

TRACKING SOLAR PANEL SINGLE AXIS BERBASIS ARDUINO UNO PADA SISTEM HYBRID

Indra Wahyu Pratama¹, Mohammad Dahlan²
202152004@std.umk.ac.id¹, moh.dahlan@umk.ac.id²
Universitas Muria Kudus

ABSTRACT

The single axis solar panel tracking system based on Arduino Uno in a hybrid system aims to increase the efficiency of solar energy absorption by optimizing the panel's position in relation to sunlight. By using a single axis tracking mechanism, the solar panels can move following the movement of the sun from east to west, thereby maximizing the amount of energy absorbed throughout the day. This system is implemented in a hybrid system that combines several energy sources, such as solar panels, PLN, and generators, to ensure a more stable and efficient electricity supply. The working process of this system involves Arduino Uno as the main microcontroller which controls the movement of the solar panels based on data from the light sensor (LDR). This sensor detects the intensity of sunlight and sends the information to the Arduino, which then adjusts the linear actuator to move the panel so that it always faces the sun at an optimal angle. In addition, this system is equipped with an automatic adjustment that allows the panels to return to their original position at sunset, and is integrated with a hybrid system to distribute energy efficiently. The results of implementing this solar panel tracking system show an increase in solar energy conversion efficiency compared to static panels. With the tracking mechanism, panels can absorb more energy throughout the day, thereby increasing the electrical power produced and reducing dependence on other power sources, such as PLN or generators. This not only optimizes the use of renewable energy but also contributes to reducing operational costs and carbon emissions, thereby supporting a more environmentally friendly and sustainable electricity system.

Keywords: Tracking Single Acting, Light Dependent Resistor, Solar Panel, Arduino, Uno, Hybrid.

PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik dewasa ini semakin tinggi dari tahun ke tahun, ini dikarenakan semakin bertambahnya jumlah penduduk dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang memungkinkan bertambahnya konsumsi produk-produk yang membutuhkan daya listrik. Konsumsi penggunaan bahan bakar fosil yang tinggi dan masih banyak digunakan dalam sistem pembangkitan listrik di Indonesia dapat mengakibatkan berkurangnya sumberdaya alam tersebut di masa depan. Ini sangat riskan karena energi fosil membutuhkan waktu yang lama dalam proses pembentukannya, dan membutuhkan biaya yang sangat tinggi dalam pemrosesan menjadi energi listrik. Oleh karena itu energi matahari yang merupakan energi baru dan terbarukan sudah sangat perlu dikembangkan sebagai sumber daya alternatif yang sangat ramah lingkungan.

Penggunaan cahaya matahari atau energi matahari dapat diubah dan dimanfaatkan menjadi energi listrik, misalnya penggunaan Solar Cell (Panel Surya) merupakan alat yang paling sering digunakan dewasa ini. Penerapan panel surya untuk digunakan sebagai pembangkitan energi baru masih menggunakan sistem statis (konvensional) dimana panel surya yang dipasang obyeknya statis atau tidak bergerak, ini menjadi masalah karena sumber energi dari matahari sebagai obyek selalu bergerak dari arah timur (terbit) ke barat (terbenam), hal ini menyebabkan penerimaan energi matahari dari panel surya menjadi tidak maksimal atau optimal. Sehingga dibutuhkan sebuah teknologi atau sistem yang dapat menggerakkan panel surya (Solar Tracking) menyesuaikan posisi dimana matahari

berada. Oleh karena itu, diharapkan penerimaan panas dari pancaran sinar matahari akan semakin optimal diterima. Dengan demikian maka tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun sistem tracking single axis pada panel surya untuk mengimplementasikannya ke dalam sebuah purwarupa dengan menyesuaikan dengan kondisi dan perangkat yang ada di lapangan, sehingga optimalisasi daya dari perangkat ini dapat dilihat dengan membandingkan sebelum dan setelah penggunaan Solar Tracking.

Tinjauan Pustaka

1. Penelitian Terdahulu

Pertama, pada penelitian sebelumnya Penelitian yang dilakukan oleh M. Rif, S. Hp, M. Shidiq, R. Yuwono, and H. Suyono, yang berjudul “Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas” menjelaskan tentang penggunaan photovoltaic dalam skala yang kecil tetapi dengan skala yang kecil sudah bisa menghasilkan energi listrik yang berkapasitas 150-300 Wh, jadi karena skala nya kecil dan hanya dipasang pada tiap rumah dengan satu pembangkit listrik sehingga tidak perlumemerlukan jaringan SHS yang ideal sebagai sumber listrik di pedesaan dimana yang jarak rumahnya agak berjauhan dan kebutuhan listriknya cukup keperluan lampu saja.

Kedua, Penelitian lain yang dilakukan oleh Mostefa.Ghassoul (2018) yang berjudul “Satu sumbu sistem pelacakan otomatis berdasarkan skema percontohan untuk kontrol panel surya untuk mengoptimalkan ekstraksi energi matahari” dengan metode yang dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan studi banding, menjelaskan sistem pelacakan otomatis berdasarkan skema untuk kontrol panel surya menggunakan sensor LDR dengan statis dengan hasil pengujian solar tracking dari sensor LDR, dan tidak menggunakan sensor LDR menunjukkan peningkatan ekstraksi energi sekitar 40% dibandingkan panel yang tidak menggunakan sensor LDR.

Ketiga, Penelitian lain yang dilakukan oleh I. M. A. Nugraha, I. A. D. Giriantari, and I. N. S. Kumara yang berjudul “Studi Dampak Ekonomi dan Sosial PLTS Sebagai Listrik Pedesaan Terhadap Masyarakat Desa Ban Kubu Karangasem” menjelaskan bagaimana cara pemecahan suatu masalah untuk analisis teknik, sosial dan ekonomi dengan metode kuisioner, wawancara dan observasi. Data dari penelitian ini berdasarkan jawaban setiap koresponden sebanyak 62 orang dengan cara kuisioner dan wawancara secara langsung di Dusun Cegi dan Dusun Pengalusan. Pemilihan terhadap koresponden yang dilakukan adalah purposive sampling. Dari jawaban wawancara dan kuisioner dilakukan maka setelah itu data tersebut dikumpulkan dan ditabulasikan. Selanjutnya adalah melakukan uji validitas dan juga reliabilitas. Pengujian ini dilakukan secara analisis faktor yaitu mengkorelasikan antara jumlah faktor dan juga skor total dengan menggunakan rumus Person Product Moment. Sedangkan untuk reliabilita dilakukan secara koefisien korelasi Alpha Cronbach. Untuk pengujian antara validitas dan pengujian reliabilitas yaitu menggunakan suatu progam yang disebut SPSS 16.0 for window.

2. Konsep Solar Tracker

Solar tracker adalah perangkat yang dirancang untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, sehingga panel surya dapat selalu berada pada sudut optimal terhadap sinar matahari. Dengan menggunakan sistem pelacakan, efisiensi penyerapan energi matahari dapat meningkat secara signifikan dibandingkan dengan panel surya yang dipasang secara statis

3. Jenis Solar Tracker

Terdapat beberapa jenis solar tracker, namun penelitian ini fokus pada single axis solar tracker, yang bergerak pada satu sumbu horizontal. Sistem ini lebih sederhana dan

lebih mudah diimplementasikan dibandingkan dengan multi-axis tracker, sambil tetap memberikan peningkatan efisiensi yang substansial.

4. Panel Surya dan Energi Matahari

Panel surya adalah perangkat yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Panel surya umumnya terbuat dari material semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menghasilkan arus listrik ketika terkena cahaya matahari. Efisiensi panel surya sangat bergantung pada sudut insidensi cahaya terhadap permukaan panel. Oleh karena itu, optimasi posisi panel menggunakan sistem tracking menjadi penting untuk meningkatkan energi yang dihasilkan (Rahman dan Pratama, 2021).

Panel Surya



Gambar 1 Panel Surya

Panel surya, juga dikenal sebagai panel fotovoltaiik (PV), adalah perangkat yang dirancang untuk mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik. Panel ini terdiri dari banyak sel surya, yang merupakan unit dasar yang menjalankan proses konversi energi. Sel-sel surya ini biasanya terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang dapat menyerap foton (partikel cahaya) dan mengubahnya menjadi arus listrik melalui efek fotovoltaiik. Ketika sinar matahari mengenai sel surya, foton-foton tersebut memberikan energi kepada elektron-elektron di dalam bahan semikonduktor, sehingga elektron-elektron tersebut bergerak dan menciptakan aliran listrik. Aliran listrik ini kemudian dapat digunakan langsung atau disimpan dalam baterai untuk penggunaan dimasa mendatang. Panel surya umumnya dikemas dalam bentuk modul yang dapat dipasang di atap bangunan, di lahan terbuka, atau pada struktur khusus seperti tiang lampu. Sistem panel surya bisa digunakan untuk berbagai aplikasi, mulai dari penerangan rumah tangga, pembangkit listrik komersial, hingga penyediaan daya untuk perangkat elektronik kecil.

LDR (Light Dependent Resistor)



Gambar 2. Sensor LDR (Light Dependent Resistor)

LDR (Light Dependent Resistor) merupakan salah satu komponen jenis resistor dengan nilai resistansi yang terus berubah sesuai intensitas cahaya yang mengenai sensor. Semakin banyak cahaya yang mengenai sensor LDR, maka akan semakin menurun nilai resistansinya. Nah, semakin sedikit cahaya yang mengenai sensor (gelap), maka nilai resistansinya akan semakin besar, jadi arus listrik yang mengalir akan terhambat.

Pada umumnya, sensor LDR mempunyai nilai resistansi sebesar 200 KOhm di tengah kegelapan dan akan turun menjadi 500 Ohm saat terkena banyak cahaya. Oleh karena itu, menjadi hal biasa apabila komponen elektronika yang peka cahaya ini sering digunakan untuk lampu alarm, kamar tidur, penerangan jalan dan lain sebagainya.

LDR memiliki peran sebagai sensor cahaya di dalam aneka rangkaian elektronika seperti saklar otomatis berdasarkan cahaya. Jadi jika sensor terkena cahaya, maka arus listrik akan mengalir (ON) dan jika sensor berada di dalam kondisi minim cahaya alias gelap, maka aliran listrik akan terhambat (OFF). LDR sering digunakan untuk sensor lampu kamar tidur, penerangan jalan otomatis, alarm dan lain sebagainya.

Inverter Hibrida



Gambar 3. Inverter Hibrida

Inverter Hibrida adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga atau dikirim ke jaringan listrik umum. Inverter hybrid memiliki kemampuan untuk mengelola berbagai sumber energi, seperti energi yang dihasilkan dari panel surya, baterai, dan jaringan listrik konvensional (PLN).

Baterai Panel Surya



Gambar 4. Baterai Panel Surya

Baterai panel surya adalah komponen penyimpanan energi yang digunakan dalam sistem tenaga surya untuk menyimpan listrik yang dihasilkan oleh panel surya (fotovoltaik). Baterai ini mempunyai kapasitas 12V, 65Ah dan daya yang dihasilkan 780 Wh. Baterai ini memungkinkan energi yang dihasilkan oleh panel surya di siang hari saat matahari bersinar untuk disimpan dan digunakan pada waktu-waktu ketika produksi energi dari panel surya rendah atau tidak ada, seperti di malam hari atau selama kondisi cuaca buruk.

Relay 4-Channel



Gambar 5. Relay 4 Channel

Relay 4-channel pada sistem penyiraman otomatis digunakan untuk mengontrol berbagai perangkat dengan cara yang efisien dan otomatis. Channel 1 berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan pompa air, memastikan aliran air dari sumber ke sistem penyiraman. Sedangkan channel 2, 3, dan 4 digunakan untuk mengendalikan slave, yang

bisa berupa katup solenoid atau perangkat lain yang mengatur distribusi air ke berbagai saluran penyiraman. Dengan demikian, sistem dapat mengalirkan air secara tepat ke area yang membutuhkan. Selain itu, relay juga memiliki fungsi penting dalam mengalihkan daya ke komponen lain, seperti sensor kelembaban atau pengatur waktu, dan memastikan bahwa perangkat tersebut bekerja pada waktu yang tepat sesuai dengan kebutuhan sistem.

Aktuator Linier



Gambar 6. Aktuator Linier

Single axis solar tracker adalah sistem yang dirancang untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang satu sumbu tertentu, biasanya sumbu horizontal atau vertikal. Tujuan utama dari sistem ini adalah meningkatkan efisiensi penangkapan energi surya dengan menggerakkan panel surya atau modul fotovoltaik agar selalu menghadap langsung ke matahari sepanjang hari. Dengan metode ini, panel surya dapat menangkap lebih banyak cahaya matahari sesuai dengan pergerakan matahari, sehingga meningkatkan produksi energi. Penelusuran satu sumbu dapat mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat (penelusuran horizontal). Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh perusahaan McFee pada tahun 1975. Dalam penelitian ini, teknologi yang digunakan melibatkan ArduinoUno dan sensor LDR (light dependent resistor), di mana Arduino berfungsi sebagai pengendali yang mengoordinasikan gerakan berdasarkan data yang diperoleh dari Sensor LDR.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan Riset dan Pengembangan (R&D) yang bertujuan untuk menguji efektivitas sistem tracking solar panel berbasis Arduino yang dikembangkan. Penelitian akan dilakukan di Desa Tlutup, dengan tujuan untuk menghemat biaya operasional dan menyediakan solusi cadangan untuk PLN saat listrik padam. Penelitian ini akan melibatkan dua kelompok: satu kelompok menggunakan sistem tracking solar panel single acting berbasis Arduino dan kelompok lain menggunakan sistem monitoring dan pengalihan listrik PLN ketika padam. Data yang dikumpulkan akan dianalisis untuk membandingkan biaya operasional dan efektivitas kedua metode.

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Tlutup RT 05 RW 01, Kecamatan Trangkil, Kabupaten Pati. Di sini, alat akan dirancang dan diuji dalam konteks lingkungan yang relevan dengan penggunaan teknologi. Tahapan penelitian meliputi studi literatur untuk memperkuat dasar teori, perancangan alat dan program, validasi komponen, penyelarasan alat dan program, pengujian alat di lapangan, dan analisis hasil data untuk menentukan efektivitas sistem yang dikembangkan.

Tahapan penelitian ini dimulai dengan studi literatur untuk mengumpulkan informasi dari penelitian sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan perancangan alat,

yang mencakup pemilihan dan perakitan komponen seperti panel surya, Arduino UNO, sensor LDR, aktuator linier, inverter, dan baterai. Program dibuat dengan menggunakan Arduino IDE untuk mengontrol alat yang dikembangkan. Validasi komponen dilakukan dengan membandingkan hasil sensor dengan alat ukur konvensional. Penyelarasan alat dan program dilakukan untuk memastikan kedua komponen tersebut bekerja dengan baik. Pengujian lapangan dilakukan untuk memastikan alat berfungsi sesuai yang diharapkan dan menghasilkan data yang valid.

Desain alat yang dikembangkan melibatkan panel surya dengan kapasitas 200 Wp dan Arduino UNO sebagai controller. Sistem ini menggunakan dua sensor LDR untuk mendeteksi cahaya matahari dan menggerakkan panel surya agar selalu menghadap matahari, mengoptimalkan penyerapan energi matahari. Baterai digunakan untuk menyimpan energi yang dihasilkan, dan sistem dapat berfungsi secara otomatis, bergantung pada daya surya atau menggantikan daya PLN saat listrik padam.

Komponen utama sistem meliputi panel surya, inverter, baterai, dan server internet yang bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan dan mengelola energi listrik. Sensor LDR digunakan untuk mendeteksi cahaya matahari dan menggerakkan panel surya ke arah yang paling efisien. Inverter mengubah energi searah (DC) menjadi bolak-balik (AC), yang kemudian digunakan oleh perangkat elektronik. Dalam kondisi listrik PLN padam, baterai akan menyuplai energi, dan genset akan berfungsi sebagai cadangan ketika baterai habis.

Validasi pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari sensor dengan alat ukur konvensional untuk memastikan akurasi sensor yang digunakan. Selanjutnya, analisis hasil dilakukan dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh panel surya dalam tiga pengujian sudut yang berbeda, dengan menghitung daya menggunakan rumus $P = I \times V$ (Daya = Arus $\times$ Tegangan).

Dengan tahapan-tahapan yang terstruktur dan sistematis ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai efektivitas sistem tracking solar panel berbasis Arduino, serta kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan.

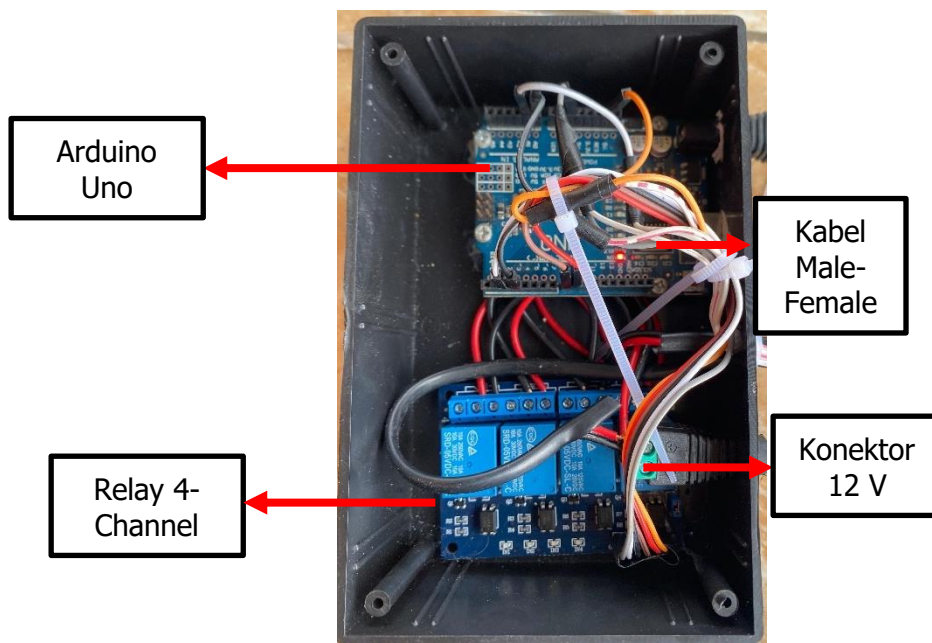
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancang Bangun Solar Panel Tracking

Hasil penelitian telah berhasil dibuat sistem solar tracker dengan menggunakan Arduino UNO sebagai kontroler, dan 2 modul sensor LDR yang digunakan. Sistem solar tracker sumbu tunggal berbasis Arduino Uno bekerja dengan memanfaatkan sensor cahaya (LDR) untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari dari berbagai arah dengan memanfaatkan bayangan. Data yang diperoleh dari sensor dikirimkan ke Arduino Uno, yang memproses informasi tersebut dan menentukan posisi optimal untuk panel surya. Arduino Uno kemudian mengontrol aktuator linier untuk menggerakkan panel surya, memastikan panel selalu menghadap langsung ke matahari dan memaksimalkan penyerapan energi. Sistem ini terus memantau dan menyesuaikan posisi panel surya secara otomatis, sehingga meningkatkan efisiensi pengumpulan energi matahari dibandingkan dengan panel surya statis.

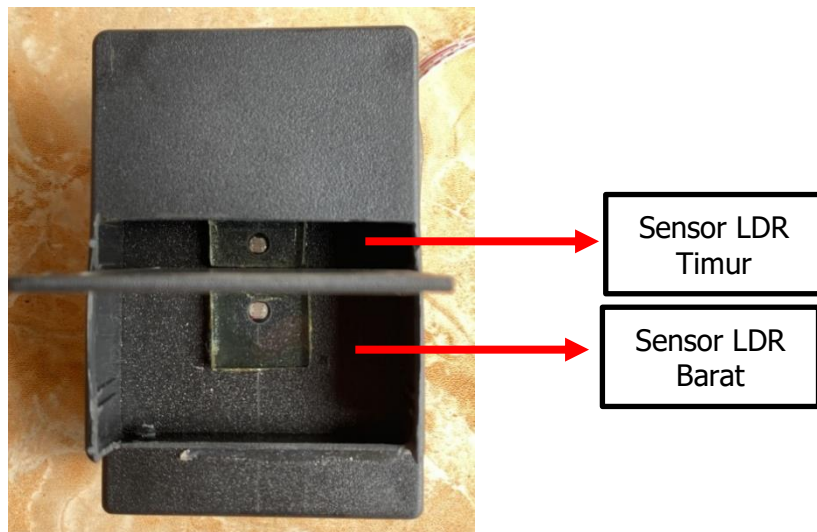


Gambar 1. Hasil Rancang Solar Panel Tracking



Gambar 2. Hasil Pemasangan Alat Sistem Tracking

Hasil pemasangan dan perancangan alat pada Gambar 4.2 Alat sistem tracking digunakan untuk mengatur nilai analog pada sensor LDR dan juga untuk menggerakkan aktuator linier lewat Arduino Uno, dibutuhkan relay 4-channel untuk menyalakan aktuatornya, dimana komponen alat dapat tertera dan terpasang dengan rapi.



Gambar 3. Hasil Pemasangan Box Sensor LDR

Hasil pemasangan alat pada Gambar 4.3 Box Sensor LDR ini dipasang di samping pada panel surya untuk membaca data sensor yang akan dikirimkan ke Arduino Uno yang nantinya akan mengirimkan perintah untuk menggerakkan aktuator liniernya ke barat maupun timur. Pada box tersebut terdapat pemisah sensor LDR yang berguna pada saat matahari bergerak ke barat maka sensor timur terkena bayangan dari skat pemisah yang mempengaruhi pencahayaan sensor LDR timur sehingga terdapat perbedaan nilai analog antar sensor LDR barat dan Sensor LDR timur yang digunakan untuk mengontrol gerak panel surya.

Pengujian Komponen Dan Sensor

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang didapatkan oleh sensor dengan hasil yang didapatkan melalui pengukuran menggunakan alat ukur standar yang berada di pasaran. Berikut akan dijelaskan lebih rinci terkait hasil validasi dari komponen maupun sensor.

Pengujian Sensor LDR (Light Dependent Resistor)

Sensor cahaya (LDR) digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari dan memberikan sinyal ke Arduino Uno agar motor penggerak dapat menggerakkan panel surya. Pengujian dilakukan dengan variasi intensitas cahaya pada berbagai cuaca, bahwa perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh sensor cukup signifikan untuk membedakan posisi matahari.

Tabel 1. Data Nilai Dari Sensor LDR

NO	Sensor LDR Barat		Sensor LDR Timur		Cuaca
	Tegangan (V)	Nilai Analog	Tegangan (V)	Nilai Analog	
1	2,4 V	487	2,5 V	512	Mendung
2	0,09 V	17	0,1 V	23	Cerah/Panas
3	4 V	821	4,2 V	850	Malam Hari

Hasil Dan Analisis Pengujian Solar Tracker

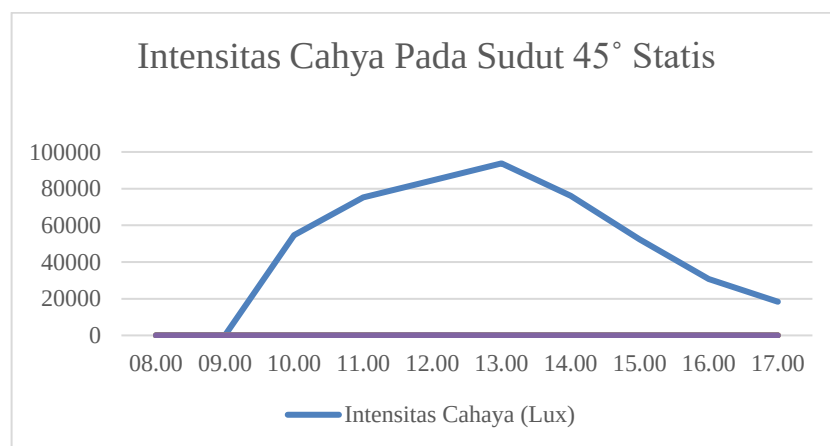
Hasil dan Pengujian ini dilakukan dengan menjalankan solar tracker secara dinamis dan statis. Pertama adalah solar tracker dengan mengikuti gerak matahari atau dinamis. Kedua pengujian sudut 45° secara statis, selalu berada di posisi sudut 45° saat pagi hari dari awal sampai berakhirnya pengambilan data. Data yang ditampilkan di tabel merupakan hasil rata-rata tiap jamnya.

Hasil Dan Analisis Pengujian Pada Sudut 45° Secara Statis

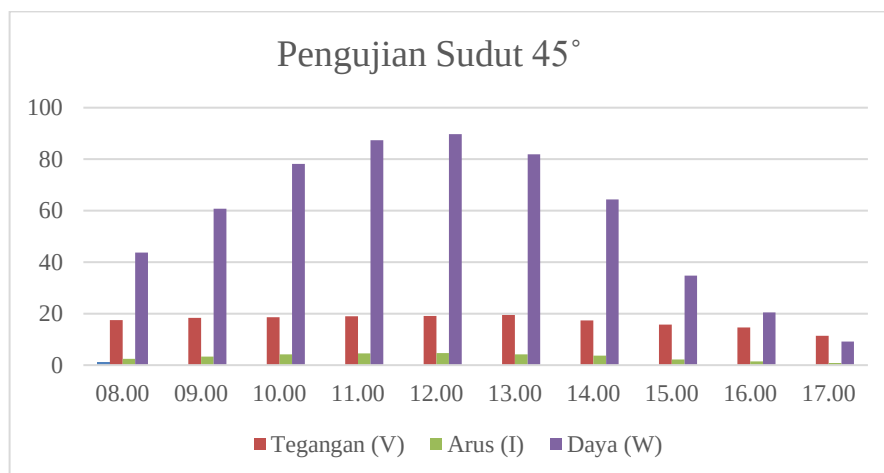
Pengujian ini dilakukan dengan sudut 45° secara menetap yang dilakukan pada tanggal 6 Februari 2024 mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB.

Tabel 2. Data Nilai Pengujian Pada Sudut 45° Statis

Jam	Intensitas Cahaya (Lux)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
08.00	18.000	17,5	2,5	43,75
09.00	36.000	18,4	3,3	60,72
10.00	54.600	18,6	4,2	78,12
11.00	75.200	19	4,6	87,4
12.00	84.550	19,1	4,7	89,77
13.00	93.780	19,5	4,2	81,9
14.00	76.150	17,4	3,7	64,38
15.00	52.400	15,8	2,2	34,76
16.00	30.800	14,6	1,4	20,44
17.00	18.300	11,4	0,8	9,12
Rata - rata		16,9	3,2	57,03



Gambar 4. Grafik Waktu Terhadap Intensitas Cahaya Pengujian Pada Sudut 45° Statis



Gambar 5. Grafik Waktu Pengujian Pada Sudut 45° Statis

Pada tabel 2 menampilkan data pengukuran intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh suatu sistem, kemungkinan besar panel surya, dalam rentang waktu dari jam 08.00 hingga 17.00. Intensitas cahaya, yang diukur dalam satuan Lux, menunjukkan fluktuasi sepanjang hari, dimulai dari 18.000 Lux pada pukul 08.00, mencapai puncaknya sebesar 93.780 Lux pada pukul 13.00, dan kemudian menurun kembali hingga 18.300 Lux pada pukul 17.00. Tegangan (V) dan arus (I) yang dihasilkan juga bervariasi sesuai dengan intensitas cahaya, dengan tegangan tertinggi sebesar 19,5 V pada pukul 13.00 dan arus tertinggi sebesar 4,7 A pada pukul 12.00. Daya (W), yang dihitung dari perkalian tegangan dan arus, mengikuti pola yang sama, dengan nilai tertinggi sebesar 89,77 W pada pukul 12.00. Rata-rata daya yang dihasilkan sepanjang hari adalah 57,03 W, menunjukkan kinerja sistem dalam mengkonversi energi cahaya menjadi listrik. Data ini memberikan gambaran tentang efisiensi sistem dalam merespons perubahan intensitas cahaya sepanjang hari.

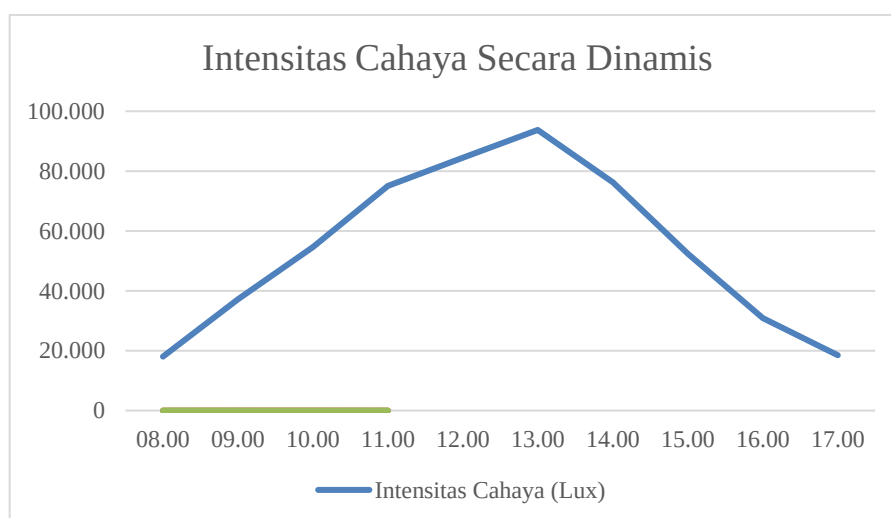
Hasil Dan Analisis Pengujian Secara Dinamis

Pengujian ini dilakukan secara dinamis mengikuti gerak matahari. Iji coba ini dilakukan selama 1 hari yang diperoleh data sebagai berikut:

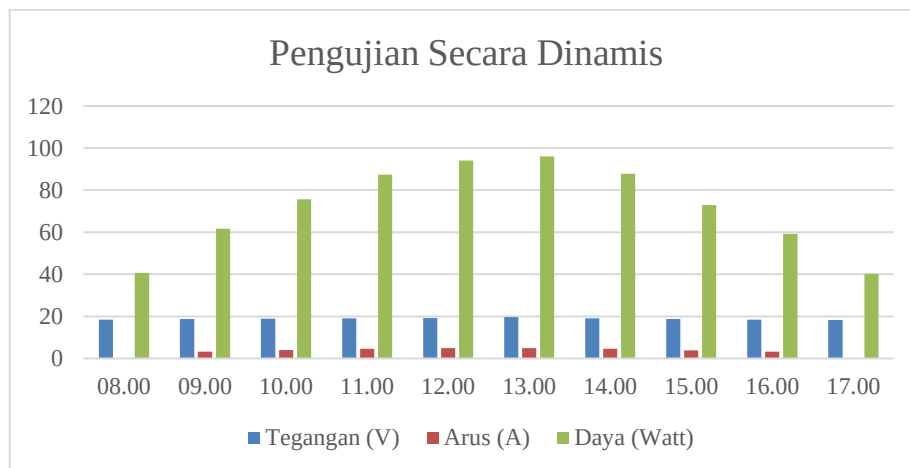
Tabel 3. Data Nilai Pengujian Secara Dinamis

Jam	Intensitas Cahaya (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
08.00	18.020	18,5	2,2	40,7
09.00	37.200	18,7	3,3	61,7
10.00	54.600	18,9	4	75,6
11.00	75.100	19	4,6	87,4
12.00	84.500	19,2	4,9	94,08
13.00	93.750	19,6	4,9	96,04
14.00	76.200	19,1	4,6	87,86
15.00	52.350	18,7	3,9	72,93
16.00	30.860	18,5	3,2	59,2
17.00	18.540	18,3	2,2	40,26
Rata - rata		18,8	4,2	71,57

Didapati grafik hubungan antara waktu dan intensitas cahaya matahari sebagai berikut:



Gambar 6 Grafik Waktu terhadap Intensitas Cahaya Pada Pengujian Secara Dinamis



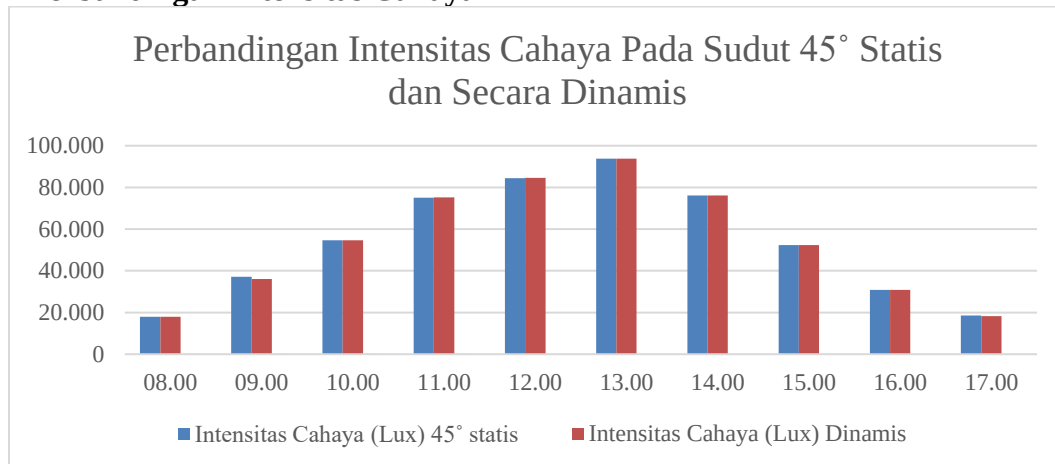
Gambar 7. Grafik Data Pengujian Secara Dinamis

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian secara dinamis terhadap Gerak sinar matahari, data yang dihasilkan dari jam 08.00 hingga 17.00. Data yang tercatat meliputi intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Intensitas cahaya, yang diukur dalam satuan Lux, menunjukkan peningkatan dari 18.020 Lux pada pukul 08.00 hingga mencapai puncaknya sebesar 93.750 Lux pada pukul 13.00, kemudian menurun kembali menjadi 18.540 Lux pada pukul 17.00. Tegangan yang dihasilkan relatif stabil, berkisar antara 18,3 V hingga 19,6 V, dengan nilai tertinggi tercapai pada pukul 13.00 sebesar 19,6 V. Arus listrik yang dihasilkan juga bervariasi, mulai dari 2,2 A pada pukul 08.00, mencapai puncaknya sebesar 4,9 A pada pukul 12.00 dan 13.00, kemudian menurun kembali di sore hari. Daya (Watt), yang dihitung dari perkalian tegangan dan arus, mengikuti pola yang sama dengan intensitas cahaya, dengan nilai tertinggi sebesar 96,04 W pada pukul 13.00. Rata-rata daya yang dihasilkan sepanjang hari adalah 71,57 W, menunjukkan efisiensi sistem dalam mengkonversi energi cahaya menjadi listrik. Data ini memberikan gambaran tentang kinerja sistem dalam merespons perubahan intensitas cahaya sepanjang hari.

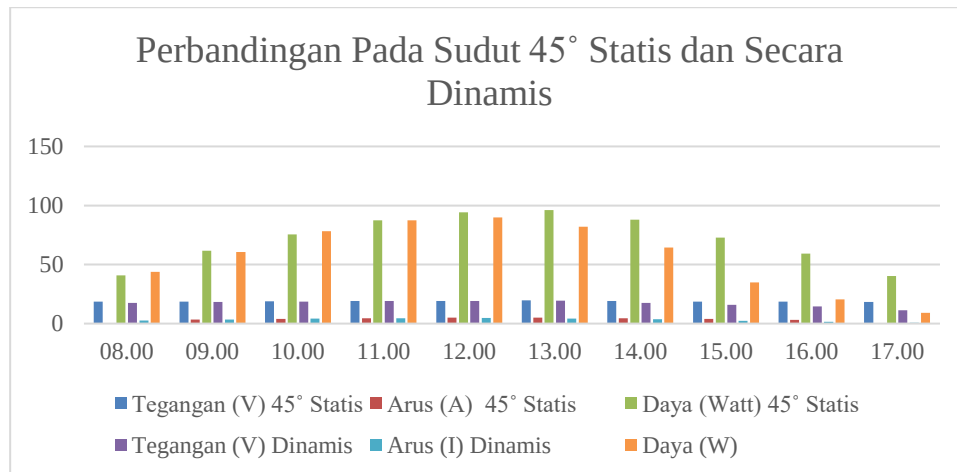
Hasil Perbandingan Solar Tracking

Efisiensi panel surya dihitung berdasarkan perbandingan daya yang masuk ke panel surya dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Besarnya daya yang masuk ke panel surya dihasilkan oleh energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi atau disebut sebagai insolasi. Hasil pengujian statis dan dinamis menunjukkan pola yang serupa dalam hal intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan sebagai berikut:

Hasil Perbandingan Intensitas Cahaya



Gambar 8. Grafik Perbandingan Intensitas Cahaya Pada Sudut 45° Statis dan Secara Dinamis



Gambar 9. Grafik Perbandingan Pada Sudut 45° Statis dan Secara Dinamis

Pada pengujian statis, intensitas cahaya bervariasi dari 18 Lux pada pukul 08.00 hingga mencapai puncak 93.780 Lux pada pukul 13.00, kemudian menurun kembali. Sementara itu, pada pengujian dinamis, intensitas cahaya juga dimulai dari 18.020 Lux pada pukul 08.00, mencapai puncak 93.750 Lux pada pukul 13.00, dan menurun di sore hari. Hal ini menunjukkan bahwa kedua pengujian menangkap pola khas intensitas cahaya matahari yang meningkat di siang hari dan menurun di sore hari.

Dalam hal tegangan, pengujian statis menghasilkan tegangan berkisar antara 14,6 V hingga 19,5 V, sedangkan pengujian dinamis menunjukkan tegangan yang lebih stabil, yaitu antara 18,3 V hingga 19,6 V. Arus listrik pada pengujian statis bervariasi dari 0,8 A hingga 4,7 A, sementara pada pengujian dinamis, arus berkisar antara 2,2 A hingga 4,9 A. Daya yang dihasilkan pada pengujian statis mencapai puncak sebesar 89,77 W pada pukul 12.00, sedangkan pada pengujian dinamis, daya tertinggi mencapai 96,04 W pada pukul 13.00. Rata-rata daya pada pengujian statis adalah 57,03 W, sementara pada pengujian dinamis lebih tinggi, yaitu 71,57 W. Dari perbandingan ini, dapat disimpulkan bahwa pengujian dinamis cenderung menghasilkan kinerja yang lebih stabil dan efisien dibandingkan dengan pengujian statis, terutama dalam hal tegangan dan daya yang dihasilkan.

Hasil Pengukuran Pada Baterai

Pada baterai untuk system panel surya hibrida dengan kapasitas 12 V, 65 Ah dengan

daya hasil baterai yang diperoleh 780 Wh. Baterai ini mencakup pengisian daya dari tiga sumber yaitu: Panel Surya, PLN, Genset. Waktu pengisian dan penggunaan dapat bervariasi tergantung efisiensi sistem, kondisi cuaca (untuk panel surya), dan beban yang terhubung. Berikut data pengujian yang dihasilkan:

Tabel 4 Pengisian Baterai

Sumber	Tegangan (V)	Aurs (A)	Waktu Pengisian (30% ke 100%)
Panel Surya	19	10	3 Jam
PLN	220	1	2,5 Jam
Genset	220	1	2,5 Jam

Tabel 5. Konsumsi Daya Baterai

Beban	Daya (W)	Waktu Bertahan Baterai
Server Internet	76,6	7 Jam
Server Internet dan Sistem Tracking	112,6	5 Jam
Server Internet, Sistem Tracking Dan Monitoring	132,6	4 Jam

Dari tabel 3 data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban daya yang diberikan pada sistem, semakin pendek waktu bertahan baterai. Hal ini disebabkan karena baterai harus menyediakan energi yang lebih besar per satuan waktu untuk memenuhi kebutuhan daya yang meningkat. Sistem monitoring dapat membantu mengelola konsumsi daya dan mencegah kerusakan baterai sehingga masa pakai baterai dapat bertahan lebih lama.

Hasil Setting Pada Inverter Hibrida

Setting pada inverter hibrida mencakup beberapa parameter penting untuk memastikan sistem beroperasi secara optimal. Mode operasi hybrid memungkinkan penggunaan panel surya, baterai, dan grid secara fleksibel. Prioritas sumber energi dapat diatur untuk mengutamakan panel surya, baterai, atau grid. Diperlukan pengaturan inverter hibrida ini disesuaikan dengan kebutuhan untuk melindungi baterai dan memperpanjang umurnya. Arus dan tegangan pengisian disesuaikan dengan kapasitas dan jenis baterai. Output voltage dan frekuensi diatur sesuai standar lokal, sementara backup mode memastikan pasokan listrik saat grid mati. Beberapa parameter bagian yang terpenting dalam inverter hibrida seperti berikut:

Tabel 6 Setting Pada Inverter Hibrida

Parameter	Setting	Keterangan
Mode Operasi	Hybird (Grid-Tie+Off-Grid)	Inverter dapat menggunakan sumber daya dari panel surya, PLN, dan baterai
Prioritas Sumber Daya	Solar>baterai>PLN/Genset	Prioritaskan penggunaan energi surya lalu baterai dan terakhir PLN/Genset
Tegangan Baterai	12 V	Tegangan baterai maksimal 12 V
Arus Pengisian	10 A	Arus pengisian baterai
Tegangan Cutt-Off	10,5 V (Untuk 12 V baterai)	Tegangan minimum saat baterai tidak boleh digunakan lagi untk

		mencegah kerusakan
Tegangan Full Charge	13,5 V (Untuk 12 V baterai)	Tegangan maksimum saat baterai dianggap penuh
MPPT Voltage Range	12-20 V	Tegangan maksimum input panel surya
Output Tegangan	220V AC	Tegangan output inverter
Frekuensi Output	50 Hz	Frekuensi output inverter
Batas Daya Output	800 Watt	Daya maksimum output inverter

Hasil Perbandingan Biaya PLN Bulanan

Perbandingan Biaya Energi Sebelum Dan Sesudah Pemasangan alat:

A. Biaya Per-Bulan Sebelum Pemasangan

Biaya listrik dihitung berdasarkan konsumsi daya server dan perangkat lain yang digunakan.

Biaya Listrik Bulanan:

Daya (Watt) × Jam Operasi per Hari × Hari per Bulan × Tarif Listrik
per KWh ÷ 1000

$$= 72 \text{ Watt} \times 24 \text{ Jam} \times 30 \text{ Hari} \times \text{Rp. } 1.467,28 \div 1000$$

$$= 51.480 \text{ Wh} \times \text{Rp. } 1.467,28 \div 1000$$

$$= \text{Rp. } 76.063,00 / \text{bulan}$$

B. Biaya per-Bulan Setelah Pemasangan

Setelah panel surya dipasang, sebagian besar kebutuhan daya akan ditanggung oleh energi matahari.

Energi yang Disuplai Panel Surya per Bulan:

(Daya Panel (Watt) x Jam Matahari per Hari) x Hari per Bulan
÷ 1000

$$= 71,57 \times 9 \times 30 \div 1000$$

$$= 19,32 \text{ KWh}$$

Setelah Genset terpasang dalam 1 bulan dengan operasi 4x dengan jumlah 2 jam kerja.

Biaya operasi genset dapat dihitung sebagai berikut:

Biaya Konsumsi bahan bakar = 1 liter/jam x 2 jam

$$= 2 \text{ Liter} \times \text{harga/liter}$$

$$= 2 \times \text{Rp. } 10.000,00$$

$$= \text{Rp. } 20.000,00$$

Perhitungan KWh = Daya (Watt) x Jam Operasi Genset per Bulan ÷ 1000

$$= 71,57 \times 2 \div 1000$$

$$= 0,14 \text{ KWh}$$

Biaya listrik dari PLN setelah pemasangan berkurang sesuai dengan jumlah energi yang disuplai oleh panel surya:

Biaya Listrik Setelah Pemasangan:

(Konsumsi Daya Server – Energi dari Panel Surya) x Tarif Listrik ÷ 1000

$$= (51.480 \text{ Wh} - 19.320 \text{ Wh}) \times \text{Rp. } 1.467,28 \div 1000$$

$$= 32.160 \text{ Wh} \times \text{Rp. } 1.467,28 \div 1000$$

$$= \text{Rp. } 47.187,00 / \text{bulan}$$

Jumlah keseluruhan pengeluaran per bulan:

Biaya setelah pemasangan panel surya + Biaya operasional Genset

$$= \text{Rp. } 47.187,00 / \text{bulan} + \text{Rp. } 20.000,00 / \text{bulan}$$

$$= \text{Rp. } 67.187,00 / \text{bulan}$$

Selisih biaya sebelum pemasangan alat dan sesudah pemasangan alat:

Biaya sebelum – Biaya sesudah:

$$= \text{Rp. } 76.063,00 / \text{bulan} - \text{Rp. } 67.187,00 / \text{bulan}$$

$$= \text{Rp. } 8.876,00 / \text{bulan} (8,5\%)$$

KESIMPULAN

Kesimpulan Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, sistem Tracking Solar Panel Single Axis berbasis Arduino Uno pada sistem hybrid telah berhasil dirancang dan diuji dengan baik. Sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari dengan mekanisme pergerakan satu sumbu (single axis) yang mengikuti arah matahari secara otomatis. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Sistem tracking berbasis Arduino Uno mampu mendeteksi perubahan posisi matahari dan menggerakkan panel surya secara otomatis untuk mendapatkan intensitas cahaya maksimum.
2. Efisiensi daya yang dihasilkan mengalami peningkatan dibandingkan dengan sistem panel surya statis, karena sistem tracking memungkinkan panel surya menerima cahaya matahari dalam sudut optimal sepanjang hari.
3. Keandalan sistem hybrid meningkat dengan adanya tracking solar panel, yang memungkinkan sumber energi alternatif dapat dimanfaatkan secara lebih efektif dan mengurangi ketergantungan pada sumber listrik utama.
4. Integrasi dengan sistem hybrid menunjukkan bahwa sistem ini dapat beroperasi secara bersamaan dengan sumber energi lain, seperti genset atau jaringan listrik utama, untuk memastikan kontinuitas suplai daya.

Saran

Saran Untuk pengembangan lebih lanjut, beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah:

1. Penggunaan Sensor Tambahan – Disarankan untuk menambahkan sensor cahaya yang lebih sensitif atau sensor cuaca untuk meningkatkan akurasi dalam mendeteksi intensitas matahari dan kondisi lingkungan.
2. Implementasi Sistem Dual Axis – Mengembangkan sistem tracking dengan dua sumbu (dual axis) agar panel surya dapat bergerak tidak hanya secara horizontal tetapi juga vertikal untuk mendapatkan sudut terbaik sepanjang tahun.
3. Integrasi dengan Sistem Monitoring IoT – Menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) untuk memungkinkan pemantauan dan kendali sistem tracking secara real-time melalui aplikasi berbasis web atau mobile.
4. Peningkatan Daya Aktuator – Memanfaatkan aktuator yang lebih kuat dan efisien untuk memastikan pergerakan panel tetap optimal meskipun terdapat beban tambahan atau kondisi cuaca ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

- Asri, M., & SERWIN, S. (2019). Rancang Bangun Solar Tracking System Untuk Optimasi Output Daya Pada Panel Surya. *Jurnal INSTEK (Informatika Sains dan Teknologi)*, 4(1), 11-20.
- Hidayat, S., Hariyanto, A., & Yasser, R. (2019). Pengaruh Kemiringan Posisi Modul Surya Prototipe 200 WP Dengan Tracking System Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan. *Kilat*, 8(2), 168-179.
- Hidayat, T., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., Manis, G., 2015. Abstrak 11, 32–38.
- Mulyadi, A., & Amin, M. Z. R. (2024). Desain Teknologi Dual-Axis Solar Tracker Untuk Mengukur Sudut, Torsi dan Daya Motor Worm Gear Pada Panel Surya. *Journal Electric Field*, 1(2), 48-61.
- Pratama, D., & Asnil, A. (2021). Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno. *MSI Transaction on Education*, 2(1), 19-32.
- Rahman, M. K. (2022). Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya 55 Watt dengan Tracking dan Tanpa Tracking. *Jurnal Syntax Admiration*, 3(11), 1395-1411.

- Saragih, F., Buaton, R., & Simanjuntak, 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.
- Widjonarko, W., Laagu, M. A., & Fauzi, A. N. (2024). Desain Dan Implementasi Sistem Tracking Dual Axis Panel Surya 50wp Untuk Optimalisasi Daya. Jurnal FORTECH, 5(2), 95-103.
- Bahroni, S., Riyanto, S. D., & Susanti, H. (2020, November). MONITORING SOLAR CELL TRACKING SYSTEM JARAK JAUH. In Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) (Vol. 6, No. 1, pp. 277-284).