



Perancangan Dual Axis Solar Tracker Guna Efisiensi Panel Surya di Atas Kapal

Dhimas Bayu Kuncoro^{1*}, Diana Alia², Teguh Pribadi³, Edi Kurniawan⁴, Samsul Huda⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: diana.alia@poltekpel-sby.ac.id

Abstract. *This study aims to design and test a Dual Axis Solar Tracker to improve the energy absorption efficiency of solar panels on ships. The system is designed with a two-axis movement mechanism (horizontal and vertical) using a linear actuator motor controlled by Arduino Nano and ESP32. Testing was conducted on a 20 WP solar panel in Surabaya for 30 days, divided into three methods: 10 days using an LDR sensor, 10 days using an RTC, and 10 days in static conditions without a sensor. Voltage, current, and power data were measured every 30 minutes at 07.00–17.00 WIB. The test results show that the RTC method provides the highest and most stable output power, according to the sun's movement patterns in tropical areas, while the LDR method responds quickly to changes in light intensity but is less stable in changing weather. Static installation produces the lowest power. This system is able to maintain the panel orientation perpendicular to the sun's rays, thus increasing energy efficiency compared to static systems. These findings prove that dual-axis solar tracker technology, especially with an RTC sensor, is effective in dynamic maritime environments and can be a practical solution for optimizing renewable energy on ships. The most effective results using RTC sensors demonstrated the most stable and high power output, especially since the sun in tropical areas like Surabaya moves fairly consistently following a cyclical pattern. The success of this system not only increases the energy output of solar panels but also provides a practical solution for renewable energy applications in tropical climates.*

Keywords: *Arduino Nano; ESP32; LDR; RTC; Solar Panels.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji *Dual Axis Solar Tracker* guna meningkatkan efisiensi penyerapan energi panel surya di atas kapal. Sistem dirancang dengan mekanisme pergerakan dua sumbu (horizontal dan vertikal) menggunakan motor linear actuator yang dikendalikan oleh Arduino Nano dan ESP32. Pengujian dilakukan pada panel surya 20 WP di Surabaya selama 30 hari, dibagi menjadi tiga metode: 10 hari menggunakan sensor LDR, 10 hari menggunakan RTC, dan 10 hari kondisi statis tanpa sensor. Data tegangan, arus, dan daya diukur setiap 30 menit pada pukul 07.00–17.00 WIB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode RTC memberikan daya keluaran paling tinggi dan stabil, sesuai pola pergerakan matahari di daerah tropis, sedangkan metode LDR merespons cepat perubahan intensitas cahaya namun kurang stabil pada cuaca berubah-ubah. Pemasangan statis menghasilkan daya terendah. Sistem ini mampu menjaga orientasi panel tegak lurus terhadap sinar matahari, sehingga efisiensi energi meningkat dibanding sistem statis. Temuan ini membuktikan bahwa teknologi *dual axis solar tracker*, khususnya dengan sensor RTC, efektif di lingkungan maritim yang dinamis dan dapat menjadi solusi praktis untuk optimalisasi energi terbarukan di kapal. Hasil yang paling efektif dengan menggunakan sensor RTC menunjukkan output daya paling stabil dan tinggi, terutama karena matahari di wilayah tropis seperti Surabaya bergerak secara cukup konsisten mengikuti pola waktu. Keberhasilan sistem ini tidak hanya meningkatkan output energi dari panel surya, tetapi juga memberikan solusi praktis bagi aplikasi energi terbarukan di lingkungan yang beriklim tropis.

Kata kunci: Arduino Nano; ESP32; LDR; Panel Surya; RTC;

1. LATAR BELAKANG

Energi listrik merupakan komponen esensial dalam operasional berbagai sektor, termasuk sektor maritime (Ma'arif & Kulla, 2024). Sumber energi alternatif dimanfaatkan guna memenuhi kebutuhan listrik di kapal dikarenakan selama ini listrik di kapal dihasilkan oleh generator yang membutuhkan bahan bakar yang berasal dari fosil yang tidak ramah lingkungan (Nugraha, 2020). Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki potensi energi surya yang melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif

berkelanjutan(Manullang et al., 2021). Sebagian besar instalasi panel surya tradisional bersifat statis atau tidak dapat bergerak untuk mengikuti arah datangnya sinar matahari(Kharisma et al., 2024). Hal ini menyebabkan penyerapan energi matahari menjadi kurang optimal, terutama selama waktu-waktu tertentu dalam sehari ketika posisi matahari berubah(Hidayanti et al., 2019). Dengan demikian hasil output dari panel surya statis lebih rendah daripada panel surya yang menggunakan system pelacak(Yudi Wijanarko et al., 2025).

Penelitian sebelumnya (Sutaya & Ariawan, 2016) mengembangkan *single axis solar tracker* berbasis Arduino Uno yang meningkatkan daya keluaran dari panel surya. Penelitian ini hanya memfokuskan di *solar tracker* dan daya yang didapatkan oleh panel surya menggunakan sistem kendali *solar tracker* satu sumbu berbasis Arduino dengan LDR untuk pelacakan arah matahari dari timur ke barat, menggunakan motor servo DC sebagai motor penggerak(Kapal, n.d.). Dengan demikian penelitian ini memiliki fokus pada waktu pengambilan data dan membandingkannya yang menggunakan solar tracker dengan yang tidak menggunakannya, dan masih menggunakan metode satu sumbu (*single axis*)(Hidayatullah, 2024). Akan tetapi memiliki kekurangan hanya mengikuti pergerakan horizontal matahari sehingga tidak dapat memaksimalkan penyerapan energi terutama saat sudut vertikal berubah signifikan (pagi dan sore hari, serta pergantian musim) (Prihantara et al., 2024).

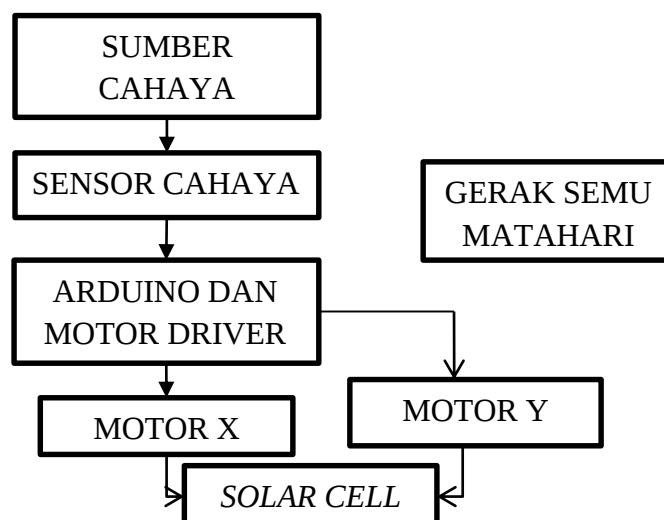
Selanjutnya pada penelitian (Hidayati et al., 2020) perancangan *dual axis solar tracker* dengan Mikrokontroler 8 Bit Atmega 8535. Dengan menambahkan 4 sensor LDR untuk pelacakan arah matahari dari timur ke barat, dan selatan ke utara untuk meningkatkan daya *output* dari panel surya (Dekki Widiatmoko et al., 2023). Untuk menggerakkan panel surya tersebut diperlukan motor servo atau motor linear untuk menggerakkan panel surya ke arah sumbu azimuth dan sumbu elevasi (Lokeswara et al., 2022) Selanjutnya penelitian berikutnya perancangan *dual axis solar tracker* berbasis Arduino nano menggunakan module RTC atau pergerakan waktu, pergerakan *solar tracker* berdasarkan waktu yang telah di atur oleh mikrokontroller dengan module RTC dan sensor *accelenometer* untuk menentukan pergerakan sudut tiap 30 menit dalam rentan waktu pukul 07.00-17.00 WIB(Nugroho, 2025). Dari kedua penelitian ini memiliki masing-masing kekurangan, Penggunaan beberapa sensor LDR pada sisi panel membutuhkan kalibrasi yang teliti agar perbedaan sensitivitas antar sensor tidak menyebabkan error pelacakan(Sahara, Ayu Heriansyah Gultom, 2024). Penggunaan Module RTC mengandalkan data waktu untuk

menentukan posisi matahari dan menggerakkan panel berdasarkan perhitungan waktu, sehingga tidak langsung mendeteksi intensitas cahaya nyata (Qomaruddin et al., 2019).

Pada penelitian ini memilih menggunakan modul RTC dan sensor *accelonometer* sebagai input pewaktuan nyata pergerakan matahari agar panel surya dapat mengikuti pergerakan matahari berdasarkan waktu berbasis mikrokontroller Arduino Nano (Erman Al Hakim et al., 2023). Alat ini menggunakan motor linear sebagai actuator yang memiliki torsi cukup besar yang digunakan untuk menggerakkan panel surya (Lokeswara et al., 2022) (Ardina, 2019). Indonesia yang terletak di daerah tropis dengan intensitas sinar matahari yang tinggi dan pola cuaca yang berubah-ubah sangat diuntungkan dengan penggunaan modul RTC (Prima Putra et al., 2021). Modul RTC memungkinkan sistem solar tracker untuk mengatur gerakan panel surya berdasarkan waktu yang telah diprogram secara presisi, sehingga pergerakan panel dapat dilakukan secara terjadwal dan tidak terlalu bergantung pada kondisi intensitas cahaya yang bisa fluktuatif akibat cuaca mendung atau hujan (Krishna Kumar & Subramaniam, 2018). Penggunaan modul RTC juga membantu mengefisienkan konsumsi energi karena motor penggerak akan bergerak hanya sesuai jadwal waktu yang tepat, menghindari gerakan berlebihan yang tidak perlu sehingga memperpanjang umur perangkat serta mengurangi pemakaian daya yang sia-sia (Widyatamara et al., 2023).

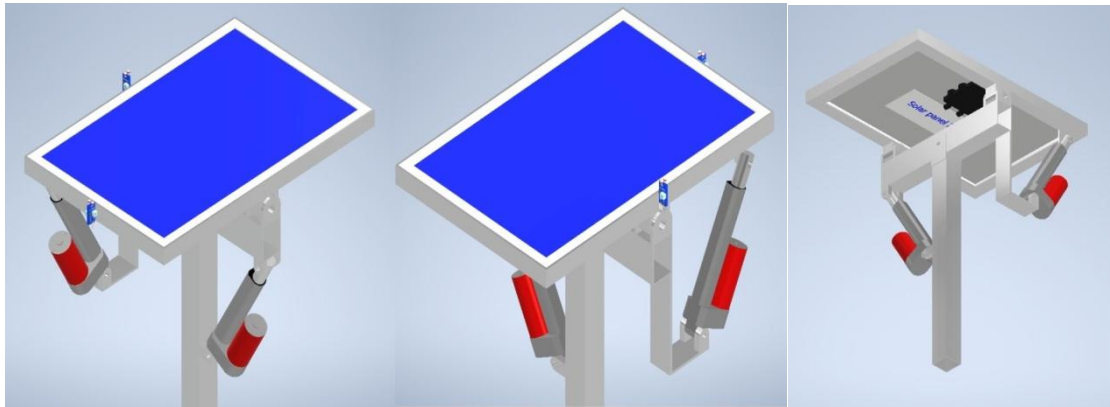
2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Penulis menganggap metode ini paling cocok karena penelitian ini melakukan pengembangan alat yang sudah ada dan melakukan penelitian beberapa percobaan untuk menguji efektivitas sebuah alat (*prototype*).



Gambar 1. Simulasi Sistem.

Desain *dual axis solar tracker* yang dibuat menggunakan kerangka besi sebagai penopang solar cell, kerangka tersebut di lengkapi *bracket* untuk 2 motor linear untuk menggerakkan ke arah sumbu X dan arah sumbu Y. solar cell yang di pilih dengan spesifikasi 20 wp menggunakan penggerak solar cell menggunakan 2 motor linear 12 volt dan pembacaan intensitas cahaya menggunakan sensor LDR diproses oleh Arduino Nano untuk menggerakkan motor linearnya. Penambahan Modul RTC (*Real time clock*) untuk membandingkan pengujian hasil *output* daya solar cell berikut desain grafis dari *dual axis solar tracker*.



Gambar 2. Desain *dual axis solar tracker*.

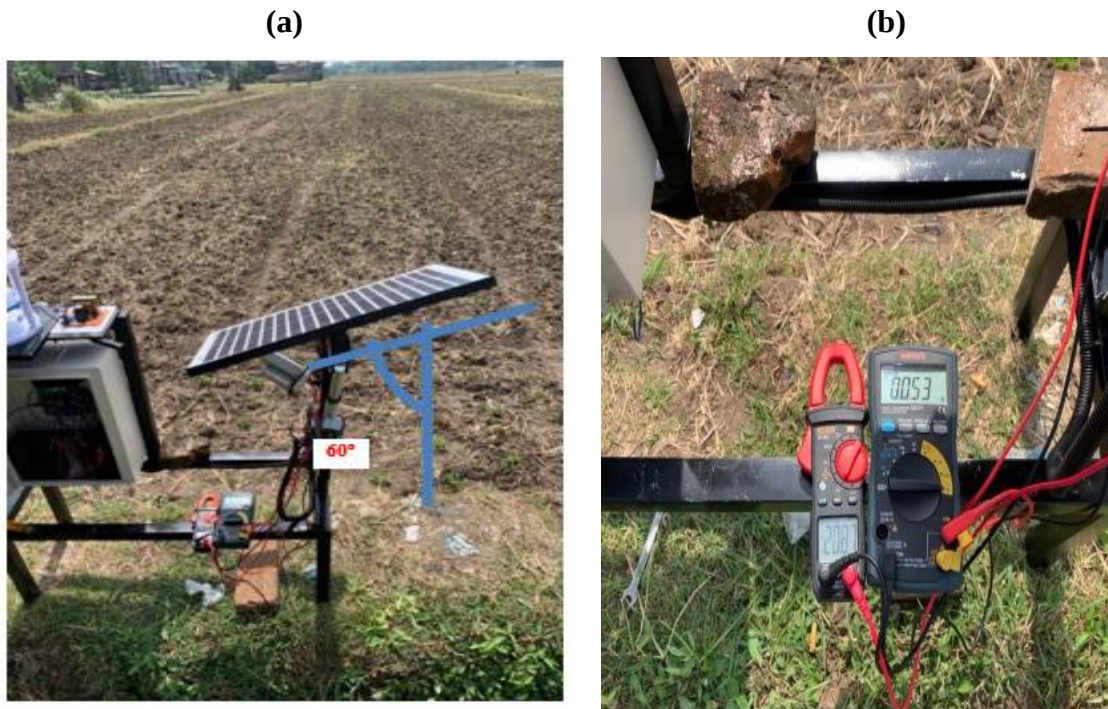
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyajian data dilengkapi dengan ilustrasi visual seperti penyajian tabel dan grafik hasil pengujian agar memudahkan pembacaannya. Pengujian *dual axis solar tracker* dilakukan secara langsung (*real time*) dibawah sinar matahari ditempat yang lapang (sawah) agar solar cell tidak terhalang bangunan atau pepohonan sehingga memperoleh hasil penyerapan yang maksimal. Output dari solar cell tersebut digunakan sebagai pengisian baterai. Tegangan yang diperlukan untuk mengisi daya baterai sekitar 13 volt.



Gambar 3. Pengujian *dual axis solar tracker*.

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa panel pada sudut 60° mampu menghasilkan tegangan hingga 20,85 volt dalam kondisi tanpa beban dan arus sekitar 0,53 ampere saat diuji dengan beban (*resistif*) dengan alat yang memiliki resistansi murni untuk mengukur kinerja arus dan tegangan secara langsung tanpa pengaruh induktif atau kapasitif (multimeter).



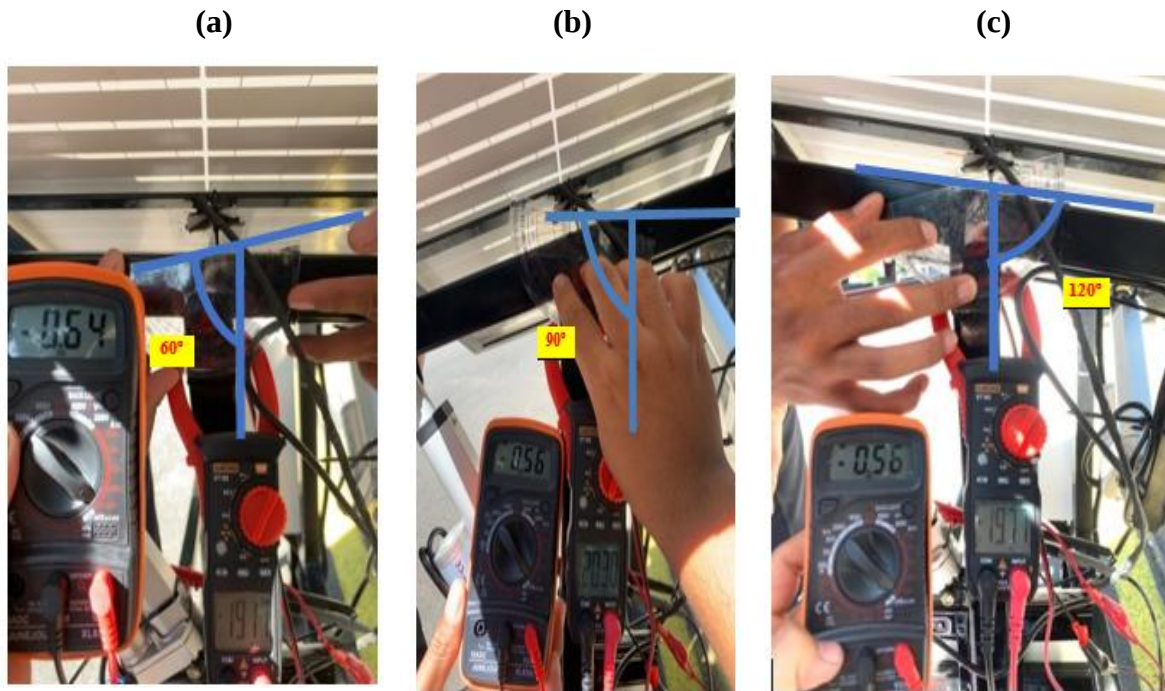
Gambar 4. (a) *solar cell* pada sudut 60° dan (b) Nilai *Output* Tegangan dan arus.

Pengujian sistem *Dual Axis Solar Tracker* dilakukan di Surabaya selama 30 hari, dibagi menjadi tiga periode: 10 hari menggunakan sensor LDR, 10 hari menggunakan sensor RTC, dan 10 hari pada kondisi statis. Data diambil setiap 30 menit mulai pukul 07.00 hingga 17.00 WIB, mencatat tegangan (V), arus (A), dan menghitung daya (W).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan sensor RTC menghasilkan daya keluaran rata-rata tertinggi, yaitu 10,84 W, dengan fluktuasi yang rendah. Sensor LDR menghasilkan daya rata-rata 10,12 W, namun menunjukkan variasi yang signifikan pada kondisi cuaca berubah-ubah. Sementara itu, metode statis menghasilkan daya rata-rata terendah, yaitu 8,45 W, dengan penurunan signifikan pada pagi dan sore hari. Puncak daya untuk sensor LDR dan metode RTC terjadi pada rentang pukul 11.00 – 13.00 WIB, sedangkan metode statis menunjukkan penurunan cepat di luar jam puncak penyinaran..

a. Pengujian pergerakan *dual axis solar tracker*

Berikut gambar pengujian statis pergerakan pada *solar cell* di tiap sudut pengujian dimulai dari pukul 07.00 sampai pukul 17.00 data pengukuran diambil setiap 30 menit.



Gambar 5. (a) Pada Sudut 60°, (b) Pada Sudut 90° dan (c) Pada Sudut 120°.

Sumber : Dokumen Penelitian.

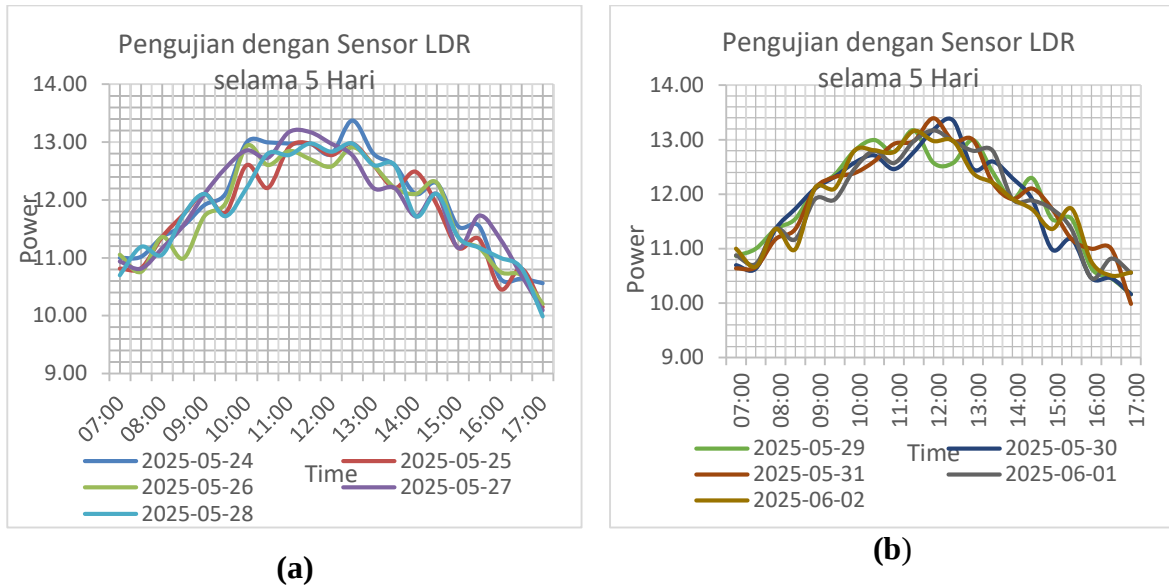
Tabel 1. Pergerakan panel surya sumbu X dan sumbu Y.

Waktu	Derajat Sumbu X (Azimuth)	Derajat Sumbu Y (Elevasi)
07.00	60.0 °	22 °
07.30	69.5 °	22 °
08.00	79.1 °	22 °
08.30	88.6 °	22 °
09.00	98.2 °	22 °
09.30	107.7 °	22 °
10.00	117.3 °	22 °
10.30	126.8 °	22 °
11.00	136.4 °	22 °
11.30	145.9 °	22 °
12.00	155.5 °	22 °
12.30	165.0 °	22 °
13.00	174.5 °	22 °
13.30	184.1 °	22 °
14.00	193.6 °	22 °
14.30	203.2 °	22 °
15.00	212.7 °	22 °
15.30	222.3 °	22 °
16.00	231.8 °	22 °

Waktu	Derajat Sumbu X (Azimuth)	Derajat Sumbu Y (Elevasi)
16.30	241.4°	22°
17.00	250.9°	22°

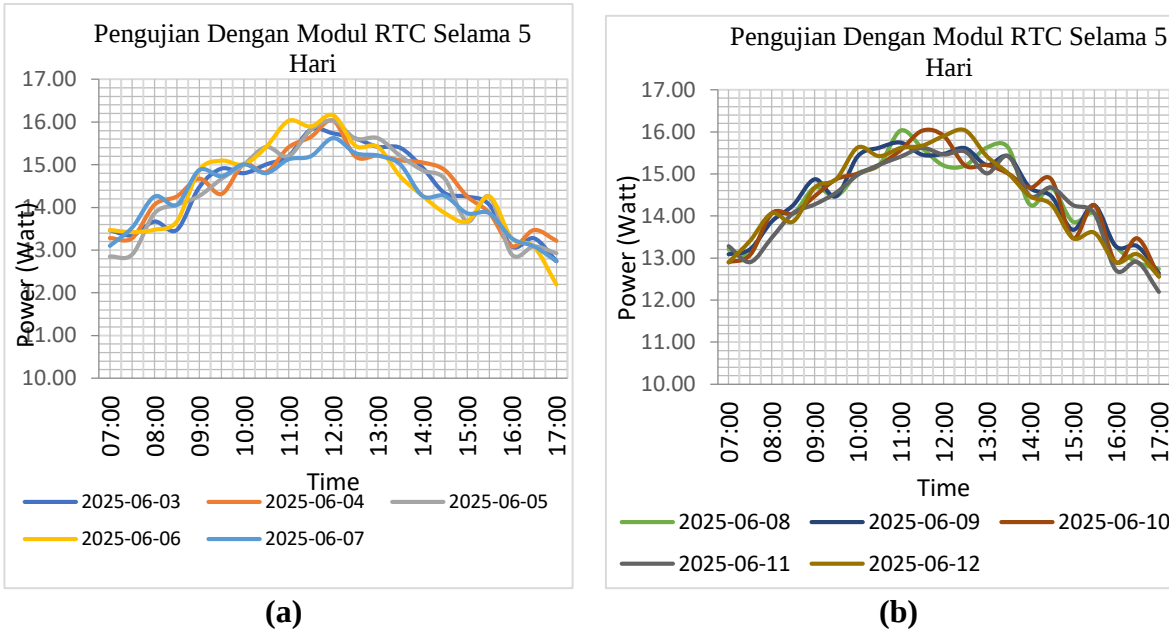
Sumber: Penulis (2025).

b. Pengujian panel surya dengan sensor LDR, Modul RTC dan keadaan Statis



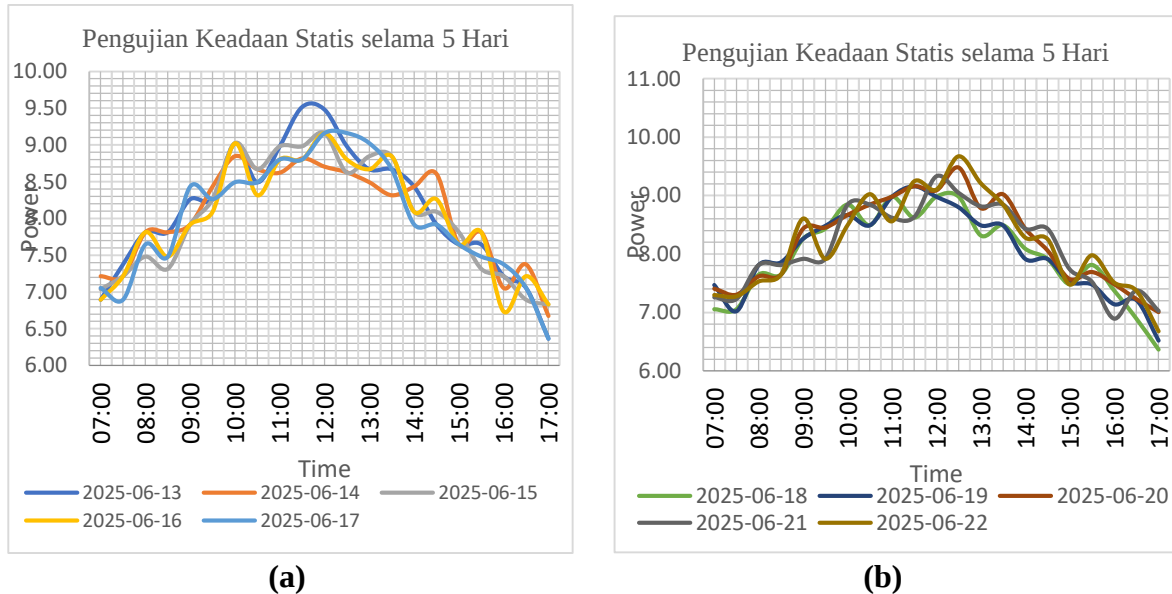
Gambar 6. Output pengujian dengan sensor *LDR* (a) 5 hari pertama dan (b) 5 hari kedua.

Dari data tabel grafik diatas diperoleh data daya tertinggi panel surya menggunakan sensor *LDR* terjadi pada hari ke -6 pukul 12.00 yaitu **13,37 watt**, sedangkan untuk daya terendah terjadi pada pukul 17.00 yaitu **9,64 watt**. Berikut grafik pengujian panel surya dengan modul *RTC*



Gambar 7. Output pengujian dengan modul *RTC* (a) 5 hari pertama dan (b) 5 hari kedua.

Dari data tabel grafik diatas diperoleh data daya tertinggi panel surya menggunakan sensor RTC terjadi pada hari ke-2 pukul 12.00 yaitu 16,02 watt, sedangkan untuk daya terendah terjadi pada pukul 17.00 yaitu 12,96 watt. Berikut grafik pengujian panel surya dalam keadaan statis



Gambar 8. Output pengujian dalam keadaan statis (a) 5 hari pertama dan (b) 5 hari kedua.

Dari data tabel grafik diatas diperoleh data daya tertinggi panel surya dalam keadaan statis terjadi pada hari ke -4 pukul 12.00 yaitu **8.66 watt**, sedangkan untuk daya terendah terjadi pada pukul 17.00 yaitu **6,09 watt**.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan memperoleh data dari hasil pengujian, langkah berikutnya adalah menghitung daya serta persentase peningkatan arus dan daya listrik yang dihasilkan antara panel surya dinamis dan panel surya statis(Elektronika et al., 2024). presentase peningkatan daya pada 3 metode pengujian *dual axis solar tracker* dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{\text{Arus dinamis} - \text{Arus statis}}{\text{Arus dinamis}} \times 100\%$$

$$P = \frac{\text{Daya dinamis} - \text{Daya statis}}{\text{Daya dinamis}} \times 100\%$$

a) Presesntase peningkatan *output* daya dengan sensor LDR vs dalam keadaan statis

$$P = \frac{\text{daya LDR} - \text{daya statis}}{\text{daya LDR}} \times 100\%$$

$$P = \frac{13,37 \text{ watt} - 8,66 \text{ watt}}{13,37} \times 100\%$$

$$P = 0,35,2 \times 100\%$$

$$P = 35,2 \%$$

- b) Presentase peningkatan *output* daya dengan menggunakan metode RTC vs dalam keadaan statis

$$P = \frac{\text{daya RTC} - \text{daya statis}}{\text{daya RTC}} \times 100\%$$

$$P = \frac{16,02 - 8,66}{16,02} \times 100\%$$

$$P = 0,459 \times 100\%$$

$$P = 45,9\%$$

Jadi selisih hasil dari pengukuran presentasi peningkatan daya *output solar cell* adalah $45,9\% - 35,2\% = 10,7\%$ nilai tersebut merupakan presentase peningkatan hasil *output* daya *dual axiss solar tracker* menggunakan metode RTC (*real time clock*). Berdasarkan hasil penelitian, sistem *Dual Axis Solar Tracker* yang dikembangkan terbukti mampu meningkatkan efisiensi daya keluaran panel surya dibandingkan metode statis, dengan metode pelacakan berbasis RTC menghasilkan kinerja paling optimal dan stabil pada kondisi tropis. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan kombinasi konfigurasi 4 sensor LDR, aktuator linear, serta integrasi metode RTC yang dioptimalkan untuk lingkungan maritim, sehingga mampu mempertahankan orientasi panel secara presisi meskipun posisi kapal berubah. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan sistem energi terbarukan di sektor kelautan, khususnya sebagai solusi efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil di kapal.

DAFTAR REFERENSI

- Al Hakim, E., Fahrudin, B., Tafrikhatin, A., & Sumarah, J. (2023). Rancang bangun *solar tracker* berbasis Arduino. *JASATEC: Journal of Students of Automotive, Electronic and Computer*, 2(1), 28–37. <https://doi.org/10.37339/jasatec.v2i1.1329>
- Ardina, G. B. (2019). Rancang bangun *dual axis solar tracker* pembangkit listrik tenaga surya berbasis mikrokontroler Arduino Uno. *Seminar Hasil Elektro S1 ITN Malang*, 1(1), 1–11.
- Dekki Widiatmoko, Setiawibawa, R., Al-Farizi, R. M., Syafaat, M., & Prawira, E. (2023). Implementasi sensor LDR pada prototipe sistem tracking *dual axis* untuk deteksi arah sinar matahari pada sel surya. *ASPIRASI: Publikasi Hasil Pengabdian dan Kegiatan Masyarakat*, 1(5), 132–140. <https://doi.org/10.61132/aspirasi.v1i5.407>
- Elektronika, T., Elektro, T., & Medan, P. N. (2024). Rancang bangun *solar tracker dual axis* untuk PLTS dengan sistem monitoring dan switching berbasis IoT. *Prosiding*, 650–662.

- Hidayanti, A. N., Handayani, P., & Chandra, I. (2019). Pemanfaatan metode *single axis tracker* dan *maximum power point tracker* (MPPT) PID untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 149–154.
- Hidayati, Q., Yanti, N., & Jamal, N. (2020). Sistem pembangkit panel surya dengan *solar tracker dual axis* berbasis sensor cerdas. *Prosiding*, 68–73.
- Hidayatullah, A. (2024). Rancang bangun *single-axis solar tracker* untuk pembangkit listrik tenaga surya skala kecil. *Jurnal Pepadun*, 5(1), 64–71. <https://doi.org/10.23960/pepadun.v5i1.163>
- Kapal, D. I. (n.d.). Perancangan *single axis solar tracker* berbasis Arduino guna efisiensi output daya panel surya. *Prosiding*, 272–280.
- Kharisma, A., Pinandita, S., & Jayanti, A. E. (2024). Literature review: Kajian potensi energi surya sebagai alternatif energi listrik. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.23956>
- Krishna Kumar, N., & Subramaniam, V. (2018). Real-time clock based energy-efficient automatic dual-axis solar tracking system. *Engineering Journal*, 22(1), 15–26. <https://doi.org/10.4186/ej.2018.22.1.15>
- Lokeswara, L., Zakiyullah, M., & Fuadi, A. Z. (2022). Pemodelan dan simulasi kendali *linear quadratic regulator* pada prototipe *dual-axis solar tracker*. *E-Proceeding of Engineering*, 9(2), 125–130.
- Ma'arif, S., & Kulla, I. H. I. (2024). Potensi energi baru terbarukan di kawasan maritim Indonesia: Tinjauan teknologi dan tantangan implementasi. *Jurnal Serina Sains, Teknik, dan Kedokteran*, 2(1), 71–86. <https://doi.org/10.24912/jsstk.v2i1.32060>
- Manullang, S., Buwono, A., & Eneste, M. A. (2021). Analisis potensial pemanfaatan energi surya pada kapal ikan di pantai selatan Pulau Jawa sebagai sumber energi. *Jurnal Riset Kapal Perikanan*, 11(1), 49–57. <https://doi.org/10.29244/jrisetkapal.1.1.49-57>
- Nugraha, I. M. A. (2020). Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya sebagai sumber energi pada kapal nelayan: Suatu kajian literatur. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 4(2), 101. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2020.vol.4.no.2.76>
- Nugroho, H. (2025). Penerapan *solar tracking system* berlingan ganda dengan memanfaatkan potensi tenaga surya. *Cyclotron*, 8(1), 21–26. <https://doi.org/10.30651/cl.v8i01.23872>
- Prihantara, F., Wijayanto, D. S., & Saputra, T. W. (2024). Efektivitas penggunaan *solar tracker single axis* terhadap output panel surya. *NOZEL: Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 6(1), 55. <https://doi.org/10.20961/nozel.v6i1.78334>
- Putra, A. P., Sanjaya, A., & Safitri, M. (2021). Perancangan tracking sel surya berbasis Arduino. *Jurnal Informatika Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 5(3), 347–356.
- Qomaruddin, M. N., Khairi, M., & Sulistiyanto, S. (2019). Real-time clock sebagai tracking sinar matahari pada *solar cell* berbasis mikrokontroler untuk lampu taman. *Jurnal Qua Teknika*, 9(2), 27–32. <https://doi.org/10.35457/quateknika.v9i2.821>
- Sahara, A. H. G. F. B. (2024). Studi kesalahan pada sensor LDR sebagai alat ukur intensitas cahaya. *Jurnal Laboratorium Sains Terapan*, 1(2), 8–15.
- Sutaya, I. W., & Ariawan, K. U. (2016). *Solar tracker* cerdas dan murah berbasis mikrokontroler 8-bit ATmega8535. *Jurnal Sains dan Teknologi Undiksha*, 5(1), 673–682. <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v5i1.8272>

- Widyatamara, A., Soetedjo, A., & Somawirata, I. K. (2023). Perancangan mini *solar tracker* pada PLTS untuk catu daya sistem monitoring kualitas udara di lokasi pengolahan air limbah komunal. *Prosiding*.
- Wijanarko, Y., Rasyad, S., & Amelia, P. (2025). Analisis perbandingan kinerja *solar tracker single axis* dan *fixed panel* pada PLTS 2×100 Wp. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 12(2), 296–303. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v12i2.7989>