

RANCANG BANGUN PROTOTIPE SMART PANEL SURYA BERBASIS IOT DENGAN FITUR AUTO-PARK DAN SOLAR SHIELD MENGGUNAKAN NODEMCU

Muh. Fausan¹, Ridwang², Adriani³, Nurmin D⁴

¹²³⁴Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

e-mail: muhfausan191102@gmail.com¹, ridwang@unismuh.ac.id², adriani@unismuh.ac.id³, nurmind@unismuh.ac.id⁴

Abstract—Energy is one of the most important elements needed in various aspects of life around the world, including in Indonesia. The use of solar panels as a solar power generation system (SPGS) has become an environmentally friendly solution in facing the energy crisis and climate change. However, in its implementation, the performance of solar panels is greatly influenced by environmental conditions, such as sunlight intensity, temperature, and the presence of particles or rainwater that can interfere with energy absorption. The purpose of this study is to design an IoT-based smart solar panel with Auto-Park and Solar Shield features using Nodemcu. The research method applied is an experimental method accompanied by direct observation of the performance of the prototype device that has been designed. The smart solar panel system developed in this study has been proven to function as intended, namely to track the sun, provide automatic protection during rain, and monitor energy based on IoT. The integration of hardware such as sensors and servos has been successful, thereby supporting increased power absorption efficiency. The test results also show the ease of energy monitoring through real-time IoT connections. However, there are several limitations, such as the potential for servo wear due to long-term use, the accuracy of rain sensors that still needs to be improved, and limitations in inverter efficiency. Overall, this system is considered effective, safe, and practical, with great opportunities for further development through component quality improvements, the addition of precision features, and long-term testing to ensure reliability and durability.

Intisari—Energi menjadi salah satu elemen penting yang dibutuhkan dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Pemanfaatan panel surya sebagai sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) telah menjadi solusi ramah lingkungan dalam menghadapi krisis energi dan perubahan iklim. Namun, dalam implementasinya, kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya matahari, suhu, dan keberadaan partikel atau air hujan yang dapat mengganggu penyerapan energi. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang smart panel surya berbasis iot dengan fitur Auto-Park dan Solar Shield menggunakan nodemcu. Metode penelitian yang diterapkan adalah metode eksperimen dengan disertai observasi langsung terhadap kinerja perangkat prototipe yang telah dirancang. Sistem smart panel surya yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti mampu berfungsi sesuai dengan tujuan, yaitu melakukan pelacakan matahari, proteksi otomatis saat hujan, serta pemantauan energi berbasis IoT. Integrasi perangkat keras seperti sensor, servo telah berjalan dengan baik sehingga mendukung peningkatan efisiensi penyerapan daya. Hasil pengujian juga menunjukkan

kemudahan dalam monitoring energi melalui koneksi IoT yang real-time. Meski demikian, terdapat beberapa keterbatasan, seperti potensi keausan servo akibat penggunaan jangka panjang, tingkat akurasi sensor hujan yang masih perlu ditingkatkan, serta keterbatasan pada efisiensi inverter. Secara keseluruhan, sistem ini dinilai efektif, aman, dan praktis, dengan peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut melalui peningkatan kualitas komponen, penambahan fitur presisi, serta pengujian jangka panjang guna menjamin keandalan dan ketahanannya.

Kata Kunci— Panel Surya, Internet of Things, Auto-Park, Solar Shield

I. PENDAHULUAN

Energi merupakan komponen fundamental yang berperan penting dalam menunjang berbagai aktivitas dan aspek kehidupan masyarakat secara global, termasuk di Indonesia. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, permintaan terhadap energi juga mengalami peningkatan. Energi berperan sangat penting dalam menunjang keberlangsungan berbagai sektor kehidupan, antara lain sektor pertanian, pendidikan, kesehatan, transportasi, serta aktivitas perekonomian [1].

Peningkatan konsumsi energi secara global yang tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya fosil, mendorong perhatian dunia untuk beralih pada pengembangan energi terbarukan sebagai langkah menuju keberlanjutan. Di antara berbagai sumber energi terbarukan, energi surya merupakan salah satu alternatif yang paling prospektif, khususnya di negara beriklim tropis seperti Indonesia yang memiliki intensitas penyinaran matahari tinggi dan relatif stabil sepanjang tahun, sehingga potensi pemanfaatan energi surya melalui penggunaan panel surya sangat besar [2].

Panel surya merupakan perangkat yang tersusun atas kumpulan sel surya berbasis material semikonduktor yang berfungsi untuk mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Proses konversi tersebut terjadi melalui mekanisme sambungan antara semikonduktor tipe P dan tipe N yang membentuk p-n junction, sehingga memungkinkan terjadinya eksitasi dan perpindahan elektron ketika permukaan sel terkena paparan cahaya matahari, yang selanjutnya menghasilkan arus listrik [3]. Pemanfaatan panel surya dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah menjadi salah satu solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam upaya mengatasi krisis energi serta dampak

perubahan iklim.

Namun, dalam implementasinya, kinerja panel surya dapat dipengaruhi berbagai kondisi lingkungan, salah satunya intensitas cahaya matahari, suhu, dan keberadaan partikel atau air hujan yang dapat mengganggu penyerapan energi [4]. Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi adalah penurunan efisiensi akibat suhu berlebih (*overheating*) serta kerusakan komponen akibat hujan ekstrem atau faktor cuaca lainnya. Selain itu, panel surya konvensional umumnya bersifat statis dan tidak memiliki sistem perlindungan otomatis ketika kondisi tidak mendukung. Hal ini menyebabkan menurunnya efisiensi sistem dan meningkatnya risiko kerusakan fisik panel.

Dengan adanya teknologi *Internet of Things* (IoT) dan mikrokontroler, berbagai sistem otomasi kini dapat dikembangkan untuk menjawab keterbatasan pada panel surya konvensional. NodeMCU, yang merupakan modul mikrokontroler berbasis ESP8266 dan memiliki konektivitas Wi-Fi, memberikan peluang untuk merancang sistem pemantauan dan pengendalian panel surya secara waktu nyata melalui jaringan internet. Dengan mengintegrasikan sensor suhu, sensor intensitas cahaya, dan aktuator, sistem cerdas dapat dibangun untuk secara otomatis mengatur posisi panel serta melindunginya dari suhu berlebih.

Beberapa peneliti sebelumnya telah mengkaji smart panel surya “Smart Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis *Internet of Things* (IoT)” oleh [5], “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis *Internet of Things*” oleh [6] “Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis IoT” oleh [7].

Dari studi terhadap penelitian terdahulu, diketahui bahwa rancangan alat yang telah dikembangkan masih belum sepenuhnya optimal karena adanya beberapa keterbatasan, khususnya dalam aspek keamanan dan perlindungan panel terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Sebagian besar prototipe smart panel surya yang telah dirancang sebelumnya hanya berfokus pada fitur pelacakan posisi matahari untuk meningkatkan efisiensi serapan energi, namun belum banyak yang mengintegrasikan sistem perlindungan terhadap suhu berlebih maupun kondisi cuaca ekstrem seperti panas terik berkepanjangan. Hal ini dapat menurunkan performa jangka panjang panel surya serta mempercepat degradasi komponen

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep yang memiliki tujuan untuk memperluas fungsi konektivitas internet agar tidak hanya terbatas pada perangkat komputer dan smartphone, melainkan juga mencakup mesin dan objek fisik lainnya. Melalui integrasi sensor, jaringan, dan aktuator, objek-objek tersebut dapat saling terhubung untuk mengumpulkan data serta mengelola

kinerjanya secara otomatis. Hal ini memungkinkan perangkat untuk bekerja sama dan mengambil keputusan secara mandiri berdasarkan informasi yang diperoleh secara real-time [8]. *Internet of Things* (IoT) merupakan teknologi modern yang dikembangkan untuk mengoptimalkan pemanfaatan jaringan internet yang terhubung secara berkelanjutan. Melalui teknologi ini, berbagai objek dapat saling terintegrasi guna mendukung kemudahan dan efisiensi dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Dengan demikian, berbagai tugas yang sebelumnya memerlukan intervensi manusia dapat dilakukan secara otomatis. Saat ini, penerapan IoT telah meluas ke berbagai sektor kehidupan [9].

B. Panel Surya Panel

Panel surya terdiri dari sejumlah sel surya yang dirangkai secara sistematis untuk menghasilkan keluaran listrik sesuai dengan kebutuhan. Melalui susunan sel tersebut, energi cahaya matahari dapat dikonversi ke listrik arus searah (DC). Dengan penambahan baterai yang terhubung secara langsung ke panel surya, energi listrik hasil konversi dari radiasi matahari dapat disimpan sebagai cadangan dan dimanfaatkan kembali sesuai dengan kebutuhan [10].

Panel surya merupakan perangkat yang tersusun atas sel-sel surya berbasis material semikonduktor yang berfungsi mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya didasarkan pada interaksi antara semikonduktor tipe P dan tipe N. Panel surya disusun dari sejumlah modul surya yang dirangkai secara seri maupun paralel sesuai dengan kebutuhan daya listrik yang diharapkan [11]



Gambar 2.1 Panel Surya

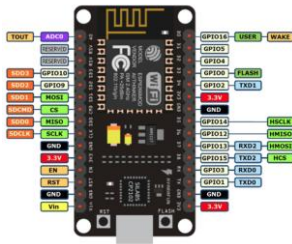
(Sumber : <https://www.powerstationindonesia.com/>)

C. NodeMCU

Dalam implementasi proyek berbasis *Internet of Things* (IoT), NodeMCU berfungsi sebagai pusat kendali dan pemantauan sistem, yang didukung oleh sejumlah pin input/output (I/O) sehingga memungkinkan pengembangan fitur secara lebih luas. NodeMCU ESP8266 dapat diprogram menggunakan berbagai lingkungan pengembangan (compiler), salah satunya melalui Arduino Integrated Development Environment (IDE). Kehadiran port mini USB pada modul ini menjadi fitur penting yang menyederhanakan proses pemrograman dan koneksi ke komputer [12].

NodeMCU merupakan papan kendali elektronik berbasis

chip ESP8266 yang memiliki kemampuan untuk menjalankan fungsi mikrokontroler sekaligus terhubung ke jaringan internet melalui koneksi WiFi. Papan ini dilengkapi dengan sejumlah pin input/output (I/O) yang memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengembangan sistem pemantauan dan pengendalian pada berbagai aplikasi berbasis Internet of Things (IoT). NodeMCU ESP8266 sendiri merupakan versi pengembangan dari modul ESP-12 dalam keluarga ESP8266, dengan fungsi yang hampir serupa dengan platform Arduino, namun memiliki keunggulan khusus dalam hal integrasi jaringan, karena memang dirancang untuk mendukung konektivitas internet secara langsung [13].



Gambar 2.2 NodeMCU ESP8266

(Sumber: <https://www.nyebarilmu.com>)

D. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler yang berbasis pada ATmega2560. Papan ini dilengkapi dengan 54 pin digital input/output, di mana 15 pin dapat difungsikan sebagai keluaran Pulse Width Modulation (PWM), 16 pin sebagai masukan analog, serta 4 pin sebagai Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) untuk komunikasi serial perangkat keras. Selain itu, Arduino Mega 2560 juga memiliki kristal osilator berfrekuensi 16 MHz, koneksi USB, jack catu daya, header ICSP, serta tombol reset. Penggunaan Arduino Mega 2560 dalam sistem ini memberikan kemudahan dalam proses pengaktifan perangkat, karena mikrokontroler dapat langsung beroperasi dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau dengan menyuplai daya menggunakan adaptor AC-DC maupun baterai. Fleksibilitas dalam sumber daya ini menjadi salah satu keunggulan Arduino Mega 2560 dibandingkan dengan beberapa versi sebelumnya. Selain itu, papan mikrokontroler ini memiliki tingkat kompatibilitas yang tinggi terhadap berbagai modul tambahan (shield), termasuk shield yang sebelumnya dirancang untuk platform Arduino Duemilanove maupun Arduino Diecimila. Arduino Mega 2560 hadir dengan peningkatan pada kapasitas memori, jumlah pin input/output yang lebih banyak, serta kemampuan pemrosesan yang lebih andal. Hal ini menjadikannya sangat cocok digunakan dalam perancangan sistem otomatisasi berbasis IoT yang membutuhkan pengolahan data lebih kompleks dan pengendalian multi-perangkat secara bersamaan [14].



Gambar 2.3 Arduino Mega 2560

(Sumber : <https://digiwarestore.com>)

E. Telegram

Telegram merupakan layanan pesan instan berbasis cloud yang dapat diakses secara gratis dan memiliki keunggulan berupa kinerja yang ringan, cepat, serta bebas dari iklan. Aplikasi ini juga dilengkapi dengan fitur bot (Telegram bot) yang memungkinkan terjadinya komunikasi antara pengguna dan perangkat mikrokontroler [15].



Gambar 2.4 Telegram

(Sumber : <https://commons.wikimedia.org>)

F. Sensor LDR

Sensor LDR (Light Dependent Resistor) merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi arah datangnya cahaya matahari. Nilai resistansi sensor ini akan berubah seiring dengan variasi intensitas cahaya yang diterimanya, sehingga perubahan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menentukan arah sumber cahaya matahari [16].

Sensor LDR (Light Dependent Resistor) bekerja dengan menghantarkan arus listrik sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya, di mana semakin tinggi intensitas cahaya yang mengenai permukaan sensor, maka semakin rendah nilai hambatan listriknya. Umumnya, pada kondisi gelap, hambatan LDR dapat mencapai sekitar 200 kilo ohm ($k\Omega$), sedangkan saat terkena cahaya terang, nilai hambatannya dapat turun hingga sekitar 500 ohm (Ω) [17].



Gambar 2.5 Sensor LDR
(Sumber: <https://nusabot.id>)

G. Motor Servo

Motor servo merupakan perangkat elektromekanis yang banyak digunakan dalam berbagai sistem dan mesin industri untuk menghasilkan gerakan atau putaran dengan tingkat presisi tinggi, khususnya dalam pengendalian posisi sudut, kecepatan, dan percepatan. Namun tidak seperti motor AC, motor servo memiliki kemampuan kontrol yang lebih akurat karena menggunakan sistem loop tertutup (*closed loop*) yang memanfaatkan encoder sebagai umpan balik untuk mengatur posisi target, torsi keluaran, dan kecepatan putaran motor. Motor servo tersusun atas komponen utama berupa motor, sistem roda gigi, potensiometer, dan rangkaian pengendali. Potensiometer berfungsi sebagai penentu batas sudut putaran motor, di mana pada umumnya motor servo hanya mampu berputar hingga sudut tertentu dan tidak beroperasi secara kontinu. Namun demikian, pada beberapa aplikasi tertentu, motor servo dapat dimodifikasi sehingga mampu berputar secara terus-menerus sesuai dengan kebutuhan sistem [18].



Gambar 2.6 Motor Servo
(Sumber: <https://www.mahirelektro.com>)

H. Sensor Hujan

Sensor hujan (raindrop sensor) merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air hujan di sekitar sistem, di mana sensor akan aktif ketika permukaannya terkena air. Selain untuk mendeteksi curah hujan, sensor ini juga dapat dimanfaatkan dalam pengukuran tingkat atau keberadaan air pada aplikasi tertentu. Sensor hujan bekerja berdasarkan tingkat elektrolisis air yang terjadi pada permukaan sensor, sehingga menghasilkan nilai input yang dapat diproses oleh sistem pengendali [19].

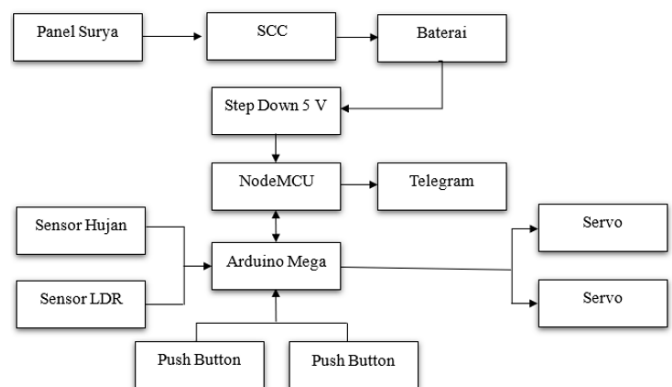


Gambar 2.7 Sensor Hujan
(Sumber: <https://www.arduinoindonesia.id>)

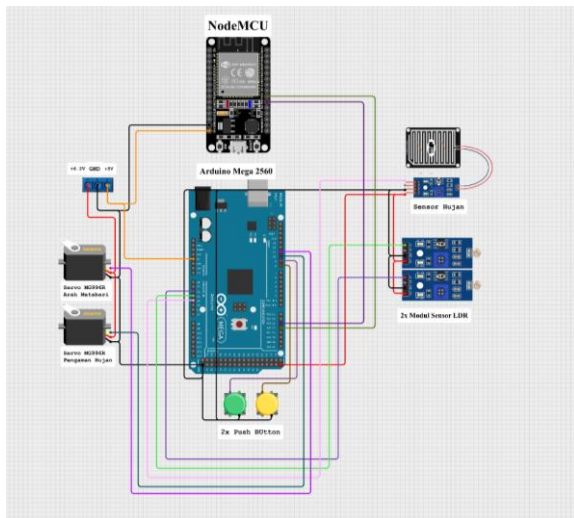
III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang disertai dengan observasi langsung terhadap perangkat prototipe yang telah dirancang. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan observasi yakni melalui pengamatan langsung terhadap kinerja prototipe smart panel surya berbasis IoT. Data primer diperoleh melalui observasi dan uji coba langsung terhadap prototipe di Laboratorium Teknik Elektro, sedangkan data sekunder didapatkan dari referensi dari instansi terkait serta studi literatur yang memuat teori-teori dari karya ilmiah mengenai sistem IoT, sensor, dan aktuator yang digunakan. Analisis data dilakukan berdasarkan hasil pengujian alat, observasi langsung terhadap kinerja sistem, serta kajian literatur yang relevan dengan teknologi IoT dan panel surya. Dari data tersebut diperoleh masukan, analisis, dan keluaran yang berkaitan dengan perancangan sistem otomatis auto-park dan solar shield. Melalui pendekatan ini, penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai bagaimana prinsip otomatisasi dan proteksi dapat diterapkan secara efektif pada panel surya berbasis IoT menggunakan NodeMCU.

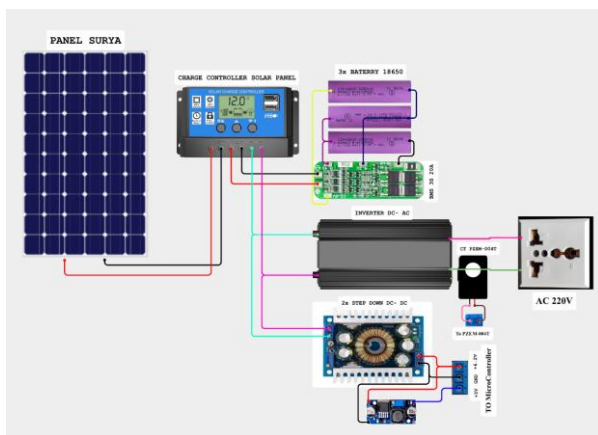
Blok Diagram



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem *Smart Panel Surya*



Gambar 3.2 Rangkaian Komponen
(Sumber : Peneliti)



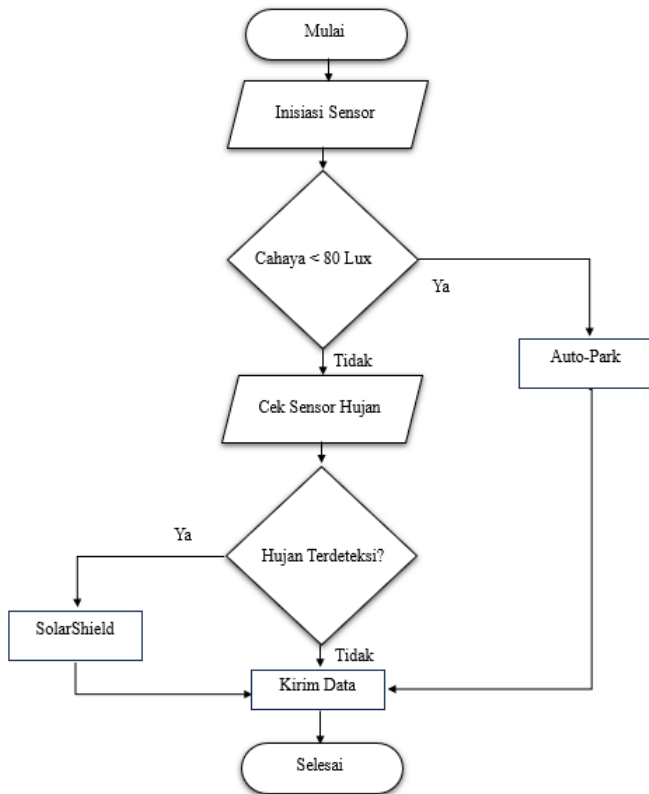
Gambar 3.3 Rangkaian Alat
(Sumber : Peneliti)

1. Sistem diawali dari interaksi jarak jauh menggunakan aplikasi Telegram. Pengguna menerima notifikasi otomatis yang dikirim oleh sistem, seperti kondisi cuaca, posisi panel surya, dan status sistem proteksi. Selain itu, pengguna dapat mengirimkan perintah tertentu melalui bot Telegram untuk mengontrol sistem secara manual, misalnya mengaktifkan atau menonaktifkan mode tertentu. Perintah dan notifikasi ini menjadi jalur komunikasi utama antara pengguna dan sistem IoT.
2. Setiap data status sistem dan perintah pengguna dari Telegram diterima oleh NodeMCU ESP32 melalui koneksi internet. NodeMCU kemudian meneruskan perintah tersebut ke Arduino Mega melalui komunikasi serial. Sebaliknya, data yang dikirim Arduino Mega, seperti kondisi sensor dan status aktuator,

dikemas oleh ESP32 dan dikirim kembali ke Telegram sebagai notifikasi real-time. Pada tahap ini, ESP32 berfungsi sebagai penghubung antara sistem lokal dan jaringan internet.

3. Arduino Mega menerima data dari berbagai sensor dan perintah dari NodeMCU maupun push button. Seluruh data tersebut diproses untuk menentukan tindakan sistem, seperti menggerakkan panel surya, mengaktifkan sistem pelindung, atau mempertahankan posisi tertentu. Arduino Mega bertindak sebagai pusat kendali yang mengoordinasikan seluruh proses kerja sistem secara otomatis maupun manual.
4. Saat sistem aktif, sensor hujan secara kontinu memantau keberadaan air pada permukaan sensor. Ketika hujan terdeteksi, sensor mengirimkan sinyal ke Arduino Mega. Berdasarkan sinyal ini, Arduino Mega segera mengaktifkan servo pelindung panel surya untuk menghindari paparan air hujan secara langsung. Pada saat yang sama, informasi kondisi hujan dikirimkan ke NodeMCU untuk diteruskan sebagai notifikasi ke Telegram.
5. Sensor LDR yang dipasang di beberapa sisi panel surya membaca intensitas cahaya matahari dari berbagai arah. Arduino Mega membandingkan nilai intensitas cahaya tersebut untuk menentukan arah datangnya cahaya paling optimal. Berdasarkan hasil pembacaan ini, sistem menggerakkan servo pengarah panel sehingga panel surya selalu menghadap ke sumber cahaya maksimum sepanjang hari.
6. Selain mode otomatis, sistem menyediakan kontrol manual melalui push button. Ketika push button ditekan, Arduino Mega mengesampingkan sementara kontrol otomatis dan langsung menggerakkan servo sesuai fungsi tombol yang ditekan. Mode ini digunakan sebagai alternatif pengendalian, terutama saat pengujian sistem atau dalam kondisi darurat.
7. Berdasarkan hasil pemrosesan data sensor, perintah Telegram, atau input push button, Arduino Mega mengendalikan dua motor servo. Servo pertama mengatur pergerakan panel surya mengikuti arah cahaya matahari (solar tracking), sedangkan servo kedua menggerakkan mekanisme pelindung panel surya ketika hujan terdeteksi. Pergerakan servo ini menjadi tahap akhir dari alur kerja sistem dalam mengeksekusi keputusan yang telah diproses.

Mekanisme Kerja Alat



B. Pengujian Sistem

Pengujian prototipe Smart Panel Surya dilakukan melalui beberapa skenario waktu serta kondisi lingkungan. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai urutan logika yang telah deprogram yaitu: Sensor cahaya mendeteksi intensitas matahari → servo utama bergerak mengikuti arah matahari (*tracking*) → ketika sensor hujan mendeteksi air, sistem otomatis mengaktifkan servo pelindung untuk menurunkan panel (*fitur Auto-Park/Solar Shield*) → setelah hujan berhenti, servo pelindung mengembalikan panel ke posisi normal → sistem melanjutkan *tracking* mengikuti pergerakan matahari.

Tabel 4.1 Pengujian Sistem

No	Skenario Pengujian	Kondisi Awal	Langkah Sistem	Hasil Pengujian	Status
1	Siang cerah	$LDR \geq 80 \text{ Lux}$	Inisiasi Sensor → tunggu pembacaan → amati servo tilt & tracking	Servo tilts ke sudut kerja, tracking aktif (Barat)	✓
2	Soreh	$LDR \leq 80 \text{ Lux}$	Inisiasi sensor LDR, amati system	Servo tilts ke sudut kerja, tracking aktif (Timur)	✓
3	Hujan mendadak	$LDR \leq 80 \text{ Lux}$	Simulasikan hujan saat tracking	Tracking, Servo tilt ke sudut awal, tracking berhenti	✓
4	Hujan berhenti	$LDR \geq 80 \text{ Lux}$	Tunggu histeresis waktu (MODE DELAY) lalu pantau	Setelah delay, tilt kembali ke kerja_tracking aktif	✓

Berdasarkan diagram alur yang lampirkan, proses kerja sistem dimulai dari tahap inisiasi sensor, di mana NodeMCU mengaktifkan dan menyiapkan sensor cahaya serta sensor hujan untuk membaca kondisi lingkungan. Selanjutnya, sistem memeriksa intensitas cahaya dan membandingkannya dengan nilai 80 Lux yang telah ditentukan. Jika intensitas cahaya lebih rendah dari 80 Lux, sistem langsung mengaktifkan mode Auto-Park untuk memposisikan panel surya pada posisi aman. Namun, jika intensitas cahaya melebihi 80 Lux, sistem melanjutkan ke tahap pemeriksaan sensor hujan. Pada tahap ini, jika hujan terdeteksi, sistem mengaktifkan Solar Shield sebagai pelindung fisik panel surya dari air hujan. Setelah pelindung aktif, sistem kembali ke kondisi siap untuk pembacaan sensor berikutnya. Apabila hujan tidak terdeteksi, proses langsung menuju tahap selesai dan menunggu siklus pembacaan berikutnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Rancangan Alat

Rancang bangun prototipe Smart Panel Surya berbasis IoT dengan fitur Auto-Park dan Solar Shield menggunakan NodeMCU ESP8266 telah direalisasikan dengan memanfaatkan komponen utama seperti dua servo MG996R, NodeMCU ESP8266, Arduino mega, Solar Charge Controller, step down step up, sensor hujan, dan sensor LDR.

Tabel 4.3 Analisis Fungsional

No	Komponen	Fungsi	Cara kerja	Status Uji
1	Servo Mg996r	Digunakan untuk menggerakkan beban mekanis dengan sudut tertentu	Bergerak sesuai sinyal PWM dari mikrokontroler.	✓
2	NodeMCU ESP8266,	Modul WiFi untuk IoT (kirim data/kontrol jarak jauh).	Menghubungkan sensor ke internet lewat WiFi.	✓
3	Solar Charge Controller	Mengatur pengisian baterai dari panel surya.	Menstabilkan tegangan/arus, mencegah <i>overcharge & overdischarge</i> .	✓
4	Arduino mega	Kontrol utama untuk banyak sensor	Menjalankan program, membaca sensor, mengatur output.	✓
5	Sensor hujan,	Deteksi air/hujan untuk proteksi sistem.	Saat kena air, resistansi turun → output berubah.	✓
6	Sensor LDR	Deteksi intensitas cahaya matahari.	Hambatan berubah sesuai cahaya → dibaca Arduino Mega.	✓
7	Inverter	Mengubah arus DC dari baterai ke AC.	Mengkonversi tegangan DC menjadi AC 220V	✓

- NodeMCU ESP8266: Berfungsi sebagai modul komunikasi IoT, mengirimkan data hasil monitoring ke internet/Telegram dan menerima perintah kontrol jarak jauh.
- Servo MG996R : Berfungsi sebagai mekanis, menggerakkan panel surya atau sistem sesuai perintah dari Arduino.
- Sensor Hujan : Berfungsi mendeteksi adanya air/hujan pada permukaan, untuk mengaktifkan proteksi sistem (misalnya menurunkan panel).
- Sensor LDR: Berfungsi mendeteksi intensitas cahaya matahari untuk menentukan posisi terbaik panel surya.
- *Solar Charge Controller* (SCC): Berfungsi mengatur aliran daya dari panel surya ke baterai agar pengisian aman dan efisien, serta melindungi baterai dari *overcharge* maupun *overdischarge*.
- Inverter: Berfungsi mengonversi arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC) standar rumah tangga (220V, 50Hz di Indonesia).

Alat ini berfungsi sebagai sistem pengendali dan monitoring panel surya berbasis IoT. Sistem mampu menggerakkan panel secara otomatis mengikuti arah matahari untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi listrik. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan proteksi cuaca yang akan menurunkan panel ketika hujan untuk mencegah kerusakan

Tabel 4.3 Hasil yang ditemukan

NO	Aspek	Hasil yang ditemukan
1	Perancangan Sistem	Sistem berhasil dirancang dengan mengintegrasikan Arduino Mega, NodeMCU ESP8266, sensor hujan, sensor LDR, servo MG996R, inverter dan Solar Charge Controller sehingga membentuk satu kesatuan alat yang berfungsi baik.
2	Mekanisme Kerja	Panel surya bergerak mengikuti arah cahaya matahari, turun saat hujan terdeteksi (<i>Auto-Park dan Solar Shield</i>)
3	Pengujian Sistem	Hasil pengujian menunjukkan semua komponen bekerja sesuai fungsi, panel bergerak akurat, proteksi hujan aktif, pengukuran listrik stabil, serta data dapat dikirim ke Telegram secara real-time.
4	Analisis Fungsional	Setiap komponen saling terhubung dan berfungsi sesuai rancangan, mendukung kinerja sistem secara optimal.
5	Efektivitas	Sistem terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya, melindungi panel dari kerusakan cuaca, serta mempermudah monitoring jarak jauh.
6	Kelebihan	Memiliki fitur otomatisasi penuh, proteksi cuaca, monitoring real-time berbasis IoT, serta mendukung efisiensi energi.
7	Kekurangan	Masih bergantung pada kestabilan jaringan internet untuk pengiriman data, serta komponen servo berpotensi aus jika bekerja dalam jangka Panjang & belum menggunakan sensor anemometer.
8	Kesimpulan	Sistem secara keseluruhan berfungsi dengan baik, mendukung optimalisasi energi surya, dan layak dikembangkan lebih lanjut.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa prototipe smart panel surya berbasis IoT dengan fitur Auto-Park, dan Solar Shield berhasil dirancang serta diuji dengan baik. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa pada kondisi siang cerah ($LDR \geq 80$ Lux), servo miring ke sudut kerja dan tracking aktif ke arah barat, pada kondisi sore ($LDR \leq 80$ Lux), servo miring ke sudut kerja dengan tracking aktif ke arah timur, pada kondisi hujan mendadak ($LDR \leq 80$ Lux), tracking berhenti dan servo kembali ke posisi awal, sedangkan ketika hujan berhenti ($LDR \geq 80$ Lux), setelah melewati jeda waktu (mode delay), servo kembali ke posisi kerja dan tracking aktif kembali.

B. Saran

Semua Dengan merujuk pada hasil penelitian dan sejumlah keterbatasan yang muncul dalam penerapan sistem, peneliti mengajukan beberapa rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya:

1. Sistem smart panel surya dapat dikembangkan dengan kapasitas lebih besar agar mampu memenuhi kebutuhan energi pada skala rumah tangga maupun fasilitas umum. Dengan begitu, prototipe tidak hanya terbatas untuk penggunaan kecil, tetapi juga dapat diaplikasikan pada kebutuhan energi yang lebih tinggi.
2. Integrasi IoT dapat diperluas dengan mengembangkan aplikasi berbasis web atau mobile yang menampilkan data pemantauan energi secara real-time.
3. Sistem pelacak matahari dapat ditingkatkan menjadi dual axis 360° .

4. Melakukan pengujian dalam jangka panjang untuk menilai keandalan, efisiensi, serta biaya operasional sistem.
5. Penambahan sensor anemometer untuk mengukur kecepatan angin. Jika terdeteksi angin kencang, sistem dapat mengatur panel ke posisi aman (Auto-Park) guna mengurangi risiko kerusakan akibat tekanan angin berlebih.

REFERENSI

- [1] T. Azirudin, "Potensi tenaga angin di atas bangunan bertingkat di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau," *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, vol. 18, no. 1, pp. 23–28, 2019.
- [2] R. Rauf, R. Ritnawati, F. Rachim, A. Thamrin Dahri, H. Andre, R. A. M. Napitulu, D. Aminur, D. Corio, and P. Siagian, *Matahari sebagai energi masa depan: Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*, Rosnita, 2023.
- [3] P. Gunoto, A. Rahmadi, and E. Susanti, "Perancangan alat sistem monitoring daya panel surya berbasis *Internet of Things*," *Sigma Teknika*, vol. 5, no. 2, pp. 285–294, 2022, doi: 10.33373/sigmateknika.v5i2.4555.
- [4] R. Wibowo, A. Zulamata, I. Pradana A. Assagaf, M. Choifin, I. Wiranto, D. Setiawan, B. Triyono, M. Syaiful, M. Kamal, A. Jaya, A. Wardhana, and S. Ambarawati, *Energi Terbarukan*, Universitas Surabaya, vol. 53, no. 9, 2020.
- [5] M. Ulum, H. Haryanto, and D. Neipa Purnamasari, "Smart Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis *Internet of Things* (IoT)," *Cyclotron*, vol. 7, no. 1, pp. 67–70, 2024, doi: 10.30651/cl.v7i01.21175.
- [6] G. W. Kurniawan, I. G. A. P. R. Agung, and P. Rahardjo, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis *Internet of Things*," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 133–140, 2023, doi: 10.24843/MITE.2023.v22i01.P17.
- [7] M. A. Prasetyo and H. K. Wardana, "Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino dan Nodemcu ESP8266 Berbasis IoT," *Resist. Elektron. Kendali Telekomun. Tenaga List. Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 163–168, 2021, doi: 10.24853/resistor.4.2.163-168.
- [8] B. Rachman, R. Suppa, and A. A. Hakam, "Rancang Bangun Smart Lamp Menggunakan Nodemcu Berbasis *Internet of Things* (IoT)," vol. 13, no. 1, 2025.
- [9] A. Syahfitri, "*Internet of Things*: Sejarah Teknologi dan Penerapannya," *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika*, vol. 14, no. 2, pp. 92–99, 2025.
- [10] P. Harahap, "Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya yang Dihasilkan dari Berbagai Jenis Sel Surya," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020, doi: 10.30596/rele.v2i2.4420.
- [11] M. B. Ulum, M. Lutfi, and A. Faizin, "Otomatisasi Pompa Air Menggunakan Nodemcu ESP8266 Berbasis *Internet of Things* (IoT)," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 6, no. 1, pp. 86–93, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i1.4583.
- [12] B. Satria, "IoT Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara dengan Node MCU ESP8266," *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, vol. 1, no. 3, pp. 136–144, 2022, doi: 10.56211/sudo.v1i3.95.
- [13] A. Santoso, D. Dj, and D. Nurdiana, "Rancang Bangun Sistem Pintu Otomatis Menggunakan Keypad dan RFID Berbasis Arduino Mega 2560," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 5–13, 2021.
- [14] A. F. Waluyo and T. R. Putra, "Peringatan Dini Banjir Berbasis *Internet of Things* (IoT) dan Telegram," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 7, no. 1, pp. 142–150, 2024, doi: 10.29408/jit.v7i1.24109.
- [15] D. Widiatmoko, R. Setiawibawa, R. M. Al-farizi, M. Syafaat, and E. Prawira, "Implementasi Sensor LDR Pada Prototipe Sistem Tracking Dual Axis Untuk Deteksi Arah Sinar Matahari Pada Sel Surya," *ASPIRASI: Publikasi Hasil Pengabdian dan Kegiatan Masyarakat*, vol. 1, no. 5, pp. 132–140, 2023, doi: 10.61132/aspirasi.v1i5.407.
- [16] N. Nurhayati and B. Maisura, "Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Nyala Lampu dengan Menggunakan Sensor Cahaya Light Dependent Resistor," *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, p. 103, 2021, doi: 10.22373/crc.v5i2.9719.
- [17] A. Y. Alfiana, L. Putri Rahayu, and D. F. Syahbana, "Implementasi Kontrol Torsi Motor Servo Menggunakan Metode PI pada Sistem Automatic Pallet Dispenser," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 244–250, 2021.
- [18] A. Mahmudi, M. F. Fahmi, A. Dzaky, and H. Musta, "Prototype Booth Peminjaman Kunci Ruang Kelas Prodi Teknik Informatika UN PGRI Kediri," vol. 4, pp. 624–632, 2025.
- [19] N. Fauza, D. Syaflita, S. S. Ramadini, J. Annisa, F. Armala, E. Martinqa, E. D. Susanti, and V. Melannia, "Rancang Bangun Prototipe Detektor Hujan Sederhana Berbasis Raindrop Sensor Menggunakan Buzzer dan LED," *Jurnal Kumparan Fisika*, vol. 4, no. 3, pp. 163–168, 2021, doi: 10.33369/jkf.4.3.163-168.