BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem yang berfungsi untuk mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui prinsip kerja efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik adalah suatu proses fisika yang terjadi pada permukaan sel surya ketika terpapar sinar matahari. Energi cahaya tersebut kemudian diubah menjadi energi listrik karena foton dalam cahaya mampu membebaskan elektron, sehingga elektron-elektron tersebut bergerak melalui sambungan semikonduktor tipe *n* dan *p*, dan menghasilkan aliran arus listrik (Sijabat et al., 2025).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki dua prinsip kerja yaitu PLTS Termal, yang memiliki prinsip kerja mengumpulkan panas matahari kemudian digunakan untuk memanaskan sebuah cairan. Kemudian, akan menghasilkan uap dari cairan yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Berikutnya adalah Prinsip kerja PLTS *photovoltaic*, dimana pada prinsip kerja ini menggunakan suatu alat yang dapat menangkap energi panas dari matahari kemudian akan langsung diubah menjadi energi listrik (Prawestri et al., 2022).

A. Panael Surya Tipe *Poly Crystalline*

Tipe *Poly Cystalline* merupakan tipe panel surya yang memiliki bahan dasar silicon kristal banyak. Tipe poly lebih sering digunakan karena harganya yang

relatif murah, tetapi Tipe ini memiliki titik lemah yaitu nilai efisiensinya yang rendah sehingga membutuhkan lebih banyak panel surya untuk bisa menghasilkan energi listrik yang sama dengan tipe mono. Kelebihan dari tipe poly yaitu dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal ketika kondisi cuca berawan atau mendung (Prawestri et al., 2022).



Gambar 2. 1 Panel Surya *Poly Crystalline*

(*Sumber :* https://www.researchgate.net/figure/The-Solar-Panel-Polycrystalline-Type_fig1_323359222)

B. Panel Surya Tipe *Mono Crystalline*

Tipe *Mono Crystalline* merupakan tipe sel surya yang bahan dasarnya terbuat dari silicon kristal tunggal. Tipe mono memiliki harga yang relatif lebih mahal. Kekurangan dari tipe mono ini yaitu tingkat efisiensinya turun apabila kondisi cuaca mendung atau berawan, hal ini berbanding terbalik dengan tipe poly. Kelebihannya ini yaitu jumlah panel surya yang dibutuhkan lebih sedikit untuk menghasilkan energi listrik yang cukup besar (Prawestri et al., 2022).



Gambar 2. 2 panel surya *Mono Crystalline*

(*Sumber* : https://id.dsnsolar.com/solar-panel/mono-solar-panel/450w-460w-470w-perc-monocrystalline-solar.html)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off Grid* adalah sistem yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum dan mengandalkan panel surya untuk menghasilkan listrik (Pustaka, Tinjauan Nurul Maula1, Zamzami2, 2024). PLTS *Off-Grid* yang sering di sebut sistem berdiri sendiri (*stand-alone*). Jenis ini bekerja secara mandiri dalam memanen energi listrik, sehingga penggunaan di area terpencil dianjurkan. Sistem *Off-Grid* megalirkan energi yang dihasilkan dan digunakan langsung pada beban atau disimpan dalam baterai untuk digunakan panel PV tidak disinari matahari (Maulana et al., n.d.).

Stand alone PV system atau sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS *Off-Grid*) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah–daerah terpencil/pedesaan yanng tidak terjangkau oleh PLN. Sistem PLTS terpusat disebut juga *stand alone PV* system yaitu sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu satunya sumber energi utama dengan

menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan (Pustaka, Tinjauan Nurul Maula1, Zamzami2, 2024).

2.1.2. Jenis – Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pemanfaatan radiasi surya dari sel surya sebagai pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik sering disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Terdapat 3 jenis sistem PLTS, yaitu jenis PLTS *Off – Grid,* PLTS *On – Grid*, dan PLTS *Hybrid*.

A. PLTS *Off – Grid*

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off Grid* merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil atau daerah-daerah pedesaan yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN. Sulitnya akses dan mobilisasi ke lokasi menjadikan biaya investasi pengembangan jaringan listrik atau pembangkit konvensional menjadi besar, serta biaya operasional dan pemeliharaan yang sedikit akibat sulitnya jalur transportasi menuju lokasi. Sistem PLTS *Off Grid* mengandalkan energi matahari sebagai satusatunya sumber listrik sehingga aman dari polusi atau tidak mencemari udara (Naim, 2017).

Sistem PLTS *Off Grid* merupakan solusi terbaik dalam penyediaan energi listrik di daerah terpencil dengan memanfaatkan energy matahari yang dikonversi menjadi energi listrik untuk melayani kebutuhan listrik penduduk dengan sistem pengoperasian dan perawatan yang sangat mudah serta dapat berfungsi selama 10 tahun tanpa adanya penggantian peralatan. Pemilihan Sistem PLTS *Off Grid* didasarkan atas pertimbangan beberapa faktor, yaitu Pola pemukiman antar rumah yang cukup meyebar, Sulit untuk mendapatkan transportasi darat, belum

memerlukan integrasi dengan pembangkit lain, modular dan mudah dikembangkan, kapasitas kecil sehingga mudah di instalasi, harga terjangkau, radiasi matahari sebagai sumber energi mencukupi, dan tidak tergantung terhadap bahan bakar minyak (Elektro et al., 2023).

B. PLTS *On – Grid*

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-grid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung digunakan oleh beban, sementara kelebihan energi listrik dapat disalurkan ke jaringan listrik. Sistem ini tidak menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi sehingga memiliki struktur yang lebih sederhana dan biaya investasi awal yang relatif lebih rendah dibandingkan sistem *off-grid* (Herman et al..(Nurosyid, 2018).

Keunggulan utama PLTS *On - grid* terletak pada efisiensi pemanfaatan energi listrik karena energi yang dihasilkan dapat langsung digunakan tanpa melalui proses penyimpanan yang berpotensi menimbulkan rugi-rugi daya. Dalam sistem net metering, kelebihan energi listrik yang dihasilkan dapat dikompensasikan dalam bentuk kredit energi, sehingga mampu mengurangi konsumsi listrik dari jaringan PLN secara signifikan (Luqman & Radianto, 2021).

Namun demikian, PLTS *On - Grid* memiliki keterbatasan, yaitu tidak dapat beroperasi ketika terjadi pemadaman listrik dari jaringan PLN. Hal ini disebabkan oleh adanya sistem proteksi anti-islanding pada inverter yang berfungsi untuk mencegah aliran listrik ke jaringan saat PLN padam demi keselamatan peralatan dan petugas. Oleh karena itu, sistem PLTS *on-grid* kurang sesuai untuk aplikasi

yang membutuhkan kontinuitas daya secara mandiri, seperti sistem pengering biji kopi (Nurosyid, 2018).

C. PLTS *Hybrid*

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *hybrid* merupakan sistem pembangkit listrik yang mengombinasikan panel surya dengan sumber energi lain, seperti baterai dan jaringan listrik PLN atau generator cadangan. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan keandalan dan fleksibilitas pasokan energi dengan menjadikan energi surya sebagai sumber utama dan sumber energi lainnya sebagai pendukung.

Pada sistem PLTS *hybrid*, energi listrik dari panel surya digunakan untuk menyuplai beban dan mengisi baterai saat radiasi matahari mencukupi. Ketika energi surya tidak tersedia atau tidak mencukupi, sistem secara otomatis akan memanfaatkan energi dari baterai atau jaringan PLN. Mekanisme ini memungkinkan sistem hybrid memiliki kontinuitas pasokan energi yang lebih baik dibandingkan sistem *Off-Grid* maupun *On-grid* secara terpisah (Rajagukguk, 2022).

2.1.3. Komponen – Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Dalam perencanaan sistem PLTS memerlukan komponen yang sesuai guna memastikan sistem dari sumber sampai ke output dapat tercapai dengan baik, pada sistem PLTS Off-Grid, maka komponen yang dibutuhkan yaitu panel PV, inverter, baterai, dan solar charg control. Solar Charge Controller merupakan perangkat pengatur aliran daya listrik dari panel surya ke baterai, memastikan baterai terisi dengan aman dan tidak mengalami *over charge*.

A. Panel Surya

Nama lain dari panel surya adalah *photovoltaic. Photovoltaic* merupakan (semikonduktor) yang elemen aktif memanfaatkan efek *photovoltaic* untuk mengubah energi surya menjadi listrik tanpa penggunaan dari bagian - bagian mekanis yang bergerak dan tanpa penggunaan bahan bakar. Berikut ini adalah gambar panel surya :



Gambar 2. 3 Panel Surya 100 Wp
(*Sumber : Dokumentasi Pribadi)*

Daya keluaran panel surya merupakan daya listrik yang dihasilkan oleh panel fotovoltaik berdasarkan besarnya tegangan keluaran dan arus yang mengalir. Besarnya daya keluaran digunakan untuk mengetahui kemampuan panel surya dalam mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Menurut (Sihombing et al., 2025), daya listrik dihitung berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan persamaan:

$$P = V \times I$$

Dengan :

P = Daya panel surya (Watt)

V = Tegangan panel surya (Volt)

I = Arus panel surya (Ampere)

Energi yang dihasilkan panel surya merupakan hasil perkalian antara daya keluaran panel surya dengan lama waktu panel menghasilkan energi listrik. Besarnya energi ini digunakan untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan panel surya selama periode waktu tertentu dan dinyatakan dalam satuan Watt-hour (Wh). Persamaan energi panel surya adalah sebagai berikut:

$$E_{\text{out}} = P_{\text{out}} \times t \quad \text{Atau} \quad E_{\text{out}} = V_{\text{out}} \times I_{\text{out}} \times t$$

Dengan :

E_{out}= Energi keluaran panel surya (Wh)

P_{out}= Daya keluaran panel surya (Watt)

V_{out}= Tegangan keluaran panel surya (Volt)

I_{out}= Arus keluaran panel surya (Ampere)

t= Waktu operasi panel surya (jam)

B. Solar Charger Controller (SCC)

Solar Charger Controller (SCC) adalah perangkat elektronik yang mengatur arus searah yang ditarik dari baterai kebeban dan dibebankan ke baterai. Baterai akan dilindungi dari pengisian daya yang berlebihan oleh pengontrol, sehingga memperpanjang umurnya. Selain itu kapasitas baterai dapat di deteksi dengan alat ini. Melalui pengunaan monitor level voltase tertentu dan kemudian mengisi ulang saat mencapai titik terendah. Hal ini memungkinkan pengguna PLTS untuk mengotrol berapa banyak listrik yang digunakan untuk baterai (Pustaka, 2024).



Gambar 2. 4 Solar Charger Controller (SCC)
(*Sumber :Dokumentasi Pribadi)*

C. Baterai / Aki

Salah satu bagian dari sistem PLTS yang memiliki penyimpanan energi listrik cadangan adalah baterai. Selain sebagai sumber tegangan keluaran yang lebih dapat diandalkan untuk sistem, energi yang tersimpan dalam baterai berfungsi sebagai sumber daya cadangan atau backup yang biasanya digunakan ketika panel surya tidak dapat menghasilkan listrik, seperti pada malam hari atau pada saat cuaca mendung (Aji Anggoro, 2024).



Gambar 2. 5 Baterai /Aki

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Besarnya energi yang dapat disimpan maupun disalurkan oleh baterai ditentukan oleh nilai tegangan, arus, dan waktu operasi. Perhitungan energi baterai

penting dilakukan untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menyediakan daya pada sistem PLTS, terutama ketika panel surya tidak menghasilkan energi listrik. Menurut (Sihombing et al., 2025), energi listrik yang dihasilkan selama periode pengujian dihitung berdasarkan nilai daya dan waktu operasi sistem menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \quad atau \; E = V \times I \times t$$

Denagan :

E = Energi baterai (Wh)

V = Tegangan baterai (Volt)

I = Arus baterai (Ampere)

t = Waktu penggunaan atau pengisian (jam)

D. Inverter

Tujuan dari rangkaian inverter adalah untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang ditentukan oleh desain rangkaian. Bergantung pada arsitektur rangkaian, inverter dapat menghasilkan bentuk gelombang arus listrik AC seperti persegi, sinus, sinus yang dimodifikasi, dan lebar pulsa yang dimodulasi (Aji Anggoro, 2024).



Gambar 2. 6 Inverter

(*Sumber : Dokumentasi Pribadi*)

Daya masukan inverter merupakan daya listrik yang diterima inverter dari sumber arus searah (DC), yaitu baterai atau panel surya. Besarnya daya masukan dihitung berdasarkan hasil perkalian antara tegangan masukan dan arus masukan inverter. Nilai ini digunakan untuk mengetahui besarnya daya yang masuk ke inverter sebelum dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC). Persamaan daya masukan inverter adalah sebagai berikut:

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

Keterangan:

P_{in}= Daya masukan inverter (Watt)

V_{in}= Tegangan masukan inverter (Volt)

I_{in}= Arus masukan inverter (Ampere)

Daya keluaran inverter merupakan daya listrik arus bolak-balik (AC) yang dihasilkan inverter setelah mengubah daya masukan DC. Besarnya daya keluaran dihitung dari hasil perkalian antara tegangan keluaran dan arus keluaran inverter. Persamaan daya keluaran inverter adalah sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

Keterangan:

P_{out}= Daya keluaran inverter (Watt)

V_{out}= Tegangan keluaran inverter (Volt)

I_{out}= Arus keluaran inverter (Ampere)

A. Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya di defenisikan sebagai perbandingan antara daya listrik keluaran panel terhadap daya radiasi matahari yang diterima permukaan panel

(Wasistha et al., 2021). Untuk menghitung efisiensi panel suya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{PLTS}} = \frac{P_{\text{out}}}{G \times A} \times 100\%$$

Keterangan :

η_{PLTS} : Efisiensi panel surya (%)

P_{out} : Daya listrik keluaran panel surya (Watt)

G : Intensitas radiasi matahari (W/m²)

A : Luas permukaan panel surya (m²)

B. Efisiensi Baterai Pada PLTS *Off – Grid*

Efisiensi baterai menunjukkan perbandingan energi yang dikeluarkan baterai terhadap energi yang disimpan. (Studi et al., 2023). Berikut ini rumus yang digunakan dalam menghitung efisiensi baterai :

$$\eta_{bat} = \frac{E_{discharge}}{E_{charge}} \times 100\%$$

Keterangan :

η_{bat}: Efisiensi baterai (%)

$E_{discharge}$: Energi yang dikeluarkan baterai (Wh)

E_{charge}: Energi yang masuk ke baterai saat pengisian (Wh)

C. Efisiensi Inverter Pada PLTS

Efisiensi inverter menunjukkan kemampuan inverter dalam mengonversi daya DC menjadi AC.

Berikut ini adalah Rumus dalam menghitung Efisiensi Inverter :

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \times 100\%$$

Keterangan :

η_{inv} : Efisiensi inverter (%)

P_{AC} : Daya keluaran inverter (AC) (Watt)

P_{DC} : Daya masukan inverter (DC) (Watt)

2.2 Penelitian Terkait Teradahulu

Beberapa penelitian terkait terdahulu telah membahas tentang analisis efisiensi pada sistem pengering biji kopi Berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off – grid* adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Penelitianteerkait Terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Fokus/Metode Penelitian	Hasil/Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
1	Wasistha et al. (2021)	Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off Grid* di Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Jakarta	Pengukuran dan analisis efisiensi komponen PLTS berdasarkan tegangan, arus, daya, dan iradiasi matahari.	Membahas efisiensi PLTS *Off-Grid* berdasarkan hasil pengukuran dan menunjukkan bahwa kondisi panel serta	Menjadi acuan utama dalam metode pengukuran dan analisis efisiensi sistem PLTS *Off-Grid.*

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Fokus/Metode Penelitian	Hasil/Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
				intensitas cahaya memengaruhi kinerja sistem.	
2	Prawestri et al. (2022)	Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Suplai Daya Sistem Pemberian Pakan Ikan Otomatis	Perancangan dan pengujian PLTS sebagai sumber energi sistem otomatis.	PLTS digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik sistem pemberian pakan ikan otomatis.	Memiliki kesamaan pada pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi untuk sistem yang bekerja secara otomatis.
3	Prakosa, Jayati & Pramuyanti (2023)	Studi Analisis Efisiensi dan Unjuk Kerja Baterai	Analisis efisiensi dan unjuk kerja baterai dengan mempertimbangkan proses	Membahas efisiensi dan unjuk kerja baterai pada sistem	Menjadi acuan khusus dalam analisis efisiensi baterai pada penelitian ini.

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Fokus/Metode Penelitian	Hasil/Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
		pada Sistem Panel Surya *Hybrid Off-Grid*	pengisian dan pengeluaran energi.	panel surya berdasarkan energi yang masuk dan energi yang dikeluarkan.	
4	Sifa et al. (2023)	Rancang Bangun Pembangkit Tenaga Surya (PLTS) 200WP untuk Suplai Daya Sistem Kendali dan Monitoring Pemeliharaan	Perancangan, pemasangan, dan pengujian PLTS *Off-Grid.*	Sistem menggunakan panel surya, baterai, dan inverter untuk menyuplai beban sistem kendali dan monitoring.	Relevan karena sama-sama menggunakan PLTS *Off-Grid* untuk menyuplai beban pada kegiatan yang berkaitan dengan sektor pertanian.

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Fokus/Metode Penelitian	Hasil/Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
		Tanaman Media Air			
5	Pujiantoro & Supardi (2023)	Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off Grid* untuk Perkebunan Daerah Bengkulu Utara	Perancangan dan pengujian sistem PLTS *Off-Grid* untuk kebutuhan listrik di perkebunan.	Sistem PLTS digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan keluaran yang dipengaruhi kondisi pengujian.	Menjadi pembanding penerapan PLTS *Off-Grid* sebagai sumber energi pada sektor perkebunan/pertanian.
6	Maula, Zamzami & Yassir (2024)	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* Menggunakan Baterai	Perencanaan sistem PLTS Off-Grid berdasarkan kebutuhan energi dan pemilihan komponen.	Sistem dirancang menggunakan panel surya, SCC, baterai Lithium-Ion, dan inverter	Relevan dengan penggunaan panel, baterai, SCC, dan inverter sebagai satu kesatuan sistem PLTS *Off-Grid* pada sektor pertanian.

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Fokus/Metode Penelitian	Hasil/Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
		Lithium-Ion untuk Perkebunan di Desa Blang Pie		untuk memenuhi kebutuhan energi perkebunan.	
7	Aji Anggoro & Amperawan (2024)	Implementasi PLTS *Off-Grid* 200 WP dengan Sistem Monitoring Beban Berbasis Arduino Uno	Implementasi dan pengujian PLTS *Off-Grid* serta monitoring tegangan, arus, dan daya.	Parameter kelistrikan sistem PLTS dan beban dapat dipantau untuk mengetahui kondisi operasi sistem.	Menjadi acuan dalam pengukuran parameter kelistrikan pada sistem PLTS *Off-Grid.*
8	Hamzah, Annisah & Lutfi (2024)	Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Daya yang Dihasilkan	Pengukuran intensitas cahaya dan daya keluaran panel surya.	Menunjukkan adanya hubungan antara intensitas cahaya dan daya	Sangat relevan untuk mendukung analisis hubungan radiasi matahari dengan

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Fokus/Metode Penelitian	Hasil/Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
		pada Panel Surya 600 Wp		keluaran panel surya.	daya dan efisiensi panel surya.
9	Sihombing et al. (2025)	Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Alternatif pada Rumah Pembibitan Pertanian	Eksperimental dengan pengukuran tegangan, arus, daya, dan energi.	Menganalisis kinerja PLTS sebagai sumber energi alternatif pada kegiatan pertanian.	Sangat relevan karena sama-sama menganalisis kinerja PLTS sebagai sumber energi pada sektor pertanian.
10	Maulana et al.	Perencanaan Sistem PLTS *Off-Grid* untuk Kebutuhan Energi Listrik pada	Perencanaan PLTS berdasarkan kebutuhan energi listrik.	Membahas perencanaan sistem PLTS *Off-Grid* untuk memenuhi kebutuhan energi pada	Menjadi pembanding penerapan PLTS *Off-Grid* untuk memenuhi kebutuhan energi pada sektor

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Fokus/Metode Penelitian	Hasil/Temuan Utama	Keterkaitan dengan Penelitian Ini
		Perkebunan Kelapa Sawit		perkebunan.	pertanian/perkebunan.