

Unjuk Kerja *Single Axis Solar Tracker* Berdasarkan Perubahan Waktu Pergerakan Matahari

Shifa Helena^{1*}

¹Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang
Jl.Prof. Dr Hamka, Kampus UNP Air Tawar Padang 25131. Telp/Fax.(0751)7055644,445998,
*e-mail: shifahelena03@gmail.com

(Diajukan: 02 September 2022, direvisi: 04 Oktober 2022, disetujui: 09 September 2022)

Abstrak

Penggunaan panel surya pada saat ini masih banyak yang bersifat statis yang menyebabkan penyerapan cahaya matahari menjadi tidak optimal karena bumi berotasi maka seolah matahari selalu berpindah setiap waktu sehingga daya yang dihasilkan oleh panel surya juga tidak maksimal. Untuk itu, perlu dibuat sebuah sistem yang dapat mengikuti pergerakan matahari sehingga panel surya dapat menyerap cahaya matahari dengan optimal dan menghasilkan daya yang maksimal. Pada penelitian ini, penulis merancang dan membuat sebuah *solar tracker* sumbu tunggal yang dapat mengikuti pergerakan matahari. Hasil dari pelacakan cahaya matahari tersebut di *monitoring* menggunakan PLX-DAQ. Pengguna dapat melihat tegangan, arus, daya, suhu, kelembapan, dan radiasi matahari berdasarkan sensor yang dipasang pada *solar tracker* ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *solar tracker* ini mampu mengikuti pergerakan matahari sehingga dapat menangkap banyak cahaya matahari. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat ini bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan.

Kata Kunci: *solar tracker, monitoring, panel surya.*

Abstract

The use of solar panels at this time is still mostly static which causes the absorption of sunlight to be not optimal because the sun is always moving all the time so that the power generated by solar panels is also not optimal. For this reason, it is necessary to create a system that can follow the movement of the sun so that solar panels can absorb sunlight optimally and produce maximum power. In this research, design and manufacture a single-axis solar tracker that can follow the movement of the sun and the results of the tracking of sunlight are monitored using PLX-DAQ where users can see voltage, current, power, temperature, humidity, and solar radiation based on sensors used. installed on this solar tracker. The results showed that this solar tracker was able to get a maximum current value of 3.57 A and a maximum voltage of 19.65 V. Based on the tests that have been carried out, it can be concluded that this tool works well as expected.

Keywords: *solar tracker, monitoring, solar panel.*

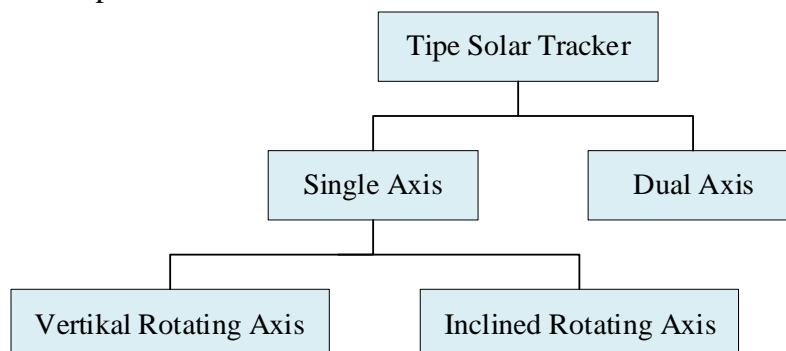
PENDAHULUAN

Pada era perkembangan global saat ini menyebabkan kebutuhan energi terus meningkat drastis. Salah satu gejala terbaru dari krisis energi adalah ketersediaan energi fosil yang semakin hari semakin menipis sehingga menyebabkan kelangkaan bahan bakar minyak, seperti minyak tanah, bensin, dan solar [1] [2]. Oleh karena itu salah satu upaya untuk mencari energi alternatif yaitu menggunakan energi terbarukan (*renewable energy*). Berbagai macam sumber energi terbarukan telah dikembangkan di negara maju oleh para peneliti seperti pembangkit listrik tenaga surya, air, angin, biomassa, pasang surut air laut, panas bumi dan lainnya, serta sudah banyak yang memakai *renewable energy* sebagai sumber dayanya [3].

Pemanfaatan energi surya sebagai salah satu sumber energi alternatif yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia sangat tepat mengingat letak geografis yang berada di daerah tropis dengan ketersediaan panas matahari sepanjang tahun [4]. Kondisi alam Indonesia yang relatif sulit dijangkau oleh jaringan listrik terpusat menyebabkan pilihan terhadap energi surya merupakan suatu keuntungan dan keharusan [5]. Pemanfaatan energi terbarukan yang berasal dari energi surya dapat dimanfaatkan menggunakan panel surya.

Sel surya merupakan sebuah perangkat yang dapat mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses efek fotovoltaik, oleh karenanya dinamakan juga sel fotovoltaik atau *photovoltaic cell* [6]. Untuk mendapatkan efisiensi maksimum dari cahaya matahari, maka panel surya harus selalu dalam posisi menghadap arah cahaya matahari sehingga daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* juga semakin besar [7]. Berdasarkan rotasi bumi, maka posisi matahari tidak selalu sama setiap saat [8]. Akibatnya, panel surya tidak mampu menyerap energi matahari secara maksimal karena perubahan posisi matahari di setiap waktunya.

Kebanyakan panel surya diletakkan dengan sudut elevasi tetap sehingga tidak optimal untuk mengambil pancaran cahaya matahari yang selalu bergerak dari timur ke barat [9]. Agar panel surya selalu mengikuti pergerakan matahari, posisi panel surya dapat dikendalikan secara otomatis dengan suatu sistem penggerak panel surya menggunakan teknologi sistem instrumentasi mikrokontroler [10]. Oleh sebab itu, perlunya rancangan *solar tracker* yang membuat panel surya tetap tegak lurus terhadap cahaya matahari sehingga dapat memaksimalkan produksi daya [11]. *Solar tracker* secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu *single axis* dan *dual axis* seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipe *Solar Tracker* [12].

Jenis sistem *solar tracker* dapat dibagi menjadi 3 berdasarkan teknologinya yaitu pasif, aktif, dan kronologis. Tabel 1 menyimpulkan operasi, keuntungan, dan kerugian untuk setiap jenis teknologi sistem pelacakan matahari.

Tabel 1. Jenis *Solar Tracker* Berdasarkan Teknologi [13].

| Teknologi | Deskripsi | Kelebihan | Kekurangan |
|------------|---|---|--|
| Pasif | Solar tracker pasif berisi cairan dengan titik rendah yang akan menguap saat terkena radiasi matahari | a. Bekerja tanpa menggunakan motor atau aktuator b. Instalasi yang mudah c. Biaya perawatan murah | a. Ketergantungan yang kuat pada kondisi cuaca b. Tingkat akurasi rendah |
| Aktif | mengandalkan motor atau silinder hidrolik dan sensor photodiode sebagai pendeteksi cahaya. | a. Lebih akurat b. Efisien dalam melacak posisi matahari | a. Membutuhkan konsumsi daya yang besar b. Tidak selalu akurat dalam kondisi berawan |
| Kronologis | Sistem pelacakan berbasis waktu yang memiliki rotasi putar 15° per jam | a. Tidak ada kerugian daya b. Error pelacakan yang rendah | a. Rotasi terus menerus membutuhkan lebih banyak energi b. Pelacakan matahari pada hari yang sangat mendung tidak diperlukan. |

Pada sebuah penelitian yang membahas tentang *monitoring* pelacak matahari sumbu tunggal yang menggunakan 2 mikrokontroler yaitu Arduino Uno dan NodeMCU dimana pergerakan dari *solar tracker* ini menggunakan aktuator *linear* yang diatur menggunakan 2 buah sensor LDR. Hasil *monitoring* dari penelitian ini berupa tegangan, arus, daya, suhu, kelembapan, dan radiasi matahari yang di *monitoring* menggunakan *web thinger IO*. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa intensitas cahaya matahari pada pagi hari akan naik secara perlahan sampai pada siang hari [14].

Pada sebuah penelitian lain yang menggunakan mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P, *Light Dependent Resistor (LDR)* sebagai sensor untuk mendeteksi arah datangnya sinar matahari, dan motor servo untuk menggerakkan panel surya berkapasitas 10 watt agar didapatkan sudut yang sesuai dengan arah datangnya cahaya matahari. Hasil dari penelitian ini dapat meningkatkan daya panel surya dengan pelacak matahari tersebut sebesar 28,02% dari daya yang dibangkitkan panel surya yang dipasang dalam keadaan statis [15].

Terdapat juga sebuah penelitian *solar tracker* terdahulu yang menggunakan ATmega8535 sebagai mikrokontroler, sensor fotoresistor (LDR) untuk mengatur pergerakan *solar tracker*, dan motor *stepper* sebagai media penggerak *solar tracker*. Sistem *solar tracker* pada penelitian ini mampu menyerap energi listrik rata-rata sekitar 67,18 Wh dengan 67,162 Wh atau 99,97% energi yang dihasilkan disimpan di dalam baterai dan hanya mengkonsumsi energi sebesar 0,03% untuk sistem penggerak panel surya [16].

Terdapat juga sebuah penelitian sistem *tracking single axis* menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)* yang dimana dari hasil penelitian tersebut, dapat menghasilkan daya sebesar 51% dari daya *output* maksimum sel surya sebesar 20 watt DC sedangkan sel surya statis atau sistem tanpa kontrol ANFIS hanya mampu menghasilkan daya sebesar 29.49% dari daya *output* maksimum sel surya sebesar 20 watt DC dimana terdapat perbedaan efisiensi daya ketika menggunakan sistem *tracking* dan tanpa sistem *tracking* sebesar 21.51 % [17].

Selain itu, terdapat juga sebuah penelitian *single axis solar tracker* menggunakan sensor LDR berbasis matriks dominasi biner. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *solar tracker single axis* berbasis matriks dominasi biner ini dapat meningkatkan efisiensi sebesar 25% dibandingkan dengan panel surya statis [18].

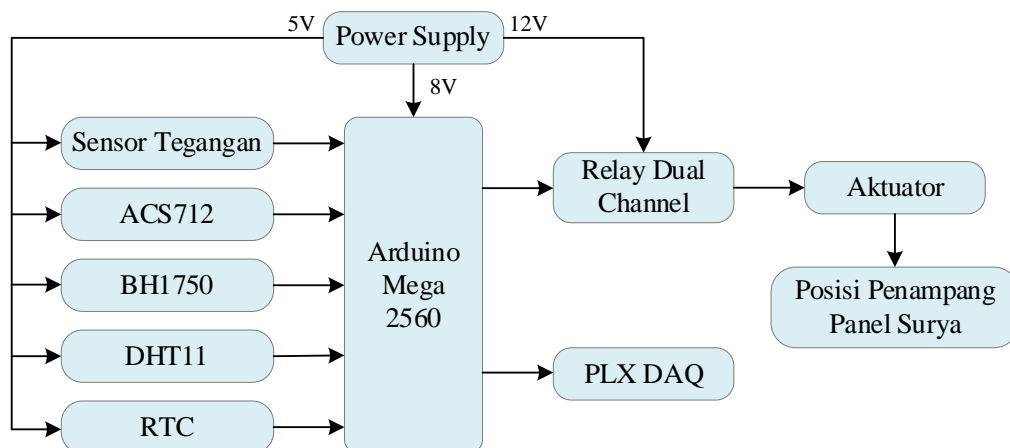
Adapun pada penelitian kali ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya yaitu membuat *chronological single axis solar tracker* yang mempunyai beberapa kelebihan yaitu dapat meminimalkan kebutuhan perangkat keras, mengurangi kerumitan sistem, tidak ada kerugian daya, dan eror pada pelacakan yang rendah sehingga dapat memaksimalkan efisiensi dari *solar tracker* [19]. Pelacakan matahari kronologis merupakan pelacakan berbasis waktu, di mana strukturnya adalah bergerak pada tingkat yang tetap sepanjang hari. Dengan memanfaatkan RTC DS3231 sebagai modul waktu untuk mengatur pergerakan *solar tracker* sehingga sesuai dengan waktu pergerakan matahari. Adanya sensor suhu dan kelembapan yang membuat alat ini berbeda dengan *solar tracker* pada umumnya. Suhu dan kelembapan akan mendeteksi suhu pada panel sehingga dapat mengetahui suhu panas yang diterima oleh panel surya.

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu merancang, membuat, dan menguji sebuah *single axis solar tracker* kronologis yang hasil dari pelacakan tersebut dapat dimonitoring sehingga pengguna dapat mengetahui jumlah tegangan, arus, daya, suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya matahari berdasarkan sensor-sensor yang sudah terpasang.

A. Blok Diagram

Blok diagram merupakan salah satu bagian dari prinsip dan kinerja suatu sistem dalam membuat suatu perancangan alat. Dalam perancangan suatu alat terlebih dahulu dibuat suatu konsep agar lebih terlihat bentuk dan alur dari perancangan yang akan dibuat. Berikut ini desain blok diagram yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram

Seperti yang terlihat pada diagram blok Gambar 2 terlihat bahwa pada bagian input terdiri dari beberapa sensor yaitu sensor tegangan B25 untuk mengukur tegangan, sensor ACS712 untuk mengukur arus, sensor BH1750 untuk mengukur radiasi matahari, sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan, dan sensor RTC DS3231 sebagai pewaktuan digital. Sensor-sensor tersebut melakukan

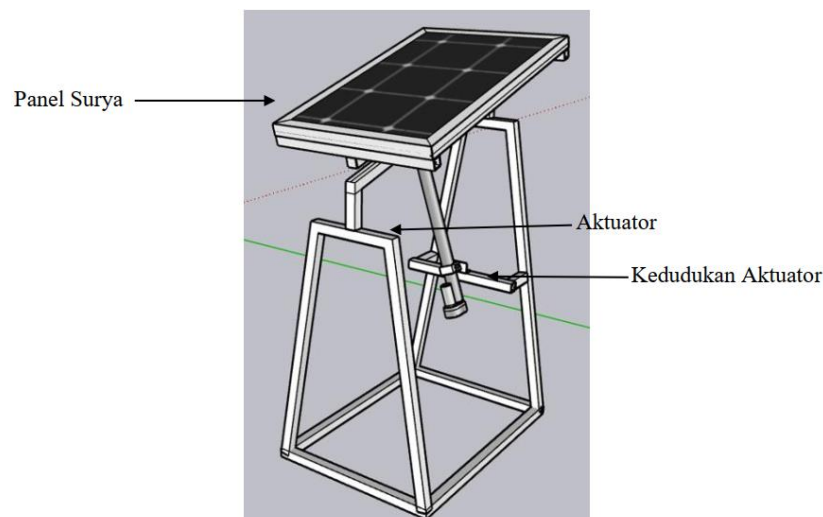
pengukuran yang hasil pengukuran tersebut dikirimkan ke mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk di proses. Data hasil pengukuran tersebut dikirimkan oleh mikrokontroler ke PLX-DAQ untuk ditampilkan. Setiap 30 menit sekali mikrokontroler memerintahkan *relay dual channel* untuk meneruskan tegangan *power supply* 12V menuju *linear actuator* sehingga aktuator akan memanjang selama beberapa detik. *Linear actuator* yang digunakan pada *solar tracker* ini yaitu tipe Matrix 12 inci.

B. Perancangan *Hardware*

Perancangan *hardware* meliputi perancangan konstruksi alat dan perancangan elektrik yang merupakan pendukung agar alat yang dibuat sesuai dengan perencanaan.

1. Perancangan Konstruksi Alat

Pada Gambar 3 menunjukkan perancangan konstruksi alat secara nyata serta dengan posisi-posisinya. *Solar tracker* ini dibuat miring 15° ke arah utara sehingga dapat menangkap cahaya matahari dengan optimal. Pada perancangan ini juga terdapat linear aktuator yang terhubung dengan kerangka mekanik dari kedudukan *solar cell* untuk pergerakan dari arah timur ke barat sesuai pergerakan matahari.



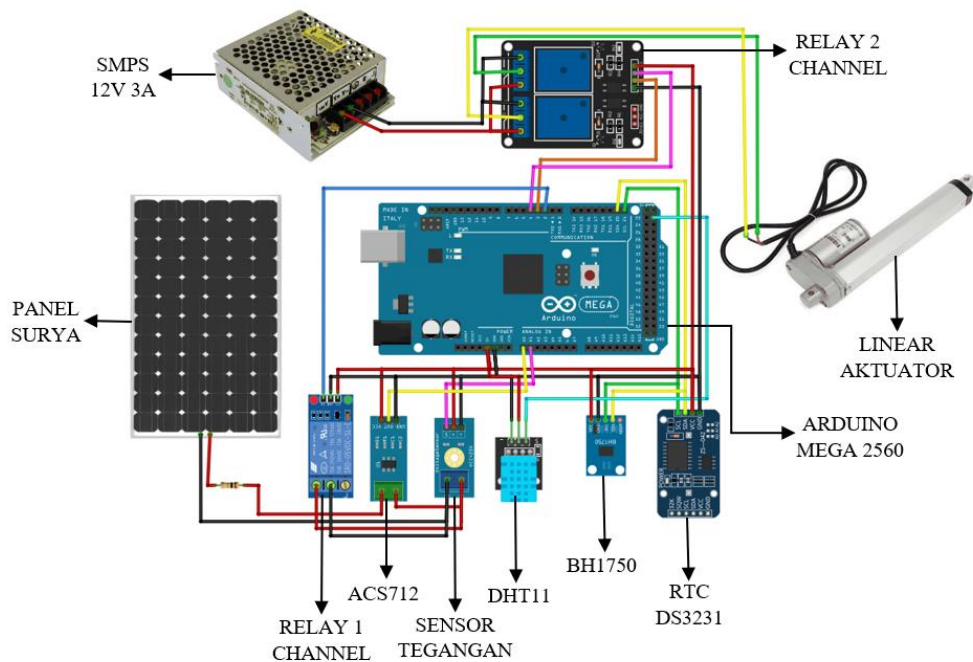
Gambar 3. Bentuk Rancangan Alat

Berikut merupakan keterangan dari bagian-bagian pada Gambar 3:

- Panel surya (menyerap energi matahari)
- Aktuator (berfungsi untuk penggerak alat)
- Kedudukan Aktuator (berfungsi sebagai penompang aktuator)

2. Perancangan Elektrikal

Pada perancangan alat ini, Arduino Mega 2560 merupakan pusat kontrol dan pengolahan data yang di inputkan ke sensor. Skematik rangkaian *solar tracker* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik Rangkaian *Single Axis Solar Tracker*

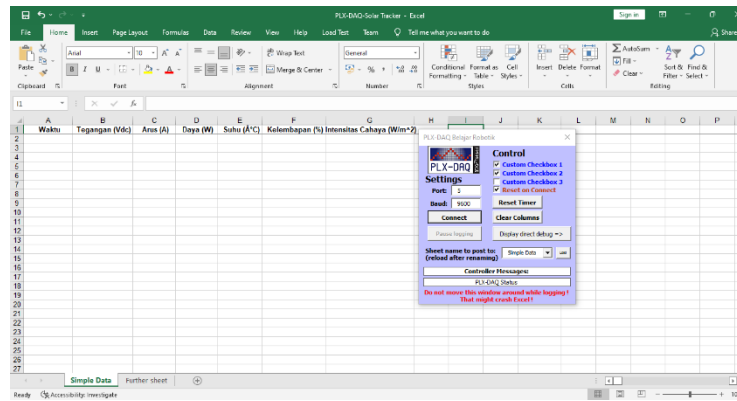
Proses kerja dari rangkaian ini yaitu saat Arduino dihubungkan ke laptop maka semua komponen yang terhubung dengan Arduino akan aktif karena mendapat suplai tegangan dari laptop. Semua sensor siap digunakan untuk membaca tegangan, arus, daya, suhu, kelembapan, dan radiasi matahari. *Relay dual channel* pada rangkaian ini akan aktif berdasarkan perintah dari mikrokontroler. Ketika relay dual channel ini aktif maka akan meneruskan tegangan dari SMPS 12V menuju aktuator sehingga aktuator dapat bergerak. Terdapat juga *relay single channel* yang aktif berdasarkan perintah mikrokontroler yang digunakan untuk menghubungkan rangkaian *short circuit* panel surya untuk pembacaan arus *short circuit*. Panel yang digunakan pada *solar tracker* ini yaitu panel 50 WP model ST-50-P6. Spesifikasi dari panel ST-50-P6 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Panel ST-50-P6

| Spesifikasi | Keterangan |
|------------------------------------|------------|
| <i>Max. Power (Pmax)</i> | 50Watt |
| <i>Open Circuit Voltage (Voc)</i> | 19,7V |
| <i>Short Circuit Current (Isc)</i> | 3,58A |
| <i>Fuse Rating (A)</i> | 10A |
| <i>Voltage @ Max. Power</i> | 16V |
| <i>Current @ Max. Power (Imp)</i> | 3,13A |
| <i>Max. System Voltage</i> | 1000V |

C. Perancangan *Monitoring*

Pada penelitian kali ini, menggunakan PLX-DAQ untuk memonitoring data sensor yang dikirimkan oleh Arduino. PLX-DAQ (*Parallax Data Acquisition*) merupakan tambahan data *logger* pada Excel yang digunakan untuk akuisisi data dari mikrokontroler Arduino ke Microsoft Excel sebagai pembacaan dari sensor yang di berikan [20]. Bentuk tampilan awal dari PLX-DAQ terlihat pada Gambar 5.

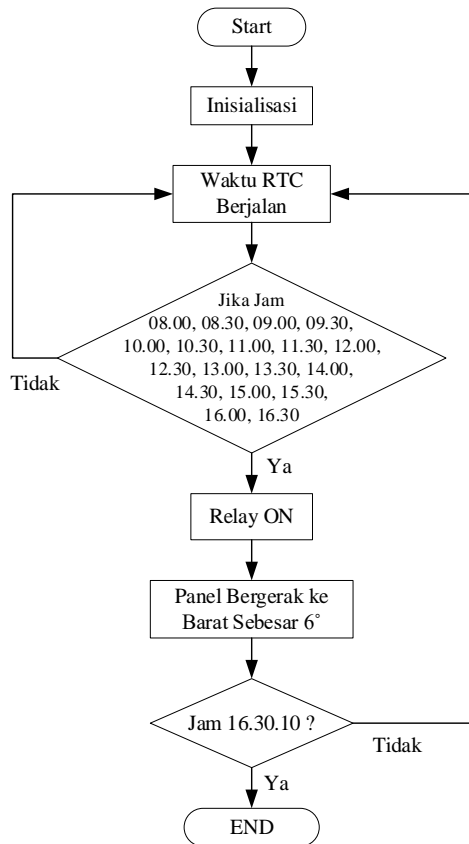


Gambar 5. Tampilan Awal PLX-DAQ

Untuk menghubungkan PLX-DAQ dengan Arduino maka perlu untuk mengatur *port* dan *baud rate* yang digunakan Arduino. Setelah *port* dan *baudrate* nya sudah sesuai maka tekan *connect* untuk menghubungkan Arduino dengan PLX-DAQ dan tombol *connect* akan berubah warna menjadi hijau yang menandakan PLX-DAQ dengan Aduino sudah terhubung.

D. Diagram Alir (Flowchart)

Pembuatan *flowchart* ini bertujuan untuk menggambarkan suatu tahapan proses kerja pada alat *solar tracking* ini. Gambar 6 merupakan *flowchart* sistem *tracking* dari alat ini.



Gambar 6. Flowchart Sistem Tracker

Proses kerja dari *flowchart* dibawah yaitu melakukan inisialisasi RTC terlebih dahulu. Setelah itu RTC akan mulai berjalan sesuai dengan settingan awalnya yaitu

jam 07.30.00. apabila RTC tepat berada pada jam yang sudah dituliskan pada diagram alir diatas maka *relay* menyala untuk meneruskan tegangan menuju aktuator sehingga membuat panel bergerak ke arah barat sebesar 6° . Apabila waktu RTC sudah menunjukkan jam 16.30.10 maka *relay* tidak menyala lagi dan proses *solar tracker* sudah berakhir.

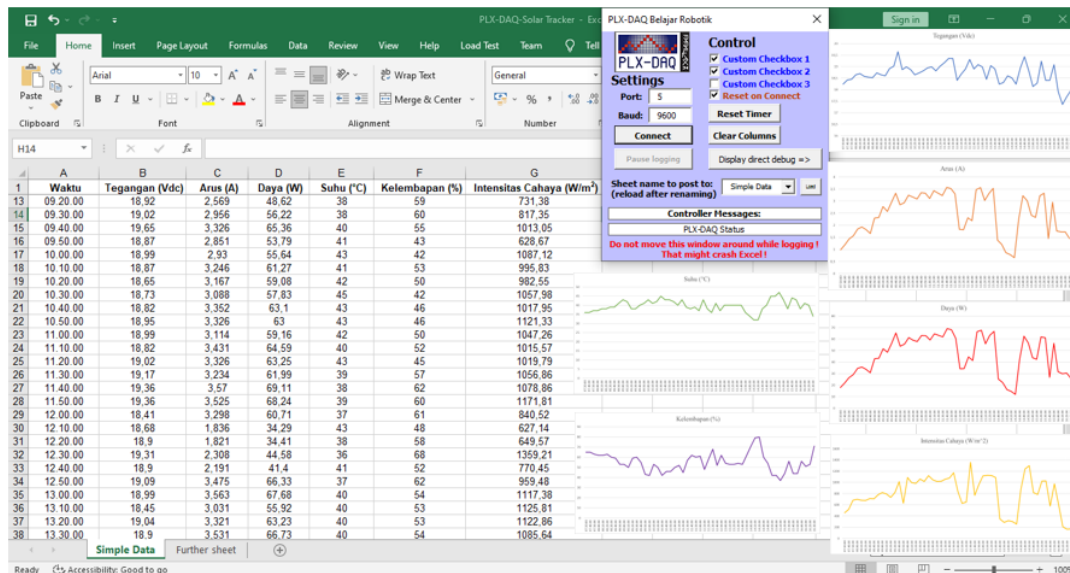
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui seberapa efektif alat ini bekerja sehingga dapat menghasilkan energi maksimum dari sinar matahari yang diterima oleh panel surya. Hasil pelacakan dari *solar tracker* ini akan terbaca pada PLX-DAQ setiap 10 menit sekali. Waktu pengujiannya dimulai dari jam 07.30 WIB dimana posisi kemiringan panel 35° sampai dengan jam 16.30 dengan kemiringan posisi panel 145° . Kemiringan sudut didapatkan dari pengamatan posisi matahari secara langsung pada wilayah pengambilan data dan disesuaikan dengan jangkauan minimum dan maksimum yang dapat di capai oleh *linear actuator*. Bentuk fisik dari alat *chronological single axis solar tracker* dapat dilihat pada Gambar 7.



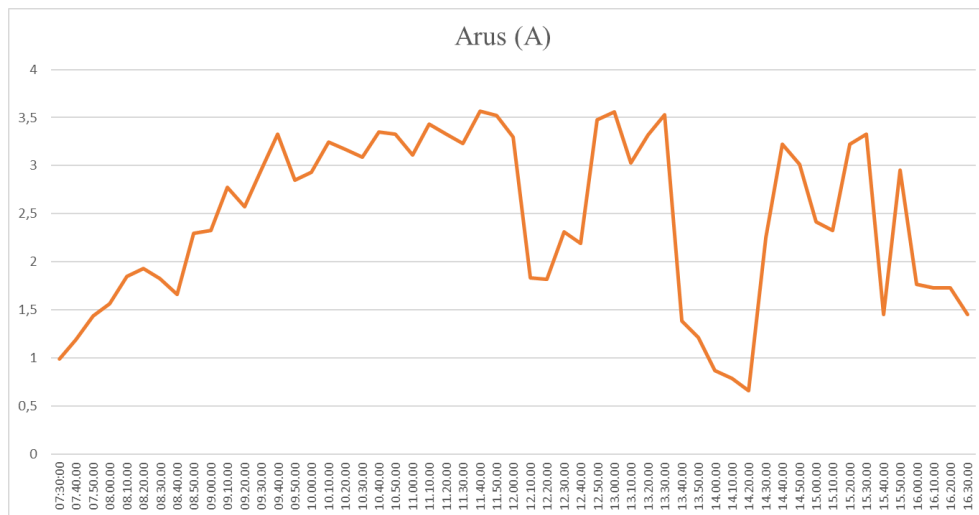
Gambar 7. *Solar Tracker*

Terdapat beberapa data yang ditampilkan pada PLX-DAQ yaitu arus, tegangan, daya, suhu, kelembapan, dan radiasi cahaya matahari. Berdasarkan pengujian parameter pengukuran, selisih hasil uji menggunakan sensor dengan alat ukur tidak jauh berbeda sehingga sensor dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Gambar 8 merupakan hasil *monitoring* secara keseluruhan.



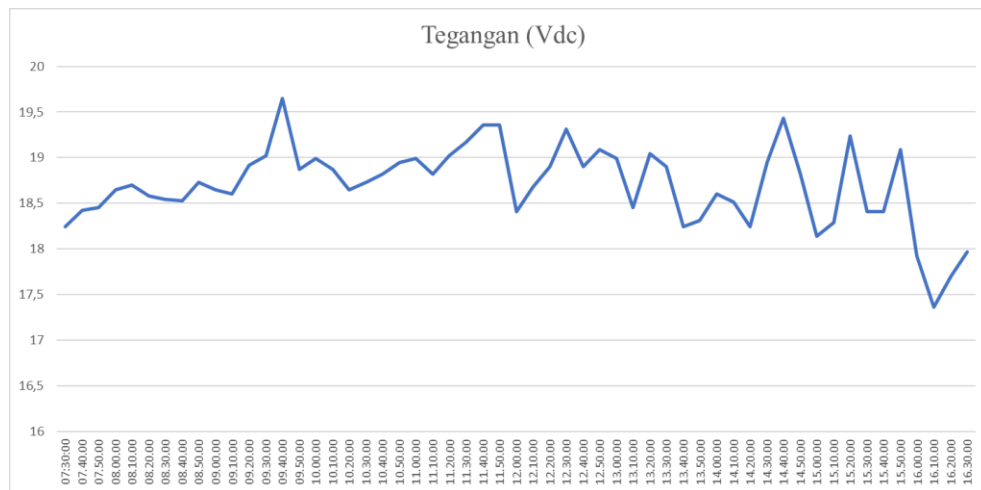
Gambar 8. Hasil Monitoring Secara Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian, selisih derajat kemiringan panel surya tidak jauh berbeda dengan yang diprogram, dimana setiap perpindahan derajat sebesar $6,1^\circ$ sesuai dengan aktual kemiringan dari alat. Data-data yang diperoleh tersebut dikonversi dalam bentuk grafik sehingga memudahkan pengguna untuk melihat dan menganalisa hasil dari *single axis solar tracker* kronologis ini.



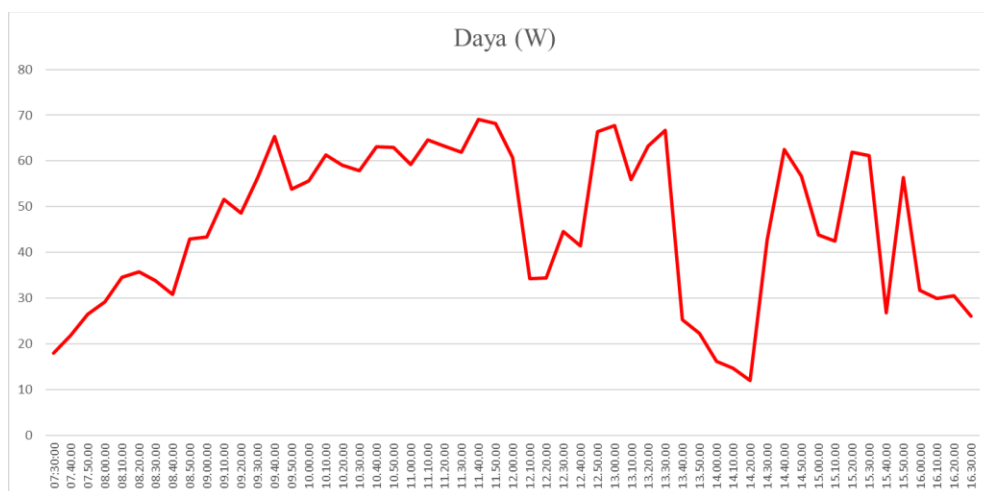
Gambar 9. Grafik Arus

Seperti yang terlihat pada Gambar 9, arus yang dihasilkan pada pagi jam 07.30 yaitu sebesar 1 A dengan sudut kemiringan panel surya 35° . Hal ini dikarenakan panel menggunakan sistem *tracker* sebagai penggerak panel surya, sehingga pada awal pengambilan data tidak diawali dari 0 A. Pada jam 9.40 dengan sudut kemiringan panel surya 60° dan pada jam 11.40 dengan sudut kemiringan panel surya 84° menunjukkan grafik tertinggi, jam 14.20 dengan sudut kemiringan panel surya 114° menunjukkan grafik terendah dari sensor arus ACS712, hal ini dikarenakan cuaca yang mendung dan berawan pada beberapa saat.



Gambar 10. Grafik Tegangan

Pada Gambar 10, grafik sensor tegangan menunjukkan grafik yang signifikan yang dimulai dari jam 07.30 dengan tegangan 18,24 V dan jam 16.30 dengan nilai tegangan sebesar 17,97 V. Penurunan nilai tegangan pada rentang waktu tersebut diakibatkan oleh cuaca yang mendung dan berawan pada beberapa saat.



Gambar 11. Grafik Daya

Nilai daya yang terlihat pada Gambar 11 merupakan hasil perkalian antara tegangan dengan arus yang dirumuskan dengan persamaan 1.

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

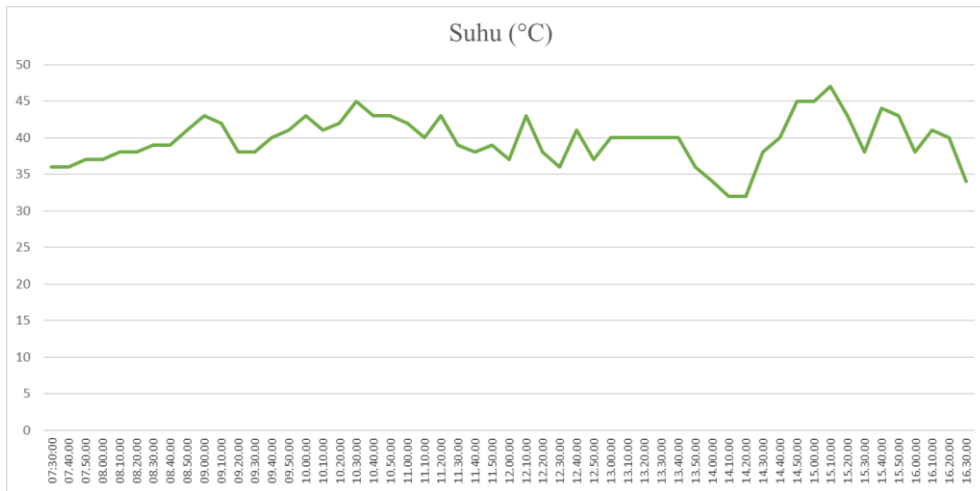
Keterangan:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

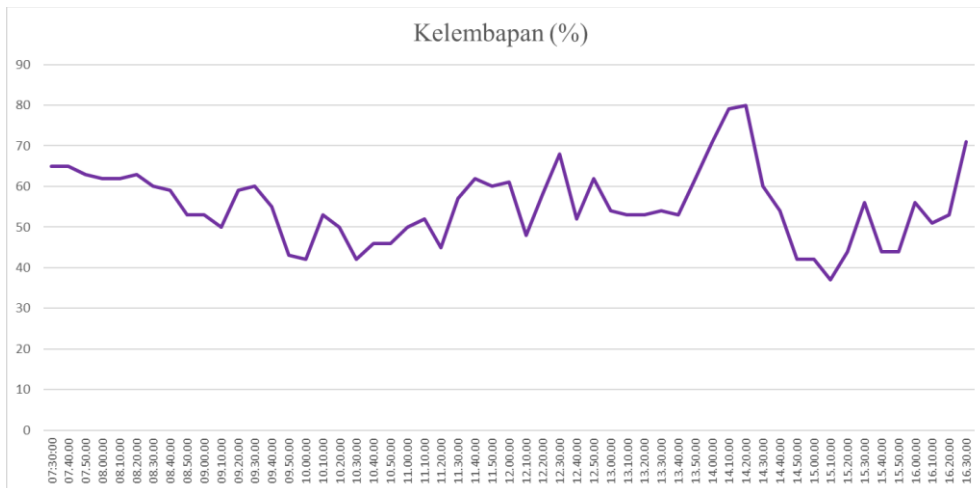
I = Arus (Ampere)

Pada jam 7.30 daya yang dihasilkan 18,24 W dan pada pengambilan data terakhir jam 16.30 daya yang dihasilkan adalah 26,03 W. Seperti yang terlihat pada grafik yaitu terjadi kenaikan dan penurunan nilai daya yang diakibatkan oleh kenaikan dan penurunan dari nilai arus dan tegangan.



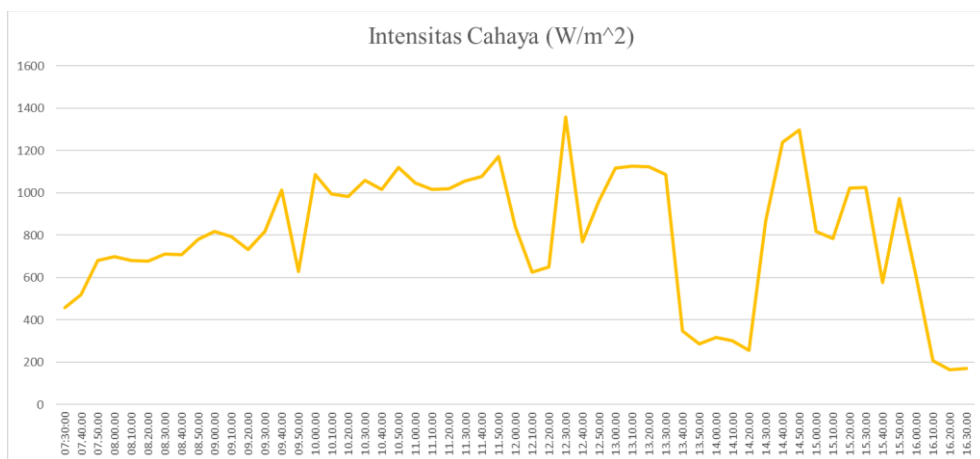
Gambar 12. Grafik Suhu

Seperti yang terlihat pada Gambar 12, pada jam 07.30 suhu pada panel bernilai 36°C dan pada jam 16.30 suhu pada panel bernilai 34°C . Kenaikan dan penurunan ini disebabkan oleh cuaca yang mendung dan berawan pada beberapa saat.



Gambar 13. Grafik Kelembapan

Pada Gambar 13 terlihat bahwa jam 07.30 menunjukkan kelembapan berada di 65% dan pada jam 16.30 kelembapan berada di 71%. Kenaikan kelembapan disebabkan oleh faktor cuaca yang mendung dan berawan.



Gambar 14. Grafik Radiasi Matahari

Seperti yang terlihat pada Gambar 14, pada jam 7.30 menunjukkan nilai 457,5 W/m² dan pada jam 16.30 menunjukkan nilai 170,07 W/m². Kenaikan dan penurunan dari radiasi matahari di akibat oleh faktor cuaca.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *chronological single axis solar tracking* ini berjalan dengan baik dan efektif. Pada saat cuaca cerah, sistem mampu menangkap cahaya matahari lebih banyak karena memiliki *error* pelacakan yang rendah. Selain itu sistem ini juga dapat meminimalisir penggunaan daya *linear actuator* karena sistem bergerak hanya 30 menit sekali yang dihitung sebanyak 18 kali pergerakan, dimulai dari jam 7.30 WIB dengan kemiringan sudut panel sebesar 35° sampai dengan sudut 145° pada jam 16.30 WIB. Namun pada saat cuaca mendung, *solar tracker* ini tidak efektif karena *solar tracker* ini akan tetap bergerak ketika tidak ada cahaya matahari sehingga menyebabkan kerugian daya yang lebih banyak. Alat ini bekerja dengan memanfaatkan *Real Time Clock* (RTC) untuk melakukan setiap pergerakannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Energi Terbarukan dan *Centre for Energy and Power Electronics Research* (CEPER) yang sudah mengizinkan penulis untuk menggunakan ruangan dan fasilitas-fasilitas yang tersedia di labor tersebut sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar dan baik. Serta ucapan terimakasih kepada beberapa pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Krismadinata, R. Lapisa, and Asnil, "A wireless monitoring system for comparison photovoltaic and photovoltaic thermal characteristics," in *IOP Conf. Series: Mate. Scien. and Eng.*, Sep. 2019, vol. 602, no. 1, pp. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/602/1/012027.
- [2] P. G. Chamdareno, E. Nuryanto, and E. Dermawan, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) Pada Kapal KM.Kelud," *RESISTOR*, vol. 2, no. 1, pp. 59–64, 2019.
- [3] M. Rahmatullah, "Rancang Bangun dan Analisa Unjuk Kerja Single Axis Solar Tracker Berbasis Logika Fuzzy," Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, 2021.
- [4] K. Kananda, "Studi Awal Potensi Energi Surya Wilayah Lampung: Studi Kasus Kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) Menuju Smart Campus," *J. of Science and Applica. Technol.*, vol. I, no. 2, pp. 75–81, 2017.
- [5] D. Septiadi, P. Nanlohy, M. Souissa, and F. Y. Rumlawang, "Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon dan Sekitarnya)," *J. Meteor. dan Geofis.*, vol. 10, no. 1, pp. 22–28, 2009.

- [6] B. H. Purwoto, Jatmiko, M. Alimul F, and I. F. Huda, “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif,” *Emitor: J. Teknik Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018.
- [7] Q. Hidayati, N. Yanti, and N. Jamal, “Sistem Pembangkit Panel Surya dengan Solar Tracker Dual Axis,” *PROSIDING SNITT POLTEKBA*, vol. 4, pp. 68–73, 2020.
- [8] R. Arindya, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Sumatera Barat, Indonesia, 2021.
- [9] Y. J. Huang, T. C. K. IAENG, C. Y. C. IAENG, C. H. Chang, P. C. Wu, and T. H. Wu, “The Design and Implementation of a Solar Tracking Generating Power System,” *Eng. Lett.*, vol. 17, no. 14, pp. 1–5, 2009.
- [10] A. Syarifuddin Syahab *et al.*, “Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis Internet of Things,” *J. Meteoro. Klimato. dan Geofis.*, vol. 6, no. 2, pp. 21–29, 2019.
- [11] A. Effendi, F. Kusuma, A. M. N. Putra, S. Amalia, and A. Y. Dewi, “Study Pengisian Energi ke Baterai Terhadap Output Energi Panel Surya dengan Menggunakan Solar Tracker 4 Axis,” *RELE: J. Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 29–34, 2022, doi: 10.30596/rele.v1i1.10787.
- [12] G. Prinsloo and R. Dobson, *Solar Tracking, Sun Tracking, Sun Tracker, Solar Tracker*. 2015.
- [13] A. R. Amelia *et al.*, “Technologies of solar tracking systems: A review,” in *IOP Confe. Series: Mate. Scien. and Eng.*, Mar. 2020, vol. 767, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/767/1/012052.
- [14] W. A. Putri and Krismadinata, “Monitoring Hasil Pelacakan Cahaya Matahari Sumbu Tunggal,” *MSI Trans. on Edu.*, vol. 3, no. 1, pp. 16–28, 2022.
- [15] M. F. Ammar and C. Rangkuti, “Pengaruh Aplikasi Pelacak Surya Satu Sumbu Terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Matahari Menggunakan Panel Surya Berkapasitas 10 Watt,” *KOCENIN SERIAL KONFERENSI (E) ISSN: 2746-7112*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [16] N. Soedjarwanto and O. Zebua, “Sistem Pelacak Otomatis Energi Surya Berbasis Mikrokontroler ATMega8535,” *Sem. Nas. dan Expo Tek. Elek.*, pp. 52–55, 2015.
- [17] I. Winarno and F. Wulandari, “Solar Tracking System Single Axis pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya dengan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS),” *PROSIDING*, pp. 1–10, 2017.
- [18] P. Munanga, S. Chinguwa, W. R. Nyemba, and C. Mbohwa, “Design for manufacture and assembly of an intelligent single axis solar tracking system,” in *Procedia CIRP*, 2020, vol. 91, pp. 571–576. doi: 10.1016/j.procir.2020.03.109.

- [19] A. Samanta, R. Varma, and S. Bhatt, “Chronological Single Axis Solar Tracker,” *Intern. J. of Eng. Trends and Techn.*, vol. 21, no. 4, 2015, [Online]. Available: <http://www.ijettjournal.org>
- [20] K. S. Myint and C. M. M. Nyein, “Fingerprint Based Attendance System Using Arduino,” *Intern. J. of Scien. and Res. Publi.*, vol. 8, no. 7, pp. 422–426, 2018.