

BAB 2.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia merupakan negara kepulauan. Dengan jumlah pulau yang dapat diperkirakan mencapai 17.504 dengan total penduduk mencapai 267 juta jiwa dan akan terus meningkat setiap tahunnya. Meningkatnya jumlah penduduk akan berbanding lurus dengan kebutuhan penggunaan listrik dalam keberlangsungan kehidupan sehari-hari (Ditjen GATRIK, 2016). Energi tenaga listrik menjadi salah satu yang diperlukan dalam pembangunan. Namun sumber energi listrik di Indonesia Masih banyak mempergunakan hasil konversi dari energi fosil seperti batu bara, gas dan minyak bumi. Sumber energi fosil ini lama kelamaan semakin menipis dan harganya terus naik. Pada negara-negara industri terjadi peningkatan 70% antara tahun 2000 sampai tahun 2030 (Hasan, 2012).

Bekurangnya ketersediaan energi berasal dari fosil seperti batu bara dan minyak bumi, menyebabkan terjadi peningkatan akan kesadaran untuk usaha melestarikan lingkungan. Hal ini menjadi penyebab untuk generasi agar berpikir cermat dalam mencari solusi alternatif energi baru dan terbarukan dengan cara memanfaatkan potensi sumber daya setempat yang ramah akan lingkungan. Diantara banyak yang dapat digunakan sebagai sumber-sumber energi terbarukan, energi surya mampu menjadi alternatif yang banyak dikembangkan (Tyagi et al., 2013).

2.2 Pemanfaatan Energi Surya

Fakta menunjukkan konsumsi energi meingkan searah dengan laju pertumbuhan ekonomi serta penambahan penduduk. Keterbatasan pada energi fosil saat ini berdampak pada *urgensi*-nya pengembangan *renewable energi* dan konservasi energi. Di Indonesia terdapat beberapa energi yang dalam pemanfaatannya sudah dikembangkan secara komersial, yaitu; biomassa, panas bumi, dan tenaga air.

Daratan Indonesia memiliki luas kurang lebih 2 juta km² sehingga energi surya yang kira-kira dapat dihasilkan sebesar 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000

GWp. Indonesia baru memanfaatkan limbah energi itu sekitar 10 MWp, yang berarti masih banyak dibutuhkan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya untuk sebagai penopang kebutuhan energi (Sukmajati and Hafidz, 2015).

Pemanfaatan energi surya secara termal telah menjadi solusi yang menarik dalam menyediakan sumber energi bersih dan terbarukan. Teknologi ini memungkinkan konversi sinar matahari menjadi energi termal, yang dapat digunakan untuk pemanasan air, pendinginan, dan bahkan pembangkitan listrik. Sistem pemanfaatan energi surya termal biasanya terdiri dari kolektor surya yang menyerap energi matahari dan menggunakan fluida khusus untuk mengalirkannya ke dalam sistem yang memanfaatkannya. Proses ini secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak negatif lainnya terhadap lingkungan, sekaligus meminimalkan ketergantungan pada sumber energi fosil (*International Energy Agency, 2023*).

Pemanfaatan energi surya secara elektrikal telah menjadi alternatif yang menjanjikan dalam menyediakan sumber energi bersih dan terbarukan. Dengan menggunakan sel surya atau panel surya, energi matahari diubah langsung menjadi listrik melalui efek fotovoltaiik. Sistem pemanfaatan energi surya ini dapat diaplikasikan secara terpusat maupun terdesentralisasi, memungkinkan penggunaan di berbagai skala, dari rumah tangga hingga instalasi industri. Penggunaan energi surya elektrikal membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca, berkontribusi positif pada upaya mitigasi perubahan iklim global. (*National Renewable Energy Laboratory, 2023*)

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sistem pembangkit energi listrik yang dapat mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat baik untuk kegiatan sehari-hari maupun kegiatan industri. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik dengan arus searah atau DC (direct current), yang dapat diubah menjadi listrik arus bolak-balik AC (alternating current) sehingga dapat digunakan oleh berbagai macam peralatan yang menggunakan energi listrik. (Surya, 2015)

Pembangkit listrik berbasis energi terbarukan ini merupakan salah satu solusi yang direkomendasikan untuk listrik di daerah pedesaan terpencil di mana sinar matahari melimpah. Ada beberapa jenis sistem PLTS yang ada saat ini baik untuk sistem yang tersambung ke jaringan listrik PLN (*On-Grid*) maupun sistem PLTS yang berdiri sendiri atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (*Off-Grid*). Saat ini PLTS terpusat dan PLTS Hybrid banyak digunakan yang bertujuan untuk memperoleh dan menggunakan energi listrik yang lebih tinggi serta mencapai keberlanjutan sistem yang lebih baik.

2.3.1 Klasifikasi PLTS Berdasarkan Sistem Koneksi dengan Jaringan

Umumnya sistem PLTS dapat dibagi berdasarkan sistem koneksinya dengan jaringan yang terdiri dari:

1. PLTS Sistem *On-grid* (Terinterkoneksi)

Sistem merupakan sistemnya yang terhubung dengan jaringan listrik PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini banyak dapat ditemui di perkotaan yang sudah menggunakan jaringan listrik PLN, dengan tujuan penghematan penggunaan daya listrik PLN sehingga berharap akan memberikan dampak pada mengecilnya tagihan listrik PLN (Gunoto and Sofyan, 2020)

Sistem ini memiliki keunggulan lebih hemat biaya bila di bandingkan sistem *Off-grid* memerlukan komponen pembangkit listrik yang lebih banyak tergantung dari pada permintaan beban dari konsumen, meski demikian, pada sisi lain *On-Grid* harus memiliki system yang handal sebab pada system ini terjadi *system switching* antara PLN dan PLTS dalam kurun waktu yang telah ditentukan pada sistem kontrol, karena itu sistem *On-grid* dapat dikatakan lebih rumit dan memerlukan sistem control yang handal.

2. Sistem *Off-grid* (Tidak Terkoneksi)

Pada sistem ini menyediakan listrik untuk daerah-daerah pelosok yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Sistem ini merupakan sitem PLTS yang tidak terhubung dengan sistem pembangkit listrik lainnya dan hanya mengandalkan satu-satunya sumber pembangkit listrik yaitu hanya menggunakan radiasi dari sinar matahari dengan bantuan panel surya untuk

dapat menghasilkan energi listrik. Karena teknologi ini merupakan salah satu teknologi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik bagi masyarakat yang jauh dari jaringan listrik namun berlimpah akan tenaga surya, dan seringkali menggunakan baterai untuk menampung energi yang dihasilkan untuk dinyalakan pada malam hari ketika tidak terdapat cahaya matahari lagi (Gunoto and Sofyan, 2020).

3. Sistem *Hybrid* (Kombinasi)

Sistem ini merupakan sistem yang dikombinasikan antara dua atau lebih sistem pembangkit lainnya dan biasanya sumber dari pembangkit yang digunakan yaitu, energi solar, mikrohidro, energi angin, dan genset maupun sistem penyimpanan menggunakan baterai. Contoh sistem PLTS hybrid PLTS-Genset, umumnya menggunakan genset yang tidak terhubung dengan jaringan PLN atau yang disebut dengan genset yang berdiri sendiri. (Gunoto and Sofyan, 2020).

2.3.2 Klasifikasi PLTS Berdasarkan Posisi Pemasangan Panel Surya

Selain daripada klasifikasi sistem PLTS terhubung ke jaringan atau tidaknya, panel surya juga dapat dibagi berdasarkan posisi pemasangannya yang terdiri dari:

1. PLTS *Ground Mounted* (dipasang diatas permukaan tanah)



Gambar 2.1 PLTS Ground (Ditjen EBTKE, 2020)

2. PLTS *Rooftop* (dipasang diatas atap atau dapat terintegrasi dengan atap)



Gambar 2.2 PLTS di atas atap dan terintegrasi dengan atap (Ditjen EBTKE, 2020)

3. PLTS Terapung



Gambar 2.3 PLTS Terapung (Ditjen EBTKE, 2020)

2.3.3 Klasifikasi PLTS Berdasarkan Desain Sistem

1. PLTS Terpusat

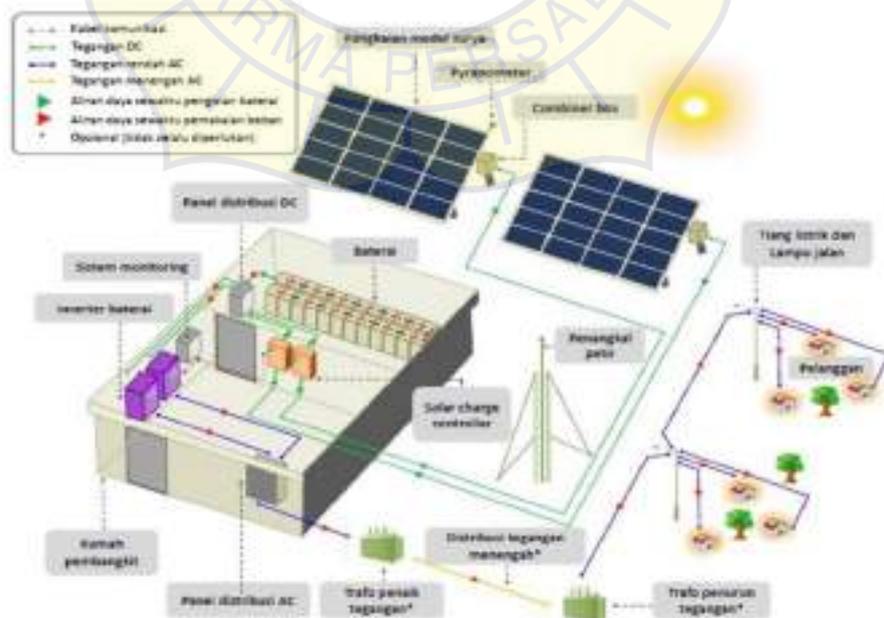
Sistem yang modul fotovoltaiknya didesain secara terpusat (dalam satu area) dan memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beban (Ditjen EBTKE, 2020).

2. PLTS Tersebar / Terdistribusi

Sistem yang modul fotovoltaiknya didesain secara tersebar dan pada umumnya tidak memiliki sistem jaringan distribusi, sehingga setiap pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri (Ditjen EBTKE, 2020).

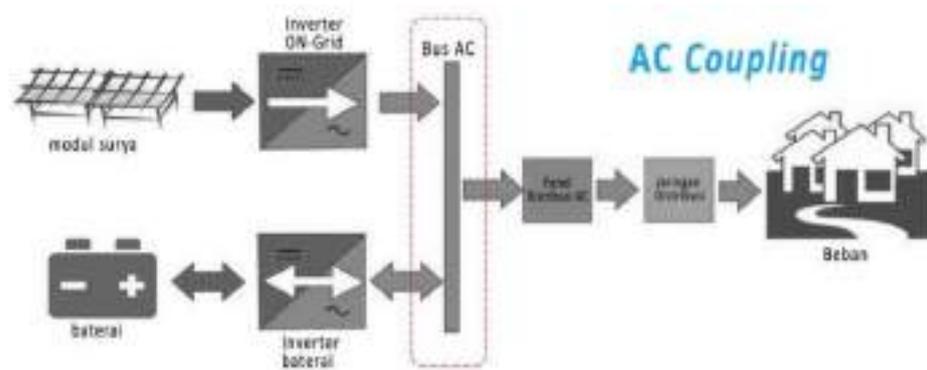
2.4 Komponen Utama Sistem PLTS

Diagram instalasi PLTS secara umum

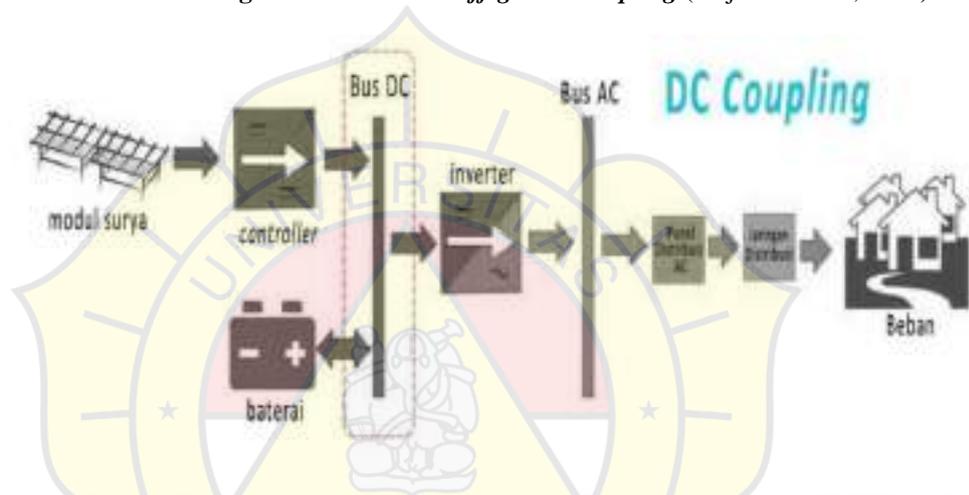


Gambar 2.4 Blok diagram sistem PLTS *copling* (Ditjen EBTKE, 2020)

1. PLTS Off-Grid

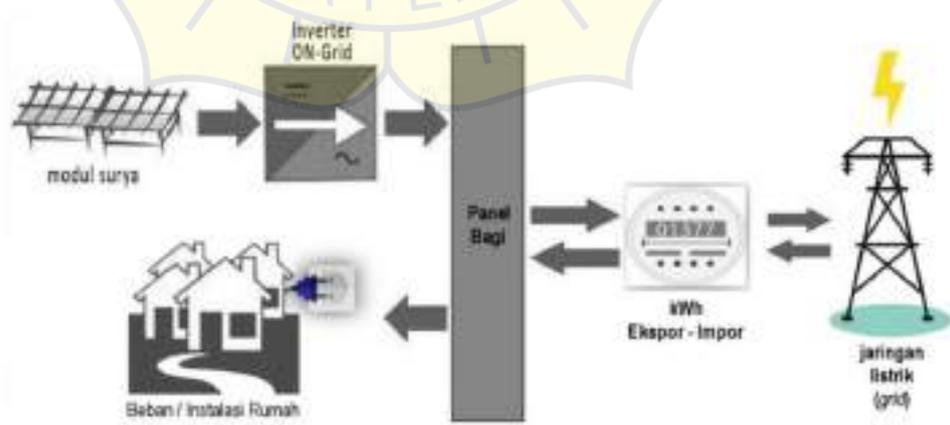


Gambar 2.5 Diagram sistem PLTS off-grid AC coupling (Ditjen EBTKE, 2020)



Gambar 2.6 Diagram sistem PLTS Off-grid tipe DC coupling (Ditjen EBTKE, 2020)

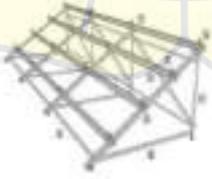
2. PLTS On-Grid



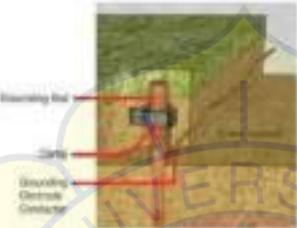
Gambar 2.7 Diagram sistem PLTS On-Grid coupling (Ditjen EBTKE, 2020)

3. Komponen PLTS

Tabel 2.1 Komponen PLTS (Ditjen EBTKE, 2020)

Nama Komponen dan Gambar		Fungsi / Keterangan	Prediksi
Modul Fotovoltaik tipe kristalin (PV)		Berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC	20-25 tahun
<i>Solar Charge Controler</i>		Sebagai untuk mengendalikan proses pengisian baterai dari fotovoltaik (<i>PV Array</i>)	5-10 tahun
Inverter / Charger		Sebagai untuk mengubah energi listrik DC dari baterai menjadi energi listrik AC atau sebaliknya	10 tahun
Penyangga PV modul		Sebagai support untuk menyimpan dan menyangga modul surya sesuai dengan posisi dan kemiringan yang telah ditentukan. Terbuat dari besi yang <i>galvanized</i> untuk melindungi dari karat.	20-25 tahun
Baterai		Sebagai untuk menyimpan energi listrik selama siang hari. Energi yang tersimpan akan dipakai	5 tahun

		pada saat malam atau bila energi dari PV tidak mencukupi.	
<i>Combiner box</i>		Sebagai panel DC yang berfungsi menggabungkan output dari beberapa <i>String PV</i> menjadi satu. Berfungsi juga sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus / tegangan lebih dan petir	5-10 tahun
<i>Solar/Battery inverter</i>		Sebagai panel AC yang berfungsi menggabungkan beberapa solar inverter dan battery inverter menjadi satu. Berfungsi juga sebagai panel isolasi dan proteksi terhadap arus / tegangan lebih dan <i>lighting</i>	10 tahun
Panel distribusi		Merupakan panel AC tagangan rendah 1 fasa 3 fasa, berfungsi menyalurkan daya dari pembangkit ke beban. Terdiri dari beberapa output <i>feeder</i>	10 tahun
Kabel listrik		Meliputi kabel fotovoltaiik, kabel baterai, dan kabel power lainnya, disesuaikan dengan	10-15 tahun

		kriteria yang ditetapkan di RKS	
Rumah pembangkit (<i>Power house</i>)		Merupakan bangunan yang berfungsi untuk penempatan peralatan dan tempat kegiatan operasional pembangkit	20 tahun
Sistem pentanahan dan penangkal petir		Sistem pentanahan peralatan dibuat dengan menggunakan rod tembaga. Penangkal petir berfungsi untuk melindungi peralatan PV array dan rumah betrai / inverter dari sambaran petir	5-10 tahun
Tiang distribusi dan lampu penerangan		Tiang distribusi terbuat dari pipa besi dan tiap tiang dipasang lampu penerangan jenis super hemat energi (lampu LED)	5-10 tahun
Energy limiter		Merupakan alat yang digunakan untuk membatasi pemakaian listrik konsumen. Alat ini sangat penting digunakan untuk menjaga kehandalan sistem pembangkit agar beroperasi sesuai dengan desain.	5-10 tahun

2.5 Dasar Perhitungan Kebutuhan PLTS

Perhitungan kebutuhan PLTS didasarkan dari kapasitas panel surya yang terpasang

1. Kebutuhan Panel Surya

Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya silicon) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik. Kebutuhan panel surya dapat dihitung selama sehari dengan waktu efektif penyinaran matahari selama 5 jam. Panel surya ini mampu mensuplai daya listrik (Meriani, 2017)

$$P \times t = Watt \quad \text{Keterangan : } p = \text{Beban pucak}$$

$$t = \text{Waktu efektif penyinaran matahari}$$

2. Daya Beban

Dari beberapa daya yang dihasilkan panel surya bisa diketahui berapa daya maksimal yang dapat digunakan beban. PLTS mensuplai sebesar 100% dari energi keseluruhan Karena losses dianggap 15%, sehingga besar energi beban mampu disuplai oleh PLTS adalah sebesar: (Meriani, 2017)

$$E_B = E_p - \text{rugi system} \quad \text{Keterangan } E_B = \text{Energi beban (Watt/jam)}$$

$$= E_p - (15\% \times E_p) \quad E_p = \text{Energi panel surya (Watt/jam)}$$

3. Kebutuhan Inverter

Inverter adalah alat yang mengubah arus DC menjadi AC sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik yang digunakan. Alat ini mengubah arus DC dari panel surya menjadi arus AC untuk kebutuhan beban yang menggunakan arus AC. Spesifikasi inverter harus sesuai dengan tegangan kerja dari sistem dan tegangan pada beban AC (Meriani, 2017)

4. Kabel instalasi

Kabel yang digunakan untuk instalasi PV adalah kabel khusus yang dapat mengurangi *loss* (kehilangan) daya (Meriani, 2017)

5. Radiasi Matahari

6. Arus dan Tegangan Output Panel Surya

Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya

arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan I, sedangkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan selama pengujian sebagai berikut: (Meriani, 2017)

$$P = V \times I$$

Keterangan :

P = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)

$$\text{dengan, } P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_n}{N}$$

$P_{rata-rata}$ = Daya rata-rata (Watt)

P_1 = Daya pada titik pengujian ke-satu

P_2 = Daya pada titik pengujian ke-dua

P_3 = Daya pada titik pengujian ke-tiga

P_n = Daya pada titik pengujian ke-n

N = Jumlah P_1 s/d P_n

7. Cara menghitung Efisiensi Panel Surya

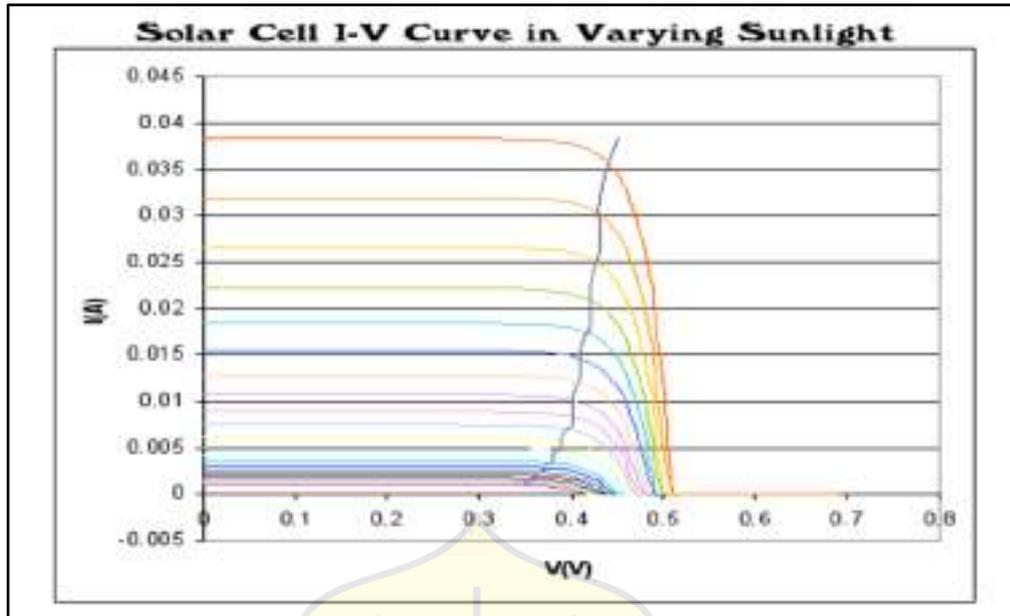
Efisiensi dari panel dihitung dengan membagi output daya sel (dalam watt) pada maksimum powerpoint (P_m) oleh cahaya masukan (E) dan luas permukaan sel surya (A_c) (Meriani, 2017).

$$\eta = \frac{P_m}{(E \times A_c)}$$

Umumnya panel surya memiliki efisiensi hanya sekitar 20-30%, yang berarti suatu panel hanya dapat mengkonversi sekitar 20% dari jumlah seluruh energi cahaya yang diterima oleh panel surya. Sedangkan sisanya di pantulkan kembali. Sehingga dalam kondisi standar, panel surya dengan luas kurang lebih 1 m² dapat menghasilkan energi sekitar 200 Watt/jam. (Meriani, 2017).

8. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi Efisiensi *Solar Cell*

Hal yang dapat mempengaruhi efisiensi penyerapan energi dari *solar cell* anatar lain; nilai refleksi dari panel, nilai termodinamika, kekuatan efisiensi zat pada panel, dan juga kekuatan konduktor dari zat yang ada pada *solar cell*.

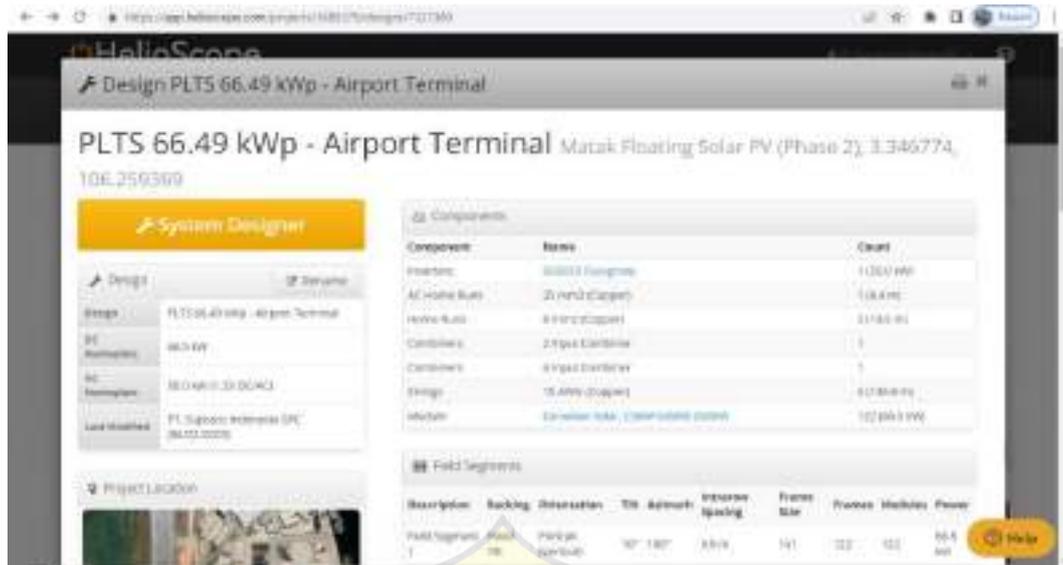


Gambar 2.8 Arus Tegangan pada Panel Surya (Meriani, 2017).

2.6 Pengenalan Aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya: HelioScope dan PVsyst

HelioScope merupakan program desain berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para peneliti untuk melakukan simulasi lengkap pemodelan berupa tampilan 3D sehingga pengguna mampu mengetahui potensi *shadding* ataupun performa masing-masing panel yang akan di tempatkan dari berbagai bidang posisi. Folsom Labs pada tahun 2011, pada saat itu belum ada aplikasi surya yang dibuat khusus yang dapat memadukan ketelitian ilmiah yang diperlukan untuk pemodelan fisika surya yang dapat diandalkan dengan pengetahuan produk teknis yang diperlukan untuk membuat kuat dan mudah digunakan (Brahma et al., 2021)

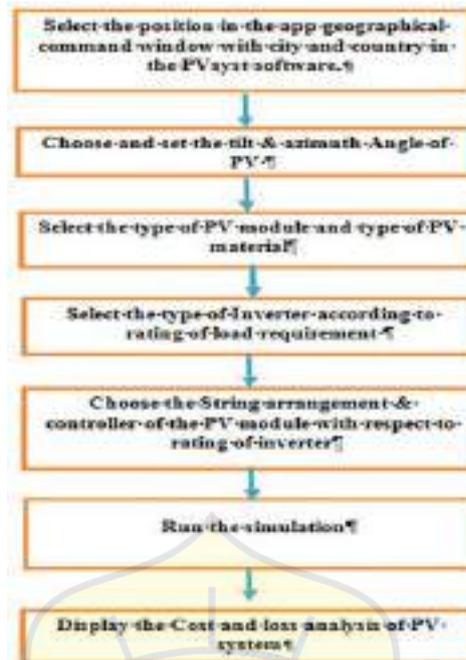
Fitur pada HelioScope sangat membantu dalam melakukan desain PLTS di sebuah atap gedung. Beberapa fitur pada HelioScope antaranya yaitu, melakukan desain dalam ruang lingkup 3 dimensi (3D), menghasilkan simulasi elektrikal dengan menampilkan *single line diagram*, membuat proposal (laporan) yang berkualitas dengan waktu yang singkat, menentukan dengan cepat tata letak modul surya berdasarkan kondisi lahan, atap dan penghalang di sekitarnya (Brahma et al., 2021).



Gambar 2.9 Tampilan Antarmuka Aplikasi HeliScope Berbasis Web

Sedangkan untuk PVsyst sendiri, seringkali dianggap sebagai salah satu perangkat lunak bersimulasi standar yang sering digunakan. Perangkat ini dirancang dan dikembangkan oleh ilmuwan Swiss, Andre Mermaid & Co. PVsyst digunakan oleh sebagian besar insinyur di seluruh dunia karena memberikan hasil yang cepat dan praktis. Perangkat ini melakukan studi rinci dan eksplisit terhadap berbagai parameter yang mempengaruhi efisiensi sebuah sistem. Selain itu, PVsyst memiliki kemampuan untuk melakukan estimasi berkala dan pembuatan laporan. Akurasi perangkat lunak PVsyst sangat mendekati nilai-nilai nyata/sebenarnya. Selain itu, perangkat ini memiliki fitur-fitur menonjol lainnya seperti penandaan warna untuk menampilkan pesan kesalahan, peringatan, dan sebagainya (Mansur, 2021).

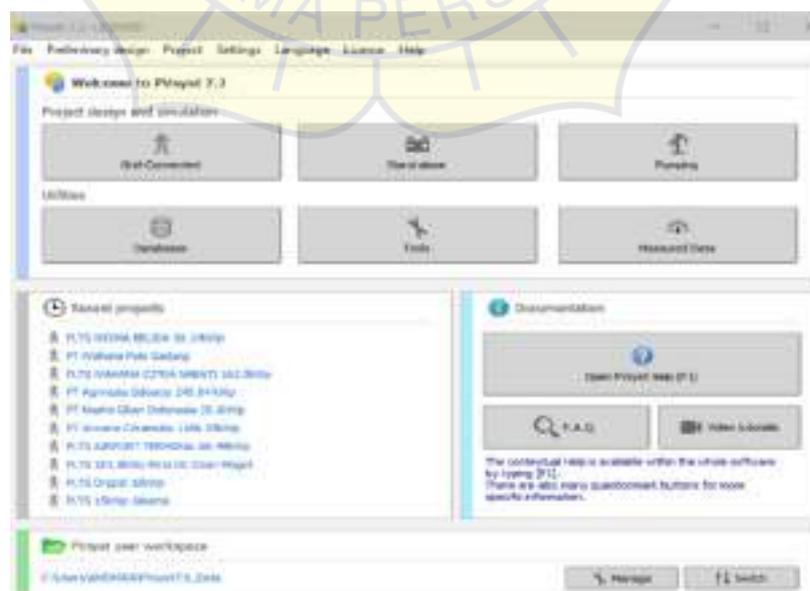
Langkah-langkah yang terlibat dalam desain simulasi diilustrasikan dalam bentuk bagan alir seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini. Dimana diagram ini menggambarkan prosedur yang harus diikuti untuk mensimulasikan desain menggunakan Pvsyst (Shrivastava et al., 2023). Berbagai langkah yang terlibat dalam merancang sistem PV terhubung ke jaringan pada platform PVsyst adalah sebagai berikut:



Gambar 2.10 Algoritma langkah demi langkah untuk Analisis PVsyst (Shrivastava et al., 2023)

Berdasarkan literatur yang ada (Shrivastava et al., 2023) dimana tujuan utama dari simulasi di PVsyst tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Untuk memperkirakan apakah pemasangan sistem PV di sebuah institusi maupun akademik dapat dicapai atau tidak.
2. Mensimulasikan sistem PV yang terhubung ke jaringan listrik menggunakan perangkat lunak PVsyst.
3. Menentukan desain eksplisit, output, dan pemborosan PV



Gambar 2.11 Tampilan Antarmuka Aplikasi PVsyst Berbasis Windows

Adapun untuk perbandingan antara aplikasi PVsyst dengan HelioScope (Karuniawan, 2021) dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2.2 Perbandingan fitur dalam perangkat lunak PVSYST, dan HelioScope

Fitur	PVSyst	HelioScope
Basis	Windows	Web
Lingkup Simulas	<i>On-grid, standalone, pumping</i>	<i>On-grid</i>
Lisensi	Trial/Berbayar	Trial/Berbayar
3D Shading Modeling	Ada	Sederhana
Import Data Meteonorm	Ya	Tidak
Skema Finansial	Komplek	Sederhana
Antarmuka	Komplek	Sederhana

Secara umum fitur yang ditawarkan PVsyst lebih lengkap dibanding dengan HelioScope. Sedangkan kelebihan HelioScope dibanding PVSYST adalah tampilan antarmuka yang lebih mudah digunakan dan dimengerti. Sehingga secara fungsi PVSYST lebih cocok digunakan bagi perusahaan ataupun instansi untuk membuat laporan yang mencakup segi teknis maupun finansial secara praktis (Karuniawan, 2021).