

PERANCANGAN SINGLE AXIS SOLAR TRACKING TERINTEGRASI IoT GUNA MENINGKATKAN KAPASITAS PANEL SURYA

Rosalina^{1*}, Tole Sutikno², Abdul Fadli³

¹Program Studi Informatika, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia 55191

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jakarta, Indonesia 12130

^{2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia 55191

Correspondence email: rosalina@uhamka.ac.id

Article history: Revised: February 15, 2026

Accepted: March 31, 2026

Published: June 5, 2026

ABSTRACT

The global energy crisis is a complex phenomenon involving an imbalance between increasingly limited energy supplies and ever-rising demand, driven by geopolitical dynamics, shifts in the energy market, and the challenges of transitioning to renewable energy sources. In a country as vast as Indonesia, the potential for developing renewable energy such as solar, hydro, wind, and geothermal energy is significant. This potential presents an opportunity for Indonesia's resilience in the national energy sector. Utilizing solar energy through solar panels requires an optimized system to maximize the generated electrical power. This research aims to design an IoT-integrated single-axis solar tracking system using an ESP32 microcontroller to enhance the capacity of solar panels. The research methodology includes designing an algorithm to control the rotation angle of the solar tracker using an LDR sensor to determine the intensity of the sun's electromagnetic waves and to drive the servo motor so that the panel is perpendicular to the sunlight. Solar panel temperature monitoring is performed using a MAX6675 sensor. For real-time current and voltage measurements, an INA219 sensor is used. The results of the solar panel data, processed adaptively by a control algorithm based on sensor data, are displayed on the LCD screen and transmitted to the Blynk IoT platform. The research findings indicate that the maximum power capacity recorded on the Blynk monitoring app was 1.75 watts at 12:00 PM, when solar intensity was at its peak. After 12:00 PM, power generation began to decline in tandem with the decrease in sunlight intensity in the afternoon. The data on power generation from this single-axis solar tracking system indicates that the use of this algorithm is capable of increasing the power absorbed by the solar panels and optimizing the use of solar energy.

Keywords: Renewable Energy, ESP32, Solar Tracking, IoT Blynk, MAX6675 Sensor.

ABSTRAK

Krisis energi global merupakan fenomena kompleks yang melibatkan ketidakseimbangan antara pasokan energi yang semakin terbatas dan permintaan yang terus meningkat, dipicu oleh dinamika geopolitik, perubahan pasar energi, serta tantangan transisi energi ke sumber terbarukan. Di negara seluas Indonesia, potensi pengembangan energi terbarukan sangat mungkin, seperti energi matahari, air, Bayu, Geotermal. Potensi ini menampilkan peluang ketahanan Indonesia di bidang energi nasional. Pemanfaatan energi surya melalui solar panel membutuhkan sistem yang optimal agar daya listrik yang dihasilkan maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *single axis solar tracking* terintegrasi IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 guna meningkatkan kapasitas panel surya. Metodologi penelitian meliputi perancangan algoritma untuk mengendalikan sudut putar solar tracking menggunakan LDR sensor untuk mengetahui seberapa besar nilai gelombang elektromagnetik dari matahari dan menggerakkan servo motor agar Panel tegak lurus terhadap cahaya matahari. Pemantauan suhu panel surya dilakukan dengan sensor MAX6675. Untuk pengukuran arus dan tegangan menggunakan sensor INA219 secara real time. Hasilnya data panel surya secara adaptif berdasarkan data sensor diproses oleh algoritma kendali ditampilkan pada layar LCD dan dikirim ke platform IoT Blynk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas daya maksimal yang terbaca pada aplikasi monitoring Blynk sebesar 1,75watt pukul 12.00 siang, saat intensitas matahari berada pada puncaknya. Setelah pukul 12.00, penerimaan daya mulai menurun seiring dengan penurunan intensitas cahaya matahari di sore hari. Pencapaian data hasil penerimaan daya dari sistem single axis solar tracking ini dapat disimpulkan bahwa



penggunaan algoritma ini mampu meningkatkan daya yang diserap oleh solar panel dan mengoptimalkan penggunaan energi matahari.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, ESP32, *Solar Tracking*, IoT Blynk, Sensor MAX6675.

PENDAHULUAN

Pemanasan global dan krisis energi selama beberapa dekade terakhir, akibat konsumsi bahan bakar fosil yang sangat besar telah berdampak besar pada kebijakan ekonomi pemerintah. kondisi iklim dan isu keamanan energi yang telah memotivasi pengembangan dan penggunaan sumber energi alternatif, berkelanjutan, dan bersih yang akan menggantikan produksi energi saat ini. Seluruh dunia dipaksa untuk berkonsentrasi pada penggunaan sumber energi terbarukan untuk menghindari pemadaman listrik darurat, mengurangi jumlah emisi CO₂ dan mengendalikan tingkat polusi. Karena alasan ini, terdapat peningkatan minat dan pengembangan yang konsisten dalam energi surya dan angin (Behera et al., 2018). Energi terbarukan menjadi pilar utama dalam transisi ini karena dapat mengurangi jejak karbon, meningkatkan ketahanan energi, dan mendukung pembangunan berkelanjutan secara luas (Jahada Haluti et al., 2024).

Dari sisi supply energi konvensional yang dianggap masih menjadi komoditas yang strategis. Batu bara yang dahulu dianggap sebagai supply energy yang diandalkan, ketersediaan bahan bakar fosil masih terdeteksi lebih dari 60% pembangkit di Indonesia. Krisis energi global saat ini telah menempatkan keamanan dan keterjangkauan listrik sebagai prioritas utama dalam agenda politik, yang mendukung solusi energi terbarukan (Mihai & Toma, 2024).

Penerapan teknologi digital dalam sistem energi nasional berhubungan erat dengan optimalisasi operasi pembangkit listrik. Selain itu, digitalisasi memungkinkan penggabungan antar berbagai sumber energy terbarukan yang dapat menghasilkan energy baru yang sangat membantu dalam hal penyediaan energy alternative masa depan, karena prediksi fluktuasi produksi menjadi lebih akurat, sehingga ketergantungan pada pembangkit fosil cadangan dapat diminimalkan (Hossain, 2022).

Pemanfaatan gelombang elektromagnetik matahari dilakukan melalui sistem konversi fotovoltaik, yang mengubah menjadi energi listrik (Ilyas & Kasim, 2017). Namun, pemanfaatan energi matahari menghadapi kendala utama, yaitu perubahan intensitas cahaya matahari yang dipengaruhi oleh pergerakan bumi pada porosnya serta revolusinya mengelilingi matahari (Mirdanies & Andry, 2012).

Sebuah perangkat uji coba menggunakan lampu yang dapat diredupkan dan berbagai filter cahaya guna mensimulasikan variasi intensitas sinar matahari dengan mengontrol pasokan tegangan lampu filamen tungsten dengan unit kontrol eksternal yang terdiri dari pengatur waktu, potensiometer geser, motor sinkron dan kamera (Terliesner et al., 2022).

Sebenarnya nilai Intensitas gelombang elektromagnetik dari surya sangat terkait dengan posisi matahari terhadap permukaan bumi. Untuk memperoleh efisiensi konversi energi yang optimal, dibutuhkan satu sistem yang mampu memutar panel surya agar bersudut 90 derajat ke arah datangnya sinar matahari secara maksimal (Nurdiansyah et al., 2020). Kapasitas daya listrik yang dihasilkan dari proses penyerapan energy surya pada panel pengumpul gelombang elektromagnetik dari matahari agar lebih optimal diperlukan sistem pendeteksi arah datangnya cahaya matahari, Mekanisme pendeteksi arah datangnya cahaya matahari biasanya menggunakan metode setting waktu atau tampilan data sensor cahaya (Lee et al., 2009). Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah sistem pelacak cahaya matahari (solar tracking system), yang mampu menyesuaikan orientasi panel surya secara otomatis berdasarkan posisi matahari sepanjang hari (Mirrahman et al., 2017). Metode yang digunakan untuk memperoleh serapan daya maksimal dari cahaya matahari untuk menanggulangi beban maksimal maka diperlukan adanya monitoring kapasitas daya panel surya yang disimpan di baterai. Dari data tersebut akan didapatkan data arus, tegangan, daya, suhu, nilai intensitas cahaya. (Iqbal Suryadi, 2021).

Efisiensi energi dalam jaringan IoT semakin menjadi isu kritis seiring dengan terus bertambahnya jumlah perangkat yang saling terhubung. Pendekatan berbasis AI memungkinkan perangkat IoT berfungsi lebih efektif, menghasilkan penghematan energi dan pengurangan biaya yang cukup besar. Temuan menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam konsumsi energi, yang mengarah pada masa pakai baterai yang lebih lama, penurunan biaya operasional, dan pengurangan dampak lingkungan. Hasil ini menekankan perlunya pengintegrasian AI ke dalam sistem IoT untuk pengembangan jaringan yang berkelanjutan dan efisien (Fadli & Sutabri, 2026).

Penelitian dan pengembangan sistem pelacak matahari menjadi hal yang penting dalam

meningkatkan kapasitas daya dari pemanfaatan energi matahari (Syarifuddin Syahab et al., 2024). Menurut Syarifuddin Syahab, M. Luqman Hakim dan Hanif Cahyo Romadhon bahwa penyerap cahaya matahari secara maksimal dapat dirancang alat pelacak sinar matahari dengan menggunakan *Arduino* Mega 2560, sensor cahaya LDR sebagai sinyal ke *mikrokontroler* untuk menggerakkan motor *stepper*, Sensor Tegangan dan arus difungsikan guna mengukur output tegangan dan arus listrik. Untuk *monitoring*, sistem komunikasi berbasis internet, yang ditampilkan pada situs web thingspeak.com, dan aplikasi android *virtuino*. Hasil Sistem pelacak energi surya rata-rata 9.933 Watt, sedangkan panel surya statis rata-rata 0,8 Watt.

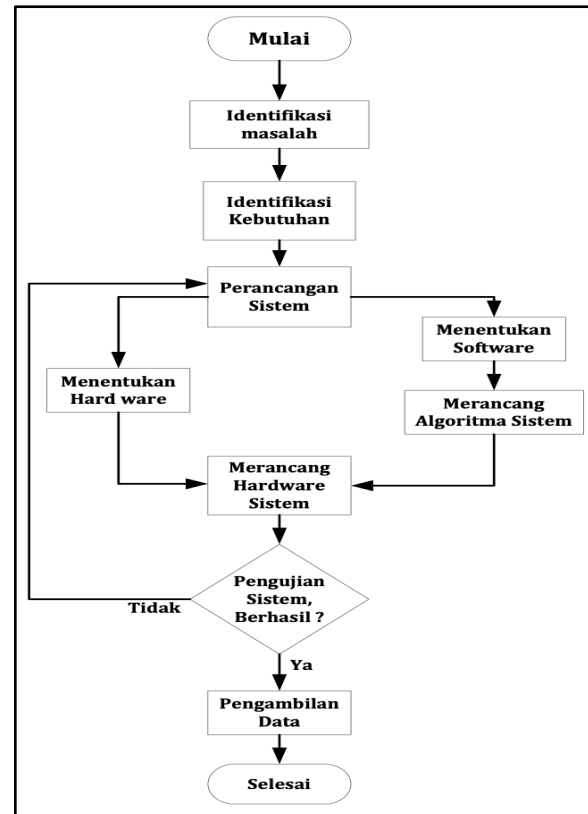
Penelitian yang terkait yang telah dilakukan oleh Tole Sutikno et al (2023) mengenai Monitoring Arus dan tegangan panel surya berbasis IoT guna memantau kondisi kesehatan PLTS dalam kondisi real-time. Mereka memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor INA219 untuk memantau tegangan dan arus pada PLTS. Selanjutnya, data tersebut akan dikirim melalui internet ke aplikasi Blynk. Hasil pengujian setiap 10 menit sekali nilai rata-rata eror pada tegangan 0,83%, sedangkan nilai rata-rata eror pada arus 1,2% (Sutikno et al., 2023). Artikel hasil penelitian Unang Achlison (2023) Yaitu menganalisa Pengisian Baterai pendeteksi Arus dan Tegangan Kendaraan Listrik. Data input daya listrik diukur menggunakan sensor tegangan dan arus, Aplikasi *Arduino* sebagai unit pemroses dan pengendali seluruh sistem alat. PLN sebagai inputan daya listrik yang akan diukur dan bagian Regulator menghasilkan arus dan tegangan sebagai inputan pengisian baterai yang akan diamati (*monitoring*). Multi meter digunakan untuk mengukur arus dan tegangan. Hasil pengujian lama pengisian 4 jam sesuai pengisian baterai akan lebih cepat bila menggunakan arus yang besar (Achlison et al., 2023).

Dari beberapa referensi penelitian ini, maka akan dilakukan perancangan single axis solar tracking terintegrasi IoT untuk mendapatkan data pengukuran sudut, suhu, arus, tegangan, juga daya yang akan ditampilkan pada *smartphone*. Dengan mengubah data pengukuran sinyal analog menjadi sinyal digital oleh motor servo, INA219, dan MAX6675, data diproses oleh ESP32 kemudian akan diupload ke blynk IoT (*Internet of Things*).

METODE PENELITIAN

Metode eksperimen akan diterapkan pada pengambilan data dan menggunakan studi literatur dari peneliti sebelumnya sebagai data pendukung menentukan

variabel penelitian. Diawali dengan mendesain sistem, perangkat lunak dan perangkat keras agar dapat menghasilkan sistem yang diharapkan. Pengambilan data ditetapkan pada pukul 07.00-16.00 WIB. Di bawah ini digambarkan *Flow Chart* untuk perancangan kegiatan penelitian.



Gambar 1. *Flowchart* langkah-langkah Penelitian

Pertanyaan Penelitian

Research Questions (RQ) menggambarkan masalah ilmiah yang ingin dijawab melalui penelitian disertasi.

Tabel 1. Pertanyaan Penelitian

ID	Pertanyaan Penelitian
Tingkat Pengembangan (To Develop)	
RQ1	Bagaimana merancang algoritma <i>solar tracking single axis</i> yang adaptif dan terintegrasi dengan sistem IoT untuk mengendalikan posisi panel surya secara optimal?
RQ2	Parameter sensor dan data lingkungan apa saja yang relevan dan perlu diintegrasikan dalam algoritma <i>solar tracking single axis</i> berbasis IoT?
Tingkat Analisis (To Analyze)	
RQ3	Bagaimana pengaruh variabel lingkungan (intensitas radiasi matahari, suhu panel, dan



ID	Pertanyaan Penelitian
RQ4	kondisi cuaca) terhadap kinerja algoritma <i>solar tracking single axis</i> terintegrasi IoT? Bagaimana hubungan antara strategi pergerakan panel pada satu sumbu dan peningkatan produksi daya listrik PLTS?
Tingkat Evaluasi (To Evaluate)	
RQ5	Sejauh mana algoritma <i>solar tracking single axis</i> terintegrasi IoT mampu meningkatkan efisiensi operasional PLTS dibandingkan dengan sistem panel statis dan <i>solar tracking</i> konvensional?
RQ6	Bagaimana kinerja algoritma yang diusulkan ditinjau dari aspek akurasi posisi panel, konsumsi energi aktuator, dan stabilitas operasional sistem PLTS?

Kerangka pertanyaan penelitian yang dirumuskan dalam tabel 1, disusun secara strategis untuk menjawab pertanyaan secara umum yaitu apa yang diteliti, bagaimana cara meneliti, dan kontribusi apa yang dihasilkan.

Sejalan dengan pengembangan RQ1, penelitian ini mengusulkan perancangan algoritma *single axis solar tracking* yang memiliki kemampuan adaptif dalam merespons dinamika lingkungan secara otomatis. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan sudut kemiringan panel surya dengan mempertimbangkan perubahan intensitas cahaya, posisi matahari, serta kondisi suhu, sehingga efisiensi penyerapan energi dapat ditingkatkan secara signifikan. Selain itu, integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan proses akuisisi data, pemantauan kinerja, dan pengendalian sistem dilakukan secara *real-time* melalui perangkat terhubung. Dengan demikian, solusi yang diusulkan tidak hanya meningkatkan performa pembangkitan energi surya, tetapi juga memberikan kemudahan dalam monitoring serta pengambilan keputusan berbasis data secara lebih akurat dan responsif.

Pada pengembangan RQ1 disini akan dirancang sebuah lagoritma *single axis solar tracking* yang dapat dirancang secara adaptif, yaitu mampu menyesuaikan sudut panel surya secara otomatis terhadap perubahan kondisi lingkungan, serta dihubungkan dengan IoT untuk memantau secara real-time.

RQ2 pada tingkat pengembangan ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan parameter sensor serta data lingkungan yang paling relevan dalam mendukung kinerja algoritma *Single Axis Solar Tracking* berbasis Internet of Things (IoT). Pemilihan parameter yang tepat menjadi aspek krusial karena secara langsung memengaruhi akurasi pengendalian sudut panel surya, efisiensi pergerakan aktuator, serta

peningkatan produksi daya listrik PLTS secara keseluruhan.

Pada pengembangan RQ3 dan RQ4, penelitian ini akan difokuskan pada tahap analisis untuk mengevaluasi hubungan kausal dan korelasi antara variabel lingkungan, seperti intensitas radiasi matahari, suhu panel surya, dan kondisi cuaca, terhadap kinerja algoritma *single axis solar tracking* yang telah terintegrasi dengan sistem Internet of Things (IoT). Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana pengaruh masing-masing variabel dalam memengaruhi efektivitas sistem dalam mengoptimalkan posisi panel surya. Selain itu, kajian ini juga akan mengukur kontribusi penerapan sistem tersebut terhadap peningkatan kapasitas produksi daya listrik pada PLTS.

RQ5 dan RQ6 pada tingkatan ini akan mengevaluasi dan menilai efektivitas dan kontribusi nyata dari algoritma *solar tracking single axis* yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT) dalam meningkatkan kapasitas daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Identifikasi Kebutuhan

Dalam hal ini penulis akan membahas terkait kebutuhan yang digunakan untuk perancangan panel surya tracker dan monitoring berdasarkan data-data dan informasi yang diperoleh. Kebutuhan perancangan panel surya tracker dan monitoring ini meliputi kebutuhan perangkat keras dan kebutuhan perangkat lunak. perancangan penelitian panel surya tracker dan monitoring menggunakan beberapa sensor dan mikrokontroler yang dijabarkan pada tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan Perangkat Keras (*Hardware*)

No	Komponen	Jumlah	Fungsi
1	ESP 32	1	Sebagai Pengendali program
2	Motor Servo	1	Menentukan batas sudut rotasi motor
3	MAX6675	1	Mengukur suhu
4	Sensor INA219	1	Mengukur tegangan dan arus
5	Sensor LDR	2	Sebagai Pelacakan Sinar Matahari
6	SCC	1	Mengatur pengisian yang ditangkap oleh modul fotovoltaik
7	Baterai	1	Sebagai penyimpan tegangan
8	Panel surya mini	4	Sebagai media penelitian
9	Resistor	2	Membatasi aliran arus



No	Komponen	Jumlah	Fungsi
10	Dioda	4	listrik Mencegah arus balik ke panel surya

Keterangan tabel 2:

1. Modul ESP32 ini menawarkan banyak keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lainnya, salah satunya adalah jumlah pin yang cukup banyak, lebih banyak pin analog, dan kapasitas memori yang lebih besar.
2. Motor servo untuk menggerakkan panel surya, karena kemampuannya untuk mengatur sudut pergerakan dengan akurat.
3. Sensor termokopel tipe K MAX6675 merupakan modul sensor suhu dengan kemampuan untuk mengukur suhu yang sangat tinggi.
4. Sensor arus dan tegangan adalah perangkat yang dipakai untuk mengukur besaran listrik. Sensor ini berperan penting dalam berbagai aplikasi, seperti pemantauan daya pada sistem panel surya.
5. Sensor Light Dependent Resistor /LDR berfungsi untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari dan membantu sistem solar tracking menjadikan letak panel surya supaya selalu terkena cahaya paling kuat.
6. Solar *Charge Controller* adalah perangkat yang mengatur pengisian daya dari panel surya ke baterai agar efisien dan aman.
7. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dari proses fotovoltaiik dari panel surya, hal ini menjadikan baterai siap digunakan kapan saja.
8. Panel surya adalah perangkat berteknologi yang tersusun atas sel fotovoltaiik (Bahan Silikon, bahan Semi konduktor) guna mengubah energy cahaya menjadi energy listrik.
9. Dioda dalam sistem panel surya berperan penting untuk mencegah kehilangan daya dan memastikan efisiensi sistem tetap optimal.
10. Resistor dikombinasikan dengan sensor LDR, untuk menyesuaikan sensitivitas sensor terhadap cahaya.

Perangkat lunak merupakan software yang berfungsi mengendalikan segala aktifitas perangkat kerja. Dalam melakukan perakitan solar tracking menggunakan Mikrokontroler tentu terdapat beberapa kebutuhan perangkat lunak (*software*) digunakan untuk memprogram sistem tersebut.

Tabel 3. Kebutuhan Perangkat Lunak (*Software*)

No	Nama perangkat	Fungsi
1	Aplikasi Arduino	Program pendukung untuk diupload ke board

2	IDE Aplikasi Blynk	Arduino Aplikasi yang dirancang khusus untuk project monitoring IoT
---	--------------------	--

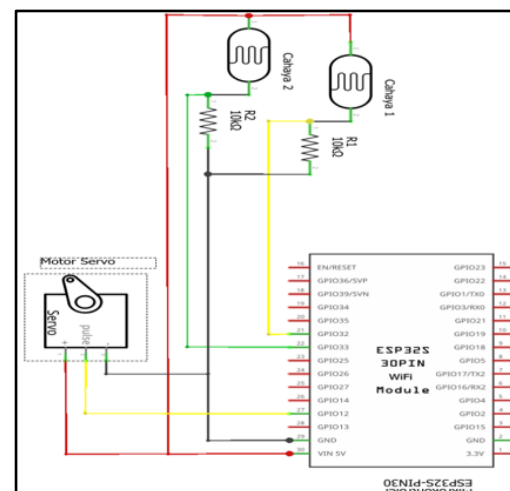
Keterangan Tabel 3:

1. Perangkat lunak Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah pemrograman yang dirancang khusus untuk papan Arduino dan berfungsi sebagai aplikasi untuk memprogramnya. Arduino IDE berbasis pada bahasa pemrograman Java dan dilengkapi dengan pustaka C atau C++ untuk mempermudah pengoperasian input dan output.
2. *Blynk* adalah aplikasi yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi OS mobile (baik Android maupun IOS) yang dirancang khusus untuk proyek pemantauan menggunakan IoT. Pengguna dapat melihat data sensor, menyimpan dan memvisualisasikan data, dan mengendalikan sistem dari jauh.

Perancangan Sistem

1) Perancangan Sensor cahaya dan motor Servo

Perancangan sistem ini memanfaatkan sensor LDR sebagai pendeteksi intensitas cahaya matahari digunakan sebagai input untuk mengendalikan pergerakan motor servo DC. motor servo akan menyesuaikan posisi dan sudut panel surya secara otomatis agar selaras dengan arah datangnya sinar matahari. Dengan mekanisme ini, orientasi panel dapat dioptimalkan secara dinamis sehingga proses penyerapan energi matahari menjadi lebih maksimal. Untuk skematik dari perancangan ini dapat dilihat pada gambar 2:



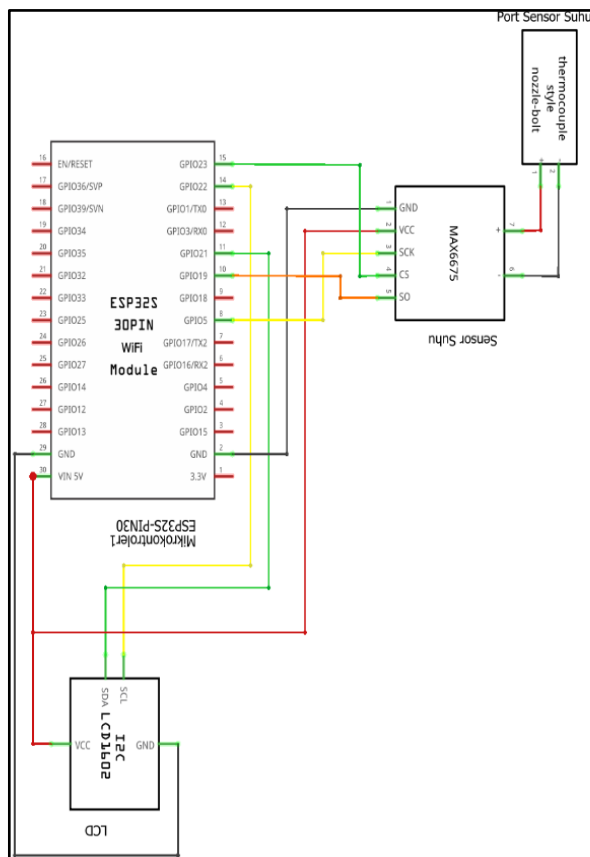
Gambar 2. Rangkaian Perancangan Sensor cahaya dan Motor Servo



Berdasarkan gambar 2. diatas diketahui bahwa 5V ESP32 terhubung ke V_{CC} sensor cahaya 1 dan 2, untuk kaki resistor 1 dan 2 terhubung dengan GND ESP32, untuk V_{CC} servo terhubung 5V ESP32, GND servo terhubung GND ESP32, sedangkan untuk pin sinyal motor servo terhubung ke pin 12 dan kaki resistor 1 dan 2 terhubung ke pin 32 dan 33 ESP32.

2) Perancangan Sensor MAX6675 dan LCD 16x2 I2C

Pada perancangan sensor MAX6675 dan LCD 16x2 I2C berfungsi untuk membaca nilai suhu permukaan panel surya dan LCD sebagai menampilkan informasi. Untuk skematik dari perancangan ini dapat di lihat pada Gambar 3.

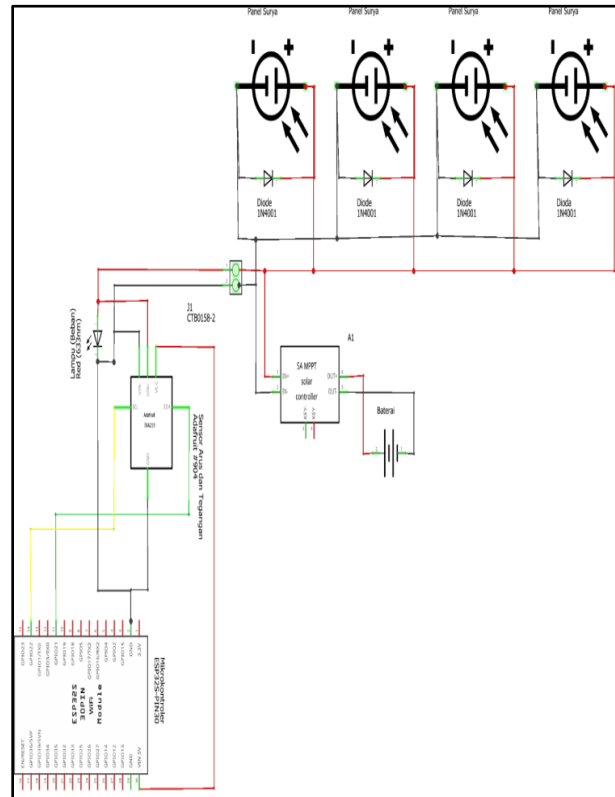


Gambar 3. Perancangan Sensor MAX6675 dan LCD 16x2 I2C

Dari gambar 3 diatas diketahui bahwa 5V dan GND ESP32 terhubung dengan V_{CC} dan GND sensor MAX6675, untuk LCD 16x2 I2C pin V_{CC} dan GND terhubung dengan 5V dan GND ESP32. untuk LCD 16x2 I2C pin SCL SDA terhubung dengan pin 22 dan 21 ESP32, sedangkan pin SCK, CS, SO pada MAX6675 terhubung dengan pin 5, 23, 19 pada ESP32.

3) Perancangan Sensor INA219 dan Rangkaian Baterai

Pada perancangan sensor INA219 dan rangkaian baterai berfungsi untuk membaca nilai tegangan, daya dan nilai arus. Dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Perancangan Sensor INA219 dan Rangkaian Baterai

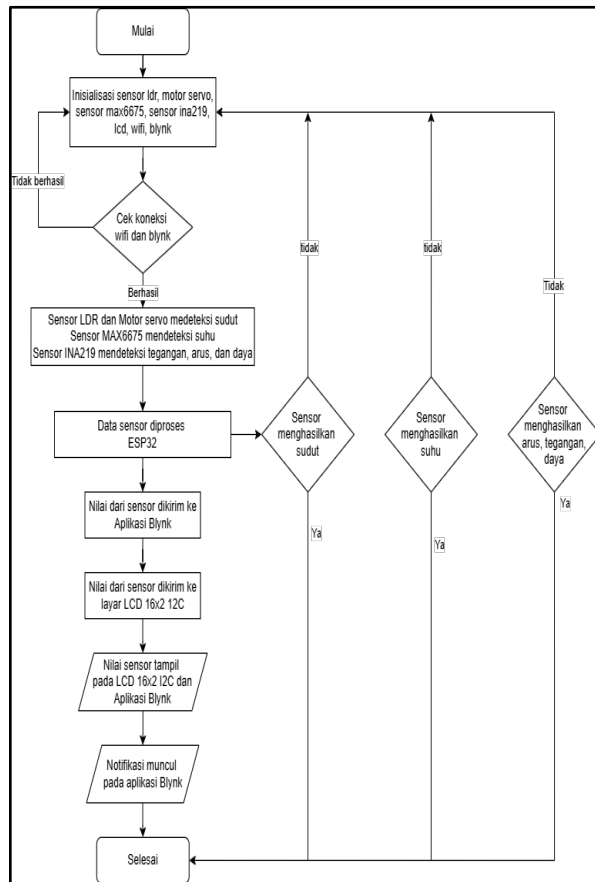
Berdasarkan gambar 4. diatas diketahui bahwa 5V dan GND ESP32 terhubung dengan V_{CC} dan GND sensor INA219, untuk pin SCL dan SDA pada sensor INA219 terhubung dengan pin 22 dan 21 ESP32, sedangkan pin Vin (+) pada sensor INA219 terhubung dengan (+) panel surya dan pin Vin (-) terhubung dengan anoda lampu, untuk katoda lampu terhubung ke (-) panel surya dan ke GND ESP32, serta (+) dan (-) panel surya terhubung dengan input (+) dan (-) solar charger controller. Dan output (+) dan (-) solar charger controller terhubung dengan (+) dan (-) baterai.

4) Perancangan Algoritma Perangkat Lunak

Tujuan utama dari perancangan perangkat lunak adalah untuk membuat mekanisme sistem yang akan mengoperasikan perangkat keras.

Sistem perangkat lunak yang akan digunakan adalah Arduino IDE, yang digunakan untuk

pemrograman guna mengendalikan komponen perangkat keras. Selain itu, sistem IoT digunakan sebagai sistem operasi IOS dan Android dalam mengendalikan perangkat keras.



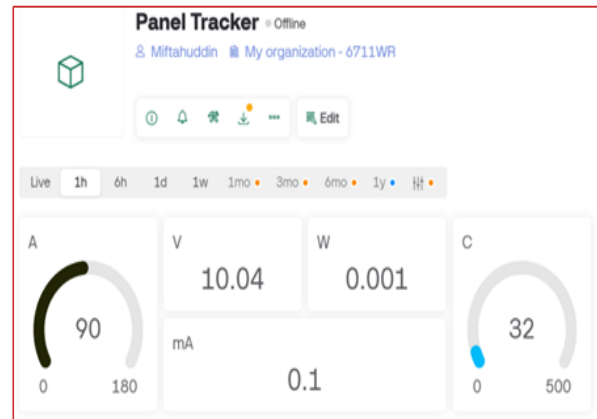
Gambar 5. Flowchart Pemrograman Perangkat lunak pada Arduino IDE

Keterangan Gambar 5:

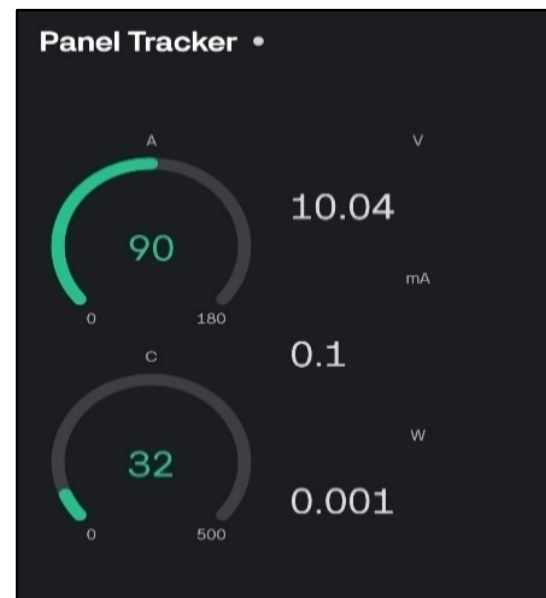
1. Mengimpor *library* ESP32, *Blynk*, MAX6675, INA219, motor servo.
2. Cek koneksi wifi dan *blynk*, apabila tidak berhasil kembali ke inisialisasi program, jika berhasil membaca sensor.
3. Sensor mendeteksi sudut, suhu, arus, tegangan, daya.
4. Data sensor diproses ESP32, apabila pada tahap ini sensor tidak dapat menampilkan data maka kembali ke tahap inisialisasi program, dan jika berhasil maka data berhasil di deteksi.
5. Dari ESP32 mengirimkan nilai sensor ke *blynk*, dan LCD 16x2 I2C.
6. Dari *blynk* muncul notifikasi

5) Tampilan Blynk

Penggunaan aplikasi *blynk* bertujuan untuk menampilkan nilai dari suhu, arus, daya, tegangan, dan sudut, membuat sistem notifikasi dan sistem monitoring bagi pengguna yang terpasang pada *smartphone* sehingga membuatnya lebih praktis.



Gambar 6. Tampilan *blynk* di Laptop



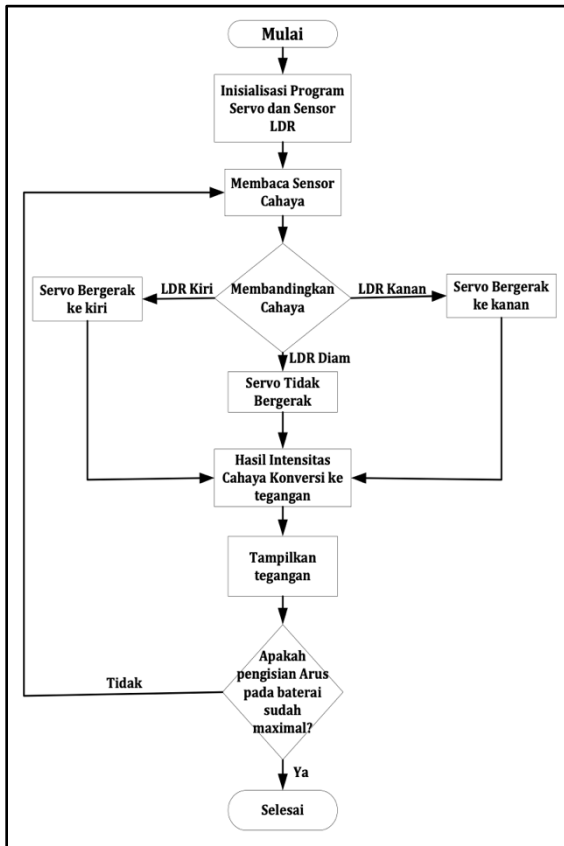
Gambar 7. Tampilan Nilai Hasil Blynk di Handphone

6) Perancangan Algoritma Tracker

Sistem tracker dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari dengan secara otomatis mengarahkan posisi panel surya mengikuti titik intensitas cahaya tertinggi.

Berikut adalah alur kerja sistem berdasarkan *flowchart* yang telah dibuat:





Gambar 8. Flowchart Algoritma Tracker

Keterangan Gambar 8 sebagai berikut:

1. ESP32 akan melakukan inisialisasi terhadap seluruh komponen, termasuk servo motor, sensor LDR.
2. ESP32 membaca nilai analog dari dua sensor ldr, yang dipasang di kanan dan di kiri panel.
3. Nilai ADC (Analog-to-Digital Converter) dari sensor LDR ini kemudian dikonversikan ke dalam tegangan listrik untuk perbandingan lebih lanjut.
4. Hasil pembacaan sensor LDR dalam bentuk tegangan listrik akan ditampilkan di Serial Monitor.
5. Setelah data sensor LDR dikonversi ke tegangan, sistem akan mengambil keputusan untuk menggerakkan servo motor berdasarkan perbedaan cahaya antara LDR 1 dan LDR 2.

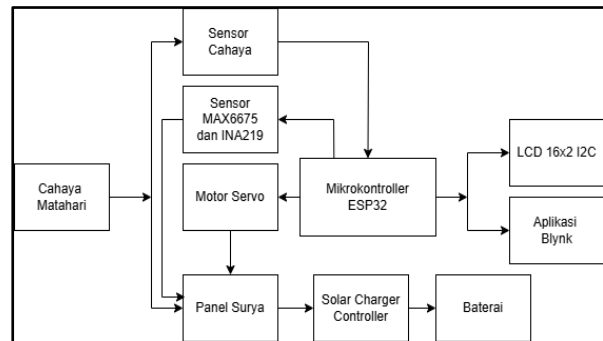
Tiga kondisi yang mungkin terjadi:

- a) Kondisi 1: Cahaya di LDR 1 lebih kuat
 1. Jika nilai tegangan dari LDR 1 lebih tinggi dibandingkan LDR 2 (ditambah toleransi), maka servo akan bergerak ke atas.
 2. Panel surya akan menyesuaikan posisi agar menghadap sumber cahaya lebih optimal.
 3. Output: "Gerak ke atas"
- b) Kondisi 2: Cahaya di LDR 2 lebih kuat

1. Jika nilai tegangan dari LDR 2 lebih tinggi dibandingkan LDR 1 (ditambah toleransi), maka servo akan bergerak ke kiri.
2. Panel surya akan menyesuaikan posisi agar lebih banyak menyerap sinar matahari.
3. Output: "Gerak ke kiri"
- c) Kondisi 3: Cahaya di LDR 1 & LDR 2 Seimbang
 1. Jika tegangan LDR 1 dan LDR 2 hampir sama (berbeda kurang dari nilai toleransi), maka servo tetap diam karena panel surya sudah berada di posisi optimal.
 2. Output: "Cahaya seimbang, servo diam"
6. Setelah keputusan diambil dan servo melakukan pergerakan (jika perlu), sistem akan kembali ke langkah awal untuk membaca ulang sensor LDR.

7) Perancangan Diagram Alir Kerja Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini secara umum direpresentasikan melalui diagram blok yang menggambarkan alur kerja sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 berikut:



Gambar 9. Perancangan Diagram Blok

Energi cahaya matahari terlebih dahulu ditangkap oleh panel surya dan diubah menjadi energi listrik, kemudian dialirkan menuju baterai. Sebelum mencapai baterai, arus listrik melewati solar charge controller yang berfungsi mengatur proses pengisian agar baterai tidak mengalami overcharge. Kemudian, cahaya matahari yang menghasilkan panas yang berbeda-beda setiap waktu dan kondisi cuaca, yang kemudian dibaca oleh sensor max6675 dan diterima mikrokontroler.

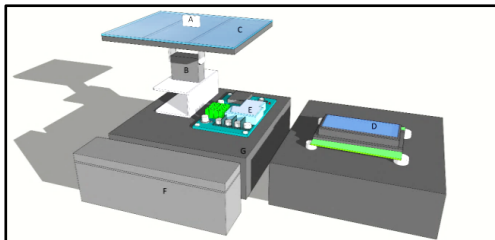
Di sisi lain, cahaya matahari juga dideteksi oleh sensor cahaya yang menghasilkan nilai tegangan dan arus yang berubah-ubah sesuai intensitasnya, kemudian dibaca oleh mikrokontroler. Berdasarkan data tersebut, mikrokontroler selanjutnya mengendalikan motor servo untuk mengatur posisi panel surya agar mengikuti arah datangnya cahaya.

Pengukuran arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya dilakukan menggunakan sensor

INA219, kemudian data hasil pengukuran tersebut dibaca dan diproses oleh mikrokontroler. yang akan mengontrol LCD 16x2 I2C dan blynk sebagai sistem monitoring dan perangkat tampilan data.

8) Rancangan Desain Alat

Rancangan struktural desain alat *solar panel* dalam tampak luar dan tampak dalam. A merupakan sensor LDR yang diletakkan berlawanan arah untuk mendeteksi arah gerak matahari. B adalah servo yang digunakan untuk menggerakkan panel surya. C merupakan panel surya mini yang disusun secara paralel berukuran 22cm x 12cm 6V 4,8 WP. D merupakan LCD 16x2 I2C yang digunakan sebagai piranti penampil data. E adalah *solar charge controller* digunakan untuk mengatur pengisian baterai yang ditangkap oleh modul *fotovoltaik*. Komponen F berfungsi sebagai baterai yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. G adalah box yang di dalamnya berisi mikrokontroler dan komponen sensor lainnya, yang terdiri dari ESP32, INA219, dan MAX6675. ESP32 yang merupakan pusat kontrol untuk mengontrol seluruh komponen yang ada. Sensor INA219 yang digunakan untuk membaca nilai arus, tegangan, dan daya panel surya. Sensor MAX6675 yang digunakan untuk mengukur suhu permukaan panel surya.



Gambar 10. Rancangan Desain Alat

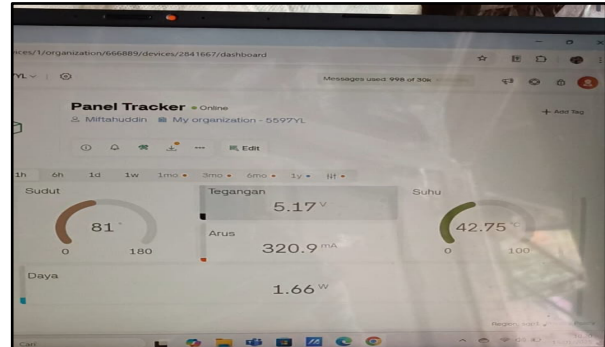
Motor untuk memposisikan panel surya ke arah sensor yang menerima lebih banyak cahaya matahari. Hal ini memastikan bahwa panel surya selalu menghadap tegak lurus ke arah matahari, sehingga baterai dapat menerima suplai daya yang optimal. Mikrokontroler membaca sensor-sensor yang terhubung oleh jaringan *WiFi* yang nantinya terhubung ke *handphone* dan laptop.



Gambar 11. Modul Perangkat Keras Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

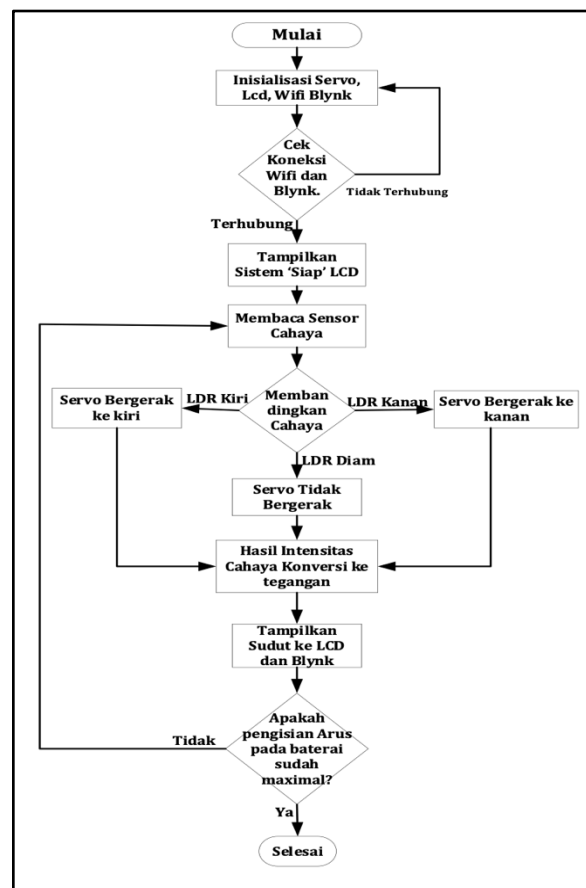
Hasil pengujian dari algoritma *single axis solar tracking* dan monitoring solar panel berbasis IoT.



Gambar 12. Tampilan hasil data terbaca di laptop

Algoritma Pengujian Sudut Solar Tracker

Solar tracking dirancang untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari dengan menggerakkan panel surya ke arah sumber cahaya yang paling terang dan mengirimkan data ke lcd dan *blynk*.



Gambar 13. Algoritma Pengukuran Sudut

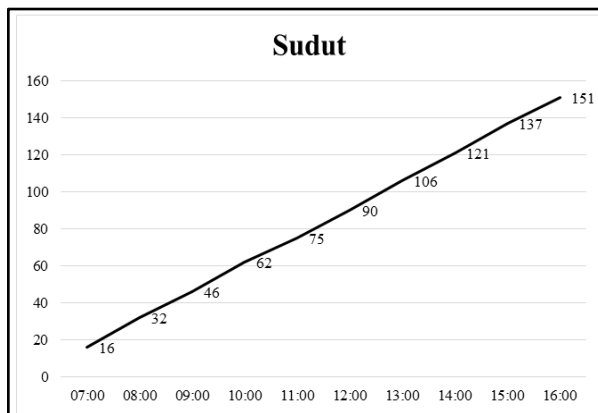
Pengukuran dilakukan untuk memantau respon servo dalam mengikuti pergerakan matahari sesuai dengan waktu tertentu. Tabel 4. merupakan hasil pengujian dari solar panel *tracking* berdasarkan perubahan sudut yang dipengaruhi oleh waktu.

Tabel 4. Hasil pengujian sudut terhadap waktu

No	Waktu Pengujian	Pengujian Sudut (°)
1	07:00	16
2	08:00	32
3	09:00	46
4	10:00	62
5	11:00	75
6	12:00	90
7	13:00	106
8	14:00	121
9	15:00	137
10	16:00	151

Data hasil pengujian menunjukkan bahwa sudut servo meningkat secara bertahap mengikuti posisi matahari mulai dari pukul 07.00 hingga 16.00. Pada pukul 07.00, servo bergerak ke sudut awal 16°, dan sudut ini terus bertambah hingga mencapai sudut maksimum 151° pada pukul 16.00.

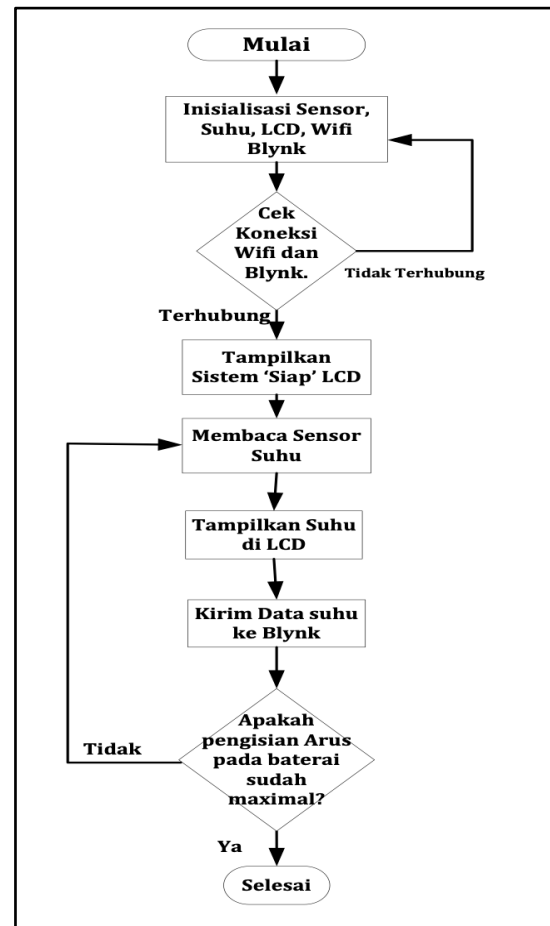
Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem servo yang telah dirancang dapat beroperasi dengan baik dalam mengikuti perputaran arah surya berdasarkan waktu yang telah ditetapkan.



Gambar 14. Grafik Waktu Terhadap Perubahan Sudut

Algoritma Pengukuran Suhu Solar Panel

Algoritma ini bertujuan untuk memantau suhu permukaan panel surya menggunakan sensor MAX6675, menampilkannya di LCD, serta mengirim data ke Blynk IoT agar dapat dipantau secara online. Berikut adalah alur kerja sistem berdasarkan *flowchart* yang telah dibuat:



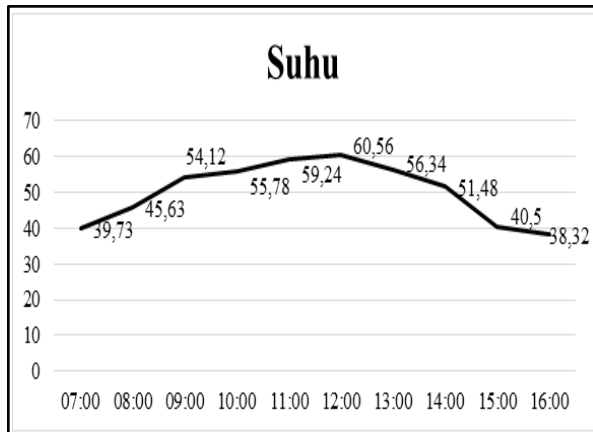
Gambar 15. Flowchart Algoritma Pengukuran Suhu

Pada sensor MAX6675 perubahan waktu cahaya matahari yang menghasilkan suhu yang berbeda-beda setiap kondisi cuaca. Tujuan pengukuran adalah untuk mengamati variasi suhu panel surya sepanjang hari, yang dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari. Tabel5 merupakan hasil pengujian dari solar panel berdasarkan perubahan suhu yang dipengaruhi oleh waktu.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Suhu Terhadap Waktu

No	Waktu Pengujian	Pengujian Suhu (°C)
1.	07:00	39,73
2.	08:00	45,63
3.	09:00	54,12
4.	10:00	55,78
5.	11:00	59,24
6.	12:00	60,56
7.	13:00	56,34
8.	14:00	51,48
9.	15:00	40,50
10.	16:00	38,32

Berdasarkan data Tabel 5. suhu panel surya cenderung meningkat seiring waktu pada pagi hari, dengan puncak suhu tertinggi tercatat pada pukul 12.00, yaitu sebesar 60,56°C. Setelah itu, Suhu panel mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai titik terendah pada pukul 16.00, yaitu sebesar 38,32°C.



Gambar 16. Grafik Waktu Terhadap Perubahan Suhu

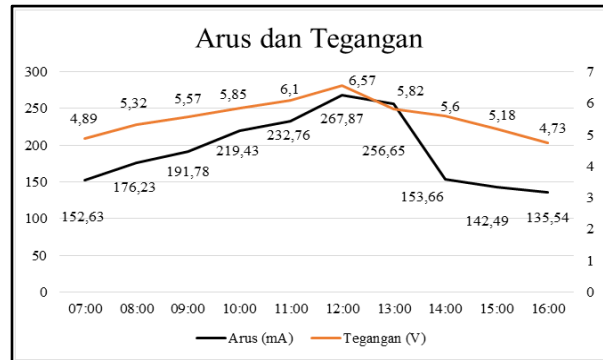
Hasil Pengukuran Arus dan tegangan Solar Panel

Tabel 6 menyajikan hasil pengukuran menggunakan sensor INA219 yang digunakan untuk memantau perubahan arus (I) dan tegangan (V) pada panel surya sepanjang hari, dengan pengambilan data dilakukan setiap satu jam mulai pukul 07.00 hingga pukul 16.00.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan

No	Waktu Pengujian	Arus (mA) I	Tegangan (V) V
1.	07:00	152,63	4,89
2.	08:00	176,23	5,32
3.	09:00	191,78	5,57
4.	10:00	219,43	5,85
5.	11:00	232,76	6,10
6.	12:00	267,87	6,57
7.	13:00	256,65	5,82
8.	14:00	153,65	5,60
9.	15:00	142,49	5,18
10.	16:00	135,54	4,73

Berdasarkan Tabel 6. di atas, baik arus maupun tegangan menunjukkan pola perubahan yang mengikuti intensitas sinar matahari. Arus dan tegangan mencapai nilai maksimum masing-masing sebesar 267,87 mA dan 6,57 V pada pukul 12.00, saat matahari berada pada posisi tertinggi (zenith). Setelah itu, nilai arus dan tegangan mulai menurun hingga sore hari.



Gambar 17. Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Arus Dan Tegangan

Hasil Pengukuran Daya Solar Panel

Berdasarkan hasil dari pengukuran arus dan tegangan solar panel. Dari data pengujian menunjukkan bahwa yang diterima pukul 12.00, pada saat itu solar panel mampu menghasilkan arus 267,87 mA dan tegangan 6,57 V, sehingga menghitung daya yang dihasilkan oleh solar panel dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

P adalah Nilai Daya (Watt)

V adalah Nilai Tegangan (Volt)

I adalah Nilai Arus (A)

Maka nilai $P = 6,57 \times 267,87 = 1,75$ Watt

Nilai kapasitas daya maksimum yang dihasilkan sebesar 1,75 W pada pukul 12.00, saat intensitas matahari berada pada puncaknya. Setelah pukul 12.00, daya mulai menurun seiring dengan penurunan intensitas cahaya matahari di sore hari.

Tabel 7. Daya Hasil Dari Pengujian Panel Surya

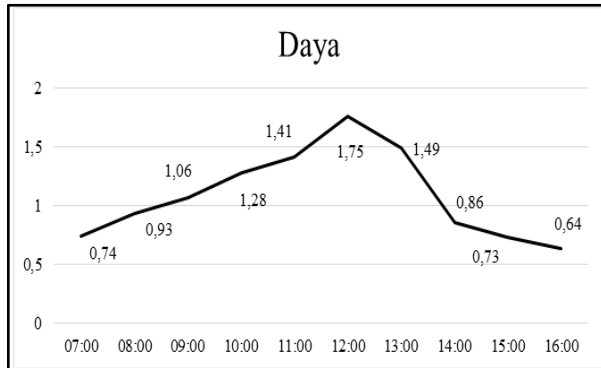
No	Waktu Pengujian	Daya Keluaran (Watt)
1.	07:00	0,74
2.	08:00	0,93
3.	09:00	1,06
4.	10:00	1,28
5.	11:00	1,41
6.	12:00	1,75
7.	13:00	1,49
8.	14:00	0,86
9.	15:00	0,73
10.	16:00	0,64

Daya yang dihasilkan panel surya memperlihatkan pola yang selaras dengan variasi intensitas cahaya matahari sepanjang hari.



Pada pukul 12:00 terlihat daya maximal mengenai panel surya 1,75 watt, lewat dari pukul 12:00 daya mulai menurun meskipun arus tetap tinggi pada pukul 13.00 dengan daya sebesar 1,49 W. daya rerata yang dihasilkan oleh solar panel sebesar:

$$\text{Prerata} = \frac{0,74 + 0,93 + 1,06 + 1,28 + 1,41 + 1,75 + 1,49 + 0,86 + 0,73 + 0,64}{10} \\ = 1,089 \text{ Watt} \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 18. Grafik Daya dari hasil pengukuran

Mulai pukul 13.00 kapasitas daya mulai menurun yaitu sebesar 1,49 W. Penurunan lebih signifikan pada pukul 14.00 sampai 16.00, dengan daya terakhir tercatat sebesar 0,64 W pada pukul 16.00. posisi matahari sudah condong ke Barat.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berhasil diimplementasikan untuk memantau nilai arus dan tegangan panel surya secara real-time dan berbasis daring. Software Blynk yang diterapkan telah berhasil menampilkan data yang sesuai dengan hasil terbaca di system lapangan. Karena itu dapat digunakan dengan mudah dalam memantau nilai riil arus dan tegangan panel surya. Mulai pagi hari pengukuran dilakukan setiap 1 jam sekali pada jam 07.00–16.00 dapat kita analisis bahwa persen keakuratan pengukuran tegangan, arus dan daya adalah hampir mencapai 100% dibuktikan dengan menggunakan rumus $P = V \times I$. Pada siang hari Arus dan tegangan mencapai nilai maksimum masing-masing sebesar 267,87 mA dan 6,57 V pada pukul 12.00, saat matahari berada pada posisi tertinggi (zenith). Sehingga daya yang diperoleh sebesar 1,75 watt. Tampilan hasil penelitian ini dapat dinilai masih belum sempurna, meskipun secara singkat dapat dibuat sebagai referensi dalam peningkatan kapasitas daya panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achlison, U., Teguh Santoso, J., Rozikin, K., & Diapoldo, F. (2023). Analisis Pengisian Baterai berbasis Arus dan Tegangan pada Baterai Kendaraan Listrik.pdf. *Jurnal Elektronika Dan Komputer*, vol 16 no, hal 430-433. <https://doi.org/https://doi.org/10.51903/elkom.v16i2.15796>
- Behera, M. K., Majumder, I., & Nayak, N. (2018). Solar photovoltaic power forecasting using optimized modified extreme learning machine technique. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(3), 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.jestech.2018.04.013>
- Fadli, & Sutabri, T. (2026). Optimalisasi Sistem Monitoring Dan Prediksi Konsumsi Energi Berbasis IoT Dan Deep Learning Untuk Smart Building Di Kota Palembang.pdf. *Jurnal Ilmiah Penelitian Mahasiswa (JIPM)*, 4 no 1, 569–578.
- Hossain, M. S. (2022). Energy-efficient IoT networks using AI driven approaches. *Smart IoT*, 3(2), 1–15. <https://siot.reapress.com/journal/article/view/272>
- Ilyas, S., & Kasim, I. (2017). Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Reflektor Parabola. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 14, 67–80. <https://doi.org/10.25105/jetri.v14i2.1606>
- Iqbal Suryadi, M. (2021). *Sistem Solar Tracking Single Axis Dan Monitoring Solar panel*. 6.
- Jahada Haluti, I., Muliadi, Sri Indah Setiyaningsih MSM, Baihaqi, & Adean Mayasri. (2024). Renewable Energy: A Cornerstone in The Transition Toward a Sustainable Future. *Jka*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.26811/cv21ad86>
- Lee, C., Chou, P., Chiang, C., & Lin, C. (2009). Sun Tracking Systems: A Review. *Sensors* 2009, 3875–3890. <https://doi.org/10.3390/s90503875>
- Mihai, D.-M., & Toma, S.-N.-C. (2024). The World Electricity Production and the Current Global Energy Crisis in Brief. *Ovidius University Annals. Economic Sciences Series*, 23(2), 292–299. <https://doi.org/10.61801/ouaess.2023.2.36>
- Mirdanies, M., & Andry, R. (2012). Rancang Bangun Sistem Kontrol Mekanisme Pelacak Matahari Beserta Fasilitas Telekontrol Hemat Energi. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 2(1), 31–40. <https://doi.org/10.14203/j.Mev.2011.v2.31-40>
- Mirrahman, H., Sara, I. D., & Gapy, M. (2017). Pengukuran Dan Pemantauan Performansi Modul Surya. *Jurnal Online Teknik Elektro*, 2(2), 44–50.

- Nurdiansyah, M., Sinurat, E. C., Bakri, M., Ahmad, I., & Prasetyo, A. B. (2020). Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino UNO. *Jurnal Teknik Dan Sistem Komputer*, 1(2), 40–45. <https://doi.org/10.33365/jtikom.v1i2.14>
- Sutikno, T., Alfahri, J., & Purnama, H. S. (2023). Monitoring Tegangan dan Arus Pada Panel Surya Menggunakan IoT. *Ilmiah Teknologi Elektro*, 22(1), 153. <https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i01.p20>
- Syarifuddin Syahab, A., Cahyo Romadhon, H., & Lukman Hakim, M. (2024). Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT). *Router : Jurnal Teknik Informatika Dan Terapan*, 2(3), 239–252. <https://doi.org/10.62951/router.v2i3.220>
- Terliesner, S., Kaufmann, E., Grott, M., & Hagermann, A. (2022). A Simple Way of Simulating Insolation on a Rotating Body with a Commercial Solar Simulator. *International Journal of Thermophysics*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10765-022-03027-8>

