

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terbaru dengan judul “Peningkatan Daya Panel Surya Dengan Konsentrator Cahaya dari Bahan Aluminium Foil” meneliti peningkatan daya panel surya dengan menggunakan reflektor aluminium foil. Penelitian ini menunjukkan bahwa reflektor aluminium foil dapat meningkatkan daya keluaran panel surya sebesar 2-5%. Selain itu, sudut kemiringan reflektor juga mempengaruhi efisiensi panel surya, di mana sudut 75° menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan dengan sudut 65° (Siagian et al., 2024).

Pada penelitian dengan judul “Analisis performa modul surya cell terhadap penggunaan reflektor aluminium foil” meneliti pengaruh reflektor aluminium foil pada panel surya dan menemukan bahwa reflektor pada sudut kemiringan 65° memberikan daya keluaran tertinggi, sebesar 65,737 W. Hasil ini menunjukkan bahwa reflektor aluminium tidak hanya ringan dan tahan lama, tetapi juga sangat efektif dalam meningkatkan daya keluaran panel surya. Temuan dari penelitian ini sangat relevan dengan penelitian saya yang menggunakan reflektor aluminium untuk meningkatkan efisiensi PLTS, khususnya di ekosistem akasia (Joko Setiyono, Riyan Pramadi, Sulanjari, 2021).

Penelitian dari Arbain mengembangkan sistem panel surya fleksibel dengan tambahan reflektor cermin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya fleksibel tanpa reflektor menghasilkan daya rata-rata 15,86 W, sedangkan dengan reflektor mencapai 22,59 W. Peningkatan daya ini menunjukkan efektivitas reflektor cermin dalam meningkatkan efisiensi PLTS (Arbain, 2023)

Pada penelitian dengan judul “Rancang bangun plts kapasitas 50 wp menggunakan reflektor untuk meningkatkan efisiensi panel surya” mengkaji efisiensi panel surya polycrystalline dengan reflektor pada sudut 50° , 60° , dan 70° . Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi dicapai pada sudut 70° , dengan nilai efisiensi sebesar 13,56% pada radiasi 264 W/m^2 . Penelitian ini menyoroti pentingnya sudut optimal reflektor untuk memaksimalkan daya keluaran modul surya (Fakhira Salsabilla Putri, Sri Paryanto Mursid, 2022)

Pada penelitian yang berjudul “Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Polycrystalline 10 WP dengan Membandingkan Penambahan Reflektor Cermin Datar dan Alumunium Foil” studi ini menggunakan tiga unit panel surya Polycrystalline 10 WP dalam tiga kondisi berbeda: tanpa reflektor, dengan reflektor cermin datar, dan dengan reflektor alumunium foil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel tanpa reflektor hanya mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 7,71 W, sedangkan panel dengan reflektor cermin datar mencapai daya maksimum 14,34 W, dan panel dengan reflektor alumunium foil menghasilkan daya maksimum 13,81 W. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa reflektor cermin datar lebih efektif dalam meningkatkan daya keluaran panel surya dibandingkan dengan alumunium foil (PUTRANTO, 2022).

Sementara itu, penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Lebar Reflektor Ganda Cermin Datar pada Kinerja Panel Surya Tipe Polikristal 50 WP” penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas reflektor ganda cermin datar dengan variasi lebar reflektor terhadap kinerja panel surya. Dalam eksperimen ini, digunakan reflektor ganda dengan sudut kemiringan 70° serta tiga variasi lebar reflektor, yaitu 30 cm, 35 cm, dan 40 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reflektor dengan lebar 35 cm menghasilkan efisiensi tertinggi, yaitu 25,16%, serta daya dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan reflektor dengan ukuran lainnya. Efektivitas reflektor juga lebih optimal pada rentang waktu pukul 10.00–14.00 WIB (Putra, 2022).

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan reflektor berbahan aluminium pada sistem PLTS *off-grid* guna meningkatkan pemanfaatan energi matahari yang diterima panel surya. Proses perancangan dilakukan melalui analisis pemantulan cahaya dan perhitungan panjang bayangan untuk menentukan dimensi serta posisi reflektor yang optimal. Pengujian dilakukan dengan variasi sudut reflektor antara 40° – 90° dan membandingkan kinerja panel surya sebelum dan sesudah penggunaan reflektor. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya untuk menentukan sudut reflektor yang memberikan peningkatan performa terbaik. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi solusi sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan untuk meningkatkan efisiensi PLTS *off-grid* pada kawasan hutan dan lahan gambut.

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Metode & Variabel	Hasil Penelitian
1	Parlin Siagian, 2024	Peningkatan Daya Panel Surya Dengan Konsentrator Cahaya dari Bahan Aluminium Foil	Penggunaan reflektor aluminium foil dengan variasi sudut kemiringan (65° & 75°)	Reflektor aluminium foil meningkatkan daya panel surya sebesar 2-5%, sudut 75° menghasilkan daya lebih tinggi dibanding 65°
2	Joko Setiyono, 2021	Analisis Performa Modul Surya Cell terhadap Penggunaan Reflektor Aluminium Foil	Reflektor aluminium foil dengan variasi sudut kemiringan, daya keluaran diamati	Sudut reflektor 65° menghasilkan daya tertinggi sebesar 65,737 W
3	Arbain, 2023	Pengembangan Sistem Panel Surya Fleksibel dengan Tambahan Reflektor Cermin	Panel surya fleksibel diuji dengan dan tanpa reflektor cermin	Panel tanpa reflektor menghasilkan daya 15,86 W, sedangkan dengan reflektor mencapai 22,59 W
4	Fakhira Salsabila Pautri, 2022	Rancang Bangun PLTS Kapasitas 50 WP Menggunakan Reflektor untuk Meningkatkan Efisiensi Panel Surya	Reflektor diuji pada sudut 50°, 60°, dan 70° dengan panel polycrystalline	Efisiensi tertinggi (13,56%) dicapai pada sudut 70° dengan radiasi 264 W/m ²

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Metode & Variabel	Hasil Penelitian
5	Putranto, 2022	Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Polycrystalline 10 WP dengan Membandingkan Penambahan Reflektor Cermin Datar dan Aluminium Foil	Perbandingan daya keluaran tanpa reflektor, dengan reflektor cermin datar, dan aluminium foil	Daya maksimum: tanpa reflektor 7,71 W, reflektor cermin datar 14,34 W, aluminium foil 13,81 W. Cermin datar lebih efektif
6	Putra, 2022	Pengaruh Variasi Lebar Reflektor Ganda Cermin Datar pada Kinerja Panel Surya Tipe Polikristal 50 WP	Pengujian reflektor ganda cermin datar dengan lebar 30 cm, 35 cm, dan 40 cm pada sudut 70°	Lebar reflektor 35 cm menghasilkan efisiensi tertinggi (25,16%), efektivitas reflektor optimal pada pukul 10.00–14.00 WIB
7	Ikhsan Zikri Mustaqim, 2025	Rancang Bangun Reflektor Berbahan Aluminium Untuk Meningkatkan Output PLTS <i>Off-Grid</i> Pada Ekosistem Akasia	Pengujian reflector aluminium dengan sudut yang berbeda-beda	Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan alat reflector aluminium yang dapat meningkatkan output dari panel surya

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pemantulan Cahaya

Pemantulan cahaya pada reflektor tidak hanya dipengaruhi oleh sifat permukaan pemantul, tetapi juga oleh sudut kemiringan reflektor terhadap bidang penerima cahaya. Pada sistem panel surya, pengaturan sudut reflektor yang tepat dapat meningkatkan jumlah radiasi matahari yang dipantulkan menuju permukaan panel sehingga energi yang diterima menjadi lebih besar. Penelitian yang dilakukan oleh (Sembiring et al., 2021) menggunakan reflektor datar dengan variasi sudut 60°, 70°, dan 80° menunjukkan bahwa sudut reflektor berpengaruh terhadap keluaran panel surya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa reflektor dengan sudut 80° menghasilkan kinerja terbaik dengan tegangan rata-rata sebesar 18,26 V dan daya rata-rata sebesar 54,68 W. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sudut kemiringan reflektor dapat mengubah arah pantulan cahaya sehingga memengaruhi intensitas cahaya yang diterima panel surya dan pada akhirnya memengaruhi daya keluaran sistem.

Panjang jalur pantulan cahaya bergantung pada sudut datang dan jumlah pantulan yang terjadi. Pada pemantulan tunggal, panjang jalur cahaya dapat dihitung dengan rumus geometri refleksi yang mempertimbangkan sudut datangnya. Jika cahaya dipantulkan beberapa kali, seperti pada sistem optik yang menggunakan beberapa cermin atau reflektor, panjang total jalurnya merupakan jumlah dari setiap segmen pantulan yang terjadi. Prinsip ini banyak diterapkan dalam desain reflektor untuk meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya, seperti pada sistem pemusatan cahaya untuk panel surya atau alat optik lainnya. Dengan memahami jalur pantulan cahaya, energi cahaya dapat diarahkan dan dimanfaatkan secara lebih optimal sesuai dengan kebutuhan. Jika cahaya dipantulkan oleh satu bidang pantul, jalur pantulan dapat dihitung menggunakan geometri refleksi sesuai dengan Persamaan (1) (Stroud, 2003)

$$LP = \frac{h}{\cos(\theta)} \quad (1)$$

Keterangan:

LP = panjang lintasan pantulan cahaya (cm)

h = tinggi benda pemantul atau sumber cahaya (cm)

θ = sudut pantulan ($^{\circ}$)

contoh:

$$\begin{aligned} LP &= \frac{65}{\cos 45^{\circ}} \\ &= \frac{65}{0,7071} \\ &= 91,92 \text{ cm} \end{aligned}$$

2.2.2 Panjang Bayangan

Panjang bayangan adalah jarak antara ujung bayangan dengan titik awal terbentuknya bayangan akibat penghalangan cahaya oleh suatu benda. Dalam konsep optik, panjang bayangan sangat dipengaruhi oleh sifat cahaya yang merambat lurus serta interaksi cahaya dengan benda yang menghalanginya. Berdasarkan jurnal di atas, panjang bayangan bergantung pada beberapa faktor, seperti sudut datang cahaya, tinggi benda, serta sifat pemantulan dan pembiasan cahaya.

Ketika cahaya mengenai suatu benda yang tidak tembus cahaya, bayangan akan terbentuk di belakang benda tersebut. Jika sumber cahaya berupa titik kecil, bayangan yang dihasilkan akan lebih tajam. Namun, jika sumber cahaya cukup besar, bayangan akan terbagi menjadi dua bagian, yaitu umbra (bayangan inti yang gelap) dan penumbra (bayangan samar di sekitar umbra). Dalam kondisi alami, seperti ketika Matahari menyinari suatu benda, panjang bayangan akan berubah sesuai dengan sudut datang cahaya Matahari.

Hal ini didukung oleh penelitian (Dwi & Ramadini, 2026) yang mengukur tinggi dan azimuth Matahari menggunakan gnomon setinggi 20 cm. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada saat panjang bayangan tercatat 7,9 cm, tinggi Matahari mencapai $68,45^{\circ}$. Temuan tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi posisi Matahari di langit, semakin pendek panjang bayangan yang terbentuk. Penelitian tersebut juga menjelaskan bahwa hubungan antara tinggi benda, panjang bayangan, dan sudut elevasi Matahari dapat dianalisis menggunakan prinsip trigonometri sehingga panjang bayangan dapat dimanfaatkan untuk menentukan posisi Matahari secara akurat.

Saat Matahari berada tinggi di langit (siang hari), panjang bayangan lebih pendek, sedangkan saat Matahari lebih rendah (pagi atau sore), bayangan akan lebih panjang. Dengan demikian, panjang bayangan tidak hanya menjadi fenomena optik akibat terhalangnya cahaya, tetapi juga dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan sudut elevasi Matahari serta mendukung berbagai aplikasi seperti pengamatan astronomi, penentuan arah kiblat, dan optimasi orientasi panel surya.

Secara matematis, panjang bayangan dapat dihitung menggunakan hukum trigonometri dengan Persamaan (2) (Wang, 2017)

$$S = \frac{h}{\tan(\theta)} \quad (2)$$

Keterangan:

S: Panjang bayangan

h : Tinggi benda(75cm)

(θ) : Sudut elevasi matahari

Contoh:

$$\begin{aligned} S &= \frac{h}{\tan 60^\circ} \\ S &= \frac{65}{1,732} \\ S &= 37,53 \text{ cm} \end{aligned}$$

2.2.3 Panel surya

Panel surya atau modul fotovoltaik merupakan perangkat yang berfungsi mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik adalah fenomena ketika material semikonduktor menyerap energi cahaya matahari dan menghasilkan aliran elektron sehingga terbentuk energi listrik dalam bentuk arus searah (*Direct Current/DC*). Panel surya tersusun dari sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri maupun paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus sesuai kebutuhan. Material semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah silikon karena memiliki efisiensi yang baik, stabilitas tinggi, serta biaya produksi yang relatif ekonomis. Oleh karena itu, panel surya menjadi komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang memanfaatkan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan.

Kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik faktor lingkungan maupun faktor teknis. Intensitas radiasi matahari atau iradiasi merupakan faktor utama yang menentukan jumlah energi yang dapat dikonversi menjadi listrik. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan panel, maka semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan. Selain itu, temperatur permukaan panel juga berpengaruh terhadap performa sistem. Kenaikan temperatur modul surya cenderung menyebabkan penurunan tegangan keluaran sehingga dapat mengurangi efisiensi panel surya. Faktor lain yang tidak kalah penting adalah adanya bayangan (*shading*) dari pohon, bangunan, atau objek lain yang menghalangi sinar matahari menuju permukaan panel. Bayangan dapat mengurangi iradiasi yang diterima panel sehingga menyebabkan penurunan daya keluaran dan menurunkan produksi energi listrik secara keseluruhan.

Menurut penelitian (Homer et al., 2023), modul surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis berbahan semikonduktor silikon yang mampu menghasilkan listrik DC ketika menerima paparan sinar matahari. Penelitian tersebut juga menjelaskan bahwa produksi energi listrik pada PLTS sangat dipengaruhi oleh iradiasi matahari, temperatur modul, dan kondisi *shading* selama pengoperasian sistem. Hasil simulasi pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa bayangan yang terjadi pada area pemasangan panel surya dapat menyebabkan *shading losses* yang berdampak pada berkurangnya energi listrik yang dihasilkan. Selain itu, penelitian tersebut menegaskan bahwa pemilihan orientasi dan sudut pemasangan panel surya perlu mempertimbangkan potensi bayangan di sekitar lokasi agar energi yang diterima panel dapat dimaksimalkan. Dengan demikian, optimalisasi posisi panel surya, pengendalian suhu modul, dan pengurangan efek bayangan merupakan aspek penting untuk meningkatkan efisiensi dan output energi PLTS.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa panel surya merupakan teknologi konversi energi yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan desain instalasi. Oleh karena itu, dalam perancangan sistem PLTS diperlukan perhatian khusus terhadap kualitas modul, arah hadap panel, sudut kemiringan, temperatur operasi, serta potensi bayangan di sekitar lokasi pemasangan untuk memperoleh keluaran daya yang optimal dan meningkatkan

efisiensi sistem secara keseluruhan. Bentuk fisik panel surya ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Panel Surya

2.2.4 Solar charger controller

Solar Charge Controller (SCC) adalah alat yang mengatur aliran listrik dari panel surya ke baterai, menjaga agar baterai tidak mengalami kelebihan pengisian (*overcharge*) maupun pengosongan berlebih (*overdischarge*) (Vidi Kurnia Nusa Saltana, Kustori, 2019). Alat ini berperan penting dalam mengoptimalkan efisiensi sistem PLTS serta memperpanjang umur pakai baterai. Solar Charge Controller modern umumnya dilengkapi dengan teknologi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) atau *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berfungsi menyesuaikan tegangan dan arus secara optimal sesuai kebutuhan sistem. Menurut penelitian (Sikumbang et al., 2024), SCC merupakan komponen penting dalam sistem fotovoltaik yang berfungsi menstabilkan daya keluaran panel surya. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa SCC tipe MPPT memiliki efisiensi rata-rata sebesar 72%, lebih tinggi dibandingkan SCC tipe PWM yang hanya mencapai 31,25%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan SCC, khususnya tipe MPPT, mampu mengekstraksi daya panel surya secara lebih optimal sehingga meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem PLTS secara keseluruhan. Bentuk fisik scc ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 SCC

2.2.5 Baterai

Baterai dalam sistem tenaga surya berfungsi sebagai penyimpanan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk digunakan ketika tidak ada sinar matahari, seperti pada malam hari atau cuaca mendung (Sihombing, 2023). Baterai yang biasa digunakan pada sistem tenaga surya antara lain tipe lithium-ion atau lead-acid, yang masing-masing memiliki keunggulan dalam hal efisiensi, durasi penyimpanan, dan siklus hidup. Pemilihan baterai yang tepat sangat penting untuk kestabilan dan keberlanjutan pasokan listrik. Bentuk fisik *baterai* ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Baterai

2.2.6 Aluminium foil

Aluminium foil memiliki peran penting dalam aplikasi energi dan teknologi surya karena kemampuannya yang tinggi dalam memantulkan cahaya dan panas. Sifat reflektifnya yang mencapai sekitar 85–95% menjadikannya ideal sebagai bahan reflektor pada panel surya atau konsentrator sinar matahari, sehingga dapat meningkatkan intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan panel. Selain itu, aluminium foil sering digunakan sebagai lapisan isolasi termal pada sistem energi untuk mengurangi kehilangan panas dan menjaga kestabilan suhu selama proses penyimpanan maupun konversi energi. Material ini juga memiliki keunggulan berupa bobot yang ringan, tahan terhadap korosi, mudah diperoleh, serta memiliki biaya yang relatif rendah dibandingkan material reflektor lainnya.

Penelitian oleh (Mohamed et al., 2026) menunjukkan bahwa penggunaan aluminium foil sebagai reflektor pada modul fotovoltaik mampu meningkatkan kinerja panel surya dibandingkan tanpa reflektor. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa aluminium foil memiliki nilai reflektivitas sekitar 85–90% dan mampu meningkatkan energi harian panel surya hingga 9,94% pada sudut reflektor 30°. Penelitian tersebut juga menjelaskan bahwa aluminium foil dapat meningkatkan arus keluaran panel surya karena kemampuannya memantulkan kembali cahaya matahari ke permukaan modul fotovoltaik. Meskipun peningkatan yang dihasilkan masih berada di bawah reflektor cermin, aluminium foil dinilai lebih ekonomis dan mudah diaplikasikan sehingga menjadi alternatif yang menarik untuk sistem PLTS berbiaya rendah.

Selain itu, (Kostic et al., 2010) melaporkan bahwa aluminium foil memiliki reflektansi spekular yang lebih tinggi dibandingkan aluminium sheet biasa, sehingga mampu memantulkan cahaya secara lebih terarah menuju permukaan panel surya. Karakteristik ini memungkinkan peningkatan konsentrasi radiasi matahari yang diterima panel dan berpotensi meningkatkan keluaran daya sistem fotovoltaik. Oleh karena itu, kombinasi antara reflektivitas yang tinggi, biaya yang rendah, serta kemudahan pemasangan menjadikan aluminium foil sebagai salah satu material reflektor yang efektif dan ekonomis untuk meningkatkan performa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Bentuk fisik aluminium foil ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Aluminium Foil