

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sawah Tadah Hujan

Sawah tadah hujan merupakan salah satu jenis dari sawah yang tidak mempunyai irigasi yang permanen serta bergantung pada air hujan itu. Padi dibudidayakan di lahan persawahan tadah hujan. Tantangan sering kali berupa pasokan air yang terbatas, khususnya saat kemarau. Kekeringan pada saat ini menimbulkan suatu masalah terhadap hasil panen juga pertumbuhan. Salah satu faktor utama yang menghambat upaya peningkatan produktivitas adalah hal ini dalam sistem pertanian padi sawah tadah hujan. Oleh karena itu, pendekatan teknologi yang lebih adaptif serta berkelanjutan perlu digunakan demi mengatasi keterbatasan yang sangat serius ini (Wihardjaka et al., 2020).

2.2 Pompa Air *Submersible*

Pompa *submersible* berfungsi untuk memindahkan fluida dari area bertekanan rendah ke tekanan yang lebih tinggi, serta kerap dimanfaatkan sebagai alat bantu dorong dalam sistem perpipaan. Mekanisme ini bekerja dengan menciptakan tekanan rendah di bagian masuk (inlet) dan tekanan tinggi di bagian keluar (outlet) pompa. Agar tidak mengalami kerusakan, pompa ini harus selalu berada dalam kondisi terendam air, karena jika tidak, maka dapat mempercepat keausan. Pompa jenis ini ideal digunakan pada kedalaman air minimum, yang turut membantu meningkatkan usia pakainya. Salah satu keunggulan utamanya adalah minimnya kebutuhan perawatan. Selain itu, karena pompa berada di dalam air, suara operasionalnya sangat kecil dan hampir tidak terdengar. Lingkungan yang terendam

juga berfungsi sebagai sistem pendingin alami. Desain pompa ini tidak memerlukan poros penggerak panjang maupun bantalan, sehingga mengurangi risiko kerusakan akibat gesekan atau keausan komponen mekanis.

Pompa ini beroperasi dengan mengandalkan motor listrik yang telah terintegrasi langsung ke dalam bodi pompa dan dirancang dalam kondisi tertutup rapat. Untuk menjaga keamanannya saat digunakan di dalam air, kabel listrik yang mengalirkan daya ke motor disambungkan melalui sistem koneksi khusus yang dirancang kedap air. Dengan demikian, meskipun pompa terendam sepenuhnya, air tidak akan masuk ke bagian dalam motor. Dari segi prinsip kerja, pompa *submersible* memiliki mekanisme yang serupa dengan pompa air pada umumnya, yaitu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui putaran impeller. Gerakan berputar ini menciptakan tekanan yang kemudian mendorong air keluar melalui saluran keluaran pompa (Suratno & Cahyono, 2023).

Untuk menentukan kapasitas pompa, maka akan di tentukan beberapa hal sebagai berikut:

1. Debit Air

Untuk menghitung debit air yang dibutuhkan berdasarkan dengan luas sawah dan kebutuhan air irigasi yaitu menggunakan persamaan berikut :

$$Q = A \times q \quad (2.1)$$

Keterangan :

Q = Debit Air (m^3/detik)

A = Luas Sawah (ha)

q = Kebutuhan Air irigasi (L/detik/ha)

2. Head Statis (H_s)

Head Statis yaitu perbedaan ketinggian antara permukaan air pada sumber dan titik keluaran air. Untuk mencari Head statis yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$H_s = H_{air} + H_{out} \quad (2.2)$$

3. Luas Penampang Pipa (A)

Pada bagian ini untuk mengetahui luas area aliran fluida di dalam pipa, yang berpengaruh terhadap kecepatan aliran. Dengan menggunakan persamaan berikut :

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- A = luas penampang pipa (m^2)
- D = diameter dalam pipa (m)
- π = konstanta (3,14)

4. Kecepatan Aliran dalam Pipa (v)

Kecepatan aliran yaitu laju fluida yang mengalir dalam pipa dan dipengaruhi oleh debit aliran serta luas penampang pipa. Dengan menggunakan persamaan berikut :

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- v = kecepatan aliran (m/s)
- Q = debit aliran air (m³/s)
- A = luas penampang pipa (m²)

5. Head Gesek Pipa (H_f)

Pada bagian ini merupakan kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa selama proses aliran. Untuk menentukan Head gesek menggunakan persamaan Darcy Weisbach berikut :

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- H_f = head gesek pipa (m)
- f = faktor gesek pipa (tanpa satuan)
- L = panjang pipa (m)
- D = diameter dalam pipa (m)
- v = kecepatan aliran (m/s)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)

6. Head Minor (H_m)

Head Minor merupakan kehilangan energi yang disebabkan oleh adanya penambahan komponen pada sistem perpipaan seperti belokan, sambungan dan lainnya. Dalam hal ini menggunakan persamaan berikut :

$$H_m = K \times H_s \quad (2.6)$$

Keterangan:

- H_m = head minor (m)
- k = faktor head minor (biasanya 0,1–0,3)
- H_s = head statis (m)

7. Head Total Pompa (H_t)

Head total pompa yaitu untuk menentukan total head yang harus diatasi oleh pompa agar bisa mengalirkan fluida dari sumber ke titik keluaran. Dengan menggunakan persamaan berikut :

$$H_t = H_s + H_f + H_m \quad (2.7)$$

Keterangan:

- H_t = head total pompa (m)
- H_s = head statis (m)
- H_f = head gesek pipa (m)
- H_m = head minor (m)

8 . Daya Pompa

Persamaan ini untuk menentukan daya pompa yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{\rho g Q H}{n} \quad (2.8)$$

Keterangan :

P = Daya pompa yang dibutuhkan

ρ = Masa jenis air = 1000

G = Percepatan gravitasi

Q = Debit air

H = Head total pompa

n = Effisiensi pompa

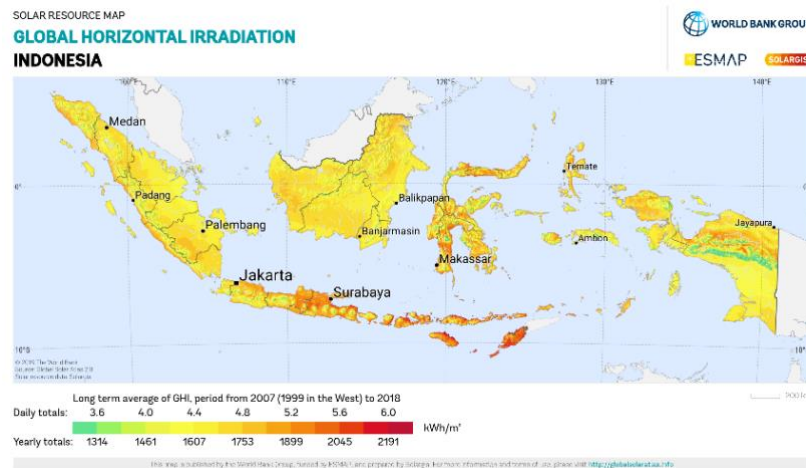
2.3 Energi Terbarukan

Penggunaan sumber energi di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh energi tak terbarukan yang berasal dari bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu bara. Ketergantungan ini menjadi tantangan tersendiri mengingat cadangan energi fosil semakin menipis seiring waktu. Oleh karena itu, diperlukan langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan tersebut, salah satunya dengan mengembangkan dan memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT). Energi terbarukan dinilai sebagai solusi paling potensial dalam menghadapi krisis energi yang mungkin terjadi di masa depan. Pemerintah Indonesia perlu memberikan

perhatian serius terhadap pengembangan EBT, tidak hanya sebagai bentuk antisipasi terhadap keterbatasan energi fosil, tetapi juga sebagai bagian dari komitmen dalam menciptakan sistem energi yang bersih, berkelanjutan, dan ramah lingkungan (Azhar & Satriawan, 2018).

2.4 Potensi Energi Matahari

Pemanfaatan energi surya kini menjadi salah satu langkah strategis dalam mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang kian menipis. Energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, jumlahnya terbatas, serta memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Seiring meningkatnya kebutuhan energi secara global, cadangan energi fosil semakin berkurang. Ketergantungan berkelanjutan terhadap energi fosil berpotensi menyebabkan kelangkaan pasokan serta meningkatnya biaya produksi dan distribusi energi di masa mendatang, sehingga menciptakan ketidakpastian dalam keamanan energi nasional. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas karbon dioksida (CO₂) dan gas rumah kaca lainnya yang menjadi penyebab utama efek rumah kaca. Dampak dari akumulasi gas-gas ini mencakup perubahan iklim global, seperti peningkatan suhu rata-rata bumi, kejadian cuaca ekstrem, naiknya permukaan laut, serta terganggunya keseimbangan ekosistem alam. Tidak hanya itu, pembakaran fosil juga menyebabkan pencemaran udara yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara dan dapat memengaruhi kesehatan manusia secara langsung (Dwisari et al., n.d.).



Gambar 2. 1 Potensi Energi Surya di Indonesia

Sumber: (Susilo et al., 2022)

Terlihat pada gambar 2.1 Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pemanfaatan energi terbarukan, terutama energi matahari. Hal ini didukung oleh intensitas radiasi sinar matahari harian yang cukup tinggi, yakni sekitar 4,5 hingga 5,5 kWh per meter persegi per hari. Potensi tersebut tidak terlepas dari posisi geografis Indonesia yang terletak di sepanjang garis khatulistiwa, menjadikannya menerima paparan sinar matahari yang stabil dan merata sepanjang tahun. Letak strategis ini memberikan keunggulan tersendiri bagi Indonesia untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu solusi penyediaan energi alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan (Supriyatna, 2024).

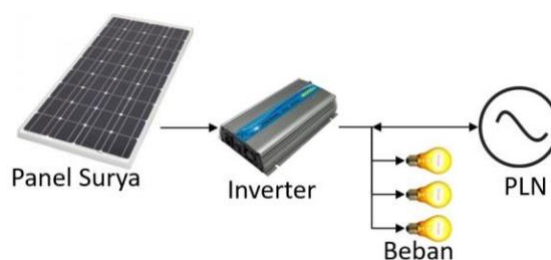
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sistem yang dirancang untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber utama. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip konversi energi, di mana radiasi matahari diubah menjadi energi listrik melalui unit yang disebut modul sel surya.

Listrik yang dihasilkan memiliki bentuk arus searah atau DC (Direct Current), yang bisa langsung digunakan untuk menghidupkan beban listrik atau disimpan terlebih dahulu dalam baterai untuk pemakaian di kemudian hari. Modul sel surya merupakan komponen utama dalam sistem PLTS yang memiliki fungsi menangkap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Karena sebagian besar perangkat elektronik dan sistem rumah tangga menggunakan arus bolak-balik, maka listrik DC yang dihasilkan perlu diubah terlebih dahulu menjadi AC (Alternating Current). Proses ini dilakukan dengan bantuan perangkat bernama inverter. Dengan mekanisme ini, PLTS menjadi salah satu solusi penyediaan energi yang ramah lingkungan dan dapat digunakan secara berkelanjutan sebagai pengganti energi fosil yang kian menipis (Lumempouw et al., 2015).

Pembangkit listrik tenaga surya memiliki 2 jenis sistem, yaitu *on-grid* dan *off grid*, ini merupakan pengertian dari kedua jenis tersebut

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid*



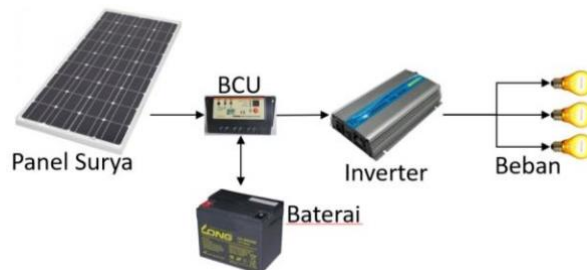
Gambar 2. 2 Sistem PLTS On Grid

Sumber: (Sapto Prayogo, 2019)

Pada gambar 2.2 pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) jenis on-grid adalah sistem yang hanya dapat berfungsi ketika terhubung langsung dengan jaringan listrik publik. Energi yang dihasilkan oleh panel surya dalam sistem ini dapat

dimanfaatkan secara langsung untuk memenuhi kebutuhan listrik pengguna. Jika energi yang dihasilkan melebihi konsumsi, kelebihan tersebut dapat dialirkan kembali ke jaringan umum, memungkinkan pengguna mendapatkan penghematan melalui sistem pertukaran energi. Salah satu keuntungan dari sistem ini adalah tidak memerlukan baterai untuk penyimpanan energi, sehingga biaya pemasangan dan pemeliharaan menjadi lebih terjangkau. Karena desainnya yang sederhana, PLTS on-grid banyak dipilih sebagai solusi hemat energi. Meski begitu, sistem ini memiliki kekurangan, yakni tidak mampu menyediakan pasokan listrik cadangan apabila terjadi gangguan atau pemadaman pada jaringan utama, sebab seluruh operasinya bergantung pada koneksi dengan jaringan listrik eksternal (Asri et al., 2023).

2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid*



Gambar 2. 3 Sistem PLTS Off Grid

Sumber: Sumber: (Sapto Prayogo, 2019)

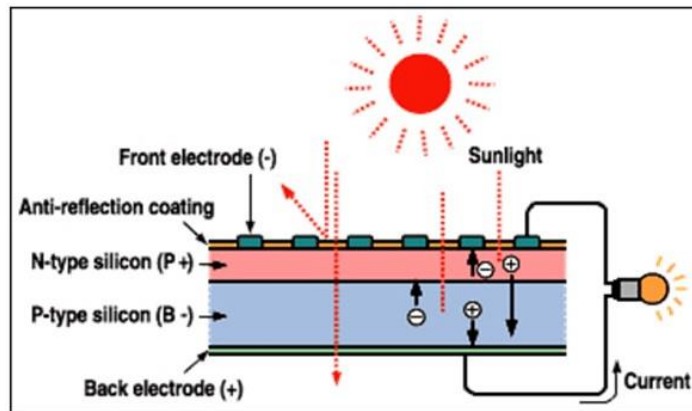
Pada gambar 2.3 pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe Off-Grid merupakan sistem yang dirancang untuk menghasilkan listrik secara otonom dengan mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber daya. Tidak terhubung dengan jaringan listrik utama, sistem ini sepenuhnya mengandalkan daya yang dikonversi oleh panel surya (photovoltaic) untuk memenuhi kebutuhan energi

pengguna. Energi yang diperoleh dari sinar matahari akan diubah menjadi listrik dan disimpan dalam baterai, sehingga tetap dapat digunakan baik pada siang maupun malam hari. Karena bekerja secara terpisah dari jaringan umum, PLTS Off-Grid sangat ideal untuk digunakan di lokasi-lokasi yang sulit dijangkau oleh infrastruktur listrik nasional. Di samping itu, teknologi ini turut berkontribusi terhadap pelestarian lingkungan, karena memanfaatkan energi terbarukan yang bersih dan bebas emisi karbon. Dengan karakteristik tersebut, PLTS Off-Grid menjadi solusi efektif untuk mendorong pemerataan akses energi di berbagai wilayah Indonesia, terutama dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat di daerah pedesaan dan kawasan tertinggal (Winardi et al., 2023).

2.5.1 Komponen Panel Surya

1. Panel Surya

Panel surya merupakan kumpulan sel surya yang dikonversi cahaya matahari menjadi listrik arus searah. Arus listrik tersebut dapat disimpan dengan cara menambahkan baterai yang dihubungkan dengan panel surya, maka listrik tersebut dapat di simpan menjadi cadangan energi listrik.



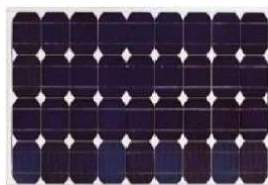
Gambar 2. 4 Panel Surya

Sumber: (Swatowska et al., 2011)

Pada gambar ilustrasi 2.4 tersebut menjelaskan tentang proses pengubahan energi matahari menjadi listrik pada sel surya. Secara umum sel surya tersusun dari 2 jenis material semikonduktor, yaitu tipe P dan tipe N yang disebut P-N junction. Pada saat permukaan sel terkena cahaya matahari, maka terjadilah pergerakan elektron didalam material dan pergerakan tersebut menghasilkan aliran listrik. Maka energi matahari diubah menjadi energi listrik melalui proses tersebut (Harahap, 2020).

Adapun jenis-jenis dari panel surya yang memiliki perbedaan pada panel tersebut. Berikut merupakan 3 jenis panel surya, yaitu:

1. *Monocrystalline*



Gambar 2. 5 Monocrystalline

Sumber: (Darwin et al., 2020)

Pada gambar 2.5 merupakan panel yang memiliki tingkat efisiensi paling tinggi dibandingkan dengan jenis panel surya lainnya. Panel ini sangat cocok pada sistem kelistrikan besar karena panel ini terbuat menggunakan teknologi terbaru dan mampu menghasilkan daya listrik yang besar dalam satuan luas yang relatif kecil. Tingkat efisiensi panel surya tersebut yaitu sekitar 15%. Panel ini juga memiliki kelemahan, yaitu apabila kita memasang panel ini di lokasi yang paparan sinar matahari nya kurang optimal atau kita sebut teduh maka, efisiensi panel akan menurun dan tidak bekerja seefektif pada lingkungan dengan cahaya matahari.

2. *Polycrystalline*



Gambar 2. 6 Polycrystalline

Sumber: (Darwin et al., 2020)

Pada gambar 2.6 panel surya jenis ini proses pembuatannya dilakukan melalui metode pengecoran, sehingga luas yang dihasilkan lebih besar untuk menghasilkan daya listrik yang setara dengan panel *monocrystalline*. Untuk nilai efisiensi sendiri, panel ini lebih rendah dibandingkan dengan *monocrystalline*, oleh karena itu harga dari panel jenis ini lebih terjangkau dan sering digunakan untuk PLTS berskala kecil hingga menengah yang memiliki keterbatasan anggaran.

3. *Thin Film*



Gambar 2. 7 Thin Film

Sumber: (Darwin et al., 2020)

Pada gambar 2.7 panel ini merupakan panel yang memiliki susunan dari 2 lapisan utama, yaitu lapisan mikrokristal silikon dan lapisan amorf. Dari ke 2 lapisan tersebut membentuk struktur yaitu film tipis yang memiliki fungsi untuk menyerap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Tingkat efisiensi sekitar 8,5% yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis panel lainnya, diakibatkan dengan memiliki efisiensi rendah maka panel thin film membutuhkan luas permukaan yang lebih besar untuk menghasilkan daya listrik yang sama dengan panel surya yang lainnya, tetapi panel ini menjadi pilihan utama karena memiliki keunggulan yaitu menangkap cahaya (Purwoto et al., 2018).

Kebutuhan panel harus mengikuti beberapa persamaan yaitu seperti menghitung kapasitas PV dan Jumlah PV yang digunakan, persamaan tersebut sebagai berikut :

1. Menghitung Kapasitas Panel Surya

Panel surya memiliki kapasitas yang dinyatakan dalam satuan Watt peak (Wp), dan tersedia dalam berbagai ukuran. Dalam perancangannya sebagai pembangkit listrik, penyusunan modul panel dilakukan secara seri untuk memperoleh tegangan yang lebih tinggi, sedangkan jika ingin mendapatkan arus yang lebih besar maka modul disusun secara paralel. Besarnya kapasitas total panel surya (dalam kWp) ditentukan berdasarkan jumlah kebutuhan energi (dalam kWh) dari beban selama periode tertentu serta tingkat intensitas radiasi matahari di lokasi pemasangan. Dalam praktiknya, ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi kinerja panel surya seperti suhu lingkungan, kualitas sambungan kabel, performa inverter, kondisi baterai, dan sebagainya (Abdullah et al., 2023). Dengan Rumus :

a. Menghitung Area PV

Tahap ini untuk mengetahui bahwa luas daerah yang akan digunakan untuk PV dengan persamaan berikut :

$$PV\ Area = \frac{EL}{Gav \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{Out}} (m^2) \quad (2.9)$$

Keterangan :

Luas array = Luas permukaan array panel surya (m^2)

ET = Total pemakaian energy (kWh/hari)

Gav = Intensitas Radiasi Matahari (kWh/ m^2 /hari)

η_{PV} = Efisiensi Panel Surya (%)

η_{out} = Efisiensi keluaran system (%)

FKT = Faktor Koreksi Temperatur (%)

b. Kapasitas Panel

Untuk mengetahui kapasitas daya panel yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_{wattpeak} = PV \text{ Area} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (2.10)$$

Keterangan :

$P_{wattpeak}$ = Daya yang akan dibangkitkan PLTS (wp)

PSI = Peak Solar Insulation ($1000W/m^2$)

2. Menghitung Jumlah Panel Surya

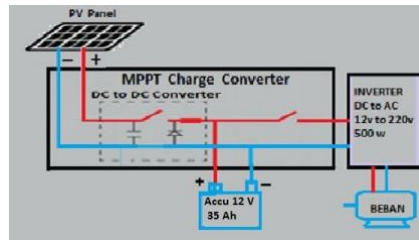
Setelah besar kapasitas ditentukan, maka selanjutnya untuk menghitung jumlah panel surya yang diperlukan, dengan rumus :

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{MPP}} \quad (2.11)$$

2. Solar Charge Controller



Gambar 2. 8 Solar Charger Controler



Gambar 2. 9 Rangkaian *Solar Charge Controller*

Pada gambar 2.10 dan 2.11 merupakan komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara panel surya dengan baterai dengan mengatur proses pengisian daya dari panel ke baterai agar mencegah terjadinya pengisian daya yang berlebihan (*overcharging*) yang dapat merusak baterai dalam jangka panjang. SCC juga mendistribusikan daya listrik ke inverter agar beban tetap terpasok dengan baik. Untuk menentukan *SCC*, maka menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\text{Demand Watt} \times \text{Safety Factor}}{\text{System Voltage}} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- I (Ampere) : Arus listrik yang dibutuhkan oleh sistem.
- Demand Watt (W) : Daya total beban listrik yang digunakan, diperoleh dari penjumlahan seluruh daya peralatan (W).
- SafetyFactor (faktorkeamanan) : Faktor pengali untuk mengantisipasi rugi-rugi sistem, lonjakan arus awal, sertaketidakpastian beban.Umumnya digunakan 1,2 – 1,25 pada perencanaan sistem PLTS.
- System Voltage (V) : Tegangan kerja sistem, misalnya 12 V, 24 V, atau 48 V DC pada sistem PLTS.

3. Baterai

Pada sistem PLTS, baterai umumnya dirancang dengan Depth of Discharge (DoD) sekitar 25% hingga 30% agar masa pakainya bisa mencapai kurang lebih 5 tahun. Artinya, kapasitas baterai yang digunakan harus lebih besar dari jumlah energi yang dilepaskan dalam satu siklus pemakaian. Oleh karena itu, untuk mengetahui kapasitas riil baterai yang dibutuhkan, digunakan suatu rumus perhitungan tertentu yang mempertimbangkan tingkat DoD tersebut.

$$C = \frac{N \times Ed}{Vs \times DOD \times n} \quad (2.13)$$

2.5.2 Performance Ratio

Merupakan rasio untuk tingkat performa dan kualitas system PLTS. Jika *PR* dikatakan layak berada pada presentasi 70%-90%.

Untuk menghitung performace ratio menggunakan persamaan berikut :

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{ideal}} \times 100\% \quad (2.14)$$

$$E_{ideal} = P_{pv} \times H_{tilt}$$

2.6 Software PVsyst

PVsyst adalah perangkat lunak simulasi yang dirancang khusus untuk keperluan perencanaan dan analisis teknis sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Aplikasi ini mampu menghasilkan perhitungan yang akurat terkait kinerja sistem berdasarkan data lokasi, konfigurasi panel, inverter, dan profil beban. Selain itu, *PVsyst* juga mempertimbangkan berbagai faktor kerugian energi yang dapat

memengaruhi efisiensi sistem. Hasil keluaran dari *PVsyst* sangat bermanfaat untuk menentukan desain sistem yang optimal serta mengevaluasi kelayakan teknis dan efisiensi sistem secara menyeluruh.

Berikut merupakan output dari *software Pvsyst* :

- *Energy Production Report*

Menyediakan estimasi energi yang dihasilkan sistem dalam satuan kWh per hari, bulan dan tahun. Mencantumkan *performance Ratio (PR)* sebagai indikator efisiensi sistem secara keseluruhan, serta spesifik energi (kWh/kWp) yang menggambarkan produksi energi per satuan kapasitas terpasang.

- *System Design Parameters*

Menampilkan informasi teknis seperti jumlah panel, ukuran, konfigurasi, spesifikasi inverter, serta kapasitas baterai. Termasuk perhitungan kebutuhan beban listrik dan kesesuaian daya yang disuplai oleh sistem PLTS.

- *Loss Diagram*

Menjelaskan berbagai jenis kerugian energi, antara lain: *shading losses* (bayangan), *temperature losses* (suhu tinggi), *mismatch losses* (ketidaksesuaian panel), serta rugi-rugi kabel dan inverter. Diagram ini membantu mengidentifikasi titik-titik yang menyebabkan penurunan efisiensi sistem.

- *Solar Resource Data*

Memuat data iradiasi matahari (harian, bulanan, tahunan) berdasarkan lokasi. Juga menampilkan rekomendasi sudut kemiringan dan orientasi panel agar memperoleh penyinaran optimal.

2.7 Analisis Ekonomi

1. Biaya Awal

Biaya awal meliputi pembelian modul surya dan komponen yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTS. Semua kebutuhan biaya dari awal nanti dijumlahkan dan menghasilkan biaya awal.

2. Biaya Operasional & Maintenance (O&M)

Biaya ini sangat penting karena untuk menjaga performa PLTS agar tetap optimal. Untuk menentukan biaya O&M menggunakan persamaan berikut :

$$O\&M\ cost\ total = (1\ \% \text{ dari total biaya investasi}) \times 25 \quad (2.15)$$

3. Life Cycle Cost (LCC)

Total biaya yang dikeluarkan untuk sebuah proyek selama seluruh umur operasional. Untuk menentukan *LCC* menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$LCC = C + O\&M + R \quad (2.16)$$

Keterangan :

C : Biaya Investasi Awal

$O\&M$: Biaya Operasional & Pemeliharaan

R : Pergantian Komponen

4. *Present Worth Factor (PWF)*

Untuk mengetahui nilai sekarang dari suatu nilai uang di masa depan dengan mempertimbangkan tingkat bunga (*Discount Rate*). Menentukan hal ini menggunakan persamaan berikut :

$$PWF = LCC \frac{1}{(1+r)^{25}} \quad (2.17)$$

5. *Cash Flow Benefit dan Cash Flow Cost*

Cash Flow Benefit merupakan seluruh arus kas masuk yang diperoleh suatu proyek sedangkan *Cash Flow Cost* adalah seluruh arus kas keluar yang timbul dari proyek. Untuk menentukan hal tersebut menggunakan persamaan berikut :

$$CFB_n = CFB - O\&M \text{ tahunan} \quad (2.18)$$

Selanjutnya :

$$CFC = C + PV_{o\&m} + R \quad (2.19)$$

6. *Net Present Value (NPV)*

Untuk menentukan kelayakan PLTS dalam aspek ekonomi yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$NPV = CFB \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - C \quad (2.20)$$

7. *COE (Cost of Energy)*

Cost of Energy (COE) merupakan indikator ekonomi yang digunakan untuk menggambarkan besarnya biaya produksi energi listrik per kilowatt-jam (Rp/kWh) yang dihasilkan oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sepanjang masa operasionalnya. Perhitungan COE dilakukan dengan membandingkan total biaya yang dikeluarkan selama umur sistem, termasuk biaya investasi awal, biaya operasi dan pemeliharaan, serta biaya penggantian komponen, terhadap total energi listrik yang mampu dihasilkan oleh sistem tersebut.

$$\text{COE} = \frac{LCC \times CRF}{AKWH} \quad (2.21)$$

2.8 Penelitian Terkait

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Judul	Identitas Penulis dan Jurnal	Pembahasan Jurnal
1	Perencanaan PLTS Untuk Pompa Irigasi Sawah di Desa Ulak Aurstanding	Izzul Fazlul Alam, Abdul Azis, Perawati. <i>Jurnal Surya Energy</i> , Vol. 8 No. 1 (2023). DOI	Menyajikan perencanaan sistem PLTS untuk pompa air sawah lebak seluas 20 ha. Sistem menggunakan 50 panel 500 Wp, 56 baterai 12V, dan 2 inverter 10 kW. Menurunkan ketergantungan pada BBM dan meningkatkan intensitas tanam.
2	Rancang Bangun PLTS sebagai	Suratno, Bayu Dwi Cahyono. <i>JTE</i>	Mendesain sistem PLTS dengan dua panel 320 Wp untuk pompa

	Catu Daya Pompa Air <i>Submersible</i>	<i>UNIBA</i> , Vol. 7 No. 2 (2023).	350W. Menguji efisiensi konversi energi surya terhadap beban pompa air. Efisiensi PLTS 18–20% dan efisiensi pompa 77,3%. Cocok untuk daerah tanpa listrik.
3	Perencanaan PLTS Sebagai Suplai Pompa Air INOTO 2HP di Dusun Leran	Ogik Azis Bukhori, I Nyoman Setiawan, I Wayan Arta Wijaya. <i>Jurnal Spektrum</i> , Vol. 8 No. 4 (2021).	Simulasi dengan PVSyst menunjukkan PLTS mampu memasok kebutuhan listrik tahunan 4.194 MWh. Analisis investasi menunjukkan proyek layak dengan NPV positif dan Payback Period 4,3 tahun.
4	Penerapan Pompa Air Tenaga Surya untuk Irigasi Jagung di Musim Kemarau	Usman, Ahmad R. Idris, M.R. Djalal, et al. <i>Jurnal Abdi Insani</i> , Vol. 9 No. 4 (2022).	Implementasi SPATS tipe direct driven untuk pompa 700 W dengan panel 900 Wp. Debit air 84 l/menit (cerah) dan 53 l/menit (mendung). Menghilangkan biaya operasional bahan bakar dan cocok untuk lahan kering.
5	Rancang Bangun Irigasi Air Tanah Dangkal dengan	Sentot Purboseno, Gani Supriyanto, Budi Margono.	Fokus pada pemanfaatan air tanah dangkal di kawasan kars Gunung Kidul dengan sistem

	Pompa Tenaga Surya	<i>Seminar Nasional Prodi Teknik Pertanian Instiper Yogyakarta (2022).</i> DOI	PLTS. Sistem ini solusi terhadap keterbatasan jaringan listrik PLN dan biaya solar.
6	Analisis Kerja Panel Surya dan Arduino sebagai Sumber Tenaga Irigasi Sawah	Doni Triyanto. <i>Universitas Bandar Lampung (2020).</i>	Sistem PLTS dengan mikrokontroler Arduino dan Bluetooth HC-05. Mengatur kerja otomatis pompa air melalui smartphone. Teknologi sederhana dan hemat biaya untuk petani kecil.
7	Rekayasa Listrik Hybrid untuk Pengairan Sawah Tadah Hujan di Desa Duri	M. Mohsin, D. Riyanto, E. Kurniawan. <i>Multitek Indonesia</i> , Vol. 16 No. 2 (2022).	Sistem PLTS hybrid menggunakan panel 200 Wp untuk pompa irigasi di sawah tadah hujan. Solusi untuk musim kemarau dengan pemanfaatan energi matahari dan cadangan dari PLN.
8	Rancang Bangun Sistem Pemanenan Energi Off-Grid	Novan Akhiriyanto. <i>Jurnal Cahaya Mandalika</i> , Vol. 7 No. 2 (2023).	Sistem hybrid panel surya dan pikohidro untuk irigasi lahan rawan kekeringan. Cocok untuk lokasi jauh dari jaringan listrik

	Panel Surya & Pikohidro		dan meningkatkan efisiensi energi terbarukan.
9	Perencanaan PLTS 200 Wp untuk Sistem Pengairan Sawah Tadah Hujan	M. Mohsin, D. Riyanto, E. Kurniawan. <i>Multitek Indonesia</i> , Vol. 15 No. 2 (2021).	Mengusulkan desain PLTS kecil skala rumah tangga (200 Wp) untuk pompa irigasi. Efisiensi energi dan biaya dijelaskan secara teknis. Cocok untuk sawah skala kecil atau uji coba awal.
10	Sistem PLTS untuk Pompa Air <i>Submersible</i> Irigasi Petani Desa Sokkolia	Usman, M.R. Djalal, et al. <i>PKM Politeknik Ujung Pandang</i> (2022).	Sistem SPTAS mampu menggantikan pompa berbahan bakar minyak, meningkatkan efisiensi dan mengurangi pengeluaran petani. Cocok untuk lahan 10 ha dengan debit tinggi dan intensitas matahari stabil.

Kebaruan penelitian ini yaitu terletak pada lokasi yang berada di Kecamatan Indihiang, Kota Tasikmalaya yang memiliki wilayah dengan karakteristik sawah tadah hujan dan memiliki potensi energi surya tinggi. Penelitian ini juga menggunakan perencanaan PLTS skala mikro dengan luas 1 hektar dan dengan sistem *Off Grid* berbeda dengan menggunakan sistem *hybrid* dan skala besar. Selain itu juga, penggunaan perangkat lunak *PVsyst* untuk mensimulasikan

performa sistem. Penelitian ini juga tidak membahas teknis nya saja tetapi mempertimbangkan aspek ekonomis dengan tujuan diimplementasikan secara nyata.