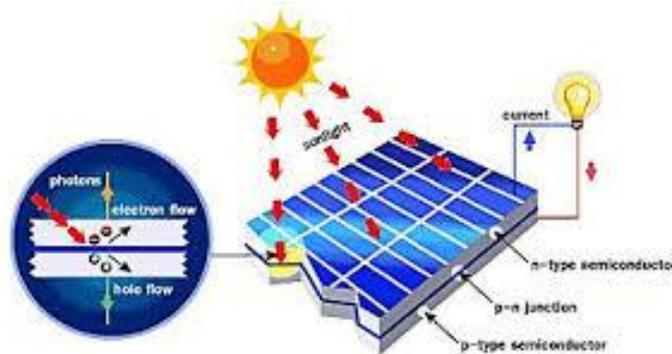


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

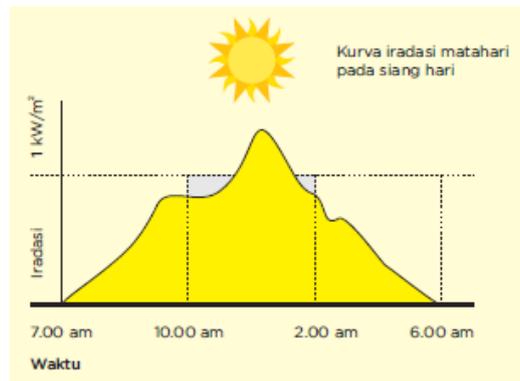
#### 2.1. Prinsip Dasar PLTS

Fenomena di mana potensi listrik yang dikembangkan dari dua bahan *fotoresponsif* setelah disinari dengan *foton*, pertama kali ditunjukkan oleh fisikawan Prancis, Alexandre Edmond Becquerel, pada tahun 1839 (Ghosh & Yadav, 2021). Tenaga surya merupakan merupakan salah satu energi baru dan terbarukan yang bersih dan bebas emisi (Khaligh & Onar, 2017). Energi dari tenaga surya sudah banyak di aplikasikan salah satunya yaitu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi surya dari matahari menjadi energi listrik. Teknologi yang banyak digunakan untuk memanfaatkan sinar matahari menjadi energi listrik adalah dengan *Photovoltaic (PV)*. *Photovoltaic* adalah peralatan utama yang digunakan untuk merubah sinar matahari menjadi energi listrik (Khaligh & Onar, 2017) seperti di sajikan pada Gambar 2. 1.



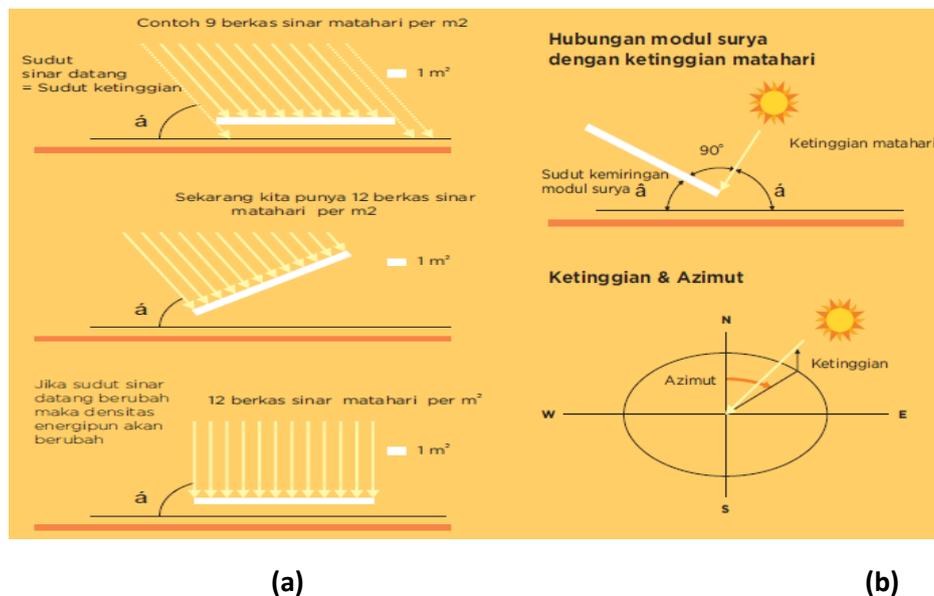
Gambar 2. 1. Prinsip kerja panel surya  
Sumber : (Khaligh & Onar, 2017).

Berdasarkan besaran iradiasi sinar matahari yang di terima oleh sel surya terjadi fluktuasi karena pengaruh waktu dan tentunya akan mempengaruhi besaran tegangan, arus dan daya yang dihasilkan (Khaligh & Onar, 2017). Kecepatan di mana energi matahari mencapai kawasan bumi disebut dengan "*solar irradiance*" atau "*insolation*". *Insolation* adalah ukuran energi radiasi matahari yang diterima di suatu kawasan bumi pada suatu waktu. Satuan ukuran untuk *irradiance* adalah watt per meter persegi ( $W/m^2$ ) atau ( $kW/m^2$ ) (De Vries et al, , 2011).



Gambar 2. 2. Kurva Iradiasi Matahari  
Sumber : (DeVries, 2011).

Selain itu tenaga surya yang di manfaatkan juga dipengaruhi oleh sudut pancaran matahari di bumi serta ketinggian dan sudut Azimut. Ditunjukkan seperti Gambar 2. 3 (DeVries, 2011).



Gambar 2. 3. (a) Efek Geometri (b) Azimuth ketinggian matahari

Sumber : (DeVries, 2011).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada PV modul yang terdiri dari sel surya. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari silicon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Dengan hubungan seri-paralel, sel surya/sel fotovoltaik dapat digabungkan menjadi PV modul dengan jumlah sekitar 40 sel surya, selanjutnya rangkaian pv modul akan membentuk suatu PV array. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik

DC (*direct current*) yang dapat diubahnya menjadi listrik AC (*Alternating current*) apabila diperlukan.

## 2.2. Sistem PLTS

Berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem PLTS yang tidak terhubung jaringan (*off-grid PV plant*), atau yang lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand alone*) dan menggunakan baterai untuk menyimpan energy. Sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (*on-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *grid-connected*. Apabila PLTS dalam penggunaannya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem *hybrid* (Syahputra & Soesanti, 2021). PLTS *off-grid* banyak diterapkan di daerah terpencil yang belum mendapatkan aliran listrik dari perusahaan listrik negara, namun bisa juga di terapkan di perumahan. Berdasarkan lokasi pemasangan sistem PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu, sistem PLTS pola tersebar (*distributed PV plant*) dan sistem PLTS pola terpusat (*centralized PV plant*).



Gambar 2. 4. Sistem PLTS  
Sumber : (Syahputra & Soesanti, 2021).

## 2.3. Jenis Sel surya

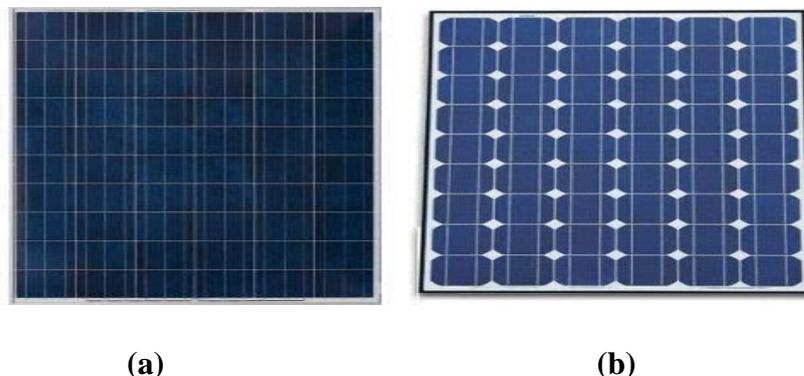
Untuk menentukan bagus tidaknya sebuah sel surya digunakan istilah *Efficiency*. Menentukan nilai efisiensi ini menggunakan rumus yang ada dengan berbagai persyaratan dan dihitung dalam persen (%). Namun dapat definisikan saja secara sederhana yaitu, perbandingan energi listrik yang dihasilkan dari suatu sel surya terhadap energi sinar matahari yang mengenai permukaan sel surya tersebut (Kadang, 2021). Berdasarkan jenis bahanya PV Dolar sel dibagi menjadi tiga jenis yakni polikristal, monokristal dan amorphous (amorfo) (Khaligh & Onar, 2017).



Gambar 2. 5. Jenis-jenis Sel Surya  
 Sumber : (Khaligh & Onar, 2017).

Bagian dari teknologi *Si-Crystalline* adalah mono-crystal (Mono-C), *polycrystalline* (Poly-C), hybrid silicone dan pembungkus emitor melalui sel dan lain sebagainya, sedangkan berbagai jenis teknologi thin film adalah *amorphous silicon* (a-Si), *cadmium telluride* (CdTe) atau *sulphide* dan *copper indium gallium diselenide* (CIGS) dan lain sebagainya (Ghosh et al., 2017).

Di Indonesia jenis sel surya yang banyak di pasaran merupakan bahan baku silicon yaitu *Polycrystalline* dan *monocrystalline*. Pada penelitian (Pattanapong Jumrusprasert, Geoff Smith, 2008), pada kondisi panel tetap dengan sudut kemiringan 30° C, dan menghadap selatan, serta pengambilan data dilakukan dalam satu tahun menghasilkan bahwa *monocrystalline* mempunyai efisiensi 6,8%, dan *polycrystalline* mempunyai efisiensi 5,7%. Menurut penelitian (Hidayanti, 2020) sel surya *monocrystalline* mempunyai efisiensi lebih tinggi dari pada *polycrystalline* dimana *monocrystalline* mempunyai efisiensi sebesar 9,22% sedangkan *polycrystalline* sebesar 7,94%.

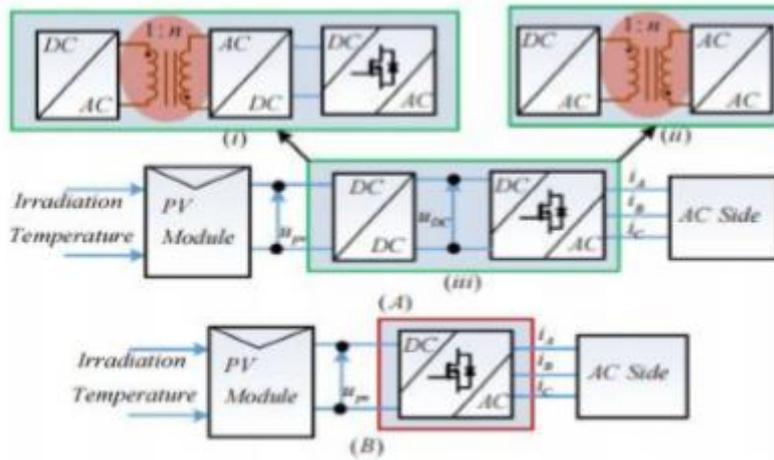


Gambar 2. 6. (a)Panel surya jenis polikristal (b) Panel surya jenis monokristal  
 Sumber : (Khaligh & Onar, 2017).

## 2.4. Inverter

*Inverter* merupakan peralatan utama untuk mengubah energi listrik dihasilkan oleh modul sel surya arus searah (DC) menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC) dengan karakteristik dan kualitas yang diperlukan sebelum dikirim ke jaringan atau dikonsumsi langsung oleh konsumen (G.A. Rampinelli a, A. Krenzinger b, 2014). *Sizing Factor Inverter* (SFI) menetapkan hubungan antara daya inverter dan daya modul sel surya pada *Standard Test Condition* (STC) (Leticia Toreti Scarabelot & Arns Rampinelli, 2021).

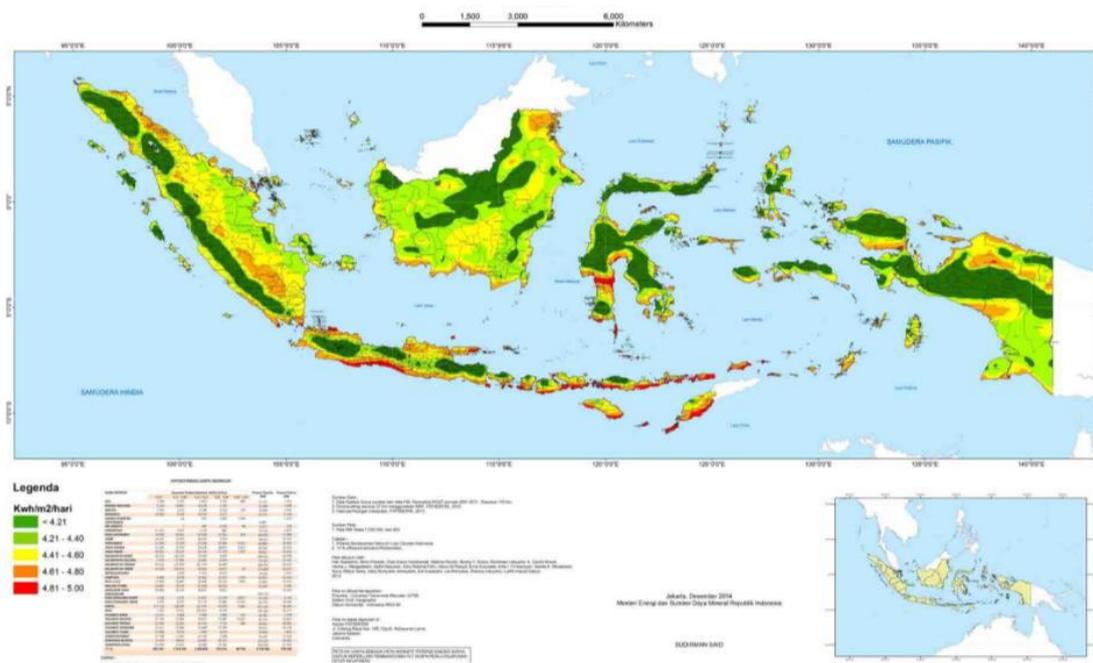
SFI adalah rasio perbandingan antara daya dari inverter dengan daya dari PV sel surya sehingga kedua peralatan tersebut dapat bekerja dengan aman dan efisien. Berdasarkan hasil penelitian (Rodrigo et al., 2016) angka SFI untuk PV sel surya berbahan dasar *silicon* (Si) sebesar 1,05 dan untuk berbahan dasar *cadmium tellurium* (CdTe) sebesar 0,95. Berdasarkan penelitian yang lain rasio ukuran daya inverter-ke-PV array sel surya yang dapat memaksimalkan hasil energi ditemukan bervariasi antara 1,72 dan 1,59 untuk beberapa inverter, dan antara 1,51 dan 1,18 untuk inverter yang lain, dimana pengukuran tersebut dilakukan per jam atau permenit pada inverter yang diuji (Rodrigo et al., 2016). Efisiensi inverter menjadi maksimal ketika daya keluaran inverter mendekati daya masuk inverter, sedangkan efisiensi inverter menjadi rendah terjadi ketika inverter memasok daya yang rendah (Omar & Mahmoud, 2021). Terdapat beberapa masalah saat pemrosesan daya dari sumber energi terbarukan yang dilakukan dengan menggunakan konverter daya, seperti efisiensi dan biaya sebagai faktor utamapermasalahan tersebut (Patrao et al., 2011). Untuk PV sel surya yang terhubung ke sistem jaringan pada umumnya memerlukan transformator yang beroperasi pada frekuensi rendah maupun tinggi sehingga memerlukan isolasi galvanik antara PV sel surya dan sistem jaringan listrik. Hal tersebut yang menyebabkan biaya investasi menjadi mahal. Untuk mengatasi tingginya biaya diusulkan inverter tanpa transformator yang lebih efisien dari segi biaya karena biaya instalasi dan operasi menjadi lebih murah (Patrao et al., 2011). Terdapat dua jenis inverter tanpa transformator untuk sistem PV, yaitu *MultiStage Power Conversion* (MSPC) dan *Single-Stage Power Conversion* (SSPC) (Dogga & Pathak, 2019) seperti disajikan Gambar 2. 7.



Gambar 2. 7. A) MSPC B) SSPC  
 Sumber : (Dogga & Pathak, 2019)

## 2.5. Potensi Energi Matahari

Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun. Dengan letaknya di daerah katulistiwa, matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya (esdm.go.id).Telah dinyatakan oleh kementerian ESDM melalui pemetaan persebaran intensitas matahari Indonesia seperti Gambar 2. 8.



Gambar 2. 8. Intensitas Radiasi Matahari Indonesia  
 Sumber : (esdm.go.id)

Sebagai negara tropis yang terbentang di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar dan relatif stabil sepanjang tahun. Aplikasi dari energi surya ini ada dua macam, yaitu sebagai solar thermal untuk aplikasi pemanasan dan solar photovoltaic untuk pembangkitan tenaga listrik (Kurniawan, 2016)

Hampir seluruh wilayah Indonesia memiliki potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan daya rata-rata mencapai 4 kWh/m<sup>2</sup>. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia menunjukkan bahwa radiasi matahari Indonesia dapat diklarifikasi untuk dua kawasan, yakni (Saharuddin, 2017):

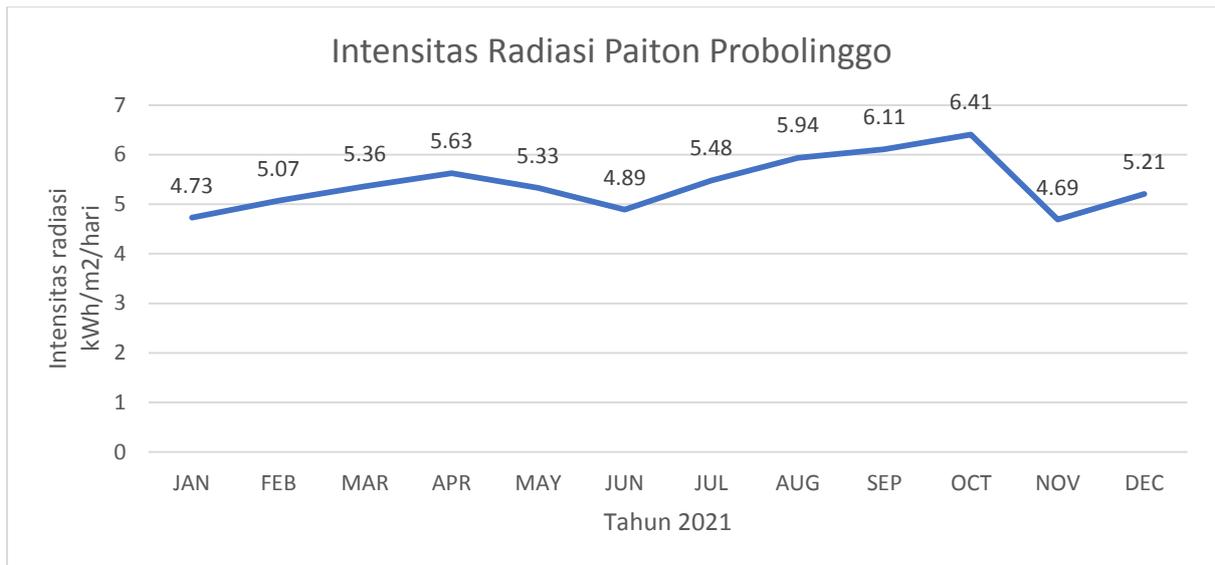
- Kawasan Barat Indonesia (KBI) = 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dengan variasi bulanan sekitar 10%
- Kawasan Timur Indonesia (KTI) = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dengan variasi bulanan sekitar 9%

Data tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan radiasi matahari di KTI lebih tinggi dan lebih merata sepanjang tahun dibandingkan dengan KBI.

Kecamatan Paiton di Kabupaten Probolinggo memiliki potensi radiasi matahari yang baik dan stabil. Apalagi letaknya yang dekat dengan pesisir pantai laut Jawa. Data rata-rata intensitas radiasi matahari Paiton mencapai 5.41 kWh/m<sup>2</sup>/hari pada tahun 2021 (NASA, 2022).

Tabel 2. 1. Data intensitas radiasi matahari di Paiton tahun 2019 s/d 2021

2019		2020		2021	
Bulan	Intensitas Energi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Bulan	Intensitas Energi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)	Bulan	Intensitas Energi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	5,06	Januari	5,54	Januari	4,73
Februari	5,65	Februari	5,53	Februari	5,07
Maret	5,21	Maret	5,51	Maret	5,36
April	5,47	April	5,42	April	5,63
Mei	5,64	Mei	5,00	Mei	5,33
Juni	5,34	Juni	5,17	Juni	4,89
Juli	5,50	Juli	5,39	Juli	5,48
Agustus	6,16	Agustus	6,04	Agustus	5,94
September	6,71	September	6,58	September	6,11
Oktober	6,98	Oktober	5,92	Oktober	6,41
November	6,71	November	5,80	November	4,69
Desember	5,84	Desember	4,66	Desember	5,21
Rata-rata	5,86	Rata-rata	5,54	Rata-rata	5,41
Total/tahun	2.138,9	Total/tahun	2.022,1	Total/tahun	1.974,65



Gambar 2. 9. Intensitas Radiasi Matahari di Paiton, Probolinggo  
Sumber : (NASA, 2022)

## 2.6. Parameter Pemasangan Photovoltaik

Faktor pengoperasian maksimum solar cell sangat tergantung pada:

- a. Temperatur Ambient.
- b. Radiasi solar matahari.
- c. Kecepatan angin bertiup.
- d. Keadaan atmosfer bumi.
- e. Orientasi panel atau array PV (photovoltaik).
- f. Posisi letak sel surya (array) terhadap matahari (*titl angle*) (Sunaryo,2014).

## 2.7. Simulasi Helioscope

HelioScope merupakan sebuah program berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para insinyur untuk melakukan simulasi lengkap perencanaan berupa tampilan 3D sehingga pengguna mampu mengetahui potensi shading ataupun performa masing-masing panel yang akan di tempatkan dari berbagai bidang posisi (Wicaksana, 2019).

Prinsip kerja dari simulasi ini menggunakan data input berupa spesifikasi teknis PLTS seperti teknologi modul surya, jenis inverter, jumlah dan jenis modul yang akan digunakan, dan luas area PLTS, sedangkan data lokasi PLTS mencakup koordinat, jenis bangunan atau lahan, lingkungan sekitar PLTS dan data meteorologi pada area penelitian (Wicaksana, 2019).



Gambar 2. 10. Tampilan aplikasi Helioscope

Data yang digunakan HelioScope adalah data cuaca yang berasal dari stasiun cuaca di seluruh dunia dengan analisis *TMY weather* yaitu pemilihan kondisi cuaca yang sesuai dengan keadaan saat itu berdasarkan data 30 tahun terakhir (Wicaksana, 2019). Setelah disimulasikan maka akan didapatkan hasil berupa data estimasi produksi energi pada area penelitian. Hasil simulasi yang diperoleh oleh HelioScope tidak bisa menjadi acuan sepenuhnya dalam perkiraan energi yang dihasilkan oleh PLTS *Ash Disposal*, dikarenakan ada beberapa faktor yang mampu mempengaruhi PLTS dalam membangkitkan energi listrik pada kondisi riil sebagai contoh debu dan kotoran yang bisa terdapat kapan saja pada panel surya.

## 2.8. Analisis Kuantitatif dan Evaluatif

Dalam penyusunan proposal tesis ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis kuantitatif dan Evaluatif. Fungsi utama evaluasi adalah menyediakan informasi-informasi yang berguna bagi pengambil kebijakan untuk menentukan kebijakan yang akan diambil berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan (Ariawan, 2022). Sementara Analisis Kuantitatif adalah analisis data-data yang dikuantifikasikan dengan model matematis (Diana, 2020).

### 2.8.1. Studi Dokumentasi

Studi dokumentasi dilakukan dalam penelitian ini dengan memanfaatkan data sekunder dari laporan pelaksanaan pembangunan PLTS, Single Line diagram, Hasil simulasi Helioscope, data radiasi matahari dari NASA dan dokumen terkaitlainya. Hali dilakukan untuk mendapatkan data informasi yang bermanfaat bagi modal dasar pelaksanaan analisis yang selanjutnya. Selain itu juga dilakukan agar bisa dilakukan perbandingan antara data desain dengan data aktual dilapangan apakah sesuai dengan teori.

### 2.8.2. Analisis Aspek Performa Sistem Secara Teknis

Analisis aspek performa sistem secara teknis dilakukan dengan menghitung 3 (tiga) kategorisistem PLTS, yaitu: *final yield* (YF), *reference yield* (YR), dan *performance ratio* (PR) berdasarkan standar IEC 61724 (Ariawan, 2022).

#### a. Hasil Akhir/*Final Yield* (YF)

Diperoleh dari perhitungan produksi energi listrik setelah pemasangan sistem PLTS (kWh) dibagi dengan daya puncak yang dihasilkan dari PV array (kWp). Nilai *final yield* (YF) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$YF = \frac{E_{pv}}{P_o} \quad (2.1)$$

Dimana:

YF : Produksi energi yang dihasilkan PLTS per daya terpasang

$E_{pv}$  : Energi yang dihasilkan PLTS (kWh)

$P_o$  : Daya PLTS yang terpasang (kWp)

#### b. Hasil Acuan/*Reference Yield* (YR)

Diperoleh dari nilai total radiasi cahaya matahari dalam satu bidang permukaan bumi ( $H_t$ ) dengan satuan kWh/m<sup>2</sup> dibagi radiasi referensi saat kondisi ideal/STC ( $G_{stc}$ ) dengan nilai 1.000 W/m<sup>2</sup>. Nilai *reference yield* (YR) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$YR = \frac{H_t}{G_{stc}} \quad (2.2)$$

Dimana:

YR : Potensi energi yang dihasilkan PLTS saat kondisi ideal/STC

$H_t$  : Radiasi pada bidang array (kWh/m<sup>2</sup>)

$G_{stc}$  : Radiasi referensi saat kondisi ideal/STC (1.000 W/m<sup>2</sup>)

#### c. Rasio Kinerja/*Performance Ratio* (PR)

Diperoleh dari perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh arus DC dengan daya keluaran pada arus AC. Nilai *performance ratio* (PR) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PR = \frac{YF}{YR} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana:

PR : *Performance ratio* atau rasio kinerja (%)

YF : *Final yield* atau hasil akhir

YR : *Referance yield* atau hasil acuan

### 2.8.3. Analisis Aspek Ekonomi

Analisis aspek ekonomi dilakukan dengan cara menghitung kelayakan investasi melalui nilai *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Periode* (PP) dari proyek pemanfaatan PLTS terpasang di ash disposal.

#### a. Biaya

Pamaneter biaya terdiri atas biaya investasi dan biaya operasional maupun perawatan. Biaya investasi terdiri dari biaya pelaksanaan pembangunan PLTS. Biaya operasional dan perawatan diasumsikan sebesar 1%-2% dari biaya investasi.

$$\text{Biaya} = \text{Investasi Awal} + \text{Operasional \& Perawatan} \quad (2.4)$$

#### b. *Net Present Value* (NPV)

Nilai NPV menentukan kelayakan dari suatu investasi, bila nilai NPV positif maka proyek tersebut layak, namun bila nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan.

Perhitungan NPV dibuat dengan proyeksi perhitungan pendapatan dan biaya yang terjadi selama masa proyek yang umumnya 20-25 tahun (Ramadhan dan Rangkuti, 2016) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{NPV} = \text{PWB} - \text{PWC} \quad (2.5)$$

$$\text{NPV} = \sum_{t=0}^n Cb_t(FBP)_t - \sum_{t=0}^n Cc_t(FBP)_t$$

Dimana:

NPV : *Net Present Value* (Rp)

PWB : *Present worth Benefit* (Rp)

PWC : *Present worth Cost* (Rp)

Cb : *Cashflow Benefit* (Rp)

Cc : *Cashflow Cost* (Rp)

FPB : *Faktor Bunga Present*

n : Umur investasi/proyek infrastruktur (tahun)

t : Lama investasi (tahun)

#### c. *Benefit Cost Ratio* (BCR)

Jika BCR lebih besar dari 1, maka proyek tersebut layak karena nilai manfaat yang dihasilkan selama umur ekonomis proyek lebih besar dari biaya dan investasi, bila nilai BCR kurang dari 1 menunjukkan proyek tersebut benefit tidak baik (*unfeasible*). Nilai perhitungan BCR (Newnan, dkk. 2004) dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{BCR} = \frac{\text{PWB}}{\text{PWC}} \quad (2.6)$$

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n Cb_t(FBP)_t}{\sum_{t=0}^n Cc_t(FBP)_t}$$

Dimana:

BCR : *Benefit Cost Ratio*

PWB : *Present Worth Benefit* (Rp)

PWC : *Present Worth Cost* (Rp)

Cb : *Cashflow Benefit* (Rp)

Cc : *Cashflow Cost* (Rp)

FPB : *Faktor Bunga Present*

n : *Umur investasi/proyek infrastruktur* (tahun)

t : *Lama investasi* (tahun)

#### d. *Payback Period (PP)*

*Payback Period* (PP) digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi (Ramadhan dan Rangkuti, 2016). *Payback Period* (PP) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PP = (n - 1) + \frac{\text{Arus Kas Bersih Kumulatif tahun } n-1}{\text{Arus Kas Bersih tahun } n} \times 1 \text{ tahun} \quad (2.7)$$

Dimana:

PP : *Payback Period* (tahun)

n : *Umur investasi/proyek infrastruktur* (tahun)

Bila periode waktu PP lebih pendek dari umur proyek maka investasi proyek akan dinilai layak dan bila periode waktu PP lebih panjang dari umur proyek maka investasi proyek dinilai belum layak.

#### e. *Perhitungan Pajak Karbon*

Perhitungan pajak karbon dilakukan dengan aturan yang dikeluarkan Kemenkeu, 2021 seperti persamaan berikut:

$$\text{Batas Atas Emisi} = \text{Ratio Emisi} \times E \text{ PLTU} \quad (2.8)$$

$$DPP = \text{Total Emisi GRK} - \text{Batas Atas Emisi} \quad (2.9)$$

$$\text{Pajak Terutang} = DPP \times \text{tarif pajak} \quad (2.10)$$

$$\text{Pengurang Pajak (SIE/SPE)} = DPP \times \text{tarif pengurang pajak} \quad (2.11)$$

$$\text{Bayar Pajak} = \text{Pajak Terutang} - \text{Pengurang Pajak} \quad (2.12)$$

Dimana:

Batas Atas Emisi : jumlah emisi GRK (tonCO<sub>2</sub>e)

E PLTU : *Produksi Listrik Bruto PLTU* (MWh)

DPP : *Dasar Pengenaan Pajak* (tonCO<sub>2</sub>e)

Pajak	: Rupiah (Rp)
Ratio Emisi	: 0,918 (tonCO <sub>2</sub> e/MWH)
Batas Atas Emisi	: 5.800.000 (tonCO <sub>2</sub> e)
Tarif pajak	: Rp. 30.000 (tonCO <sub>2</sub> e)
Pengurang pajak	: Rp. 30.000 (tonCO <sub>2</sub> e)

#### **2.8.4. Analisis Aspek Lingkungan**

##### **a. faktor emisi (*CO<sub>2</sub> saved equivalent*)**

Perhitungan penurunan emisi GRK dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Ditjen Ketenagalistrikan, 2019):

$$\text{Penurunan Emisi} = E \times FE \quad (2.13)$$

Dimana:

E : Penghematan energi fosil (MWh)

FE : Faktor emisi grid Jamali PLN (0,84 tonCO<sub>2</sub>e/MWh)

##### **b. faktor penurunan penggunaan batubara (*Coal Saved equivalent*)**

Perhitungan penurunan pemakaian batubara ekuivalen dengan pemanfaatan PLTS dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CSE = \text{Total konsumsi batubara} / \text{Total Produksi Listrik PLTU} \quad (2.14)$$

$$\text{Penurunan Batubara} = E \times CSE \quad (2.15)$$

Dimana:

E : Penghematan energi fosil (MWh)

CSE : Coal saved Equivalent (0,5 ton/MWh) (Mcginley.co.uk)

##### **c. faktor penurunan penggunaan BBM (*Fuel saved equivalent*)**

Perhitungan penurunan penggunaan BBM dengan pemanfaatan PLTS dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (generatorsource.com):

$$\text{Penurunan BBM} = E \times FSE \quad (2.16)$$

Dimana:

E : Penghematan energi fosil (MWh)

FSE : Fuel Saved Equivalent (0,24 liter/kWh)

##### **d. faktor penanaman pohon baru (*trees planted equivalent*)**

Pohon dan PLTS adalah sebuah keadaan yang saling bertentangan karena keberadaan pohon bila berlokasi di dekat PLTS akan menyebabkan *shading*, akan tetapi hal ini tetap dilakukan perhitungan dengan harapan memberi gambaran pemanfaatan PLTS sebanding dengan jumlah pohon baru yang mungkin tertanam. Perhitungan sebagai berikut (encon.be):

$$\text{Pohon Baru} = \text{Penurunan Emisi} \times \text{TPE} \quad (2.17)$$

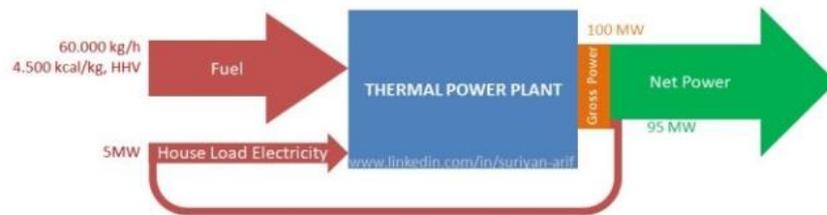
Dimana:

Penurunan Emisi : penurunan emisi (tonCO<sub>2</sub>e)

TPE : Trees Planted Equivalent (4,999 Pohon/tonCO<sub>2</sub>e)

### 2.8.5. Analisis Aspek Kontribusi

Analisis aspek kontribusi dilakukan dengan cara membandingkan realisasi besaran produksi energi listrik PLTS terhadap pemakaian listrik pada beban pemakaian sendiri (Auxiliary load). *Net Plant Heat Rate* (NPHR) adalah indikator kinerja pembangkit yang menunjukkan seberapa efisien pembangkit tersebut mengkonversi energi bahan bakar menjadi energi listrik yang disalurkan ke jaringan. Sehingga semakin rendah nilai NPHR semakin baik kinerja pembangkit tersebut (Suriyan, 2022)



Gambar 2. 11. Skema Aliran Energi PLTU

Sumber : (Suriyan, 2022)

Sementara untuk perkiraan diasumsikan penurunan produksi 1-2% tiap tahun. Persamaan yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\text{NPHR} = \frac{\text{Fuel flow X High Heating Value}}{\text{Gros Power Output} - \text{Auxiliary Power Load}} \quad (2.18)$$

$$\text{Kontribusi} = \frac{\text{Produksi PLTS}}{\text{Produksi PLTS} + \text{Auxiliary Power Load}} \times 100\% \quad (2.19)$$

$$\text{Penghematan} = \frac{\text{Produksi PLTS}}{\text{Produksi PLTS} + \text{Load area Ash disposal}} \times 100\% \quad (2.20)$$

Dimana:

NPHR : Nett Plant Heat Rate (kCal/kWh)

Fuel Flow : Rate konsumsi bahan bakar (Ton/jam)

HHV : High Heating Value/ nilai kalori bahan bakar (kCal/Ton)

Gross Power Output : Jumlah Energi yang dibangkitkan (MWh)

Auxiliary Power Load : Beban Pemakaian Sendiri (MWh)

Produksi PLTS : Energi Output PLTS (MWh)

Load Area A. D : Beban Pemakaian Sendiri di area A. D (MWh)