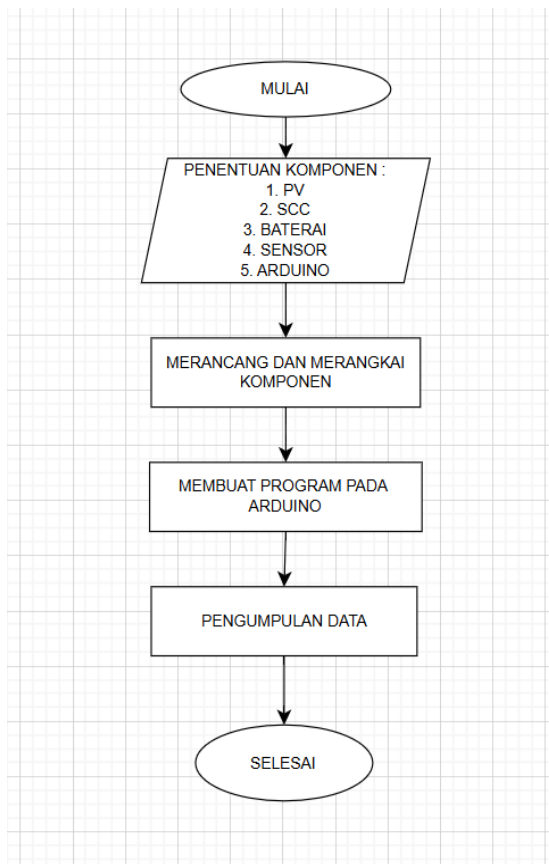
D. Spesifikasi Sistem

Adapun spesifikasi sistem yang dibuat pada penelitian ini adalah bertujuan untuk mengetahui hasil daya yang dihasilkan oleh jatuhnya dengan ketinggian 5meter untuk menggerakkan turbin yang sudah disambungkan dengan

pulley yang dimana nantinya pulley akan disambung dengan timbangan gantung digital dan span sekrup.

a. Tahap pembuatan Alat

Desain pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) melibatkan pembuatan flowchart penelitian. Sistem ini memanfaatkan pompa tenaga surya untuk menaikkan air dari tandon bawah ke tandon atas, sehingga aliran air menggerakkan turbin dan generator untuk menghasilkan listrik.

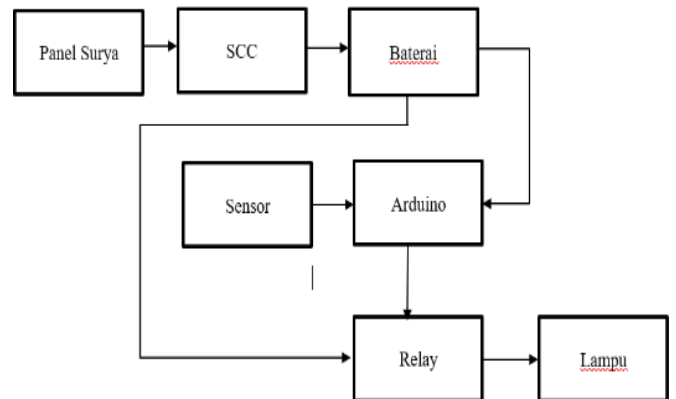


Gambar 7 Flowchart Penelitian

Pada gambar 7 Flowchart sistem yang ditunjukkan pada Gambar 7 menggambarkan tahapan perancangan dan implementasi sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS). Proses diawali dengan tahap inisialisasi, dilanjutkan dengan penentuan komponen utama sistem yang meliputi panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, sensor tegangan dan arus, serta mikrokontroler Arduino. Selanjutnya dilakukan perancangan dan perakitan seluruh komponen sesuai dengan fungsi masing-masing. Tahap berikutnya adalah pembuatan dan pengunggahan program pada Arduino sebagai pengendali sistem. Setelah sistem beroperasi, dilakukan proses pengumpulan data untuk keperluan analisis kinerja. Seluruh tahapan tersebut menandai selesainya proses perancangan dan

pengujian sistem.

b. Blok Diagram Alat



Gambar 8 Blok Diagram Keseluruhan Sistem

pada Gambar 8 merupakan Blok diagram sistem yang menunjukkan rancangan kerja PJUTS yang terdiri dari panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, sensor cahaya (LDR), Arduino Uno, relay, dan lampu sebagai beban. Panel surya menghasilkan energi listrik yang diatur oleh SCC sebelum disimpan ke dalam baterai. Sensor LDR mendeteksi kondisi cahaya lingkungan dan mengirimkan sinyal ke Arduino Uno sebagai pengendali utama. Berdasarkan kondisi tersebut, Arduino mengaktifkan atau menonaktifkan relay untuk menghubungkan baterai dengan lampu, sehingga sistem penerangan dapat beroperasi secara otomatis sesuai kondisi siang dan malam.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Sistem PJTS

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) yang terdiri dari panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, Arduino Uno, sensor LDR, relay, dan lampu LED sebagai beban. Sistem dirakit pada papan prototipe sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 dan diuji selama 24 jam dengan interval pengambilan data satu jam. Pengujian ini bertujuan untuk menilai kemampuan sistem dalam menghasilkan energi listrik dari radiasi matahari serta kinerja kendali otomatis dalam mengatur proses pengisian baterai dan pengoperasian lampu.



Gambar 9. Perancangan Prototype PLTS

Pada gambar 9 merupakan Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan. Pada siang hari, panel surya menghasilkan energi listrik yang disimpan ke dalam baterai melalui SCC, sedangkan pada malam hari energi tersebut digunakan untuk menyalakan lampu penerangan.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran

Jam	V Panel	A Panel	Daya (W)	Energi (Wh)
00.00-01.00	0	0	0	0
01.00-02.00	0	0	0	0
02.00-03.00	0	0	0	0
03.00-04.00	0	0	0	0
04.00-05.00	0	0	0	0
05.00-06.00	0	0	0	0
06.00-07.00	10	0.3	3	3
07.00-08.00	12	0.6	7.2	7.2
08.00-09.00	17	2.5	42.5	42.5
09.00-10.00	17.2	2.8	48.2	48.2
10.00-11.00	17.3	2.9	50.2	50.2
11.00-12.00	17.3	2.9	50.2	50.2
12.00-13.00	17.2	2.8	48.2	48.2
13.00-14.00	17	2.5	42.5	42.5
14.00-15.00	14	1	14	14
15.00-16.00	13	0.8	10.4	10.4
16.00-17.00	12	0.5	6	6
17.00-18.00	10	0.3	3	3
18.00-19.00	0	0	0	0
19.00-20.00	0	0	0	0
20.00-21.00	0	0	0	0
21.00-22.00	0	0	0	0
22.00-23.00	0	0	0	0

Berdasarkan data pengukuran pada Tabel 2, panel surya menghasilkan daya maksimum sebesar 50,2 W pada pukul 10.00–12.00 dengan tegangan 17,3 V dan arus 2,9 A. Pada pagi dan sore hari, daya yang dihasilkan menurun hingga di bawah 10 W akibat berkurangnya intensitas radiasi matahari. Total energi listrik harian yang dihasilkan panel surya mencapai 315,2 Wh dengan rata-rata daya sekitar 35 W selama periode aktif (08.00–17.00).

Hasil ini sejalan dengan penelitian Purwoto et al. [12] yang menyatakan bahwa modul surya berkapasitas 100 Wp mampu menghasilkan energi sekitar 0,3–0,35 kWh per hari pada kondisi cuaca cerah. Stabilitas tegangan panel pada rentang 17–17,3 V menunjukkan bahwa SCC bekerja optimal dalam menjaga kestabilan pengisian dan melindungi baterai dari kondisi *overcharge* [15].

Energi beban untuk lampu LED selama 12 jam operasi malam hari adalah sebesar 180 Wh. Dengan energi harian yang dihasilkan panel sebesar 315,2 Wh, sistem memiliki surplus energi sebesar 135,2 Wh. Hal ini menunjukkan bahwa hanya sekitar 57,1% energi yang digunakan untuk beban, sedangkan 42,9% sisanya tersimpan sebagai cadangan energi di dalam baterai. Proporsi ini tergolong efisien untuk sistem PLTS *off-grid* skala kecil dan memberikan margin keamanan energi yang memadai [11].

Surplus energi tersebut penting untuk menjaga kontinuitas operasi sistem pada kondisi cuaca mendung atau intensitas radiasi matahari rendah. Dengan efisiensi sistem sekitar 78%, energi efektif yang diterima beban tetap melebihi kebutuhan minimum, sehingga sistem dapat beroperasi secara stabil. Nilai efisiensi ini masih berada dalam kisaran efisiensi sistem PLTS *off-grid* sebagaimana dilaporkan oleh Handayani et al. [11].

B. Analisis Perancangan Komponen Sistem

Perhitungan kebutuhan energi dilakukan berdasarkan beban lampu sebesar 12 W yang beroperasi selama 11 jam, sehingga energi beban sebesar 132 Wh. Dengan nilai *Peak Sun Hours* (PSH) sebesar 3,8 jam, kapasitas minimum panel surya yang dibutuhkan adalah 41,6 Wp. Nilai ini kemudian dibulatkan menjadi 50 Wp untuk meningkatkan faktor keamanan sistem.

energi dua hari operasi dengan tegangan baterai 12 V dan *Depth of Discharge* (DoD) 80%, sehingga diperoleh kapasitas minimum sebesar 27,5 Ah dan dibulatkan menjadi 30 Ah. Pemilihan SCC berkapasitas 30 A dinilai telah sesuai dengan kebutuhan sistem.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi komponen yang digunakan mampu memenuhi kebutuhan daya penerangan selama 10–12 jam per malam, sejalan dengan temuan Efendi dan Andriawan [7]. Selain itu, kestabilan tegangan dan arus juga mendukung kinerja sistem otomatis berbasis Arduino dan sensor LDR, sebagaimana ditekankan oleh Yasa dan Sarief [6].

Secara keseluruhan, hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu beroperasi secara optimal, memenuhi kebutuhan energi penerangan jalan, serta menghasilkan surplus energi yang cukup sebagai cadangan. Produksi energi harian sebesar 315,2

Wh tergolong efisien untuk sistem penerangan skala kecil dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai sistem *smart lighting* berbasis energi terbarukan. Temuan ini mendukung pemanfaatan PLTS sebagai solusi penerangan mandiri yang berkelanjutan, khususnya di wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN [4][6][11].

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS) menggunakan kontroler Arduino, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem PJU tenaga surya berbasis Arduino Uno berhasil dirancang dan direalisasikan dengan komponen utama berupa panel surya, Solar Charge Controller (SCC), baterai, sensor LDR, relay, dan lampu LED sebagai beban penerangan.
2. Panel surya berkapasitas 100 Wp mampu menghasilkan energi listrik harian sebesar 315,2 Wh, yang cukup untuk memenuhi kebutuhan beban lampu LED sebesar 12 W selama 11–12 jam operasional pada malam hari.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa produksi energi listrik mulai optimal pada pukul 08.00 hingga 16.00, dengan daya maksimum tercapai pada rentang 10.00–12.00, seiring dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi.
4. Sistem kendali otomatis menggunakan sensor LDR dan Arduino dapat bekerja dengan baik dalam mengatur nyala dan mati lampu secara otomatis berdasarkan kondisi intensitas cahaya lingkungan, sehingga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi.
5. Solar Charge Controller berfungsi secara optimal dalam mengatur proses pengisian baterai dan menjaga kestabilan tegangan, sehingga baterai terlindungi dari kondisi overcharge dan overdischarge.
6. Secara keseluruhan, sistem PJUTS yang dirancang telah memenuhi kebutuhan penerangan jalan skala kecil, bersifat mandiri, ramah lingkungan, serta berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi listrik konvensional (PLN).

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Natasya and H. Santoso, "Prototipe Aplikasi Smart Lighting Untuk Mengontrol Lampu Jalan Berbasis Android Menggunakan Esp32," *Sibatik J. | Vol.*, vol. 2, no. 8, pp. 2581–2598, 2023, [Online]. Available: <https://publish.ojs-indonesia.com/index.php/SIBATIK>
- [2] R. S. Poliyama, F. E. P. Surusa, and R. K. Abdullah, "Rancang Bangun Alat Sistem Monitor Lampu Jalan Umum Tenaga Surya Berbasis Teknologi Lo - Ra," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 34–40, 2021, doi: 10.37905/jjee.v3i2.10202.
- [3] F. Fikri Siregar, R. Nauli Lubis, and F. Habibi, "Pemasangan Lampu Jalan Spesifikasi Solar Cell 90 WP di Desa Tumpatan Nibung," *ABDI SABHA (Jurnal Pengabd. Kpd. Masyarakat)*, vol. 3, no. 2, pp. 227–234, 2022, doi: 10.53695/jas.v3i2.684.
- [4] N. Nadhiroh, A. Damar Aji, K. Kusnadi, and M. Dwiyaniti, "Instalasi Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Pjuts) Untuk Warga Guha Kulon Klapanunggal," *Dharmakarya*, vol. 11, no. 1, p. 59, 2022, doi: 10.24198/dharmakarya.v11i1.36331.
- [5] J. M. TAMBUNAN, A. G. Hutajulu, and H. Husada, "Perancangan Dan Penataan Penerangan Jalan Umum Dengan Aplikasi Dialux evo 8.2 Di Jalan Depok Cilodong," *Energi & Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 111–120, 2020, doi: 10.33322/energi.v12i2.982.
- [6] M. T. Yasa and I. Sarief, "PERENCANAAN PENERANGAN JALAN UMUM TENAGA SURYA (PJUTS) DAN SIMULASI DIALux (STUDI KASUS JALAN KOLONEL MASTURI CIMAHI)," *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 6, no. 1, p. 7, 2021, doi: 10.32897/infotronik.2021.6.1.606.
- [7] A. Efendi and A. H. Andriawan, "Analisis Perbandingan Performa Penerangan Jalan Umum (PJU) di Jalan Gajah Putih dan Jalan Tambah Cemandi Sidoarjo," *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro dan Inform.*, vol. 2, no. 3, pp. 61–71, 2023.
- [8] P. J. U. Ts, "BERBASIS TENAGA SURYA YANG TERSEBAR DI AREA," vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2022.
- [9] W. Purnomo, S. B. Mulia, and M. Fikri, "Rancang Bangun Prototype Pembersih Solar Panel Otomatis Pada Rooftop Berbasis Mikrokontroler," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 55–64, 2023, doi: 10.37058/jeee.v5i1.8540.
- [10] R. Yanuariza, "Pengaruh Variasi Pendinginan Terhadap Peforma Photovoltaik Kapasitas 100 WP Dengan Variasi Sudut Kemiringan 0°, 5° dan 10°. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan," no. October, 2015.
- [11] Y. S. Handayani, M. Hendy Jaza, A. Kurniawan, and B. Istijono, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat OFF-GRID System Pada Gedung LAB Terpadu II Fakultas Teknik Universitas Bengkulu," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 14, no. 1, pp. 102–111, 2024, doi: 10.33369/jamplifier.v14i1.34626.
- [12] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, doi: 10.23917/emitor.v18i01.6251.
- [13] A. Setyawan and A. Ulinuha, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Untuk Supply Charge Station," *Transmisi*, vol. 24, no. 1, pp. 23–28, 2022, doi: 10.14710/transmisi.24.1.23-28.
- [14] D. P. Kosasih, "Mesa Jurnal Fakultas Teknik Universitas Subang," *Mesa J. Fak. Tek. Univ. Subang*, vol. 2, no. 2, pp. 33–45, 2018, [Online]. Available: <https://www.ejournal.unsub.ac.id/index.php/FTK/arti>

cle/view/370

- [15] B. Dilla, B. Widi, S. Wilyanti, A. Jaenul, Z. M. Antono, and A. Pangestu, "Implementasi Solar Charge Controller Untuk Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Sumber Energi Hybrid Pada Sepeda Motor Listrik," *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 128–135, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.53327.



VII. BIODATA PENULIS

Penulis di lahirkan pada tanggal 14 November 1999 Kabupaten Manggarai. Penulis bernama Antonius Padua Berot yang merupakan anak ke-5 dari 5 bersaudara Penulis menyelesaikan sekolah kejuruan di SMK Penerbangan Bali tahun 2016 dengan jurusan Teknik Elektrical Avionic Instrumen. Penulis melanjutkan pendidikan studi di perguruan tinggi Swasta Instituti Teknologi Nasional Malang Progam studi teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi teknik energi listrik.selama mengikuti komunitas energi baru terbarukan ITN Malang 2019.