



PERANCANGAN SOLAR TRACKER DUAL AXIS DENGAN MONITORING INTENSITAS CAHAYA, ARUS, TEGANGAN, DAYA, DAN SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA BERBASIS IOT

Mohamad Arief Fauzan Al-Amin

Teknik Elektro, Universitas Gunadarma, Indonesia

Abstrak: Percepatan dunia teknologi di era sekarang ini menuntut untuk terus melakukan inovasi dan pembaharuan dari segala aspek. Dalam penggunaan sistem listrik tenaga surya dapat diserap panel surya dengan mengikuti posisi matahari secara dinamis. Sistem ini dapat diimplementasikan dengan menggabungkan berbagai sensor untuk pemantauan yang akurat seperti pengukuran intensitas cahaya, arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya serta pengukuran sudut kemiringan. Data yang dihasilkan dari sistem ini sangat bermanfaat untuk memastikan panel surya beroperasi dengan efisien. Selain itu, sistem ini dapat diintegrasikan dengan teknologi IoT untuk memudahkan monitoring jarak jauh agar memberikan solusi energi terbarukan yang lebih cerdas dan efisien. Dengan adanya penggunaan sistem ini, maka dikembangkan suatu sistem alat agar panel surya dapat mengikuti arah matahari untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari, alat tersebut dinamakan solar tracker. Perancangan solar tracker dual axis ini dilakukan untuk memonitoring parameter intensitas cahaya, arus, tegangan, daya, serta sudut kemiringan panel surya yang dipantau melalui platform thinger.io. Monitoring ini juga bertujuan untuk merancang sistem agar dapat melakukan pemantauan pada hasil parameter dan dilakukan melalui platform thinger.io. Dari hasil monitoring, menghasilkan rata-rata pada parameter intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya tertinggi hingga terendah yang terjadi pada pukul 12.00 WIB dan 17.00 WIB. Untuk nilai rata-rata tertinggi dan terendah pada sudut elevasi terjadi pada pukul 08.00 WIB dan 12.00 WIB dengan nilai rata-rata sebesar 37.6° dan 7.5° . Sedangkan, nilai rata-rata tertinggi dan terendah pada sudut azimuth terjadi pada pukul 17.00 WIB dan 08.00 WIB dengan nilai rata-rata sebesar 114.3° dan 81.5° .

Kata kunci: Solar Tracker, Monitoring, Thinger.io, IoT, Matahari

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mendorong inovasi dalam pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT), termasuk energi surya yang dapat dikonversi menjadi listrik. Untuk meningkatkan efisiensi panel surya, diperlukan sistem solar tracker yang mampu menyesuaikan posisi

panel secara dinamis agar selalu menghadap ke arah matahari (Ebtke, H., 2021). Solar tracker dual axis memungkinkan pergerakan pada sudut azimuth dan elevasi untuk mengoptimalkan penyerapan cahaya matahari, sehingga meningkatkan daya yang dihasilkan (Permen ESDM No. 50 Tahun 2017, 2017). Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem solar tracker dual axis berbasis IoT menggunakan motor servo MG996R yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Nano. Sistem ini dilengkapi sensor BH1750 untuk mengukur

¹⁾ mohamadarifauzan14@gmail.com

Diterima: 13 April 2025

Direvisi: 22 Mei 2025

Disetujui: 23 Juni 2025

DOI: 10.23969/infomatek.v27i1.23992

intensitas cahaya, sensor INA219 untuk arus dan tegangan, serta ESP32 untuk pengolahan data dan pengiriman ke platform IoT Thingier.io. Monitoring dilakukan secara real-time untuk memantau intensitas cahaya, arus, tegangan, daya, serta sudut kemiringan panel surya. Adapun permasalahan utama yang dikaji meliputi bagaimana merancang sistem yang mampu mengukur dan mengirimkan data secara real-time, serta bagaimana implementasi monitoring pada platform IoT. Penelitian ini memiliki beberapa batasan, di antaranya pergerakan sistem hanya pada sudut azimuth dan elevasi, serta penggunaan panel surya polikristalin berkapasitas 10 WP (Beda, N., Candra, J. E., & Jufri, M., 2024).

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang sistem yang dapat menghasilkan dan mengirimkan data real-time, melakukan monitoring parameter terkait, serta membandingkan performa sistem dalam kondisi dinamis dan statis untuk menentukan efektivitas solar tracker dual axis. Dengan sistem ini, diharapkan panel surya dapat bekerja lebih optimal dan memberikan solusi energi terbarukan yang lebih efisien (Sutaya, I. W., & Ariawan, K. U., 2016).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya dan Solar Tracker

Energi surya adalah energi yang berasal dari sinar dan panas matahari. Energi ini termasuk dalam sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polusi. Energi surya dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pemanas air, pembangkit listrik, hingga proses industri. Pemanfaatan energi surya kini semakin berkembang karena ketersediaannya yang melimpah dan potensi efisiensi yang tinggi jika dikelola dengan baik (Ambarwati Terraningtyas, 2019).

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, digunakan panel surya atau sel surya. Panel surya terdiri dari kumpulan sel fotovoltaik yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Ketika sinar matahari mengenai permukaan panel, partikel cahaya (foton) akan diserap dan menghasilkan aliran listrik melalui proses yang disebut efek fotovoltaik. Panel surya dapat dipasang di atap bangunan, lahan terbuka, hingga di atas permukaan air, bergantung pada kebutuhan dan kondisi lingkungan (Solarkita.com., 2017).

Agar panel surya bekerja lebih optimal, digunakan sistem solar tracker. Solar tracker adalah alat pelacak arah matahari yang membuat panel selalu menghadap ke arah datangnya cahaya matahari secara tegak lurus (Sungur, C., 2009). Terdapat dua jenis utama solar tracker, yaitu single axis (satu sumbu) dan dual axis (dua sumbu). Single axis bergerak dari timur ke barat, sedangkan dual axis dapat bergerak dua arah sekaligus, menyesuaikan posisi matahari secara lebih akurat sepanjang hari. Bantuan solar tracker dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari oleh panel surya (UMY.ac.id., 2019).

2.2. Prinsip Kerja Panel Surya

Prinsip kerja sel surya dimulai dari partikel cahaya yang disebut foton, yaitu partikel sinar matahari yang sangat kecil. Ketika foton menghantam permukaan sel surya yang terbuat dari material semikonduktor, energi dari foton akan digunakan untuk melepaskan elektron dari atom dalam struktur semikonduktor tersebut. Elektron yang terlepas ini akan bergerak bebas dalam pita konduksi, meninggalkan celah bermuatan positif yang disebut hole.

Material semikonduktor dalam panel surya biasanya dibagi menjadi dua bagian, yaitu

semikonduktor tipe-N dan tipe-P. Tipe-N memiliki kelebihan elektron bebas dan bersifat negatif, sedangkan tipe-P kekurangan elektron (memiliki banyak hole) dan bersifat positif. Ketika dua tipe semikonduktor ini disatukan, terbentuklah persimpangan P-N (P-N junction) yang menciptakan medan listrik internal. Medan ini akan mendorong elektron bergerak ke arah satu terminal, dan hole ke arah terminal lainnya, sehingga terbentuk arus listrik.

Kinerja panel surya diukur dalam satuan watt-peak (Wp), yang menunjukkan jumlah maksimum daya listrik yang dapat dihasilkan panel di bawah kondisi standar, yaitu radiasi matahari sebesar 1000 watt/m², suhu sel 25°C, dan spektrum cahaya sesuai standar AM 1.5. Selain itu, parameter penting lainnya meliputi tegangan (volt), arus listrik (ampere), serta efisiensi konversi energi (%) dari cahaya menjadi listrik (Randra Agustio Efyansah., 2023).

2.3. Sistem Listrik Tenaga Surya

Sistem panel surya bekerja dengan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan panel surya (modul fotovoltaik). Ketika sinar matahari mengenai permukaan panel, foton (partikel cahaya) akan melepaskan elektron dari material semikonduktor sehingga menghasilkan arus listrik melalui proses efek fotovoltaik. Energi listrik ini kemudian dialirkan ke solar charge controller (SCC), yaitu alat yang berfungsi mengatur arus dan tegangan dari panel ke baterai. SCC menjaga agar baterai tidak mengalami kelebihan muatan dan membantu memperpanjang umur pemakaiannya (Hamid, R. M., Rizky, R., Amin, M., & Dharmawan, I. B., 2016).

Energi listrik yang tidak digunakan secara langsung akan disimpan dalam baterai, yaitu perangkat yang menyimpan energi melalui

proses elektrokimia yang dapat berlangsung secara reversible (bolak-balik) dengan efisiensi tinggi. Dalam sistem panel surya, baterai berfungsi sebagai sumber cadangan energi saat malam hari atau ketika intensitas cahaya matahari rendah. Terdapat beberapa jenis baterai yang umum digunakan, antara lain baterai timbal-asam (lead-acid) yang harganya terjangkau dan tahan lama, baterai lithium-ion yang lebih ringan dan memiliki kepadatan energi tinggi, serta baterai gel dan AGM yang cocok untuk aplikasi dalam jangka waktu panjang (Alfayat, Y., 2020).

2.4. Modul Sistem Solar Tracker

Modul solar tracker merupakan sistem kendali otomatis yang dirancang untuk mengarahkan panel surya agar selalu menghadap ke arah datangnya cahaya matahari secara optimal. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan Arduino Nano sebagai pusat kendali utama yang memproses data dari sensor. Sensor yang digunakan antara lain LDR (Light Dependent Resistor) sebagai pendeteksi arah cahaya dan sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya secara akurat dalam satuan lux (Desmira, D., 2022). Sensor LDR bekerja dengan prinsip perubahan resistansi terhadap intensitas cahaya. Resistansi LDR akan turun saat terkena cahaya terang dan naik saat gelap (Andrian, A., Rahmadewi, R., & Bangsa, I. A., 2020). Dalam rangkaian pembagi tegangan, tegangan output dari sensor LDR dihitung menggunakan rumus berikut.

$$V_{out} = \left(\frac{R_{LDR}}{(R_{LDR} + R_{fixed})} \right) \times V_{in} \quad (1)$$

Perbedaan nilai V_{out} antar dua LDR yang diletakkan berseberangan (misalnya kiri dan kanan) dibandingkan menggunakan rumus:

$$\Delta V = |V_{out_{Kiri}} - V_{out_{Kanan}}| \quad (2)$$

Jika nilai ΔV lebih besar dari ambang batas tertentu (misalnya 0,1V), maka mikrokontroler akan memberi sinyal pada motor servo MG996R untuk memutar panel ke arah yang intensitas cahayanya lebih tinggi. Misalnya, jika $V_{out_Kiri} > V_{out_Kanan}$, maka panel bergerak ke kiri, dan sebaliknya. Prinsip ini dapat secara dinamis mengarahkan panel mengikuti posisi matahari sepanjang hari (Narin Laboratory., 2022).. Agar sistem dapat bekerja secara presisi dan efisien, digunakan juga modul logic level converter untuk menyesuaikan level tegangan antar komponen, khususnya antara sensor dan mikrokontroler (Randra Agustio Efransah., 2023).

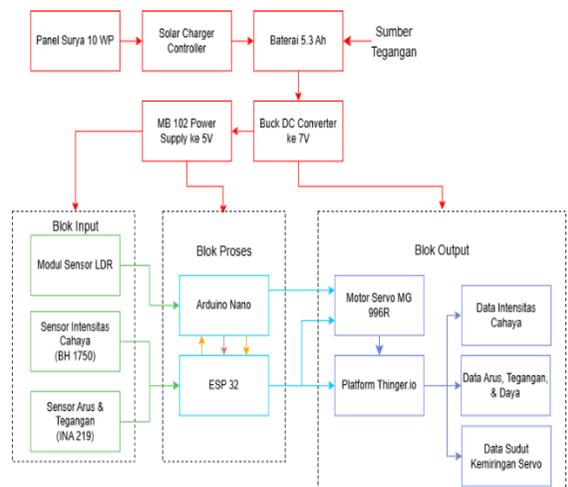
Seluruh rangkaian pada modul solar tracker mendapatkan suplai daya dari panel surya yang disalurkan dan diatur oleh solar charge controller (SCC) (Mujadin, A., Jumianto, S., Hidayat, A. R., & Wibisono, A. P., 2020). Energi yang disimpan kemudian dialirkan ke baterai, yang berfungsi sebagai cadangan daya untuk memastikan sistem tetap berjalan saat cahaya matahari tidak tersedia (Mike, Adrian, Rutkowski, J., & Núñez, B., 2021). Untuk pengaturan tegangan yang lebih stabil, digunakan modul buck converter LM2596 serta modul catu daya MB102 yang menyediakan output 3,3V dan 5V (Endra, R. Y., Cucus, A., Affandi, F. N., & Hermawan, D., 2019). Sistem ini juga dilengkapi sensor INA219 untuk memantau tegangan dan arus secara real-time. Semua data pembacaan sensor dan status sistem dapat dikirim ke platform Thingier.io, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem solar tracker secara jarak jauh melalui internet (Adani, F., & Salsabil, S., 2019). Kombinasi komponen ini menjadikan modul solar tracker bekerja otomatis, efisien, dan mendukung konsep Internet of Things (IoT) (Meutia, E. D., 2015).

III. PERANCANGAN ALAT

3.1. Perancangan Interaksi Sistem

Sistem solar tracker terdiri dari beberapa blok utama, yaitu blok aktivator, blok masukan, blok proses, dan blok keluaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

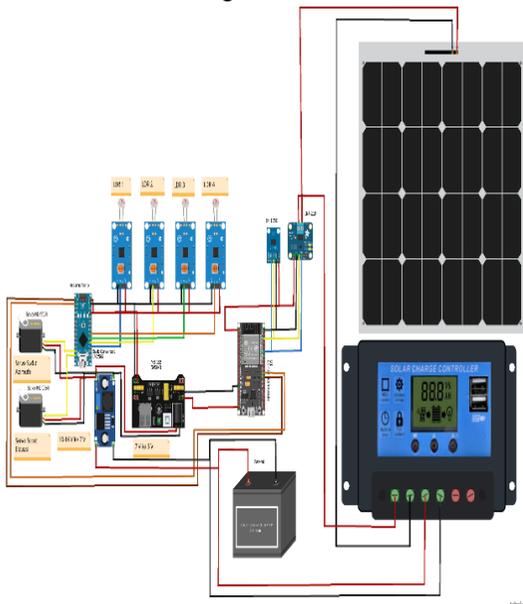
Blok aktivator merupakan bagian awal yang menyediakan sumber daya listrik untuk keseluruhan sistem. Sumber tegangan berasal dari baterai aki 12V 5.3Ah yang disuplai melalui panel surya 10 WP dan dikontrol oleh solar charge controller (SCC). Tegangan ini didistribusikan ke berbagai komponen menggunakan modul power supply MB102 dan buck DC converter. Buck converter digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai kebutuhan komponen, terutama motor servo MG996R agar dapat bekerja secara optimal. Sementara itu, power supply MB102 menyuplai tegangan ke mikrokontroler ESP32 dan Arduino Nano sebagai pusat pengendali utama dalam sistem.



Gambar 1. Blok Diagram

Blok masukan terdiri dari tiga jenis sensor utama, yaitu sensor LDR, sensor cahaya BH1750, dan sensor arus INA219. Empat sensor LDR ditempatkan di setiap sisi panel surya untuk mendeteksi intensitas cahaya dan

menentukan arah gerakan motor servo berdasarkan perubahan sudut elevasi dan azimuth. Sensor BH1750 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux secara presisi, sementara INA219 memantau tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan. Seluruh data dari sensor ini diproses dalam blok proses oleh dua mikrokontroler. Arduino Nano menerima data dari LDR dan mengatur pergerakan motor servo, lalu mengirimkan informasi sudut ke ESP32 melalui komunikasi serial. ESP32 bertugas memproses data dari sensor BH1750 dan INA219, lalu mengirimkannya ke platform Thinger.io melalui koneksi internet. Blok keluaran terdiri dari motor servo MG996R yang mengatur posisi panel surya secara otomatis dan platform Thinger.io yang berfungsi untuk menampilkan data monitoring sistem secara daring.



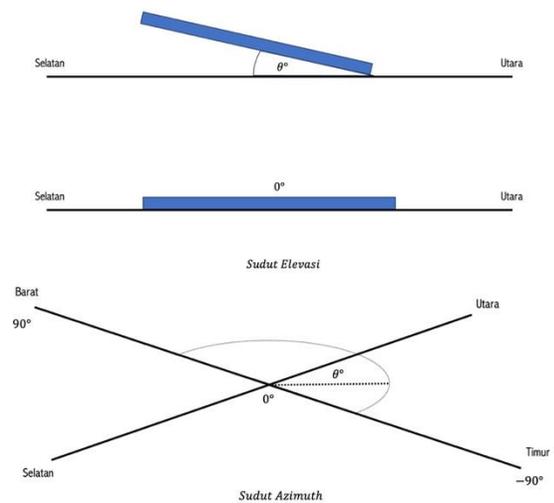
Gambar 2. Rangkaian Keseluruhan Alat

Gambar 2 ini menunjukkan rangkaian keseluruhan alat solar tracker berbasis mikrokontroler yang terdiri dari panel surya, solar charge controller, baterai 12V, serta

rangkain pengatur tegangan menggunakan buck converter dan MB102. Mikrokontroler ESP32 dan Arduino Nano mengendalikan motor servo berdasarkan data dari sensor LDR, BH1750, dan INA219. Seluruh sistem bekerja untuk mengarahkan panel surya secara otomatis mengikuti arah matahari dan mengirim data pemantauan ke platform Thinger.io.

3.2. Kalibrasi Sumbu Azimut dan Sumbu Elevasi

Sistem solar tracker dirancang agar dapat mengukur sudut yang dari panel surya. Sudut yang dihasilkan yaitu berasal dari pergerakan 2 motor servo MG 996R dengan sudut yang difokuskan pada dua jenis sudut yaitu sudut elevasi dan sudut azimuth. Berikut merupakan gambar ilustrasi dari pergerakan panel surya dengan sudut elevasi dan azimuth yang dapat dilihat pada Gambar 14 sebagai berikut.



Gambar 3. Ilustrasi Pergerakan Panel Surya

Gambar 3. menunjukkan mekanisme gerak panel surya pada sistem solar tracker dual axis. Panel dapat bergerak dalam sudut elevasi dari 0° hingga θ tertentu untuk mengoptimalkan penerimaan cahaya matahari. Selain itu, sudut azimuth mengatur

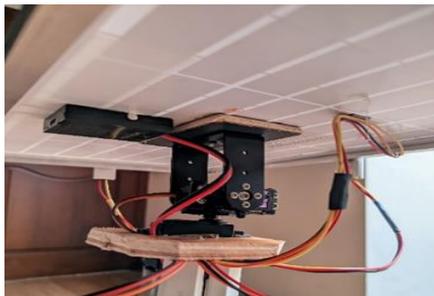
orientasi panel terhadap arah mata angin, dengan 0° ke utara dan rotasi dari timur ke barat. Kombinasi kedua sudut ini memungkinkan panel surya mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari.

3.3. Perancangan Alat

Perancangan alat dapat dilakukan dengan menggabungkan keseluruhan komponen yang digunakan dengan penempatan komponen sampai pengkabelan komponen. Gambar 4 merupakan tampilan pada bagian atas alat yang terdiri dari panel surya berkapasitas 10 WP, 4 modul sensor LDR untuk menyesuaikan posisi panel surya berdasarkan cahaya matahari, dan 1 sensor BH 1750 untuk mengukur intensitas cahaya dari cahaya matahari yang terpancar.



Gambar 4. Bagian Atas Panel Surya



Gambar 5. Bagian Bawah Panel Surya

Gambar 4 merupakan tampilan bagian bawah panel surya dari alat yang dirancang. Bagian ini terdapat sebuah komponen yang terdiri dari 2 motor servo MG 996R sebagai penggerak

utama panel surya yaitu dengan arah sudut Azimuth dan Elevasi. Gambar 5 merupakan tampilan bagian depan dari alat yang dirancang. Bagian depan alat hanya terdapat sebuah box persegi yang didalamnya berisi beberapa komponen utama dan pendukung sebagai bagian dari perancangan alat.



Gambar 6. Bagian Dalam dan Luar Alat

Gambar 6 merupakan tampilan bagian dalam box dari alat yang dirancang. Bagian dalam box ini terdapat komponen seperti mikrokontroler ESP 32, arduino nano, modul power supply MB 102, buck DC converter, sensor INA 219, solar charger controller, baterai 5.3Ah.



Gambar 7. Tampilan Tinker.io

Gambar 7 merupakan tampilan dari beberapa sensor seperti sensor BH 1750 yang berupa nilai intensitas cahaya, nilai sudut dari kemiringan panel surya, dan sensor INA 219 berupa nilai arus, tegangan, dan daya yang terpasang pada alat. Tampilan tersebut merupakan platform IoT berupa website tinker.io.

3.4. Komunikasi Antar Mikrokontroler dan Platform IoT

Komunikasi antara Arduino Nano dan ESP32 dilakukan melalui koneksi serial UART dengan menghubungkan pin transmisi dan penerima masing-masing mikrokontroler serta menyamakan jalur ground. Arduino Nano mengirimkan data sudut motor servo dalam format JSON agar mudah dibaca dan diproses oleh ESP32. Data yang diterima kemudian diolah untuk diteruskan ke platform Thinger.io sebagai bagian dari sistem Internet of Things. ESP32 memanfaatkan koneksi WiFi untuk mengirimkan informasi penting seperti sudut panel surya, intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya. Proses pengiriman ke Thinger.io memerlukan autentikasi menggunakan identitas pengguna, nama perangkat, dan kredensial khusus guna memastikan koneksi yang aman dan eksklusif.

IV. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Monitoring dan analisis sistem solar tracker dual axis dilakukan berdasarkan parameter intensitas cahaya, arus, tegangan, daya, serta sudut kemiringan panel surya. Proses pemantauan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu dinamis dan statis, untuk membandingkan performa masing-masing dalam menghasilkan nilai parameter tersebut. Data dari hasil monitoring dikumpulkan secara real-time melalui platform Thinger.io selama lima hari, dari pukul 08.00 hingga 17.00. Hasil pemantauan digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menyesuaikan posisi panel terhadap perubahan intensitas cahaya matahari secara optimal. Selain itu, dilakukan juga pengujian sensor BH1750 untuk mengetahui sensitivitas dari sensor dalam mendeteksi intensitas cahaya (lux).

4.1 Pengujian Nilai Lux Terhadap Sensor BH 1750

Pengujian sensor BH1750 pada solar tracker dual axis dilakukan untuk mengukur

sensitivitas terhadap intensitas cahaya. Pengujian ini menggunakan cahaya senter handphone dengan variasi jarak 10 cm hingga 40 cm serta posisi sudut yang berbeda. Hasil pengujian nilai lux dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Nilai Lux Terhadap Sensor BH 1750

No	Posisi Sumber Cahaya Jarak	Sudut	Nilai Lux
1	10 cm	0°	1437.5
		45°	933
		90°	648.9
2	20 cm	0°	951.7
		45°	548.6
		90°	392.4
3	30 cm	0°	764
		45°	282.9
		90°	215.7
4	40 cm	0°	537.1
		45°	128.4
		90°	87.2

Pada Tabel 1 yang merupakan hasil dari Pengujian nilai lux berdasarkan jarak dan sudut senter (sumber cahaya), nilai lux yang terdeteksi oleh sensor BH1750 menunjukkan pola penurunan seiring dengan bertambahnya jarak dan perubahan sudut cahaya dari senter handphone. Pada jarak 10 cm dengan sudut 0° (tegak lurus), intensitas cahaya yang terdeteksi paling tinggi, yaitu 1437.5 lux, karena cahaya mengenai sensor secara langsung tanpa hambatan. Ketika sudut berubah menjadi 45°, nilai lux menurun menjadi 933 lux, karena sebagian besar cahaya menyebar keluar dari bidang deteksi sensor. Pada sudut 90°, nilai lux semakin rendah, yaitu 648.9 lux, karena cahaya datang dari samping dan hanya sebagian kecil yang diterima oleh sensor. Hal serupa juga terjadi pada jarak yang lebih jauh, seperti 20 cm, 30 cm, dan 40 cm, di mana nilai lux semakin kecil akibat berkurangnya intensitas cahaya yang mencapai sensor. Pada jarak 40 cm dengan sudut 0°, nilai lux hanya menghasilkan 537.1

lux, sedangkan pada sudut 45° dan 90°, nilai lux turun menjadi 128.4 dan 87.2 lux. Hal ini menunjukkan bahwa jarak dan sudut sangat mempengaruhi intensitas cahaya yang diterima oleh sensor dalam mendeteksi cahaya disekitarnya. Penurunan nilai lux secara bertahap juga mengindikasikan bahwa tidak ada gangguan signifikan terhadap sensor BH 1750.

4.2 Pemantauan Intensitas Cahaya dan Daya pada Solar Panel

Pemantauan alat solar tracker dual-axis berbasis IoT yang telah dirancang ini dilakukan dengan menggunakan sensor untuk mengukur parameter seperti intensitas cahaya, arus, tegangan, daya yang dipantau melalui platform thinger.io. Monitoring ini dilakukan selama 5 hari dengan rentang waktu pukul 08.00 hingga 17.00. Berikut merupakan hasil rata-rata dari monitoring yang dilakukan selama 5 hari yang dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

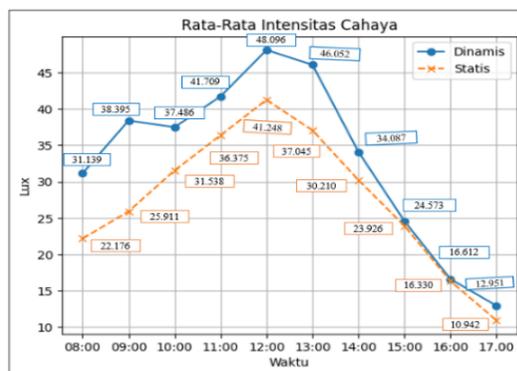
Tabel 2 menunjukkan hasil monitoring selama 5 hari yang mengindikasikan bahwa panel surya dalam keadaan dinamis menerima intensitas cahaya lebih tinggi dibandingkan keadaan statis, yang berdampak pada peningkatan tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan. Sebagai contoh, pada pukul 08.00, intensitas cahaya dalam kondisi dinamis mencapai 31.139 Lux dengan daya 1,70 W, sedangkan pada kondisi statis hanya 22.176 Lux dengan daya 0,89 W. Pada pukul 12.00, intensitas cahaya dinamis tercatat sebesar 48.096 Lux dengan daya 5,43 W, sementara kondisi statis hanya 41.248 Lux dengan daya 2,65 W. Namun, pada pukul 17.00, daya dalam kondisi dinamis menurun menjadi 0,84 W, sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi statis yang mencapai 1,02 W. Secara keseluruhan, sistem panel surya dinamis terbukti lebih optimal dalam menangkap

cahaya matahari dan menghasilkan daya lebih besar dibandingkan sistem statis.

Tabel 2. Hasil Rata-Rata Monitoring Intensitas Cahaya dan Daya Panel Surya secara Statis dan Dinamis

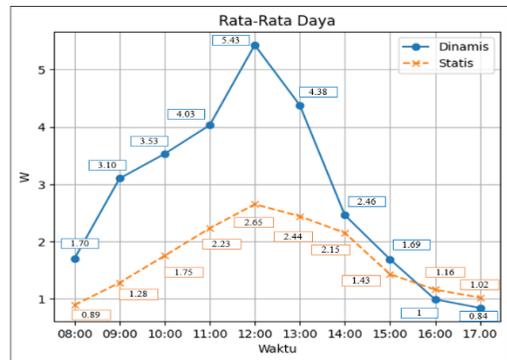
Solar Panel Dinamis				
Waktu	Cahaya (Lux)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)
08.00	31.139	13.1	128.5	1.70
09.00	38.395	13.4	236.6	3.10
10.00	37.486	13.6	269.3	3.53
11.00	41.709	14.0	287.3	4.03
12.00	48.096	14.5	370.9	5.43
13.00	46.052	14.3	306.4	4.38
14.00	34.087	13.4	181.3	2.46
15.00	24.573	12.9	130.3	1.69
16.00	16.612	12.6	78.2	0.99
17.00	12.951	12.5	66.5	0.84

Solar Panel Statis				
Waktu	Cahaya (Lux)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)
08.00	22.176	12.36	72.5	0.89
09.00	25.911	12.6	102.1	1.28
10.00	31.538	13.06	134.1	1.75
11.00	36.375	13.32	168.0	2.23
12.00	41.248	13.48	196.9	2.65
13.00	37.045	13.36	183.4	2.44
14.00	30.210	13.08	164.8	2.15
15.00	23.926	12.72	112.3	1.43
16.00	16.330	12.46	93.3	1.16
17.00	10.942	12.16	83.9	1.02



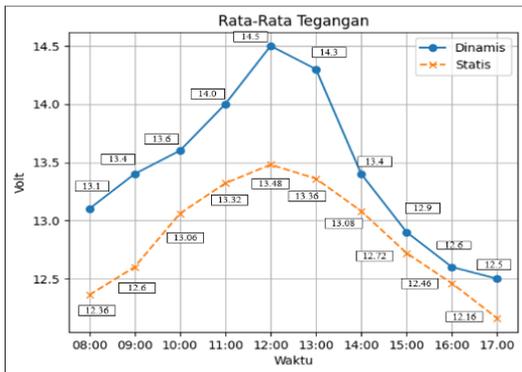
Gambar 8. Diagram Garis Rata-Rata Intensitas Cahaya

Gambar 8 menunjukkan bahwa intensitas cahaya pada panel surya dalam keadaan dinamis cenderung lebih tinggi dibandingkan statis di setiap rentang waktu. Intensitas tertinggi terjadi sekitar pukul 12.00, dengan 48.096 lux pada dinamis dan 41.248 lux pada statis. Setelah pukul 13.00 hingga 17.00, terjadi penurunan rata-rata intensitas cahaya pada kedua kondisi. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa sistem panel surya dinamis lebih efektif dalam menyerap cahaya matahari karena dapat mengikuti pergerakan matahari, sehingga intensitas yang diterima lebih besar dan konsisten sepanjang hari dibandingkan sistem statis.

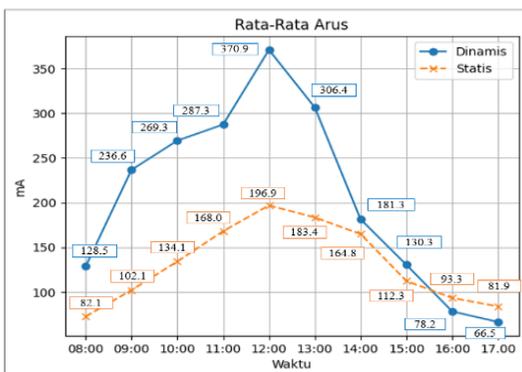


Gambar 11. Diagram Garis Rata-Rata Daya

Data pada Gambar 9 hingga 11 menunjukkan bahwa sistem panel surya dinamis secara umum menghasilkan tegangan, arus, dan daya yang lebih tinggi dibandingkan sistem statis, terutama pada waktu puncak sekitar pukul 12.00. Tegangan dinamis mencapai 14.5 V dibandingkan statis 13.48 V, arus dinamis 370.9 mA dibandingkan 196.9 mA, dan daya dinamis 5.43 W dibandingkan 2.65 W. Meskipun setelah pukul 13.00 terjadi penurunan, sistem dinamis tetap lebih unggul hingga pukul 15.00. Namun, pada pukul 16.00 hingga 17.00, posisi panel dinamis tidak lagi optimal sehingga arus dan daya statis menjadi lebih besar. Hasil ini menunjukkan keunggulan sistem dinamis dalam memaksimalkan penyerapan energi matahari saat posisi matahari ideal.



Gambar 9. Diagram Garis Rata-Rata Tegangan



Gambar 10. Diagram Garis Rata-Rata Arus

4.3. Monitoring Sudut Elevasi dan Azimuth Panel Surya

Monitoring sudut elevasi dan azimuth dilakukan selama 5 hari dengan rentang waktu pukul 08.00 hingga 17.00. Hasil rata-rata dari pengamatan ini disajikan dalam Tabel 3. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem solar tracker dual axis mampu menyesuaikan posisi panel surya sesuai pergerakan matahari sepanjang hari. Pada pukul 08.00, sudut elevasi tertinggi tercatat sebesar 37,7°, menandakan posisi matahari yang masih

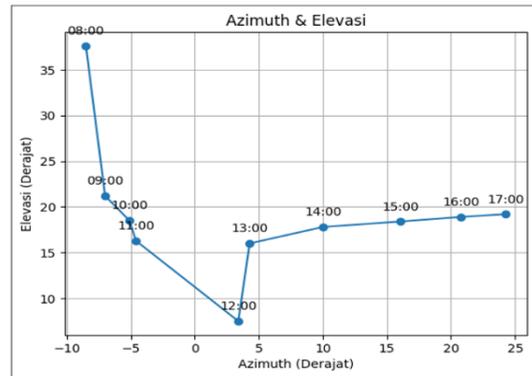
rendah di ufuk timur namun mulai meninggi. Pada pukul 12.00, sudut elevasi menurun ke 7,5° ketika matahari berada hampir tegak lurus terhadap permukaan bumi, lalu meningkat kembali hingga mencapai 19,2° pada pukul 17.00. Sementara itu, sudut azimuth mengalami peningkatan bertahap, dari -8,5° di pagi hari hingga 24,3° di sore hari, mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat. Hasil ini pada tabel 3. menunjukkan bahwa sistem solar tracker bekerja dengan optimal dalam menyesuaikan orientasi panel guna memaksimalkan penyerapan energi matahari. Berikut merupakan hasil rata-rata monitoring dari nilai sudut elevasi dan sudut azimuth, serta diagram garis dari nilai rata-rata tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 12.

Tabel 3. Hasil Rata-Rata Sudut Elevasi & Sudut Azimuth

	Rata-rata Sudut Azimuth (°)	Rata-rata Sudut Elevasi (°)
08.00	-8.5°	37.7°
09.00	-7.0°	21.2°
10.00	-5.1°	18.5°
11.00	-0.2°	16.3°
12.00	3.4°	7.5°
13.00	4.3°	16°
14.00	10.0°	17.8°
15.00	16.1°	18.4°
16.00	21.0°	18.9°
17.00	24.3°	19.2°

Pada Gambar 12 juga menunjukkan hubungan waktu dengan rata-rata sudut elevasi dan azimuth. Pada pukul 08.00, sudut elevasi tertinggi mencapai 37,7°, sedangkan sudut azimuth berada di -8,5°. Seiring waktu, sudut elevasi menurun hingga 7,5° pada pukul 12.00 karena matahari berada lebih tegak lurus, sementara sudut azimuth meningkat menjadi 3,4°. Setelah pukul 12.00, sudut elevasi kembali naik, dan sudut azimuth terus

bertambah hingga mencapai 24,3° pada pukul 17.00. Perubahan ini menunjukkan bahwa panel surya mengikuti pergerakan matahari secara optimal, meskipun terdapat penurunan elevasi signifikan di siang hari.



Gambar 12. Diagram Garis Rata-Rata Sudut

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, monitoring, dan analisis pada sistem solar tracker dual axis berbasis IoT, diperoleh bahwa intensitas cahaya yang diterima sensor sangat dipengaruhi oleh jarak dan sudut datang cahaya. Monitoring terhadap parameter intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya selama lima hari menunjukkan bahwa nilai tertinggi rata-rata terjadi pada pukul 12.00 WIB, sementara nilai terendah rata-rata terjadi pada pukul 17.00 WIB. Pada sudut azimuth, diperoleh rata-rata nilai negatif sebesar -8,5° hingga -0,2° pada pukul 08.00 hingga 11.00 WIB, dan berubah menjadi nilai positif sebesar 3,4° hingga 24,3° pada pukul 12.00 hingga 17.00 WIB. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya berotasi mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat. Sementara itu, sudut elevasi menunjukkan perubahan rata-rata dari 37,7° hingga 16,3° pada pukul 08.00 hingga 11.00 WIB, dan dari 7,5° hingga 19,2° pada pukul 12.00 hingga 17.00 WIB, yang menegaskan respons sistem terhadap posisi matahari sepanjang hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Adani, F., & Salsabil, S. (2019). Internet of Things: Sejarah teknologi dan penerapannya. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*. (<https://id.scribd.com/document/575140691/Document-26>). (Diakses: 1 Juni 2024).
- Alfayat, Y. 2020. Bagaimana Protokol Komunikasi Serial UART Bekerja. Medium. (<https://medium.com/@yalfayat/how-uart-serial-communication-protocol-works-f66b6d1896a5>) (Diakses: 9 Oktober 2024).
- Ambarwati Terraningtyas (2019). Makalah Energi Surya - Energi Baru Terbarukan. [online] Academia.edu. Tersedia di : https://www.academia.edu/35138388/Makalah_Energi_Surya_Energi_Bau_Terbarukan [Diakses : 26 Jun. 2024].
- Andrian, A., Rahmadewi, R., & Bangsa, I. A. 2020. Arm Robot Pemindah Barang (Atwor) Menggunakan Motor Servo MG995 Sebagai Penggerak Arm Berbasis Arduino. *Electro Luceat*, 6(2), 142–155. (Diakses: 10 Oktober 2024).
- Beda, N., Candra, J. E., & Jufri, M. (2024). Rancang Bangun Solar Panel Tracker Dual Axis Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Quancam: Quantum Computer Jurnal*, 2(1), 1-5.
- Desmira, D. 2022. Aplikasi Sensor LDR (Light Dependent Resistor) untuk Efisiensi Energi pada Lampu Penerangan Jalan Umum. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, 9(1), 21–29.
- Ebtke, H. (2021). Indonesia Kaya Energi Surya, Pemanfaatan Listrik Tenaga Surya oleh Masyarakat Tidak Boleh Ditunda. *ebtke.esdm.go.id*, 1-7. (Diakses: 5 Juli 2024).
- Endra, R. Y., Cucus, A., Affandi, F. N., & Hermawan, D. (2019). Implementasi Sistem Kontrol Berbasis Web pada Smart Room dengan Menggunakan Konsep Internet of Things. *Explore: Jurnal Sistem Informasi dan Telematika*, 10(2), 331228. (<https://www.researchgate.net/>). (Diakses: 29 Mei 2024).
- Hamid, R. M., Rizky, R., Amin, M., & Dharmawan, I. B. 2016. Rancang Bangun Charger Baterai untuk Kebutuhan UMKM. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(2), 130–136. (Diakses: 28 Juni 2024).
- Meutia, E. D. 2015. Internet of Things – Keamanan dan Privasi. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro*, 1(1), 85–89. (Diakses: 5 Juni 2024)
- Mike, Adrian, Rutkowski, J., & Núñez, B. 2021. Modul Catu Daya Breadboard MB102 - Cara Menggunakannya. *Microcontrollerslab.com*. (<https://microcontrollerslab.com/mb102-breadboard-power-supply-module-pinout-and-how-to-use-it/>)(Diakses: 29 Mei 2024).
- Mujadin, A., Jumianto, S., Hidayat, A. R., & Wibisono, A. P. (2020). Prototipe Pembangkit Listrik Mobile Nano Hydro. <https://eprints.uai.ac.id>. <https://eprints.uai.ac.id/1694/>. (Diakses: 28 Juni 2024).
- Narin Laboratory. (2022). Logic Level Converter. Narin Laboratory. (Tersedia di: <https://narin.co.id/etalase/modul-converter/logic-level-converter.html>) (Diakses: 10 Apr. 2025).
- Permen ESDM No. 50 Tahun 2017. (2017). Retrieved April 11, 2025, from Database Peraturan | JDIH BPK website: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/142140/permen-esdm-no-50-tahun-2017> (Diakses: 5 Juli 2024).

- Randra Agustio Efyansah. 2023. Solar Charge Controller: Pengertian, Perbedaan PWM dengan MPPT. Kelas Teknisi. (<https://www.kelasteknisi.com/2023/11/solar-charge-controller.html>) (Diakses: 28 Juni 2024).
- Randra Agustio Efyansah. 2023. Solar Charge Controller: Pengertian, Perbedaan PWM dengan MPPT. Kelas Teknisi. (<https://www.kelasteknisi.com/2023/11/solar-charge-controller.html>) (Diakses: 28 Juni 2024).
- Solarkita.com. 2017. Panel Surya: Pengertian, Cara Kerja, Kelebihan, dan Kekurangannya. (<https://www.solarkita.com/blog/panel-surya-pengertian-cara-kerja-kelebihan-dan-kekurangannya>) (Diakses: 26 Juni 2024).
- Sungur, C. 2009. Sistem Pelacak Matahari Multi-sumbu dengan Kontrol PLC untuk Panel Fotovoltaik di Turki. *Renewable Energy*, 34(4), 1119–1125.
- Sutaya, I. W., & Ariawan, K. U. (2016). Solar tracker cerdas dan murah berbasis mikrokontroler 8 bit ATmega8535. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 5(1).
- UMY.ac.id. 2019. Apa dan Bagaimana Sistem Kerja Panel Surya? – Teknik Elektro. (<https://elektro.umy.ac.id/apa-dan-bagaimana-sistem-kerja-panel-surya/>) (Diakses: 27 Juni 2024).