

RANCANG BANGUN PLTS SOLAR TRACKER REFLEKTOR ALUMINIUM FOIL DAN MYLAR FILM

Aqshal Aryanda Sirait
aqshalsirait@gmail.com
Politeknik Negeri Pontianak

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang perancangan dan pengujian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis solar tracker yang dilengkapi reflektor berbahan aluminium foil dan mylar film untuk meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik. Latar belakang penelitian ini adalah rendahnya efisiensi panel surya statis dalam menangkap radiasi matahari secara optimal, terutama ketika posisi matahari berubah sepanjang hari. Metode yang digunakan adalah eksperimen lapangan dengan pengumpulan data melalui alat ukur solar power meter untuk intensitas radiasi matahari, serta multimeter digital untuk pengukuran arus dan tegangan panel. Nilai daya input dihitung dari intensitas radiasi dikalikan luas panel sebesar $0,1855 \text{ m}^2$, sedangkan daya output diperoleh dari hasil perkalian antara arus dan tegangan pada masing-masing panel. Efisiensi dihitung dari perbandingan daya output terhadap daya input setiap harinya. Pengujian dilakukan pada tiga konfigurasi panel: tanpa reflektor, reflektor aluminium foil, dan reflektor mylar film, dengan sudut reflektor masing-masing 35° dan 45° . Hasil menunjukkan bahwa penggunaan reflektor mylar film pada sudut 45° menghasilkan efisiensi tertinggi hingga 15%, dibandingkan panel tanpa reflektor yang hanya mencapai sekitar 13%. Reflektor aluminium juga memberikan peningkatan efisiensi meskipun tidak setinggi mylar film. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam peningkatan efisiensi sistem PLTS skala kecil, khususnya untuk aplikasi di wilayah tropis dengan radiasi matahari tinggi.

Kata Kunci: Solar Tracker, Reflektor, Energi Terbarukan.

PENDAHULUAN

Krisis energi global yang terjadi dalam beberapa dekade terakhir telah menjadi isu strategis yang menuntut perhatian serius dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, akademisi, dan industri. Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, telah menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca dan mempercepat laju perubahan iklim. Data dari International Energy Agency (IEA) menunjukkan bahwa sektor energi menyumbang sekitar 73,2% dari total emisi karbon dioksida global pada tahun 2022, di mana lebih dari 60% energi dunia masih bersumber dari bahan bakar fosil (IEA 2023). Di sisi lain, kebutuhan energi terus meningkat seiring bertambahnya populasi dan pertumbuhan ekonomi, sehingga dibutuhkan solusi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara luas. Indonesia, sebagai negara tropis, menerima rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ per hari, yang tersebar merata di seluruh wilayah sepanjang tahun (ESDM, 2022). Namun, pemanfaatan energi surya di Indonesia masih relatif rendah. Hingga akhir 2023, kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Indonesia baru mencapai sekitar 400 MW, jauh di bawah potensi teknis nasional yang diperkirakan mencapai 207,8 GW (IESR, 2023). Salah satu kendala utama dalam optimalisasi PLTS adalah rendahnya efisiensi penangkapan energi akibat posisi panel surya yang statis, sehingga tidak selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari sepanjang hari.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa sistem PLTS, salah

satunya melalui teknologi solar tracker yang memungkinkan panel surya mengikuti pergerakan matahari. Studi oleh (Putri et al., 2021) menunjukkan bahwa penggunaan sistem single-axis solar tracker dapat meningkatkan efisiensi penangkapan energi hingga 24% dibandingkan sistem statis. Selain itu, upaya lain untuk meningkatkan kinerja PLTS adalah dengan memanfaatkan reflektor guna memantulkan cahaya tambahan ke permukaan panel. Penelitian yang dilakukan oleh (Santosa et al., 2020) menggunakan reflektor berbahan aluminium foil dan berhasil meningkatkan output daya panel surya sebesar 18,7% pada kondisi siang hari.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih memiliki keterbatasan, baik dari segi desain sistem yang belum optimal, maupun penggunaan bahan reflektor yang belum dibandingkan secara komprehensif. Selain itu, kajian mengenai kombinasi teknologi solar tracker dengan penggunaan multi-reflektor, seperti aluminium foil dan mylar film, masih sangat terbatas. Padahal, mylar film diketahui memiliki karakteristik reflektivitas tinggi dan ketahanan terhadap cuaca, sehingga potensial untuk meningkatkan kinerja sistem PLTS. Celah penelitian inilah yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini, yaitu merancang dan membangun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Tracker dengan Reflektor Aluminium Foil dan Mylar Film.

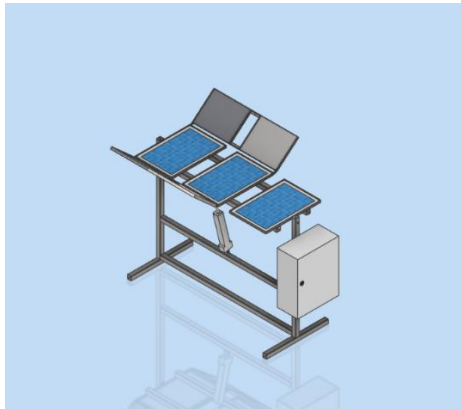
Secara keilmuan, penelitian ini berkaitan erat dengan bidang teknik mesin konversi energi, khususnya dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya berbasis konversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Prinsip dasar yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu pada konsep konversi energi fotovoltaik, optimalisasi tracking system berbasis aktuator motor dan sensor, serta penerapan sistem refleksi optik untuk meningkatkan intensitas radiasi yang diterima panel. Selain itu, dalam perancangan, pembuatan prototipe, hingga pengujian performa sistem, menjadi bagian dari proses rekayasa energi yang bertujuan menghasilkan sistem konversi energi yang efisien, adaptif terhadap kondisi lingkungan, dan dapat diterapkan pada skala kecil hingga menengah. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis mesin konversi energi, sekaligus mendukung pencapaian target bauran energi nasional.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan sebuah inovasi sistem PLTS yang lebih efisien dan adaptif terhadap kondisi lingkungan, sekaligus menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan teknologi energi surya di Indonesia. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut dalam skala industri maupun penelitian akademik di bidang energi terbarukan, sejalan dengan target pemerintah Indonesia untuk mencapai net zero emission pada tahun 2060.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan oleh penulis menggunakan metode eksperimental, dengan cara ini akan dirancang dan dibangun suatu alat PLTS Solar Tracker Reflektor Aluminium Foil dan Mylar Film. Adapun metode yang digunakan penulis dalam penyelesaian skripsi, khususnya rancang bangun terdiri dari beberapa tahapan yaitu proses perancangan dan proses pembuatan.

1. Perancangan Desain Alat

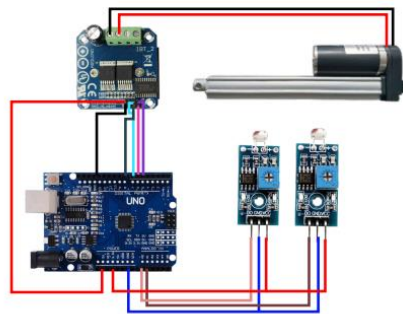


Gambar 1 Desain Perancangan Alat

Tabel 1 Spesifikasi Alat

NO	Deskripsi	Ukuran
1	Panel Surya Polycrystalline	20 Wp (3 pcs)
2	Actuator Linear	90 Kg 300 mm
3	Panel Box	400 x 500 mm
4	Tinggi Rangka Bawah	1077,033 mm
5	Lebar Rangka Bawah	1372,391 mm
6	Tinggi Rangka Reflektor	280 mm
7	Lebar Rangka Reflektor	812 mm
8	Tinggi Dudukan Panel	20 mm
9	Lebar Dudukan panel	349 mm

2. Perancangan Solar Tracker



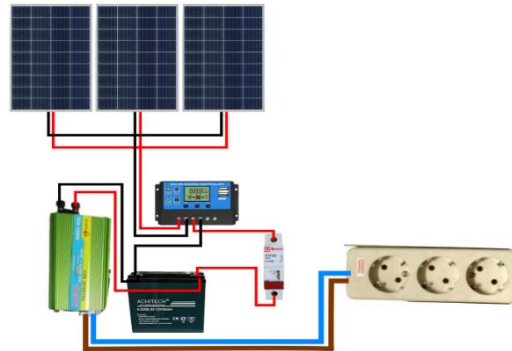
Gambar 2 Wiring Solar Tracker

Keterangan :

- 1) GND LDR 1 & 2 Ke Sumber GND Arduino (Biru)
- 2) VCC LDR 1 & 2 Ke Sumber 5 Volt Arduino (Merah)
- 3) Output LDR 1 Ke PIN A1 Arduino (Coklat Muda)
- 4) Output LDR 2 Ke PIN A0 Arduino (Coklat)
- 5) GND BTS 7960 Ke GND Arduino (Hitam)
- 6) LPWM (Pin BTS7960) Ke PIN 5 Arduino (Hijau Tua)

- 7) VCC (Pin BTS7960) Ke Sumber 5 Volt Arduino (Pink)
- 8) RPWM (PIN BTS 7960) Ke PIN 6 Arduino (Biru Muda)
- 9) R_EN & L_EN Ke PIN 4 Arduino (Ungu)
- 10) Output Motor Driver ke Plus dan Mines Actuator (Merah dan Hitam)

3. Perancangan Kelistrikan



Gambar 3 Wiring Kelistrikan

Tabel 2 Spesifikasi Kelistrikan

NO	Deskripsi	Ukuran
1	Panel surya	20 Wp (3pcs)
2	Accu	12 volt 20 Ah
3	Inverter	12 volt to 230 v
4	<i>Solar Charge Controller</i>	PWM
5	Terminal	3 Lubang Colokan
6	MCB 1 Phasa	C10 230 v

Keterangan :

- 1) Panel Parallel
- 2) *Output* Positif dan Negatif Panel Surya ke PV IN SCC (+ Merah), (- Hitam)
- 3) *Output* Baterai Positif dan Negatif ke Terminal baterai pada SCC (+ Merah), (- Hitam)
- 4) *Output* Positif dan Negatif Inverter ke Positif dan Negatif pada baterai (+ Merah), (- Hitam)
- 5) Kabel Positif dan Negatif Stop Kontak ke *input* Inverter (+ Biru), (- Coklat) Proteksi MCB Ke Inverter dan SCC (Merah)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian dan Prinsip Kerja Alat

Secara sederhana alat yang telah dibuat dan dikembangkan diperlihatkan pada gambar 4 Alat ini dibuat untuk mengetahui perbandingan antar panel yaitu panel tanpa reflektor, panel reflektor aluminium foil dan reflektor mylar film.

Secara prinsip kerja bekerja dengan cara mengoptimalkan penyerapan cahaya matahari

pada panel surya. Sensor LDR mendeteksi arah datang sinar matahari, kemudian data dikirim ke mikrokontroler Arduino. Arduino mengolah sinyal tersebut dan mengendalikan aktuator linear melalui driver motor BTS7960 untuk menggerakkan posisi panel agar selalu tegak lurus terhadap cahaya matahari. Dengan demikian, panel selalu berada pada sudut terbaik sepanjang hari. Selain itu, dipasang reflektor dari aluminium foil dan mylar film di sekitar panel. Reflektor berfungsi memantulkan kembali cahaya matahari menuju permukaan panel, sehingga jumlah radiasi yang diterima meningkat. Aluminium foil memiliki daya pantul sekitar 85–90%, sedangkan mylar film dapat mencapai 95–98%, sehingga keduanya membantu memperbesar intensitas cahaya yang masuk. Energi cahaya yang diterima panel kemudian diubah menjadi energi listrik melalui sel fotovoltaik. Listrik DC yang dihasilkan dialirkan ke solar charge controller untuk mengatur pengisian baterai 12V agar tidak overcharge. Dari baterai, energi dapat langsung digunakan atau diubah menjadi listrik AC 230V melalui inverter, sehingga bisa dipakai untuk peralatan rumah tangga.



Gambar 4 Pengujian Alat PLTS Solar Tracker Reflektor

Perhitungan

Sebagai contoh untuk perhitungan digunakan data pada panel tanpa reflektor untuk lebih lengkap nya dapat dilihat di halaman 79 pada lampiran pengambilan data. Adapun sebagai contoh perhitungan dapat dilihat data yang diperoleh sebagai berikut :

Tabel 2 Data Hasil Panel Surya

No	Pukul (WIB)	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Tanpa Reflektor		Keterangan
			Tegangan (V)	Arus (A)	
1	08.00	678,2	1,39	14,4	Berawan
2	09.00	763,6	1,25	14,42	Cerah
3	10.00	830,8	1,2	14,47	Cerah
4	11.00	899,8	1,45	14,77	Cerah
5	12.00	887,2	1,29	14,4	Cerah
6	13.00	832,8	1,36	14,24	Cerah
7	14.00	819,3	1,11	14,1	Cerah
8	15.00	611	1,17	13,06	Cerah
9	16.00	605,4	0,97	13,01	Cerah

2. Perhitungan Daya Input

Untuk mendapatkan hasil daya input panel surya perlu diketahui

$$P_{in} = I_r \times A$$

Keterangan :

P_{in} : Daya input

I_r : Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A : Luas Area modul surya (m²) = 0,1855m²

Sebagai contoh perhitungan untuk mendapatkan hasil dari daya input panel digunakan data pada pukul 08.00 pagi dimana didapatkan data :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 678,2 \text{ watt/m}^2 \times 0,1855 \text{ m}^2 \\ &= 125,81 \text{ watt} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Daya Output

Untuk mendapat hasil daya output panel surya perlu diketahui :

$$P_{out} = V \times I$$

Keterangan :

P_{out} = Daya Output

V : Tegangan (volt)

I : Arus (Ampere)

Sebagai contoh perhitungan untuk mendapatkan hasil dari daya output panel digunakan data pukul 08.00 pagi dimana didapatkan data :

$$\begin{aligned} P_{out} &= 1,39 \text{ v} \times 14,4 \\ &= 20,02 \text{ watt} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Efisiensi Panel

Maka dapat menghitung efisiensi panel dimana diketahui :

$$\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\%$$

P_{in} : Daya Input

P_{out} : Daya Output

η : Efisiensi Panel Surya (%)

Sebagai contoh perhitungan untuk mendapatkan hasil efisiensi panel digunakan data pada pukul 08.00 pagi dimana didapatkan data :

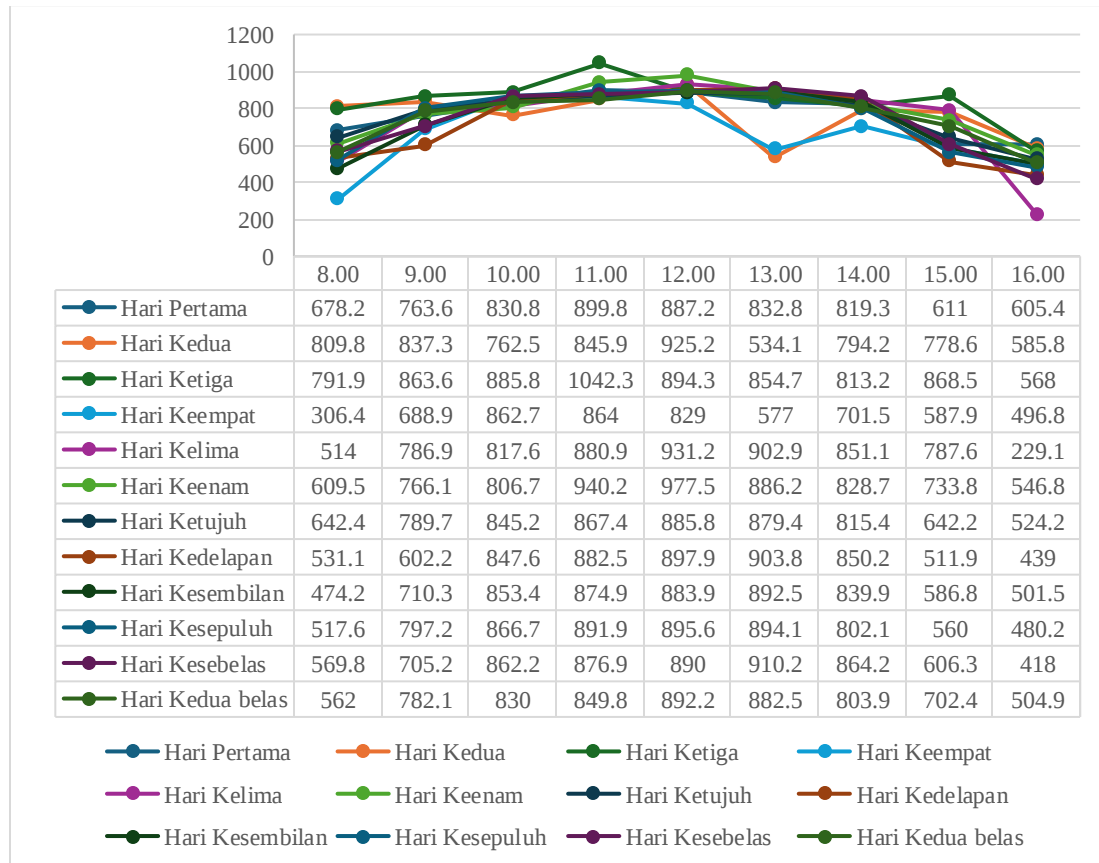
$$\begin{aligned} \eta &= (20,02 \text{ watt}) / (125,81 \text{ watt}) \times 100\% \\ &= 15,91 \% \end{aligned}$$

Untuk selebihnya dapat dilihat pada lampiran 3 pengolahan data pada setiap panel yaitu panel tanpa reflektor, reflektor aluminium dan mylar film

Hasil dan Analisa

1. Intensitas Radiasi Matahari

Dari hasil pengujian alat ukur solar power meter dengan cara mengarahkan alat ukur solar power meter ke arah matahari didapatkan grafik intensitas radiasi matahari dapat dilihat pada gambar grafik 4.1 sebagai berikut.



Gambar 5 Grafik Intensitas Radiasi Matahari

Setelah proses pengumpulan data dilakukan selama dua belas hari pengamatan, data intensitas radiasi matahari diperoleh menggunakan alat ukur solar power meter yang dikalibrasi untuk mengukur besaran iradiasi dalam satuan W/m^2 . Pengukuran dilakukan setiap jam mulai pukul 08.00 hingga pukul 16.00 WIB, dengan kondisi cuaca dan lingkungan yang dicatat untuk mendukung interpretasi hasil.

Hasil pengukuran disajikan dalam dua bentuk utama, yaitu tabel data numerik dan grafik garis komparatif. Tabel menampilkan data iradiasi dari setiap hari pengamatan secara terstruktur, dengan nilai-nilai yang menunjukkan variasi tiap jamnya. Sementara itu, grafik garis digunakan untuk memvisualisasikan tren harian iradiasi matahari. Melalui grafik ini, dapat diamati bahwa sebagian besar hari menunjukkan puncak iradiasi pada pukul 12.00 hingga 13.00 WIB, dengan nilai yang mendekati atau melebihi $900 W/m^2$. Namun, terdapat pula hari-hari tertentu dengan anomali signifikan, seperti Hari Keempat dan Hari Keenam, yang menunjukkan penurunan drastis pada pukul tertentu, kemungkinan besar disebabkan oleh cuaca mendung atau gangguan sinar langsung.

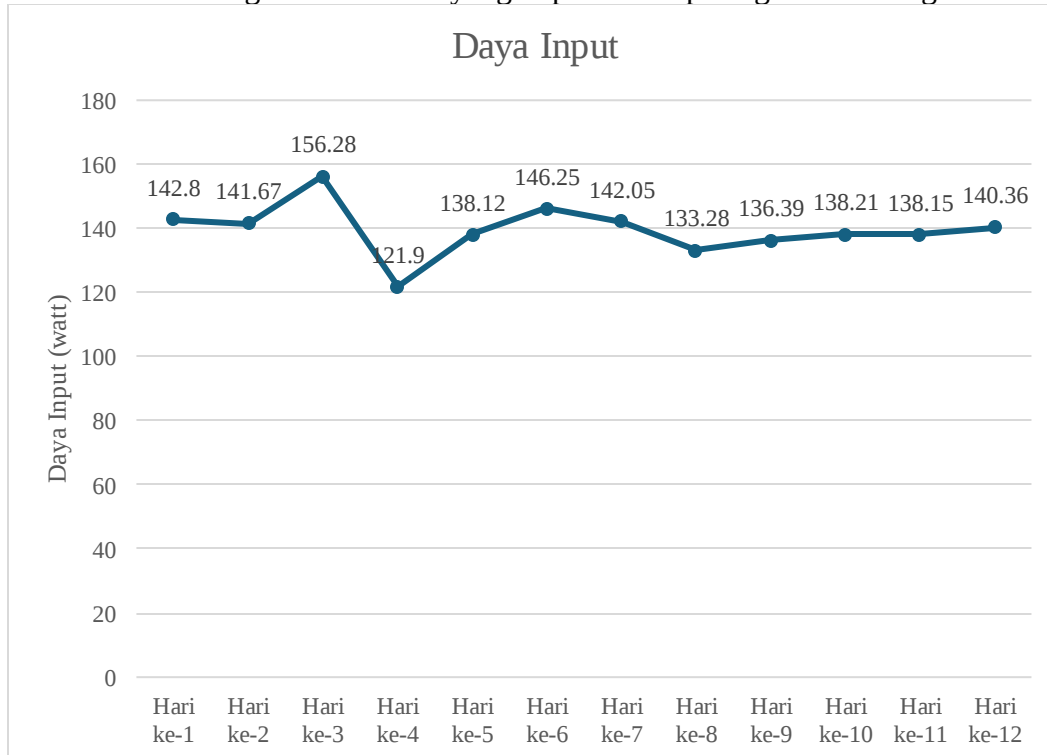
Dari grafik juga tampak bahwa hari dengan curah iradiasi tertinggi secara umum adalah hari kesepuluh, sedangkan hari keempat dan hari keenam menunjukkan intensitas yang paling fluktuatif dan relatif rendah. Informasi ini penting dalam mengevaluasi stabilitas sumber energi surya di lokasi pengamatan dan menjadi dasar untuk perhitungan efisiensi panel surya pada sesi analisis selanjutnya.

2. Input Panel Surya

Data hasil panel input panel surya didapatkan dengan cara hasil intensitas radiasi matahari yang didapatkan menggunakan alat ukur solar power meter dikalikan dengan luas penampang panel surya adapun dimensi panel surya $530 \text{ mm} \times 350 \text{ mm}$ dikonversikan menjadi meter menjadi $0,1855 \text{ m}^2$.

Data input panel surya didapatkan selama 12 hari, kemudian pada data setiap hari nya

dijadikan rata-rata dengan satuan watt yang dapat dilihat pada grafik 2 sebagai berikut.



Gambar 6 Grafik Daya Input Panel Surya

Selain analisis terhadap intensitas radiasi matahari, dilakukan pula analisis terhadap daya input panel surya yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan solar power meter. Nilai yang ditampilkan pada grafik panel input merupakan hasil perhitungan dari pengukuran intensitas cahaya matahari harian (dalam satuan W/m^2) yang kemudian dikalikan dengan luas permukaan panel surya sebesar $0,1855 m^2$. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh besaran daya input aktual (dalam satuan watt) yang diterima oleh panel dalam kondisi lingkungan sebenarnya setiap harinya.

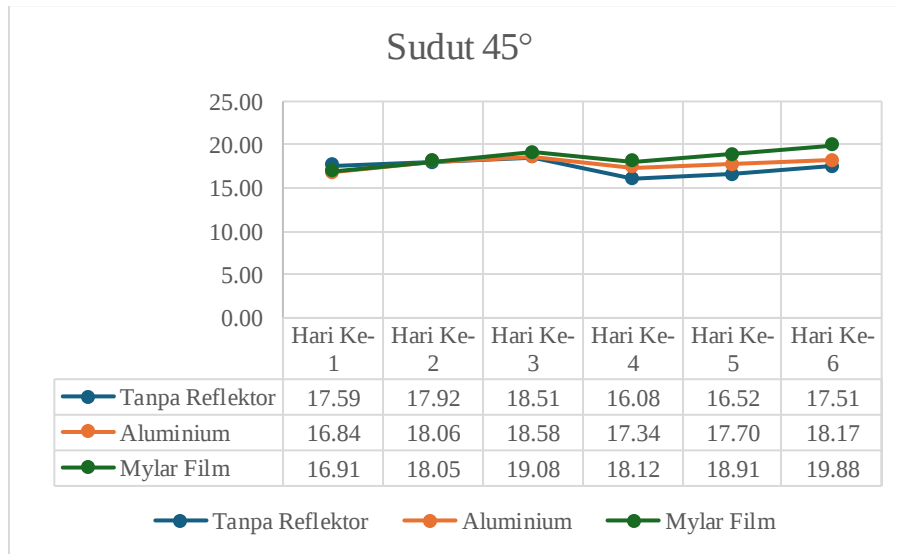
Dari grafik, terlihat adanya variasi daya input antar hari yang cukup signifikan. Nilai input tertinggi terjadi pada Hari ke-3 dengan nilai 156,28 W, yang menunjukkan hari tersebut memiliki tingkat penyinaran maksimum yang konsisten. Sebaliknya, Hari ke-4 mencatatkan nilai terendah, yaitu hanya 121,9 W, yang kemungkinan disebabkan oleh kondisi mendung atau intensitas radiasi yang terhalang oleh awan.

Secara umum, fluktuasi nilai input pada hari-hari berikutnya masih berada dalam rentang yang relatif stabil, yaitu antara 133 hingga 146 W, dengan kecenderungan nilai yang sedikit menurun pada Hari ke-7 dan Hari ke-8. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat variabilitas cuaca, paparan energi matahari masih cukup konsisten untuk menghasilkan daya input yang memadai terhadap panel.

3. Output Panel Surya

a. Sudut Reflektor 35°

Pengujian output panel surya didapatkan dengan cara arus panel surya (A) dikalikan dengan tegangan panel surya (V) pada ke tiga panel yaitu tanpa reflektor, reflektor aluminium foil dan mylar film yang dapat dilihat pada grafik 3 sudut reflektor 35° sebagai berikut.



Gambar 7 Grafik Daya Output Panel Surya 35°

Selain menganalisis input energi pada panel, penelitian ini juga mengamati output daya listrik dari panel surya yang digunakan. Data output panel diperoleh dengan mengalikan nilai arus listrik (Ampere) yang diukur menggunakan multimeter digital, dengan nilai tegangan (Volt) yang dihasilkan oleh panel. Pengukuran ini dilakukan untuk tiga jenis konfigurasi panel, yaitu panel tanpa reflektor, panel dengan reflektor aluminium foil, dan panel dengan reflektor mylar film, seluruhnya pada sudut reflektor 35° yang telah ditentukan berdasarkan perhitungan sudut optimal penerimaan cahaya.

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, tampak bahwa panel dengan reflektor mylar film secara konsisten menghasilkan daya output tertinggi dari hari ke hari. Nilai output tertinggi tercatat pada Hari ke-2 sebesar 18,88 W dan tetap berada di kisaran atas hingga Hari ke-6 sebesar 18,29 W. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mylar film mampu memantulkan dan mengarahkan cahaya matahari dengan lebih efisien ke permukaan panel dibandingkan dengan aluminium foil atau tanpa reflektor.

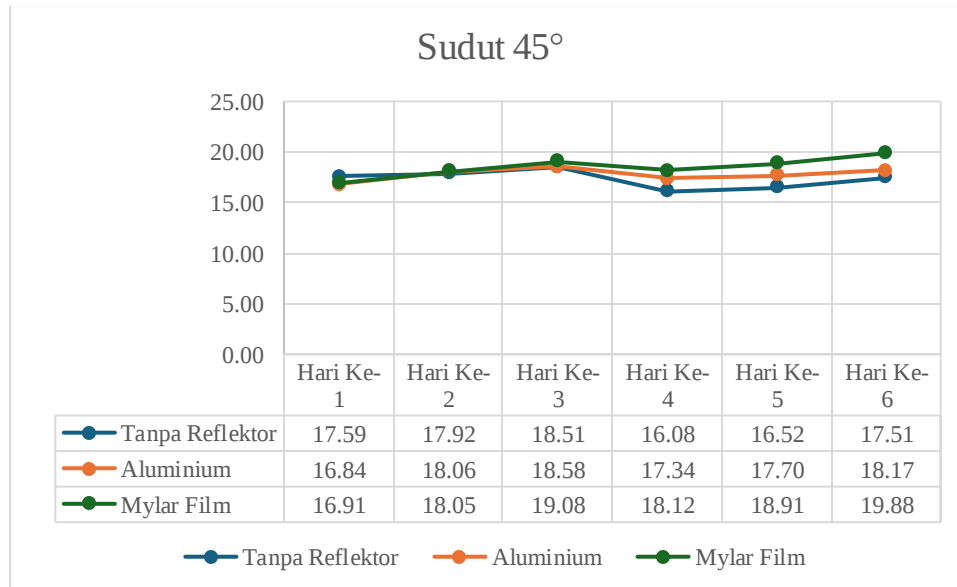
Sebaliknya, panel tanpa reflektor menunjukkan output paling rendah, dengan fluktuasi yang cukup besar, terutama pada Hari ke-4, yang hanya menghasilkan 16,08 W, kemungkinan akibat kondisi pencahayaan yang tidak stabil atau sudut datang sinar matahari yang tidak optimal tanpa bantuan reflektor. Rata-rata output panel tanpa reflektor selama enam hari cenderung berada di bawah 18 W.

Reflektor aluminium foil memberikan hasil di antara keduanya, menunjukkan output panel yang cukup stabil, dengan nilai tertinggi sebesar 18,32 W pada Hari ke-3 dan nilai terendah 17,66 W pada Hari ke-4. Hal ini menunjukkan bahwa aluminium foil tetap meningkatkan kinerja panel dibandingkan tanpa reflektor, namun belum seefisien Mylar film dalam hal memfokuskan radiasi matahari ke permukaan panel.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan reflektor, terutama berbahan Mylar film, mampu meningkatkan daya output panel surya secara nyata, dengan peran sudut pantulan sebesar 35° yang turut menentukan efektivitas pemantulan sinar matahari. Hasil pengamatan ini memperkuat argumen bahwa optimalisasi arah dan penambahan reflektor merupakan strategi efektif dalam meningkatkan performa sistem pembangkit tenaga surya.

b. Sudut Reflektor 45°

Pengujian output panel surya didapatkan dengan cara arus panel surya (A) dikalikan dengan tegangan panel surya (V) pada ke tiga panel yaitu tanpa reflektor, reflektor aluminium foil dan mylar film yang dapat dilihat pada grafik 3 sudut reflektor 45° sebagai berikut.



Gambar 8 Grafik Daya Output Panel Surya 45°

Pengukuran output daya panel surya pada sudut reflektor 45° dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut pantulan terhadap efisiensi konversi energi. Data output diperoleh dengan cara mengalikan tegangan (Volt) dan arus (Ampere) yang diukur menggunakan multimeter digital pada masing-masing konfigurasi panel, yaitu tanpa reflektor, dengan reflektor aluminium foil, dan dengan reflektor mylar film.

Dari grafik, terlihat bahwa panel dengan reflektor mylar film kembali menunjukkan performa tertinggi di hampir seluruh hari pengamatan. Nilai output tertinggi tercatat pada Hari ke-6 sebesar 19,88 W, menunjukkan bahwa reflektor mylar sangat efektif dalam meningkatkan intensitas cahaya ke permukaan panel pada sudut pantulan 45°. Rata-rata output mylar film juga stabil di atas 18 W sepanjang pengujian.

Panel dengan reflektor aluminium foil menunjukkan hasil yang mendekati mylar film, namun dengan kinerja yang sedikit lebih rendah. Nilai output tertingginya adalah 18,58 W pada Hari ke-3 dan nilai terendah 16,84 W pada Hari ke-1. Hal ini menunjukkan bahwa aluminium foil tetap memberikan kontribusi peningkatan daya dibandingkan sistem tanpa reflektor, meskipun efektivitas pantulnya tidak setinggi mylar.

Sementara itu, panel tanpa reflektor menghasilkan output paling rendah, dengan nilai berkisar antara 16,08 W hingga 18,51 W. Penurunan paling mencolok terjadi pada Hari ke-4 yang hanya menghasilkan 16,08 W, mengindikasikan kerentanan sistem terhadap perubahan sudut datang cahaya tanpa bantuan reflektor.

Secara keseluruhan, analisis ini mengonfirmasi bahwa peningkatan sudut reflektor hingga 45° dapat meningkatkan efektivitas pemantulan, khususnya jika dipadukan dengan material reflektif berkualitas tinggi seperti mylar film. Hasil ini mendukung strategi penggunaan reflektor pasif dalam sistem PLTS untuk meningkatkan output energi, terutama pada jam-jam ketika posisi matahari sudah menyimpang dari sudut tegak lurus panel.

4. Efisiensi Panel Surya

Pengujian efisiensi pada setiap panel surya didapatkan menggunakan rumus efisiensi yaitu :

$$\eta = \text{Pout} / \text{Pin} \times 100\%$$

Keterangan :

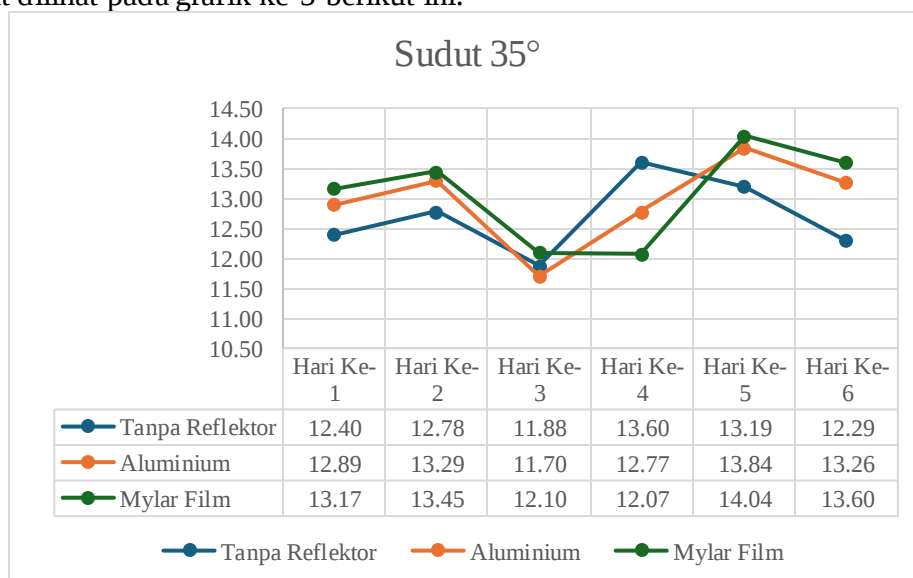
η : Efisiensi Panel Surya (%)

Pout : Panel Output (watt)

Pin : Panel Input (watt)

a. Efisiensi Panel Surya Sudut Reflektor 35°

Pengujian efisiensi panel surya didapatkan menggunakan alat ukur solar power meter untuk mendapatkan intensitas radiasi matahari kemudian dikalikan dengan dimensi panel untuk mendapatkan data panel input dan multimeter digital untuk mendapatkan data panel output berupa arus panel surya (A) dikalikan dengan tegangan panel surya (V) didapatkan rata-rata efisiensi perharinya dan diolah menjadi efisiensi panel surya pada sudut reflektor 35° dapat dilihat pada grafik ke-5 berikut ini.



Gambar 9 Efisiensi Panel Surya Sudut Reflektor 35°

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dari Hari ke-1 hingga Hari ke-6 yang ditampilkan pada grafik, terlihat bahwa konfigurasi panel dengan reflektor Mylar film secara konsisten memberikan efisiensi tertinggi dibandingkan dua konfigurasi lainnya. Nilai efisiensi maksimum tercapai pada Hari ke-5 sebesar 14,04% dan Hari ke-6 sebesar 13,60%. Hal ini menunjukkan bahwa sifat reflektif tinggi pada Mylar film mampu memfokuskan dan mengarahkan lebih banyak intensitas cahaya ke permukaan panel, sehingga meningkatkan daya keluaran listrik terhadap daya input yang diterima.

Panel dengan reflektor aluminium foil juga menunjukkan kinerja yang baik, dengan rentang efisiensi antara 12,10% hingga 13,84%. Meskipun nilainya sedikit lebih rendah dari Mylar film, penggunaan aluminium foil tetap menghasilkan peningkatan efisiensi signifikan dibandingkan panel tanpa reflektor.

Sementara itu, panel tanpa reflektor memiliki efisiensi terendah, dengan nilai maksimum 13,60% (Hari ke-4) dan minimum 11,88% (Hari ke-3). Fluktuasi ini dapat dipengaruhi oleh variasi intensitas cahaya matahari harian, suhu lingkungan, dan sudut datang cahaya.

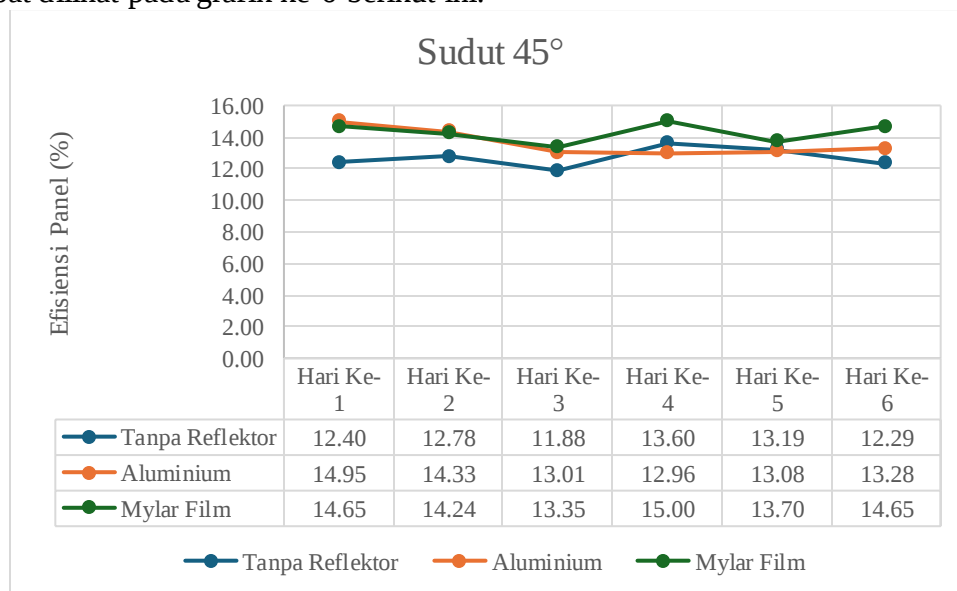
Perbedaan hasil ini menegaskan bahwa penggunaan reflektor berperan penting dalam meningkatkan efisiensi sistem PLTS. Mylar film, dengan sifat reflektif dan ketahanan panas yang baik, mampu memaksimalkan cahaya yang diarahkan ke panel. Selain itu, penentuan sudut 35° terbukti mendukung pencapaian efisiensi optimal karena memaksimalkan penerimaan radiasi matahari pada kondisi pengujian.

Dengan demikian, kombinasi solar tracker, reflektor Mylar film, dan sudut pemasangan yang tepat memberikan peningkatan signifikan pada kinerja PLTS skala kecil, sehingga dapat dijadikan solusi efektif untuk wilayah tropis dengan intensitas radiasi tinggi.

b. Efisiensi Panel Surya Sudut Reflektor 45°

Pengujian efisiensi panel surya didapatkan menggunakan alat ukur solar power meter

untuk mendapatkan intensitas radiasi matahari kemudian dikalikan dengan dimensi panel untuk mendapatkan data panel input dan multimeter digital untuk mendapatkan data panel output berupa arus panel surya (A) dikalikan dengan tegangan panel surya (V) didapatkan rata-rata efisiensi perharinya dan diolah menjadi efisiensi panel surya pada sudut reflektor 45° dapat dilihat pada grafik ke-6 berikut ini.



Gambar 10 Efisiensi Panel Surya Sudut Reflektor 45°

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dari Hari ke-1 hingga Hari ke-6, terlihat bahwa panel dengan reflektor Mylar film menghasilkan efisiensi tertinggi dan relatif stabil, dengan rentang 13,35% hingga 15,00%. Nilai maksimum dicapai pada Hari ke-4 sebesar 15,00%, sedangkan nilai terendah berada pada Hari ke-3 sebesar 13,35%. Stabilitas ini menunjukkan bahwa pada sudut 45°, Mylar film mampu memantulkan dan mengarahkan radiasi matahari secara optimal ke permukaan panel, sehingga kinerja tetap tinggi meskipun terjadi variasi kondisi cuaca harian.

Reflektor aluminium foil menempati posisi kedua dalam peningkatan efisiensi, dengan rentang 12,91% hingga 14,95%. Nilai tertinggi diperoleh pada Hari ke-1 (14,95%), sedangkan penurunan terlihat pada Hari ke-3 dan Hari ke-5. Fluktuasi ini mengindikasikan bahwa aluminium foil efektif dalam meningkatkan intensitas cahaya ke panel, tetapi kinerjanya lebih dipengaruhi oleh distribusi cahaya yang tidak merata.

Panel tanpa reflektor memiliki efisiensi terendah, dengan nilai antara 11,88% hingga 13,60%. Kondisi ini menunjukkan keterbatasan panel dalam menangkap radiasi maksimum tanpa bantuan reflektor, terutama saat sudut datang cahaya kurang ideal.

Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan reflektor pasif pada sudut 45° mampu meningkatkan efisiensi sistem PLTS secara signifikan, terutama dengan Mylar film yang memiliki sifat reflektif tinggi dan ketahanan panas yang baik. Kombinasi sudut optimal dan material reflektor berkualitas dapat menjadi strategi teknis yang efektif untuk memaksimalkan produksi energi pada PLTS skala kecil, khususnya di wilayah tropis seperti Pontianak yang memiliki intensitas radiasi matahari tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, maka terdapat beberapa kesimpulan diantaranya yaitu :

1. Dapat merancang dan membangun PLTS solar tracker reflektor aluminium foil dan mylar film yang berfungsi dengan baik.
2. Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan reflektor pasif terbukti meningkatkan efisiensi panel surya dibandingkan tanpa reflektor. Pada sudut 35°, reflektor Mylar film

memberikan efisiensi tertinggi yaitu 14,04% pada hari ke-5, dengan rata-rata yang konsisten lebih tinggi daripada reflektor aluminium foil maupun panel tanpa reflektor. Reflektor aluminium foil mencatat efisiensi pada rentang 12,10% hingga 13,84%, sedangkan panel tanpa reflektor hanya berkisar 11,88% hingga 13,60% dengan fluktuasi yang lebih besar. Pada sudut 45°, kinerja Mylar film kembali menjadi yang terbaik dengan efisiensi antara 13,35% hingga 15,00% dan relatif stabil meskipun kondisi cuaca tidak selalu cerah. Aluminium foil mencatat peningkatan pada rentang 12,91% hingga 14,95%, sementara panel tanpa reflektor tetap berada pada kisaran 11,88% hingga 13,60%. Secara umum, sudut 45° dengan reflektor Mylar film menghasilkan performa paling optimal. Faktor cuaca seperti mendung parsial, kelembaban tinggi, maupun variasi intensitas radiasi akibat pergerakan awan tetap memengaruhi kinerja, namun dampaknya lebih tereduksi ketika panel dilengkapi reflektor karena cahaya difus masih dapat dipantulkan ke permukaan panel.

3. Sistem tracking berbasis Arduino dengan sensor LDR dan motor driver BTS7960 juga terbukti meningkatkan efisiensi panel. Panel yang dilengkapi pelacak mampu mempertahankan orientasi tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya matahari sepanjang hari. Dengan demikian, intensitas cahaya yang diterima tetap optimal, menghasilkan daya output yang lebih stabil serta efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan panel statis.

Saran

Berdasarkan hasil pembahasan serta kesimpulan, maka saran yang dapat dilakukan pada penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Bagi Peneliti Selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan sistem solar tracking dua sumbu (dual axis) agar panel surya dapat mengikuti pergerakan matahari secara horizontal dan vertikal sekaligus. Hal ini berpotensi menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan sistem satu sumbu yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi penggunaan reflektor berbahan optik dengan indeks reflektansi lebih tinggi, seperti kaca cermin datar atau film reflektif khusus.
2. Terkait Keterbatasan Penelitian, pengujian sistem hanya dilakukan pada waktu tertentu dengan kondisi cuaca cerah. Oleh karena itu, untuk hasil yang lebih representatif, penelitian sejenis sebaiknya dilakukan dalam rentang waktu yang lebih panjang dan berbagai kondisi cuaca untuk mengamati performa sistem secara menyeluruh sepanjang musim.

DAFTAR PUSTAKA

- Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting started with Arduino* (3rd ed.). Maker Media, Inc.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2022). *Potensi energi surya Indonesia*. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-potensi-energi-surya-indonesia-2022.pdf>
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The art of electronics* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Global energy & CO₂ status report 2023*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2023>
- Institute for Essential Services Reform (IESR). (2023). *Indonesia solar energy outlook 2023*. <https://iesr.or.id/report-indonesia-solar-energy-outlook-2023>
- Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. (2009). A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews, 13(8), 1800–1818. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.022>
- Nelson, J. (2003). *The physics of solar cell*. Imperial College Press.
- Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1). <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>
- Putri, R. D., Susanto, H., & Lestari, D. (2021). Pengaruh solar tracker terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga surya. *Jurnal Energi Terbarukan*, 9(2), 45–52.
- Santosa, A., Pratama, R., & Wibowo, T. (2020). Optimalisasi daya panel surya menggunakan reflektor aluminium foil. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 6(1), 30–37.
- Santoso, H. E. (2014). Rancang bangun solar tracking system menggunakan kontrol PID pada sumbu azimuth [Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Susilo, S. (2012). Perancangan solar tracker sebagai peningkatan efisiensi energi listrik yang dihasilkan panel surya dengan menggunakan logika kabur (fuzzy logic) [Undergraduate thesis, Universitas Sebelas Maret].
- Yadav, A. K., & Bajpai, P. (2016). Performance enhancement of solar photovoltaic cells using reflectors and concentrators: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 529–541. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.196>.