

Perancangan Solar Tracker Sistem Otomatis Secara Real-Time pada Panel Surya

Pausan Lubis¹, Ahmad Faisal², Reza Juliangga³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

Email:

pausanasima1005@gmail.com,

ahmadfaisal.mt85@gmail.com,

rezajuliangga94@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 02 Mei 2025

Revised: 15 Juni 2025

Accepted: 10 Juli 2025

Keywords:

Arduino nano,
ATmega328,
Solar tracker,
Panel surya,
Energi matahari.

Published by

Impression : Jurnal Teknologi dan Informatika
Copyright © 2023 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Energi alternatif dari sinar matahari memiliki potensi besar dalam memenuhi kebutuhan energi di era modern saat ini. Salah satu teknologi yang memanfaatkan energi matahari adalah panel surya (solar cell) yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Namun, kebanyakan panel surya yang digunakan masih bersifat statis, hanya menghadap ke satu arah sehingga penyerapan energi hanya optimal pada waktu tertentu saja, terutama saat posisi matahari tepat di depan panel. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan pembangunan sistem solar tracker otomatis dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Nano ATmega328 dan modul RTC (Real Time Clock) sebagai input waktu. Panel surya dirancang agar dapat bergerak secara dinamis mengikuti posisi matahari dari pagi hingga sore hari secara real-time. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari sepanjang hari. Dengan menggunakan metode perancangan berbasis waktu (time-based tracking), sistem ini mampu mempertahankan posisi panel surya agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah peningkatan daya output yang dihasilkan panel serta efisiensi sistem secara keseluruhan dalam pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan.

Corresponding Author:

Author

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi Medan
Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan, Sei Sikambang, Medan, Sumatera Utara, Indonesia. 20122

Email: pausanasima1005@gmail.com

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi global yang terus berkembang dari tahun ke tahun mendorong pencarian sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, berkelanjutan, dan dapat diandalkan. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan karena berasal dari sinar matahari yang tersedia secara melimpah, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia. Dengan tingkat intensitas radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun, pemanfaatan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi pilihan strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mendukung upaya transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Meskipun penggunaan panel surya semakin meluas, tantangan efisiensi dalam konversi energi masih menjadi isu utama. Mayoritas sistem panel surya konvensional dipasang secara statis dan hanya menghadap ke satu arah tetap. Padahal, posisi matahari mengalami perubahan sepanjang hari, dari timur ke barat, yang menyebabkan sudut datang sinar terhadap permukaan panel berubah-ubah. Hal ini mengakibatkan penurunan intensitas radiasi yang diserap dan berdampak langsung pada berkurangnya

output daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, teknologi *solar tracker* dikembangkan sebagai solusi efektif guna meningkatkan efisiensi penyerapan energi. *Solar tracker* adalah sistem mekanis dan elektronik yang berfungsi menggerakkan panel surya agar senantiasa menghadap ke arah datangnya sinar matahari secara optimal. Sistem ini dapat bekerja secara otomatis dengan mengandalkan mikrokontroler sebagai unit pengendali utama, serta modul Real Time Clock (RTC) sebagai sumber referensi waktu untuk menentukan posisi matahari secara akurat berdasarkan jam.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem solar tracker otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Nano ATmega328 yang dilengkapi dengan modul RTC sebagai penentu waktu gerak panel surya. Mekanisme pergerakan panel dikendalikan oleh motor servo yang digerakkan sesuai dengan algoritma yang dirancang untuk mengikuti lintasan harian matahari. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi konversi energi listrik pada panel surya secara signifikan. Selain itu, rancangan ini juga diharapkan dapat menjadi solusi teknologi yang aplikatif dan ekonomis untuk digunakan pada skala rumah tangga maupun industri kecil dan menengah.

URAIAN TEORI

Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berasal dari radiasi sinar matahari. Energi ini dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan teknologi panel surya (*solar cell*), yang memanfaatkan efek fotovoltaiik. Di negara tropis seperti Indonesia, intensitas cahaya matahari yang tinggi sepanjang tahun menjadikan energi surya sebagai pilihan strategis untuk pemenuhan kebutuhan energi bersih dan berkelanjutan (Widodo & Priyanto, 2020). Potensi energi surya yang tinggi mendukung pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) baik dalam skala kecil rumah tangga maupun industri besar.

Panel Surya (Solar Cell)

Panel surya adalah perangkat yang terdiri atas kumpulan sel surya yang mampu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya bekerja berdasarkan prinsip efek fotovoltaiik, yaitu ketika material semikonduktor seperti silikon terkena cahaya, akan menghasilkan arus listrik (Nugroho & Prasetyo, 2019). Efisiensi panel sangat dipengaruhi oleh sudut datang cahaya, suhu lingkungan, dan intensitas penyinaran. Oleh karena itu, orientasi panel menjadi faktor penting dalam optimalisasi daya listrik yang dihasilkan.

Teknologi Solar Tracker

Solar tracker adalah sistem yang berfungsi untuk mengarahkan panel surya agar selalu menghadap ke arah datangnya sinar matahari secara optimal sepanjang hari. Teknologi ini dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu sistem satu sumbu (*single axis*) dan dua sumbu (*dual axis*).

Sistem ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari hingga 25–45% dibandingkan sistem statis (Putra & Santoso, 2021). Solar tracker mengintegrasikan komponen mekanik dan elektronik untuk melakukan pergerakan panel secara otomatis mengikuti lintasan matahari.

Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino Nano adalah salah satu jenis mikrokontroler berbasis ATmega328 yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem otomatisasi. Mikrokontroler ini memiliki ukuran kecil, konsumsi daya rendah, serta mudah diprogram melalui perangkat lunak Arduino IDE. Dalam sistem solar tracker, Arduino Nano digunakan untuk membaca data input dan mengendalikan motor penggerak berdasarkan logika yang dirancang (Nugraha & Saputra, 2018).

Modul Real Time Clock (RTC)

Modul RTC digunakan untuk memberikan informasi waktu secara real-time, bahkan ketika sistem dimatikan. Modul ini biasa digunakan dalam sistem otomatisasi berbasis waktu seperti alarm,

penjadwalan, dan pengaturan posisi matahari pada solar tracker. RTC dapat membantu sistem dalam menentukan sudut gerak panel surya berdasarkan data waktu dan lokasi, tanpa perlu sensor cahaya (Wahyudi & Lestari, 2020).

Motor Servo

Motor servo adalah aktuator yang mampu mengatur sudut posisi secara presisi. Motor ini dilengkapi dengan sistem umpan balik (feedback) sehingga dapat bergerak ke posisi yang ditentukan secara tepat. Dalam proyek solar tracker, motor servo digunakan untuk mengubah arah panel surya mengikuti perintah dari mikrokontroler agar selalu tegak lurus terhadap sinar matahari (Ramadhan & Yuliana, 2017).

Sistem Pelacakan Berbasis Waktu

Sistem pelacakan berbasis waktu (time-based tracking) menggunakan data waktu aktual untuk menghitung posisi matahari sepanjang hari. Sistem ini dinilai lebih stabil dan hemat energi karena tidak tergantung pada kondisi cuaca atau cahaya sekitar. Posisi panel dihitung berdasarkan algoritma yang mengacu pada jam, tanggal, dan posisi geografis lokasi panel (Kurniawan & Siregar, 2021). Metode ini cocok diterapkan untuk sistem sederhana namun tetap efektif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi.

METODE PENELITIAN

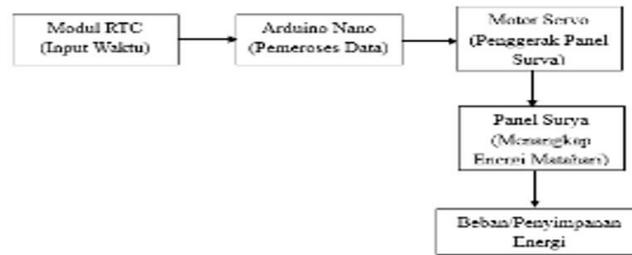
Penelitian ini dilakukan dengan merancang dan menguji alat solar tracker otomatis yang menggunakan modul Real Time Clock (RTC) sebagai sumber data waktu. Modul RTC memberikan informasi waktu yang digunakan oleh Arduino Nano ATmega328 untuk menentukan sudut gerak motor servo. Motor servo akan menggerakkan panel surya agar selalu menghadap ke arah matahari berdasarkan perubahan waktu. Pengujian dilakukan di area terbuka dengan posisi panel disusun menghadap timur ke barat, mengikuti arah pergerakan matahari. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah panel dapat bergerak secara otomatis mengikuti arah matahari berdasarkan waktu dan sudut gerakan servo.

Pengujian dilakukan selama 2 hari berturut-turut, dimulai dari matahari terbit hingga matahari terbenam. Pengamatan difokuskan pada gerakan panel, ketepatan sudut servo, dan peningkatan daya listrik yang dihasilkan dibandingkan sistem panel statis.

Langkah-langkah dalam metode ini meliputi :

Membuat Blok Diagram

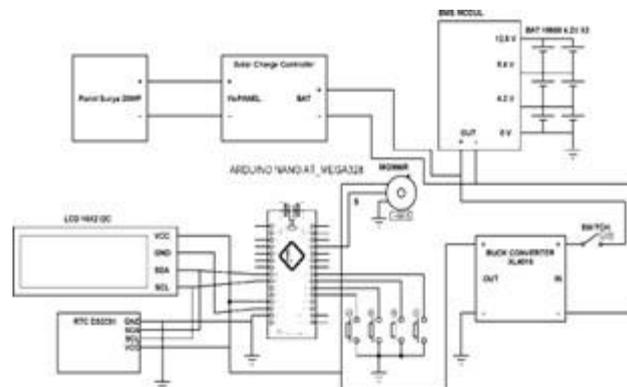
Perancangan sistem solar tracker ini menggunakan prinsip kerja berbasis waktu yang diperoleh dari modul RTC (Real Time Clock). Modul RTC akan memberikan data waktu secara real-time yang kemudian dibaca oleh mikrokontroler Arduino Nano ATmega328. Mikrokontroler akan memproses data waktu tersebut untuk menentukan sudut pergerakan motor servo yang bertugas mengatur arah panel surya agar selalu tegak lurus terhadap posisi matahari. Motor servo akan menggerakkan panel surya sesuai dengan sudut yang telah dihitung berdasarkan data waktu dari RTC. Dengan demikian, panel dapat mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat sepanjang hari. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya kemudian disalurkan ke beban atau disimpan ke dalam baterai sebagai sumber daya cadangan. Gambar 1 menunjukkan blok diagram yang dibuat.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan untuk membentuk sistem fisik yang mampu menjalankan fungsi program secara optimal. Setiap komponen utama dipilih berdasarkan kebutuhan sistem, kemudian dirangkai dan diintegrasikan agar dapat bekerja secara sinergis sesuai dengan perannya masing-masing. Gambar 2 memperlihatkan rancangan perangkat keras pada penelitian ini.



Gambar 2. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada sistem *solar tracker* ini mencakup integrasi antara komponen pembangkit, penyimpanan, pengendali, dan distribusi daya agar sistem dapat bekerja secara otomatis dan efisien. Panel surya berfungsi sebagai sumber utama energi, yang output-nya dihubungkan langsung ke modul *solar charger controller*. Modul ini bertugas mengatur arus pengisian baterai agar tetap stabil dan aman.

Energi yang dihasilkan panel surya disimpan ke dalam rangkaian baterai yang terdiri dari enam buah cell lithium-ion. Dua cell disusun secara paralel untuk meningkatkan kapasitas, lalu tiga rangkaian paralel tersebut disusun secara seri untuk memperoleh tegangan total sebesar 12,6 V dengan kapasitas 6000 mAh. Rangkaian baterai ini kemudian dihubungkan ke modul Battery Management System (BMS) yang berfungsi menjaga keseimbangan tegangan antar cell, mencegah overcharge dan overdischarge, serta memperpanjang masa pakai baterai. Setiap cell baterai terhubung ke titik tegangan tertentu pada BMS, yaitu 4,2 V, 8,4 V, dan 12,6 V, sesuai dengan urutan seri baterai. Output dari BMS selanjutnya dihubungkan ke modul *buck converter* melalui sebuah saklar. Saklar ini memungkinkan sistem untuk memutuskan atau menghubungkan aliran listrik sesuai kebutuhan. Buck converter yang digunakan adalah tipe XL4015, yang berfungsi sebagai penurun tegangan dari 12,6 V menjadi 5 V. Tegangan 5 V ini kemudian digunakan untuk mensuplai daya ke mikrokontroler Arduino Nano ATmega328 dan berbagai modul pendukung lainnya.

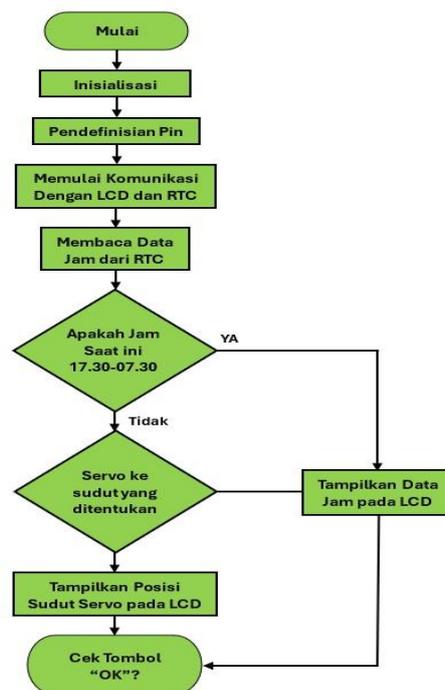
Arduino Nano berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Modul RTC (Real Time Clock) DS3231 terhubung ke Arduino melalui jalur komunikasi I2C, yaitu pin SDA ke A4 dan SCL ke A5, sedangkan pin VCC dan GND dihubungkan ke pin 5V dan GND Arduino. Modul ini menyediakan informasi waktu yang dibutuhkan untuk menentukan posisi matahari secara real-time. Selain RTC, Arduino juga dihubungkan ke modul LCD I2C untuk menampilkan informasi jam dan status sistem. Modul LCD juga

terhubung ke pin A4 dan A5 untuk komunikasi I2C, serta mendapatkan suplai daya dari pin 5V dan GND Arduino. Motor servo tipe MG996R digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan panel surya. Pin positif motor servo terhubung ke output 5 V dari buck converter, pin negatif ke ground, dan pin sinyal dihubungkan ke pin digital 9 pada Arduino Nano. Motor ini akan bergerak sesuai perintah yang dikirim Arduino berdasarkan waktu yang diterima dari RTC.

Untuk kebutuhan pengaturan manual, sistem dilengkapi dengan empat buah push button yang masing-masing dihubungkan ke pin digital 2, 3, 4, dan 5 pada Arduino. Push button ini memungkinkan pengguna untuk menyetel ulang waktu apabila terjadi kesalahan atau penyimpangan data dari RTC. Dengan perancangan perangkat keras ini, seluruh komponen dalam sistem *solar tracker* dapat bekerja secara terkoordinasi, mulai dari penangkapan energi matahari, pengaturan posisi panel, hingga penyimpanan dan suplai energi untuk operasional sistem secara otomatis dan berkelanjutan.

Perancangan Flowchart Sistem

Pada saat merancang sebuah program pada perangkat lunak mikrokontroler, pembuatan flowchart dilakukan terlebih dahulu sebagai langkah awal untuk menggambarkan alur proses yang berlangsung dalam program serta sistem kerja dari alat secara keseluruhan, gambar 3 merupakan flowchart sistem yang dibuat. Flowchart berfungsi sebagai panduan visual yang menjelaskan logika pemrograman dan hubungan antar komponen, sehingga memudahkan proses perancangan, pengkodean, hingga debugging sistem.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Program dimulai saat sistem dinyalakan, di mana Arduino melakukan inisialisasi seluruh variabel dan library yang diperlukan, termasuk untuk pengendalian motor servo dan LCD 16x2 I2C. Selanjutnya, dilakukan pendefinisian pin input (seperti tombol) dan output (motor dan LCD), serta inisialisasi komunikasi I2C dengan modul RTC (*Real Time Clock*) dan LCD sebagai tampilan informasi. Arduino membaca data waktu dari modul RTC untuk menentukan posisi panel surya.

Sistem memeriksa waktu: jika berada antara pukul 17.30 hingga 07.30, panel secara otomatis diarahkan ke posisi awal (timur penuh) dan tidak mengikuti pergerakan matahari karena dianggap malam. Namun, jika waktu berada pada rentang 08.00–17.00, panel akan bergerak ke posisi sudut tertentu yang telah diprogram, misalnya pukul 08.00 = 35°, dan seterusnya hingga pukul 17.00 = 180°. Waktu dan

sudut posisi panel saat ini ditampilkan pada LCD secara real-time. Sistem juga memantau tombol "OK". Jika ditekan, sistem masuk ke mode pengaturan waktu manual. Pengguna dapat menyetel ulang waktu menggunakan tombol navigasi, dan waktu yang baru akan disimpan setelah tombol "OK" ditekan kembali. Proses ini berlangsung secara berulang (looping) selama sistem aktif, sehingga posisi panel akan terus diperbarui secara otomatis berdasarkan waktu dari RTC.

Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem solar tracker ini bertujuan untuk mengatur pergerakan panel surya secara otomatis berdasarkan waktu. Gambar 4 memperlihatkan antarmuka perangkat lunak Arduino yang digunakan dalam sistem ini.. Program dibuat menggunakan Arduino IDE, Logika pemrograman mencakup proses membaca waktu dari modul RTC, menentukan sudut gerak motor servo sesuai waktu, menampilkan informasi pada LCD.



Gambar 4. Software Arduino

Metode Pengujian Alat

Pengujian sistem solar tracker dilakukan setelah seluruh proses perakitan perangkat keras dan pemrograman perangkat lunak selesai dan terhubung dengan baik. Sistem diuji menggunakan modul RTC sebagai sumber data waktu, sedangkan mikrokontroler Arduino Nano Atmega328 berperan sebagai pemroses utama yang menentukan sudut motor servo serta arah panel surya berdasarkan data waktu yang diperoleh dari modul RTC. Pengujian dilakukan dengan meletakkan panel surya di area terbuka, menghadap sejajar dengan arah pergerakan matahari dari timur ke barat. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi apakah sistem dapat menggerakkan panel surya secara otomatis mengikuti arah matahari berdasarkan waktu serta sudut pergerakan yang telah diprogram.

Proses pengujian dilakukan secara terus-menerus selama 2 hari, dimulai dari matahari terbit hingga terbenam. Hal ini bertujuan untuk menilai kinerja sistem secara menyeluruh dan mengetahui sejauh mana peningkatan efisiensi daya yang dapat diperoleh dengan menggunakan sistem solar tracker ini dibandingkan dengan sistem panel surya statis.

Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data pada sistem ini dilakukan melalui observasi langsung terhadap informasi yang ditampilkan pada LCD, pergerakan motor servo, dan perubahan posisi panel surya selama sistem dioperasikan. Observasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem bergerak otomatis dan sesuai dengan logika waktu yang telah diprogram dalam mikrokontroler.

Panel surya bergerak setiap 30 menit, dimulai dari pukul 08.00 pada sudut 35°, dan berakhir pada sudut 180° pada pukul 17.00 seperti ditunjukkan pada tabel 1. Total terdapat 18 interval selama 9 jam, sehingga setiap pergerakan panel menghasilkan kenaikan sudut rata-rata sekitar 8°. Untuk mempermudah implementasi sistem, sudut disederhanakan ke dalam bentuk pembulatan ke angka bulat terdekat.

Tabel 1. Pengujian Gerakan Motor Servo untuk Menggerakkan panel

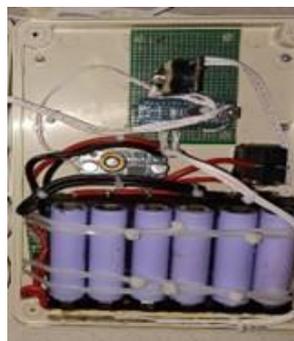
No	Waktu	Sudut Servo (posisi panel)°
1	8.00	35

2	8.30	43
3	9.00	51
4	9.30	59
5	10.00	67
6	10.30	75
8	11.00	83
9	11.30	91
10	12.00	99
11	12.30	108
12	13.00	116
13	13.30	124
14	14.00	132
15	14.30	140
16	15.00	148
17	15.30	156
18	16.00	164
19	16.30	172
20	17.00	180

HASIL PENELITIAN

Rangkaian Fisik Sistem

Rangkaian fisik dari sistem *solar tracker* otomatis ini dirancang dalam satu kesatuan yang ringkas dan ditempatkan di dalam sebuah kotak pelindung berbahan plastik seperti ditunjukkan pada gambar 5. Penempatan ini bertujuan untuk melindungi komponen elektronik dari debu, air, serta gangguan lingkungan ketika alat dioperasikan di ruang terbuka. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu baterai, pengatur tegangan (*buck converter*), mikrokontroler, dan papan prototipe (PCB lubang). Di bagian bawah kotak, terdapat enam buah baterai tipe 18650 yang disusun secara paralel dua sel dan disertai tiga tingkat. Konfigurasi ini menghasilkan tegangan total sebesar 12,6 V dengan kapasitas 6000 mAh, yang berfungsi sebagai sumber daya utama bagi sistem. Di atas rangkaian baterai, terpasang modul *buck converter* XL4015 yang berperan menurunkan tegangan dari baterai menjadi 5 V untuk memenuhi kebutuhan daya mikrokontroler Arduino Nano, modul RTC, dan motor servo. Arduino Nano dipasang pada PCB lubang (*perfboard*) di bagian atas kotak, yang juga menjadi tempat penyusunan jalur sirkuit lainnya seperti konektor, resistor, dan jalur data. Kabel-kabel jumper terlihat menghubungkan antar komponen dengan penataan yang cukup rapi, untuk menjaga kestabilan sistem dan meminimalkan risiko hubungan pendek (*short circuit*).



Gambar 5. Rangkaian Fisik Sistem

Kotak pelindung ini juga dilengkapi dengan beberapa lubang penghubung eksternal, yang digunakan untuk menyambungkan sistem ke panel surya, motor servo, serta modul LCD dan push

button jika diperlukan. Dengan desain seperti ini, sistem dapat dengan mudah dipasang di lapangan, tetap terlindungi, dan tetap fleksibel untuk perawatan atau pengembangan lebih lanjut. Gambar 6 menunjukkan keseluruhan sistem yang dirancang.



Gambar 6. Bentuk Fisik Solar Tracker Sistem

Skema Rangkaian Sistem

Skema rangkaian dari sistem *solar tracker* ini menunjukkan hubungan antara seluruh komponen utama yang berperan dalam mengendalikan pergerakan panel surya secara otomatis. Sistem ini terdiri dari panel surya 20 Wp, modul baterai 18650, buck converter XL4015, mikrokontroler Arduino Nano, modul RTC (*Real Time Clock*), motor servo, serta LCD 16x2 I2C sebagai unit tampilan. Aliran energi dimulai dari panel surya yang berfungsi mengisi daya baterai 18650. Rangkaian baterai ini memberikan suplai tegangan sebesar 12,6 V yang kemudian diturunkan menjadi 5 V oleh buck converter. Tegangan 5 V ini digunakan untuk mensuplai Arduino Nano sebagai pusat pengendali sistem. Modul RTC terhubung ke Arduino melalui komunikasi I2C dan berfungsi memberikan data waktu real-time.

Berdasarkan waktu yang diterima dari RTC, Arduino akan menghitung sudut pergerakan motor servo yang bertugas memutar panel ke arah posisi matahari. Informasi waktu dan sudut juga ditampilkan melalui LCD 16x2, sehingga pengguna dapat memantau status sistem secara langsung. Tombol push button terhubung ke input digital Arduino untuk memberikan akses ke fitur pengaturan manual, seperti pengaturan waktu dan kalibrasi posisi servo.

Cara Kerja Sistem

Cara kerja sistem *solar tracker* ini didasarkan pada prinsip pemetaan waktu terhadap sudut pergerakan panel surya, sehingga panel selalu menghadap ke arah matahari dari pagi hingga sore hari. Ketika sistem dinyalakan, Arduino Nano akan melakukan proses inisialisasi dan mulai berkomunikasi dengan modul RTC dan LCD. Data waktu kemudian dibaca dari RTC, dan Arduino memetakan waktu tersebut menjadi nilai sudut servo.

Pergerakan servo dimulai dari pukul 08.00 WIB dengan posisi awal 35°, dan akan bertambah 8° setiap 30 menit hingga mencapai sudut maksimum 180° pada pukul 17.00 WIB, yang menandakan posisi panel menghadap ke barat. Di luar jam tersebut, yaitu antara 17.30 hingga 07.30, sistem akan mengatur sudut servo kembali ke 0°, untuk menempatkan panel menghadap ke timur sebagai posisi siap kerja untuk hari berikutnya.

Pengguna juga dapat mengakses menu pengaturan menggunakan 4 tombol push button yang tersedia, yaitu tombol MODE, UP, DOWN, dan OK. Tombol MODE digunakan untuk masuk ke mode pengaturan jam atau sudut, tombol UP dan DOWN digunakan untuk menyesuaikan nilai, dan tombol OK untuk menyimpan pengaturan. Seluruh proses ditampilkan di LCD 16x2 untuk memudahkan monitoring secara langsung.

Pengujian Solar Tracker Sistem

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *solar tracker* berfungsi sesuai dengan rancangan, yaitu mampu menggerakkan panel surya secara otomatis mengikuti posisi matahari berdasarkan waktu yang dibaca dari modul RTC. Gambar 7 menunjukkan pengujian solar tracker sistem.

Pengujian dilakukan di ruang terbuka yang mendapatkan paparan cahaya matahari langsung dari pukul 08.00 hingga 17.00 WIB.



Gambar 7. Pengujian Solar Tracker Sistem

Hasil Pengukuran

Pengujian dilakukan untuk membandingkan efektivitas penyerapan energi listrik oleh panel surya ketika menggunakan sistem *solar tracker* otomatis dan saat panel dipasang dalam posisi statis (tetap). Pengujian dilakukan dalam kondisi cuaca cerah di ruang terbuka, dengan pengambilan data tegangan panel (V_{panel}), tegangan beban (V_{beban}), arus (I), dan daya (W) dari pukul 08.00 hingga 17.00 WIB setiap 30 menit.

Table 2 merupakan percobaan pertama menggunakan sistem *solar tracker* dilakukan pada tanggal 17 Juni 2025 dalam kondisi cuaca mendung, pengambilan data dilakukan setiap 30 menit secara berkala sepanjang hari.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Dengan Solar Tracker 17 Juni 2025

Jam	Posisi Panel	V_{panel} (V)	V_{beban} (V)	Arus (I)	Daya (W)
08.00	35°	19,83	1,13	0,13	0,148
08.30	43°	20,00	1,75	0,21	0,368
09.00	51°	20,16	2,37	0,28	0,663
09.30	59°	20,20	2,33	0,275	0,642
10.00	67°	20,23	2,29	0,27	0,618
10.30	75°	20,10	2,00	0,24	0,480
11.00	83°	19,99	1,51	0,19	0,286
11.30	91°	20,20	2,10	0,26	0,546
12.00	99°	20,37	2,44	0,29	0,709
12.30	108°	20,40	2,60	0,31	0,806
13.00	116°	20,32	2,74	0,33	0,904
13.30	124°	20,45	5,50	0,70	3,850
14.00	132°	20,51	8,70	1,02	8,874
14.30	140°	20,60	8,10	1,00	8,100
15.00	148°	20,77	7,70	1,02	7,854
15.30	156°	20,10	3,00	0,40	1,200
16.00	164°	19,36	1,36	0,16	0,218
16.30	172°	18,30	0,95	0,11	0,105
17.00	180°	18,50	0,52	0,06	0,031

Selanjutnya, percobaan tanpa menggunakan sistem *solar tracker* (panel statis) dilakukan pada tanggal 17 Juni 2025 seperti ditunjukkan pada tabel 3 dalam kondisi cuaca mendung sebagai dasar

perbandingan data pengukuran. Pengambilan data dilakukan secara berkala setiap 30 menit sepanjang hari pengujian.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tanpa Solar Tracker 17 Juni 2022

Jam	Posisi Panel	Vpanel (V)	Vbeban (V)	Arus (I)	Daya (W)
08.00	90°	18,56	0,80	0,09	0,072
08.30	90°	19,10	1,45	0,17	0,247
09.00	90°	20,22	2,28	0,25	0,570
09.30	90°	20,19	2,20	0,24	0,528
10.00	90°	20,16	2,08	0,24	0,499
10.30	90°	20,00	1,90	0,22	0,418
11.00	90°	19,97	1,47	0,16	0,235
11.30	90°	20,15	2,00	0,22	0,440
12.00	90°	20,40	2,66	0,26	0,691
12.30	90°	20,60	3,10	0,31	0,961
13.00	90°	20,73	3,68	0,46	1,690
13.30	90°	20,65	5,20	0,50	2,600
14.00	90°	20,39	6,35	0,535	3,398
14.30	90°	20,20	4,80	0,46	2,208
15.00	90°	19,42	1,82	0,23	0,418
15.30	90°	19,00	1,40	0,18	0,252
16.00	90°	19,70	1,35	0,15	0,203
16.30	90°	19,50	1,10	0,13	0,143
17.00	90°	19,40	0,92	0,10	0,092

Kemudian, percobaan kedua menggunakan sistem *solar tracker* dilakukan pada tanggal 18 Juni 2025 dalam kondisi cuaca cerah. Pengambilan data tetap dilakukan setiap 30 menit secara berkala sepanjang hari pengujian, seperti ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Dengan Solar Tracker 18 Juni 2025

Jam	Posisi Panel	Vpanel (V)	Vbeban (V)	Arus (I)	Daya (W)
08.00	35°	20,44	6,44	0,75	4,83
08.30	43°	20,27	7,60	0,88	6,69
09.00	51°	20,11	8,75	1,01	8,87
09.30	59°	20,21	8,02	0,94	7,53
10.00	67°	20,31	7,28	0,88	6,40
10.30	75°	20,41	8,78	1,03	9,04
11.00	83°	20,51	10,29	1,18	12,14
11.30	91°	20,52	9,56	1,11	10,61
12.00	99°	20,54	8,84	1,04	9,20
12.30	108°	19,74	8,71	1,06	9,22
13.00	116°	18,94	8,58	1,07	9,25
13.30	124°	19,63	8,54	1,04	8,89
14.00	132°	20,32	8,49	1,00	8,53
14.30	140°	20,35	5,98	0,70	4,18
15.00	148°	20,38	3,48	0,40	1,39
15.30	156°	19,83	2,63	0,26	0,684
16.00	164°	19,28	1,78	0,11	0,195
16.30	172°	19,62	1,78	0,16	0,28
17.00	180°	19,96	1,78	0,2	0,35

Selanjutnya, percobaan kedua tanpa menggunakan sistem *solar tracker* (panel statis) dilakukan pada tanggal 18 Juni 2025 dalam kondisi cuaca cerah. Pengambilan data dilakukan secara berkala setiap 30 menit sepanjang hari pengujian, seperti ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tanpa Solar Tracker 18 Juni 2025

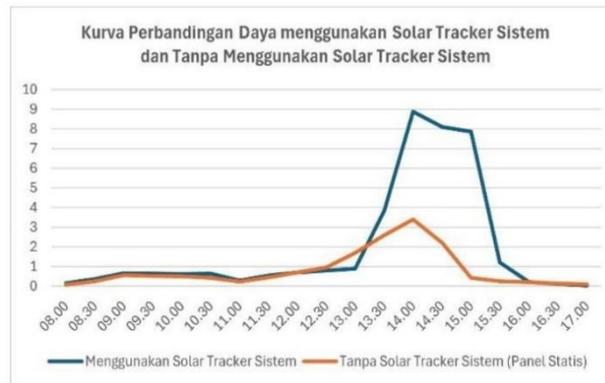
Jam	Posisi Panel	Vpanel (V)	Vbeban (V)	Arus (I)	Daya (W)
08.00	90°	19,72	3,40	0,040	0,136
08.30	90°	19,92	3,80	0,245	0,931
09.00	90°	20,11	4,2	0,49	2,058
09.30	90°	20,21	5,74	0,685	3,931
10.00	90°	20,31	7,28	0,881	6,418
10.30	90°	20,41	8,74	1,032	9,061
11.00	90°	20,51	10,29	1,183	12,183
11.30	90°	20,53	9,56	1,112	10,662
12.00	90°	20,54	8,839	1,041	9,201
12.30	90°	19,74	8,71	1,060	9,222
13.00	90°	18,94	8,58	1,078	9,25
13.30	90°	19,63	8,54	1,040	8,882
14.00	90°	20,32	8,49	1,005	8,531
14.30	90°	20,35	5,98	0,700	4,186
15.00	90°	20,38	3,48	0,401	1,398
15.30	90°	20,10	2,20	0,300	0,660
16.00	90°	19,28	0,92	0,108	0,099
16.30	90°	19,20	0,93	0,110	0,102
17.00	90°	19,13	0,94	0,11	0,103

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi perbandingan kinerja panel surya dengan menggunakan sistem *solar tracker* otomatis dan tanpa menggunakan sistem tersebut (panel statis) dalam kondisi cuaca yang berbeda. Percobaan pertama dilakukan pada tanggal 17 Juni 2025 dalam kondisi cuaca mendung, tanpa menggunakan sistem *solar tracker* (panel statis). Sebagai pembandingan, pengujian dengan menggunakan sistem *solar tracker* juga dilakukan pada tanggal yang sama dan dalam kondisi cuaca yang serupa. Selanjutnya, percobaan kedua dilakukan pada tanggal 18 Juni 2025 dalam kondisi cuaca cerah. Pada hari ini, pengujian kembali dilakukan dalam dua skenario, yaitu dengan menggunakan sistem *solar tracker* dan tanpa menggunakannya (panel statis). Pengambilan data dilakukan secara berkala setiap 30 menit sepanjang hari pengujian. Hasil pengukuran berupa tegangan dan arus pada beban digunakan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh masing-masing sistem.

Setelah dilakukan pengujian selama 2 hari, data yang diperoleh digunakan untuk membandingkan performa panel surya dalam berbagai kondisi pencahayaan. Perbandingan ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem *solar tracker* dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari, baik pada kondisi pencahayaan yang tidak optimal (mendung) maupun optimal (cerah).

PEMBAHASAN

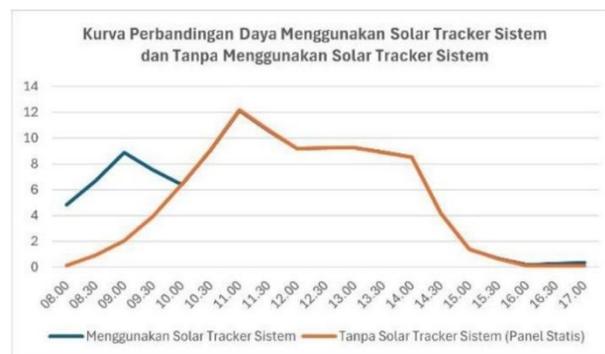
Berdasarkan hasil pengukuran, dapat dibuat grafik perbandingan daya keluaran antara panel surya yang menggunakan solar tracker dan panel surya yang tidak menggunakan solar tracker seperti ditunjukkan pada gambar 8. Grafik ini memberikan gambaran mengenai perbedaan kinerja kedua sistem dalam menghasilkan daya listrik pada waktu dan kondisi pencahayaan yang serupa. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan seberapa besar kontribusi Solar tracker sistem dalam meningkatkan efisiensi konversi energi surya, terutama pada rentang waktu tertentu di mana intensitas dan sudut datang cahaya matahari berubah secara dinamis.



Gambar 8. Kurva Perbandingan Daya 1

Kurva pada gambar 8 menunjukkan perbandingan daya keluaran antara panel surya yang menggunakan sistem solar tracker dan panel surya tanpa solar tracker. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dijelaskan pada table 2 dan table 3, terlihat adanya perbedaan daya yang cukup signifikan pada sebagian besar titik pengukuran.

Panel surya dengan sistem solar tracker secara konsisten menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan panel tanpa tracker. Perbedaan yang paling mencolok terjadi pada pukul 14.00 dan 15.00, di mana sistem dengan solar tracker menunjukkan peningkatan daya yang jauh lebih tinggi. Temuan ini menegaskan efektivitas penggunaan solar tracker dalam memaksimalkan penyerapan energi matahari, khususnya pada saat sudut datang sinar matahari tidak tegak lurus terhadap permukaan panel tetap, sehingga efisiensi konversi energi tetap terjaga.



Gambar 9. Kurva Perbandingan Daya 2

Kurva kedua pada gambar 9 dihasilkan dari data pada Tabel 4 dan Tabel 5, yang merepresentasikan perbandingan daya keluaran panel surya dengan sistem solar tracker dan tanpa sistem solar tracker pada kondisi pencahayaan terang. Berdasarkan kurva, terlihat bahwa panel surya yang menggunakan solar tracker (digambarkan dengan garis biru) secara umum menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan panel tetap tanpa tracker. Hal ini terlihat konsisten pada sebagian besar titik pengukuran.

Perbedaan yang cukup signifikan terjadi pada pukul 09.00, di mana daya yang dihasilkan panel dengan solar tracker menunjukkan selisih sekitar $\pm 30\%$ lebih tinggi dibandingkan panel tanpa tracker. Temuan ini memperkuat bahwa penggunaan sistem solar tracker dapat secara efektif meningkatkan efisiensi penyerapan energi, khususnya saat posisi matahari masih berada pada sudut yang tidak optimal terhadap panel tetap.

PENUTUP

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem solar tracker otomatis berbasis modul RTC dan motor servo untuk optimalisasi daya keluaran panel surya. Inovasi ini memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem energi terbarukan, khususnya dalam peningkatan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. Dengan mengintegrasikan pengaturan sudut panel berdasarkan waktu aktual dan memanfaatkan pergerakan bertahap yang presisi, sistem ini mampu menjaga orientasi panel tetap optimal terhadap posisi matahari sepanjang hari tanpa memerlukan sensor cahaya. Hal ini tidak hanya menyederhanakan struktur kontrol, tetapi juga meningkatkan reliabilitas dan konsistensi performa sistem. Kinerja yang stabil serta peningkatan daya yang diperoleh dari panel bergerak menunjukkan potensi besar teknologi ini untuk diterapkan pada skala rumah tangga maupun industri, terutama di wilayah dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi. Ke depan, penelitian lanjutan dapat diarahkan pada pengembangan sistem dual-axis tracker, integrasi dengan IoT untuk pemantauan jarak jauh.

REFERENSI

- Widodo, S., & Priyanto, B. (2020). Energi Surya dan Pemanfaatannya di Indonesia. *Jurnal Energi Terbarukan*, 9(2), 45-52.
- Nugroho, A. S., & Prasetyo, D. (2019). Analisis Efisiensi Panel Surya dengan Variasi Sudut Kemiringan. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, 8(1), 12-19.
- Putra, H. R., & Santoso, M. R. (2021). Desain dan Implementasi Solar Tracker Otomatis untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(3), 215-222.
- Nugraha, D. W., & Saputra, R. (2018). Pengendalian Perangkat Elektronik Berbasis Arduino Nano. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 4(2), 89-96.
- Wahyudi, A., & Lestari, T. (2020). Implementasi RTC DS3231 pada Sistem Penjadwalan Otomatis. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 14(1), 45-50.
- Ramadhan, F., & Yuliana, D. (2017). Pengendalian Motor Servo Menggunakan Arduino untuk Aplikasi Kendali Sudut. *Jurnal Otomasi, Kontrol dan Instrumentasi*, 9(1), 33-39.
- Kurniawan, B., & Siregar, H. (2021). Perancangan Solar Tracker Berbasis Waktu dengan Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 14(2), 104-110.