

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Energi Terbarukan

Pembangkit Listrik Berorientasi Matahari (PLTS) merupakan salah satu pemanfaatan energi ramah lingkungan yang mungkin dapat diterapkan di Indonesia yang memiliki tipikal kemampuan radiasi berbasis matahari sebesar 4,8kWh/m²/hari. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Rumah merupakan pembangkit listrik yang menggunakan sumber listrik ramah lingkungan dari sinar matahari dan atapnya dimanfaatkan untuk tujuan pembangkitan. Pemanfaatan *solar charger* sebagai energi baru ramah lingkungan (EBT) merupakan upaya untuk mengurangi penggunaan energi konvensional, hal ini karena charger berbasis sinar matahari hanya membutuhkan cahaya matahari sebagai sumber utama pembangkitan listrik (Kariongan, 2022).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik berbasis sinar matahari merupakan salah satu pembangkit listrik berkelanjutan sehingga sangat baik dibangun untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat khususnya di Indonesia (Robert and Brown, 2004).

1. *On Grid* Sistem

Kerangka kerja *On grid* adalah kerangka kerja ketenagalistrikan baru dan berkelanjutan yang tetap dikaitkan dengan organisasi ketenagalistrikan PLN. Kerangka kerja ini dapat menurunkan tagihan listrik dan apabila terdapat kelebihan

listrik yang disalurkan, maka kelebihan listrik tersebut dapat disalurkan ke PLN melalui plot kesepakatan.

2. *Off Grid* Sistem

(*Off grid*) Kerangka ini merupakan kerangka yang energi tujuan utamanya diciptakan oleh kerangka penghasil itu sendiri. Kerangka kerja ini biasanya digunakan di daerah-daerah yang masyarakat miskinnya terjangkau oleh listrik PLN.

2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *on grid*

Sistem pembangkit tenaga listrik berbasis matahari *on-grid* dapat mengimbangi kestabilan pada keamanan sistem tenaga listrik. Pertimbangan pembangkit listrik tenaga surya ke dalam organisasi tenaga listrik yang mendasar dapat mengefisienkan pemanfaatan energi dari sel berbasis sinar matahari (*photovoltaic*) untuk menghasilkan energi listrik sebanyak yang diharapkan dan dapat menghilangkan batas atau aktivitas pembangkit tradisional sehingga dapat mengurangi penggunaan bahan bakar dan penurunan debit dalam memperkenalkan kerangka pembangkit listrik berorientasi matahari (Irfan, 2017)

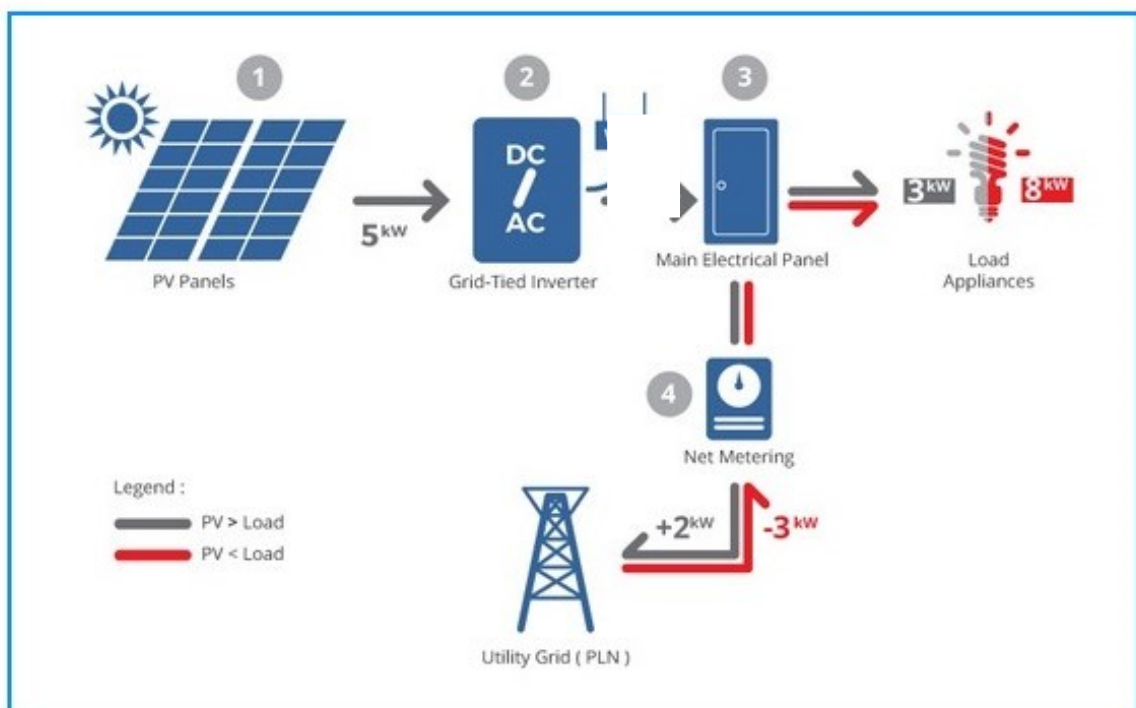
Misalnya, pada siang hari ketika daya rata-rata siang hari sangat tinggi, pengisi daya berbasis sinar matahari mendapatkan energi yang sangat besar dari siang hari, sehingga kluster fotovoltaik akan mengubah intensitas dan cahaya siang hari pada waktu-waktu tertentu secara menyeluruh untuk menghasilkan energi listrik.

Dalam hal suatu detik tertentu sistem *PV* menghasilkan energi berlebih, jaringan perpindahan energi dapat dilakukan dalam jaringan ini, ke tenaga listrik

PLN, dapat tersedia untuk dijual dengan pemahaman jaringan perpindahan energi yang disepakati atau penjualan listrik kelebihan beban ke jaringan PLN (Octopianus Silaban, Satya Kumara and Setiawan, 2021).

Perlu diperhatikan bahwa meter biasanya dipasang sedekat mungkin dengan jaringan (*on-grid*), sehingga suatu PLTS perlu memperhatikan jarak antara daerah penghasil dan titik jaringan di mana meter dimasukkan atau disebut tempat meteran dipasang atau *point of connected*(POC).

Semakin jauh jaraknya tersebut, Semakin besar spekulasi bahwa PLTS harus memberikan dana untuk membangun hubungan dari pembangkit ke POC dan semakin besar pula pertaruhan “menghamburkan” daya yang dialirkan oleh pembangkit selama perjalanan ke POC. Pedoman “penurunan” atau “pembuangan” daya adalah 5% (jarak generator ke POC sekitar 10 km (Science and Outlook, 2020)



Gambar 2. 1 Sitem PLTS *on grid*
(SOLAR SURYA INDOTAMA, 2021)

1. Panel Surya merubah cahaya matahari menjadi listrik DC
 2. *Grid tied inverter* merubah listrik DC menjadi AC yang sudah sesuai dengan jaringan listrik PLN
 3. Listrik AC ditansfer ke panel listrik utama yang sudah terhubung langsung oleh *grid tied inverter*
 4. Net metering akan menghitung konsumsi bersih pemakaian listrik
- Pada jaringan industri, disaat PLTS tidak mendapatkan radiasi matahari yang cukup atau mendung dan juga pada malam hari disaat PLTS tidak dapat menghasilkan daya listrik.

2.2.2 Potensi Tenaga Surya

Potensi Energi matahari di Indonesia sangatlah besar, tepatnya sekitar 4,8 KWh/m² atau setara dengan 112.000 GWp, namun yang terpakai sekitar 10 MWp. Saat ini, otoritas publik telah memberikan pedoman penggunaan energi surya yang fokus pada batasan PLTS yang akan diperkenalkan pada tahun 2025 adalah sebesar 0,87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Angka ini merupakan gambaran besarnya potensi pasar dalam kemajuan energi surya di kemudian hari (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012).

Kota Tasikmalaya berada di wilayah tengah sehingga berpeluang mendapatkan radiasi berbasis sinar matahari sebagai sumber energi listrik. Namun karena masalah kemahiran, dukungan alat dan kualitas, pemanfaatan cahaya matahari sebagai sumber energi mempunyai dua kesulitan dan potensi.

Lingkungan dapat mempengaruhi pengisi daya bertenaga matahari. Kemungkinan yang paling diharapkan untuk material *charger* bertenaga sinar

matahari yang sesuai dengan karakter lingkungan kota Tasikmalaya serta mempertimbangkan kelebihan dan kekurangannya adalah *charger* bertenaga sinar matahari yang diproduksi menggunakan material *Polycrystalline PV* (Kanugrahan and Sujarwanto, 2022)

Sebagai negara yang berada di wilayah khatulistiwa, Indonesia hampir sepanjang tahun mendapatkan sinar matahari yang cukup, sehingga memiliki potensi energi surya yang potensial untuk dapat dimanfaatkan dan dikembangkan baik untuk pembangkit listrik ataupun untuk keperluan lainnya. Sesuai dengan data yang disebutkan dalam RUEN, Indonesia memiliki total potensi energi surya sebesar 207.898 MWp yang dapat dilihat pada gambar 2.2 (Mukrimaa *et al.*, 2016)



Gambar 2. 2 Potensi energi surya di indonesia
(Mukrimaa *et al.*, 2016)

2.3 Panel Surya

Pengisi daya bertenaga matahari adalah instrumen yang digunakan untuk mendapatkan energi pilihan yang diperoleh dari cahaya matahari. Energi yang

dihasilkan dari pengisi daya bertenaga matahari dipengaruhi oleh beberapa variabel, salah satunya adalah munculnya cahaya siang hari atau sinar UV (Terang).

Siang hari berganti setiap jamnya yang diakibatkan oleh revolusi bumi yang berputar pada porosnya atau yang biasa disebut poros bumi. perusahaan tidak berubah posisinya mengikuti pancaran sinar matahari dan tidak ada penanganan arus yang dihasilkan dari siang hari ketika kapasitasnya penuh. Hasil tegangan yang dihasilkan oleh pengisi daya berbasis sinar matahari tidak ideal (Nurdiansyah *et al.*, 2020).

2.3.1 Jenis dan karakteristik Sel Surya

Modul *photovoltaic* atau solar sel merupakan semikonduktor yang mengkonversi cahaya menjadi listrik, konversi ini disebut efek *photovoltaic* dengan kata lain efek *photovoltaic* merupakan fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* menyerap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi listrik. Ada beberapa sel surya yang sering ditemui:

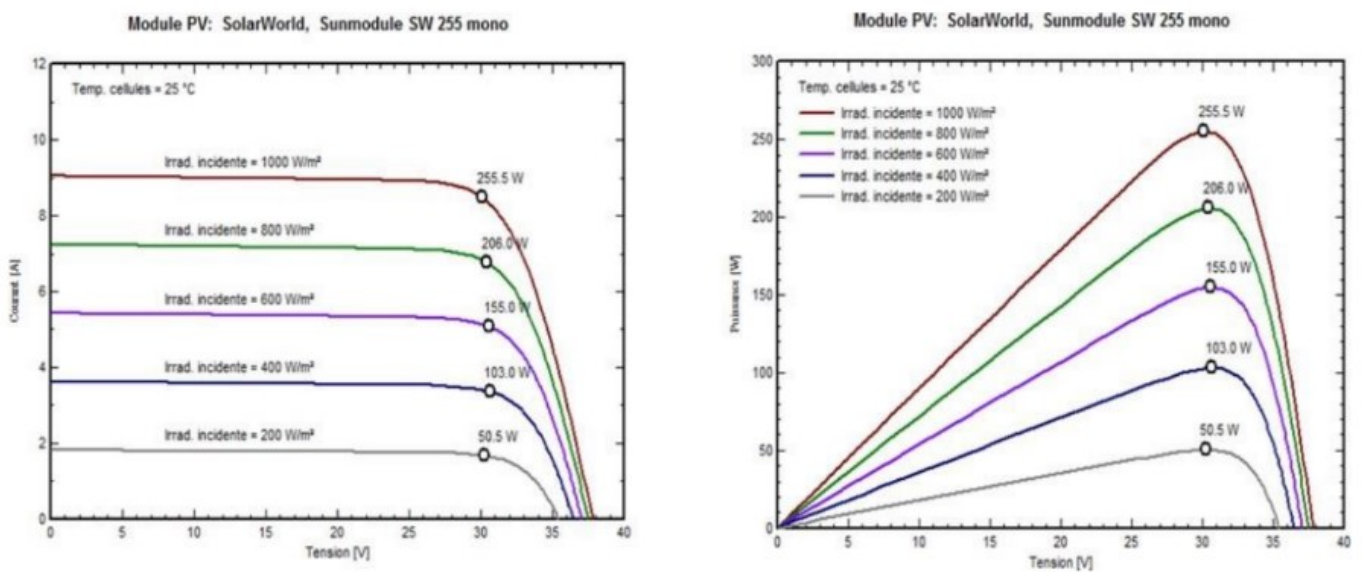
1. Monokristal (*Monocrystalline*)

Jenis panel surya ini merupakan panel yang paling efisien menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi, Panel surya *monocrystalline* masih dapat menghasilkan daya yang cukup signifikan even saat cuaca mendung atau berawan. Hal ini menjadikannya pilihan ideal untuk daerah dengan paparan sinar matahari yang terbatas, dengan efisiensi panel surya sekita 17%-22%,

sangat ideal untuk area dengan lahan terbatas atau ingin memaksimalkan *output* daya.



Gambar 2. 3 Sel Surya *Monocrystalline*
(SUN TERRA, 2023)



Gambar 2. 4 Karakteristik keluaran panel surya tipe *Monocrystalline*
(Marpaung *et al.*, 2016)

Sel *monocrystalline* dipotong dari satu kristal silikon murni dengan peleburan mencapai 99,999%. Umumnya dalam panel *monocrystalline* berwarna hitam. Saat ini dipasaran dunia sel *monocrystalline* memiliki tingkat efisien mencapai 16,5%-19% (standar konvensional) dan 17,5%-22,6%, Bahan utama yang digunakan pada panel surya *monocrystalline* adalah silikon. Silikon ini diolah

menjadi kristal tunggal yang besar dan seragam, sehingga menghasilkan panel surya yang efisien dan berkualitas tinggi. (*passivated emitter and rear contact* atau PERC).

2. *Polycrystalline / multicrystalline*

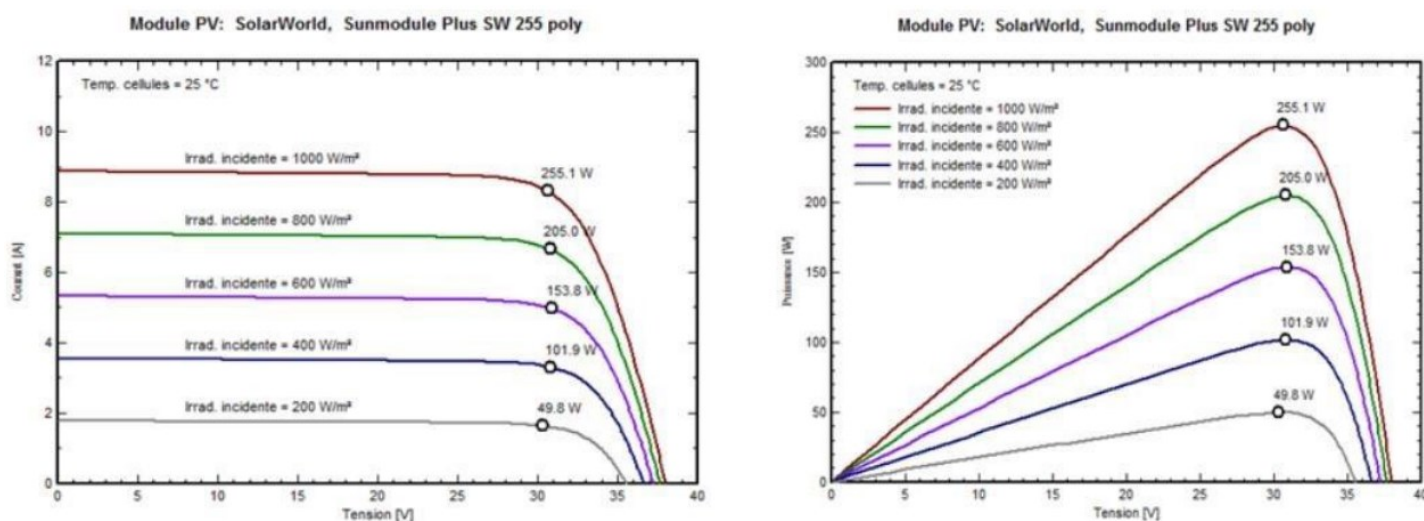
panel ini memiliki tingkat silikon yang lebih rendah dibandingkan papan *monokristaline*, sehingga papan ini sedikit lebih murah dalam hal biaya dan produktivitas sedikit lebih rendah dibandingkan papan *monokristaline*. Papan *polikristaline* adalah pengisi daya sel bertenaga sinar matahari yang memiliki desain batu mulia tidak beraturan.

Jenis *polikristaline* membutuhkan area permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monokristaline* untuk menghasilkan tenaga listrik saat teduh. Panel surya *polycrystalline*, juga dikenal sebagai "*multi-crystalline*" atau "*silicon polycrystalline*", menggunakan silikon sebagai bahan dasarnya.

Namun, berbeda dengan panel surya *monocrystalline* yang menggunakan kristal silikon tunggal, panel surya *polycrystalline* terbuat dari banyak kristal silikon dengan ukuran dan orientasi yang tidak teratur. Hal ini disebabkan oleh proses pembuatannya yang melibatkan pelelehan dan pencetakan silikon.



Gambar 2. 5 Sel Surya *Polycrystalline*
(SUN TERRA, 2023)



Gambar 2. 6 Karakteristik keluaran panel surya tipe *Polycrystalline*, Karakteristik I-V dan karakteristik P-V, (Marpaung et al., 2016).

Sel *polycrystalline* merupakan sel yang terdiri dari potongan permata silikon yang dicairkan menjadi satu dalam bentuk sebelum dipotong. Umumnya sel *polycrystalline* cenderung memiliki rona kebiruan. Sel *polycrystalline* memiliki efisiensi mencapai 15%-18% (*standard konvensional*) dan 17,5%-19,5% (*passivated emitter and rear contact* atau PERC) di pasaran dunia saat ini serta dari segi finansial jenis ini merupakan jenis harga termurah di antara jenis solar panel lainnya. *Polycrystalline* sangat cocok digunakan untuk penggunaan *solar home system*, *off grid*, dan PJU tenaga surya (PJUTS) (Marpaung et al., 2016)

3. Thin Film

Jenis ini adalah sel surya berdasarkan elemen periodik yang terbuat dari semikonduktor. Sel surya ini efisien dan efektif dalam menghasilkan sekitar 25% energi listrik dan sering diterapkan dalam pembuatan perangkat seperti: sirkuit terpadu frekuensi gelombang mikro, sirkuit terpadu gelombang mikro monolitik, dioda pemancar cahaya inframerah, sel surya, jendela optik, dan dioda laser,

Dibandingkan panel surya kaku yang terbuat dari silikon kristal, panel surya *thin film* lebih tipis dan fleksibel. Hal ini memungkinkan panel surya *thin film* dipasang di berbagai permukaan, seperti atap melengkung atau struktur yang tidak rata.



Gambar 2. 7 Panel surya *Thin Film Photovoltaic* (Rama, 2018)

Pada dasarnya material ini terdiri dari, sel surya *Thin Film Photovoltaic* ini digolongkan menjadi 3 yaitu :

a. *Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells*

Merupakan jenis silikon yang paling umum digunakan dalam panel surya thin film, memiliki struktur atom yang tidak teratur, sehingga lebih mudah dan murah untuk diproduksi daripada silikon kristal.

Efisiensi a-Si lebih rendah daripada silikon kristal, yaitu sekitar 5% - 13%.

Namun, a-Si lebih fleksibel dan dapat dipasang di berbagai permukaan, seperti atap yang melengkung atau struktur yang tidak rata.

b. *Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells*

Merupakan bahan semikonduktor yang terbuat dari kadmium dan telurium, memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada a-Si, yaitu sekitar 15% - 17%. CdTe juga lebih murah untuk diproduksi daripada silikon kristal.

Namun, CdTe mengandung kadmium, yang merupakan bahan berbahaya bagi lingkungan.

Sel berbahan dasar ini mengandung bahan *Cadmium Telluride* yang memiliki kemahiran lebih tinggi dibandingkan sel berbahan bakar matahari *Shapeless Silicon*, yaitu berkisar antara: 9% - 11% (Rama, 2018).

c. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)*:

Merupakan bahan semikonduktor yang terbuat dari tembaga, indium, galium, dan selenium, memiliki efisiensi yang tinggi, yaitu sekitar 19% - 22%, setara dengan silikon kristal, CIGS juga tidak mengandung bahan berbahaya seperti CdTe. Namun, CIGS lebih mahal untuk diproduksi daripada a-Si dan CdTe.

Selain bahan-bahan di atas, beberapa panel surya *thin film* juga menggunakan bahan lain, seperti perovskite, organik, dan tandem.

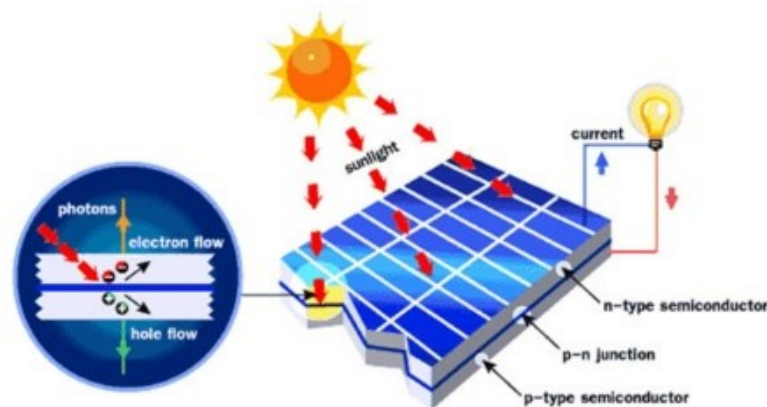
Bahan-bahan ini masih dalam tahap pengembangan, tetapi memiliki potensi untuk menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan biaya yang lebih murah.

2.3.2 Prinsip kerja Panel Surya

Mekanisme kerja konversi energi cahaya terjadi akibat perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Sel yang berorientasi matahari sebagian besar menggunakan bahan semikonduktor, yaitu padatan logam tertentu yang kelistrikkannya tidak seluruhnya diatur oleh elektron valensinya. Konduktivitas bahan semikonduktor akan meningkat secara signifikan ketika foton dari sumber cahaya menyusun elektron valensi dari partikel semikonduktor, menghasilkan energi yang cukup besar untuk mengisolasi elektron-elektron ini apa pun struktur nuklirnya.

Elektron yang dilepaskan dari muatan buruk akan dibiarkan bergerak pada bidang batu mulia (kristal) dan berada pada wilayah peta konduksi material semikonduktor. Kekurangan elektron menyebabkan pembukaan pada struktur permata yang disebut “pembukaan” dengan muatan positif. Wilayah semikonduktor dengan elektron bebas dan negatif bertindak sebagai faktor manfaat elektron. Distrik ini disebut pengurutan negatif (*tipe-n*).

Sementara itu, daerah semikonduktor yang terbuka bersifat positif dan berfungsi sebagai akseptor elektron. Wilayah ini disebut Sortir Positif (*tipe-p*). Pemenuhan sisi positif dan negatif menghasilkan energi listrik ke dalam yang akan mendukung elektron bebas dan bukaan bergerak ke arah lain. Elektron akan menciptakan jarak tertentu dari sisi negatif, sementara bukaan menjauh dari sisi positif. Setiap kali perpotongan p-n dikaitkan dengan heap, aliran listrik tercipta (Fathurrachman, Busaeri and Hiron, 2022).



Gambar 2. 8 Prinsip Kerja Panel Surya
(Fathurrachman, Busaeri and Hiron, 2022)

2.3.3 Struktur Komponen Panel Surya

Panel surya memiliki struktur berlapis yang terdiri dari beberapa komponen utama:

1. Lapisan kaca (*Glass layer*)

Lapisan terluar panel surya terbuat dari kaca tempered yang kuat dan tahan terhadap cuaca ekstrem. Lapisan ini berfungsi melindungi komponen internal dari benturan, debu, dan air

2. Encapsulant

Lapisan tipis di bawah kaca tempered yang berfungsi untuk melindungi sel surya dan menjaga komponen internal tetap pada tempatnya.

3. Sel Surya *Monocrystalline, Polycrystalline, Thin Film*

Komponen inti dari panel surya yang terbuat dari silikon murni berbentuk wafer tipis. Sel surya ini memiliki struktur kristal silikon tunggal yang tersusun rapi, sehingga menghasilkan efisiensi konversi energi matahari menjadi listrik yang tinggi.

4. Lapisan *Antireflective (Antireflective Coating (ARC))*:

Lapisan tipis di atas permukaan sel surya yang berfungsi untuk mengurangi refleksi cahaya matahari dan meningkatkan penyerapan cahaya oleh sel surya.

5. Busbar

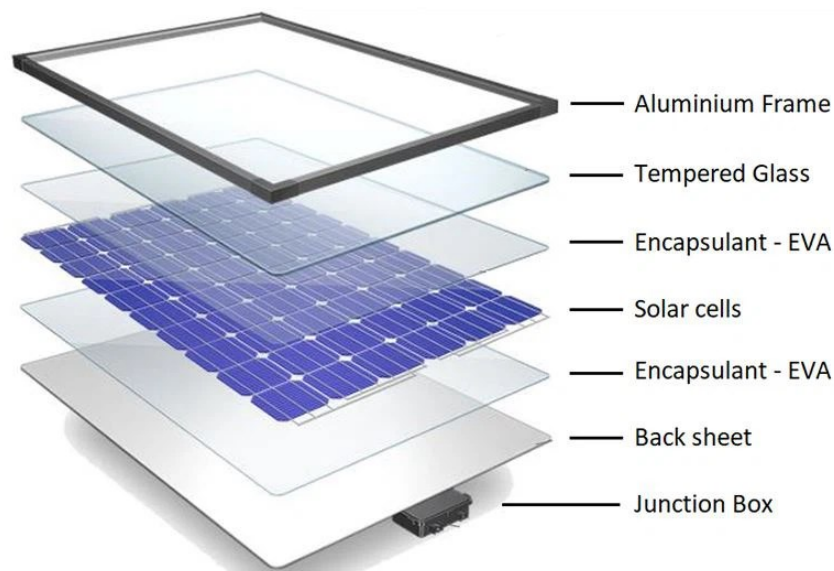
Kontak listrik positif dan negatif yang tersusun seperti grid di atas permukaan sel surya. Busbar berfungsi mengumpulkan dan mengalirkan arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya.

6. Backsheet

Lapisan belakang panel surya yang terbuat dari material tahan cuaca dan berfungsi melindungi komponen internal dari kelembaban dan korosi.

7. Junction Box

Kotak terminal yang terletak di bagian belakang panel surya berisi terminal positif dan negatif untuk koneksi kabel listrik.



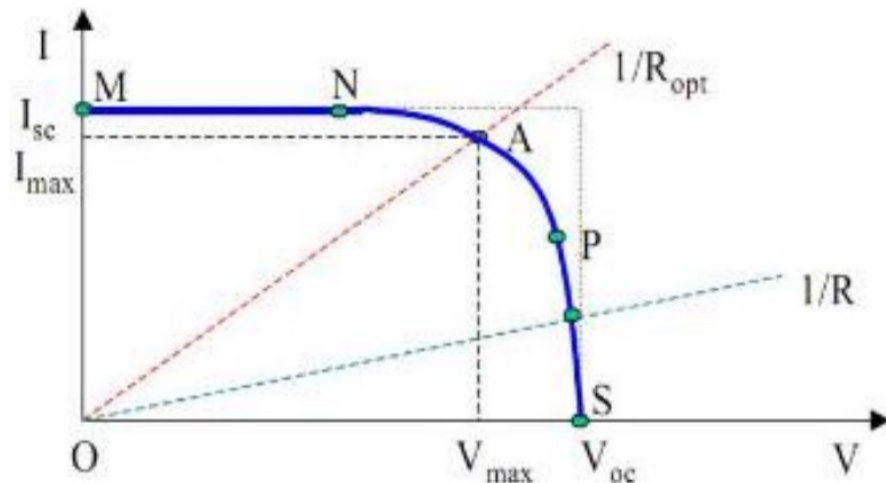
Gambar 2. 9 Struktur Panel Surya

2.3.4 Efisiensi Sel Surya

Penyajian modul berbasis sinar matahari digambarkan dengan ciri khas pembelokan Arus Listrik (I) terhadap Tegangan (V). Modul yang berorientasi matahari akan menghantarkan aliran listrik paling besar dengan asumsi tidak ada bagian Penghalang (R) pada rangkaian. Arus yang paling ekstrim biasanya disebut *Short out Current* (ISC) yang terjadi ketika tegangan Modul berbasis Matahari nol ($V = 0$).

Kemudian lagi, tegangan paling ekstrim tercipta ketika rangkaian tidak terhubung. Tegangan ini disebut Tegangan Terbuka (VOC), karena tegangan (R) yang ada saat ini sangat besar sehingga tidak ada aliran yang mengalir karena rangkaian listrik tidak terhubung atau dalam keadaan terbuka.

Umumnya efisiensi sel surya digunakan sebagai parameter untuk membandingkan kinerja sel surya terhadap sel surya lain dengan perlakuan serupa. Efisiensi adalah perbandingan energi yang keluar dari sel surya dengan energi yang masuk dari matahari (Setyaningrum, 2017).



Gambar 2. 10 Kurva I-V Sel Surya

Besaran daya listrik dari modul surya disebut dengan satuan Watt. Watt didapatkan dengan cara mengalikan tegangan dan arus listrik.

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Daya maksimum umumnya disebut daya puncak dengan notasi mp, sehingga arus listrik pada maksimum sebagai (I_{mp}) dan tegangan sebagai (V_{mp}).

2.4 Inverter

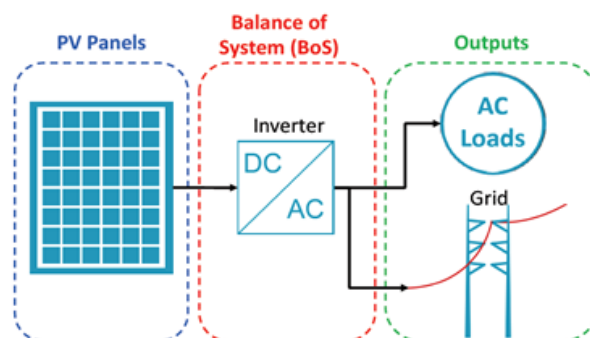
Inverter adalah pengubah arus searah (DC) menjadi tegangan putar (AC). Kemampuan *inverter* adalah mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC seimbang dengan besaran dan frekuensi yang ideal. Tegangan yang dihasilkan dapat tetap atau bervariasi dengan frekuensi tetap atau variabel

Tegangan hasil variabel dapat diperoleh dengan menggeser tegangan masukan DC dan menjaga penguatan *inverter* tetap stabil. Di sisi lain, jika tegangan masukan DC tetap dan tidak terkendali, tegangan hasil yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan penambahan *inverter* yang berfluktuasi. Variasi penguatan *inverter* umumnya diperoleh dengan menggunakan pengatur *Heartbeat width-Tweak* (PWM) dan *Sinusoidal Heartbeat width Regulation* (SPWM) pada *inverter* (SAODAH and UTAMI, 2019).

2.4.1 Efisiensi *Inverter*

Inverter ini mengacu pada seberapa banyak daya *dc* akan diubah seluruhnya menjadi daya *ac*, karena sebagian daya akan hilang selama proses penyaluran ini ada dalam dua struktur:

1. Hilangnya diakibatkan panas
2. Daya cadangan yang dikonsumsi hanya untuk menjaga *inverter* dalam mode daya. Atau disebut sebagai pemanfaatan daya *inverter* pada kondisi *no-heap* (tanpa beban)



Gambar 2.9 Prinsip Kerja *Inverter* (W.NG.an, 2022)

$$\text{Efisiensi inverter : } \frac{p_{AC}}{p_{DC}} \quad (2.2)$$

pAC mengacu pada daya keluaran AC pada watt dan pDC mengacu pada daya masukan DC dalam watt.

2.5 Meteran ekspor-impor/kWh EXIM

KWh meter ekspor-impor atau dikenal juga sebagai meteran dua arah (*bi-directional meter*) adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah energi listrik yang dikonsumsi (impor) dan energi listrik yang dikirim kembali ke jaringan (ekspor) oleh pelanggan yang memiliki sistem pembangkit listrik sendiri, seperti panel surya.



Gambar 2. 11 kWh ekspor-impor

EXIM atau kWh EXIM meter merupakan meteran luar biasa yang diperkenalkan PLN untuk klien PLN yang menggunakan PLTS dengan jenis *On Grid* atau terintegrasi (terhubung) dengan PLN. EXIM meter memungkinkan pengguna menyalurkan energi melimpah yang dihasilkan oleh PLTS (HMEnergi, 2022).

Namun aturan baru yang ditetapkan pada revisi tersebut tercantum dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 Tahun 2024, terkait kWh Exim ini yang tadinya kelebihan daya yang dihasilkan PLTS bisa dijual ke PLN menjadi di hapuskan atau di nolkan, jadi fungsi terbaru kWh Exim saat ini hanya untuk menghitung atau

mencatat jumlah daya dari PLN ke jaringan PLTS, bila mana PLTS tidak mendapatkan radiasi yang kurang cukup atau dalam keadaan mendung ataupun pada saat malam hari yang mana PLTS tidak menghasilkan keluaran daya yang bisa dikonsumsi.

2.5.1 Prinsip Kerja kWh Ekspor-Import

1. Pengukuran Energi Dua Arah

Import (Konsumsi Energi): Mengukur jumlah energi listrik yang diambil dari jaringan utilitas oleh pelanggan. Ini adalah energi yang dikonsumsi oleh pelanggan untuk kebutuhan sehari-hari seperti pencahayaan, peralatan listrik, dan lainnya.

Ekspor (Produksi Energi): Mengukur jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh pelanggan dan dikirim kembali ke jaringan utilitas. Ini biasanya terjadi ketika pelanggan memiliki sistem pembangkit listrik sendiri (misalnya, panel surya) yang menghasilkan lebih banyak energi daripada yang digunakan.

2. Monitoring dan Pelaporan

Real-Time Monitoring: kWh meter ekspor-import modern biasanya dilengkapi dengan kemampuan monitoring real-time, memungkinkan pelanggan dan utilitas untuk memantau penggunaan dan produksi energi secara langsung.

Pelaporan: Data yang dikumpulkan oleh meter dapat diakses untuk keperluan pelaporan, baik oleh pelanggan maupun utilitas, untuk verifikasi tagihan dan analisis konsumsi energi.

2.5.2 Komponen Utama kWh Ekspor-Import

1. Sensor Arus dan Tegangan

Sensor Arus: Mengukur arus listrik yang mengalir melalui meteran.

Sensor Tegangan: Mengukur tegangan listrik yang diterapkan pada sistem. Kombinasi dari arus dan tegangan ini digunakan untuk menghitung daya ($Power = Voltage \times Current$)

2. Mikroprosesor

Pengolahan Data: Mikroprosesor mengolah data dari sensor arus dan tegangan untuk menghitung energi yang diimpor dan diekspor. Ini dilakukan dengan mengintegrasikan daya terhadap waktu.

Kontrol dan komunikasi: Mikroprosesor juga mengelola fungsi kontrol dan komunikasi, memastikan bahwa data dikirim dengan benar ke sistem manajemen energi atau ke utilitas.

3. Memori

Penyimpan data: Memori digunakan untuk menyimpan data pengguna energi. Ini memungkinkan rekaman jangka panjang yang dapat diakses untuk analisis pelaporan.

4. Modul

Modul Komunikasi: kWh meter ekspor-impor biasanya dilengkapi dengan antarmuka komunikasi seperti RF (*radio frequency*), GSM, atau internet. Ini memungkinkan pengiriman data secara otomatis ke pusat utilitas atau sistem manajemen energi.

5. Layar Tampilan

Display Digital: Banyak meter dilengkapi dengan layar digital yang menampilkan informasi penting seperti total energi yang diimpor, diekspor, dan saldo net energi.

Ini membantu pelanggan untuk dengan mudah memantau penggunaan energi mereka.

2.6 Perhitungan PLTS

2.6.1 Luas Array Modul Surya

Untuk menentukan Luas *Array* Modul surya, dapat dengan membagi penggunaan beban listrik dengan Intensitas matahari dikalikan efisiensi modul surya dan *inverter*.

$$PV_{area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{in}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

PV_{area}	: Luas Array (m^2)
E_L	: Besar Konsumsi Energi (kWh)
G_{av}	: Minimum Iradiasi Harian (kWh/m^2)
η_{PV}	: Efisiensi modul surya (0.98)
η_{in}	: Efisiensi <i>Inverter</i> (0.18)
TCF	: <i>Temperature Correction Factor</i> (0.94)

2.6.2 Daya yang dibangkitkan PLTS

Besar daya yang dibangkitkan *array* merupakan hasil kali besaran *array* dengan iradiasi *STC* dan efisiensi modul surya. Selain itu, dapat juga menggunakan perkalian antara besar daya modul surya dikalikan dengan jumlah modul surya.

$$P_{wp} = PV_{area} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (2.4)$$

Keterangan :

P_{wp}	: Daya Maksimum modul Surya
PSI	: <i>Peak Solar Insulasi</i> = 1000 m^2
η_{PV}	: Efisiensi panel

2.6.3 Kapasitas Inverter

Faktor daya adalah rasio antara daya aktif (*watt*) dan daya semu (*volt-ampere*). Nilai faktor daya umumnya berkisar antara 0,8 dan untuk peralatan elektronik modern, faktor daya umumnya sekitar 0,9. Menghitung daya semu membantu menentukan ukuran inverter yang dibutuhkan untuk menangani beban daya tertentu

$$VA = \frac{W}{F} \quad (2.5)$$

Keterangan :

VA : Daya Semu
 W : Total Kapasitas Panel Surya
 F : Faktor Daya 0.9

2.6.4 TCF

Menentukan jumlah *Temperature Correction Factor*

$$TCF = \frac{PMpp \text{ saat naik}}{PMpp} \quad (2.6)$$

Keterangan :

PMPP : saat suhu naik 0.9°C

PMPP : Kapasitas panel surya

2.6.5 Menentukan jumlah Panel Surya

$$n_{pv} = \frac{P_{wp}}{P_{Mpp}} \quad (2.7)$$

Keterangan :

npv : Jumlah panel
pwp : Daya yang dibangkitkan
PMPP : Daya maksimum keluaran panel surya

2.6.6 Densitas Energi Matahari

Densitas energi matahari, atau *irradiance*, mengacu pada jumlah energi matahari yang diterima per satuan luas permukaan. Nilai rata-rata densitas energi matahari di atas atmosfer bumi adalah sekitar 1361 W/m² (Watt per meter persegi). Nilai ini dikenal sebagai konstanta surya. Namun, nilai densitas energi matahari yang mencapai permukaan bumi bervariasi antara 100 W/m² hingga 1000 W/m². Radiasi merupakan batas ketebalan (kekuatan) cahaya siang hari yang diperkirakan pada situasi tersebut dalam persamaan 2.9 (Pengaruh Radiasi Matahari Dan Temperatur Terhadap Daya Keluaran Fotovoltaik Menggunakan SPSS Bayu Rangga Julian, 2023).

$$W/m^2 \quad (2.8)$$

Keterangan :

W : *Output* yang dihasilkan panel surya

m² : Luas lokasi

2.7 Aspek Ekonomi

Ada tiga tugas pokok, yaitu peragaan ulang (simulasi), perbaikan dan pemeriksaan daya tanggap (sensitivitas):

2.7.1 Total Produksi Energi

Total produksi energi terbarukan adalah jumlah energi yang dihasilkan pengoprasian sistem. Jumlah produksi energi listrik didapatkan dengan persamaan 2.10 (Pulungan and Afriyanti, 2022):

$$E_{\text{tot.prod}} = E_{\text{photovoltaic}} + E_{\text{grid}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$E_{\text{tot.prod}}$: Total produksi energi (kWh)

$E_{\text{photovoltaic}}$: Total produksi energi *photovoltaic* (kWh)

E_{grid} : Total produksi energi dari *grid* PLN (kWh)

2.7.2 *Cost of Energy (COE)*

Biaya Energi adalah nilai saat ini dari semua biaya untuk memperkenalkan dan mengerjakan bagian-bagian selama masa tujuan pemakaian. Untuk menentukan COE, total biaya tahunan yang digunakan dipartisi dengan jumlah total tahunan yang tersedia.

$$\text{COE} = \frac{C_{\text{ann,tot}}}{E_{\text{tot,served}}} \quad (2.10)$$

Keterangan :

- $E_{\text{tot,served}}$: Total energi tahunan yang tersedia untuk beban (kWh)
 $C_{\text{ann,tot}}$: Total *Annualize Cost* atau total biaya tahunan yang digunakan untuk sistem (WINDARTA *et al.*, 2019).

2.7.3 ROI

Laba atas investasi modal awal atau *Profit from Venture* juga dapat diartikan sebagai keuntungan dari spekulasi. Dalam estimasi imbal hasil atas modal yang ditanamkan, nilai yang dicari adalah tingkat keuntungan dari suatu spekulasi mengingat besarnya keuntungan dan biaya yang ditimbulkan. Dengan begitu, Anda jelas bisa mengetahui tingkat keuntungan suatu usaha. Dari sini dapat dikatakan bahwa laba atas investasi modal awal berguna untuk memperkirakan produktivitas suatu kegiatan spekulasi. Dengan perkiraan kemajuan, setiap spekulasi menimbulkan pertaruhan resiko yang tidak signifikan.

Potensi manfaat yang akan diperoleh bisa dinilai. laba atas perkiraan investasi modal awal juga dapat membantu dalam mengkaji ulang strategi pertumbuhan uang dalam suatu sumber daya. Jika nilainya positif, itu pertanda baik, dan itu berarti usaha yang direncanakan dapat memberikan keuntungan atau

setidaknya mampu mengembalikan biaya spekulasi yang telah ditimbulkan. Semakin tinggi nilai hasil estimasi yang dapat diperoleh, kemungkinan besar semakin baik proyek tersebut. Namun apabila hasil perhitungannya negatif, sebaiknya usaha tersebut tidak dilanjutkan karena akan menimbulkan kerugian. Resep untuk menentukan laba atas investasi modal awal menggunakan Persamaan 2.12 :

$$ROI = \frac{(\text{Pendapatan Investasi} - \text{Biaya investasi})}{\text{Biaya investasi}} \times 100\% \quad (2.11)$$

2.8 Faktor Eksternal PLTS

2.8.1 Bayangan

Bayangan merupakan permasalahan penting dalam Pembangkit Listrik Berbasis Sinar Matahari karena pada dasarnya dapat mengurangi presentasi sistem PLTS. Keterbukaan yang tidak lengkap atau penuh untuk menyembunyikan mengurangi produksi energi, namun juga mempengaruhi kondisi pengisi daya berbasis sinar matahari.

Ketika dipresentasikan ke warna pecahan, debit intensitas dalam sel yang dipresentasikan ke bayangan secara umum akan meningkat, yang biasa disebut area Masalah *hotspot* dan dapat mengurangi keberadaan pengisi daya bertenaga sinar matahari.

Untuk menghindari bayangan atau bayangan, penting untuk membedakan area dengan tepat selama studi praktik untuk menjamin bahwa pengisi daya bertenaga sinar matahari akan terbebas dari bayangan sepanjang hari dan sepanjang

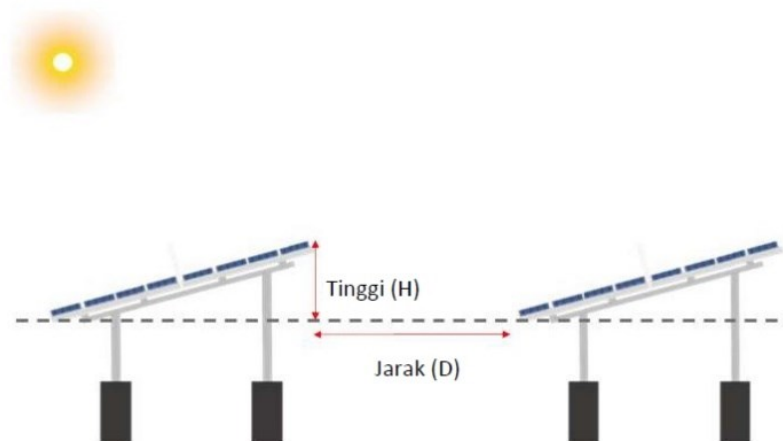
waktu sepanjang tahun. Setelah pembuktian pembedaan kawasan dilakukan, maka perlu dibuat rencana desain masing-masing kawasan PLTS.

Kelompok pengisi daya bertenaga surya harus dipisahkan secara memadai satu sama lain untuk menghindari bayangan dari pameran pengisi daya bertenaga sinar matahari yang bersebelahan atau di dekat bangunan yang lebih tinggi. Penting untuk memastikan dengan tepat jarak antar jenis pengisi daya bertenaga surya, terutama jika pameran tidak dipasang pada tingkat yang sama. Kedekatan dapat menyebabkan bayangan, sementara jarak yang sangat jauh antar kelompok dapat menyebabkan penyalahgunaan lahan.



Gambar 2. 12 Jarak antara panel surya
(Antaraneews, 2019)

Menjelaskan mengenai posisi modul tenaga surya yang ditinggikan di atas tanah, dengan posisi bebas untuk membatasi adanya penyembunyian atau bayangan yang menghalangi lapisan luar permukaan tenaga surya, sehingga tidak menimbulkan masalah penyinaran cahaya sinar matahari yang masuk ke lapisan luar.



Gambar 2. 13 Jarak antara panel surya
(pasangpanelsurya, 2022)

Menjelaskan mengenai jarak pemasangan panel surya pada 2 Senar (*string*) atau lebih. Jarak minimal yang diperlukan antar susunan panel surya (D) sangat bergantung pada garis lintang lokasi dan tinggi permukaan susunan panel surya (H) harus lebih dari atau sama dengan 2 meter agar susunan PLTS kedua tidak terkena bayangan dari PLTS Array pertama.

2.8.2 Arah Pemasangan PLTS

Saat memasang PLTS, judul yang berlawanan menentukan ukuran hasil yang memadai dari pembangkit listrik yang berorientasi pada sinar matahari. Harusnya, pembangkit ditempatkan berlawanan dengan sinar matahari agar mudah menerima radiasi.

Kontroversi (masalah) tersebut belum sepenuhnya diselesaikan dalam tahap perencanaan dan pengembangan karena pengisi daya berbasis sinar matahari secara langsung dipengaruhi oleh proses pembangunan dan konstruksi yang sulit.

Ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan arah yang dihadapi pembangkit ini, termasuk:

a. Kemiringan

Titik miring atau kecenderungannya tidak ditentukan oleh cakupan area tersebut. Di tempat-tempat yang dekat dengan garis khatulistiwa, misalnya di Indonesia, titik siang hari bisa dibidang vertikal.

Oleh karena itu, titik miring 0° merupakan plot paling ideal untuk menangkap radiasi berbasis sinar matahari langsung. Bagaimanapun, titik 0° atau titik yang agak datar dapat menyebabkan genangan air atau timbulnya residu pada permukaan modul. Oleh karena itu, disarankan untuk meletakkan PLTS dengan sudut miring sekitar 10° untuk memberikan sistem pembersihan mandiri, terutama pada hari-hari berangin kencang. Namun, ketika tingkat matahari berubah seiring waktu, hal terbaik untuk mengimbangi kinerja yang unggul ditentukan dengan mempertimbangkan tingkat rata-rata matahari di berbagai musim.

b. *Azimuth*

Titik *azimut* disebut juga arah pancaran sinar matahari. Arah arah PLTS sebaiknya digunakan menghadap garis khatulistiwa untuk mendapatkan hasil energi yang ideal. Karena *azimuth* berbeda-beda menurut cakupan dan waktu, di belahan bumi utara yang cakupannya di atas 0° , arah menghadap ideal untuk pengisi daya bertenaga surya adalah 180° atau mengarah ke selatan. Di belahan bumi bagian selatan atau di bawah garis khatulistiwa, PLTS harus mengarah ke utara atau 0° . Arah yang berlawanan mungkin menyimpang hingga 45° ke arah timur atau barat tanpa mengurangi energi yang dihasilkan sama sekali.

Arah area dapat ditentukan dengan menggunakan GPS (*General/Worldwide Situating Framework*). Ketika cakupannya diketahui, arah cluster pengisi daya bertenaga surya masih terlihat di udara.

2.8.3 Temperatur

PLTS dapat bekerja dengan baik jika suhu papan modul tetap normal (pada 25°C), kenaikan suhu yang lebih tinggi dari suhu rata-rata pada pengisi daya berbasis sinar matahari akan melemahkan voltasenya. Setiap peningkatan 1°C pada suhu pengisi daya berbasis sinar matahari dari 25°C akan mengurangi total daya yang dihasilkan sekitar 0,4% atau akan berkurang dua kali lipat jika peningkatan suhu papan modul sebesar 10°C.

2.9 Pvsyst 7.2.8

PVsyst ditujukan untuk digunakan oleh desainer, spesialis, dan ilmuwan. Ini juga merupakan alat pendidikan yang sangat berguna. Ini menggabungkan menu Bantuan berorientasi konteks yang memahami sistem dan model yang digunakan, dan menawarkan pendekatan yang mudah dipahami dengan arahan untuk membuat proyek. *Pvsyst 7.2.8* dapat mengimpor informasi iklim, serta informasi pribadi dari berbagai sumber. Aplikasi ini sendiri dibuat oleh *College of Geneva*, dalam aplikasi ini dapat menampilkan framework PLTS antara lain *pumping, terkoneksi ongrid/offgrid, Siphoning framework*.

2.10 Penelitian Terkait

1. Dalam ujian yang berjudul Ide Fotovoltaik Terkoordinasi pada Kisi-kisi dengan Gedung STT-PLN ini, dapat dikatakan bahwa secara lengkap dapat dikatakan praktis untuk bekerja, pengisi daya berbasis sinar matahari memiliki

produktivitas 17,4% dan sejauh suku cadang dan sifat kawasan yang akan dikonsumsi oleh PLTS dan disinkronkan dengan KWH EXIM, dari perhitungan proporsi pameran menghasilkan 81%, sehingga kerangka ini seharusnya bisa dicapai untuk pengakuan (Hariyati, Qosim and Hasanah, 2019).

2. Dalam pemaparan bertajuk Penataan dan Pemeriksaan Finansial Pembangkit Listrik Berbasis Sinar Matahari Atap dengan Rangka *On Lattice* Sebagai *Extra Power Supply* di Klinik Darurat Daerah Mimika. Mengingat selesainya batas kerangka usia daya berbasis matahari atap di klinik *Locale Medical*. Mimika menggunakan pengisi daya bertenaga surya *polikritalline* 300 Wp dan tiga *inverter* pemasangan kisi berbasis ICA Sun dengan batas 22 kW. PLTS atap rumah di Puskesmas Mimika mampu menghasilkan daya sebesar 63 kWp dengan daya listrik sebesar 242.874 kWh/hari dan 90.474 kWh/tahun. Artinya, PLTS atap rumah yang dirancang mampu memberikan tambahan pasokan listrik sebesar 69% dari kapasitas puncak sebesar 352 kWh. Pemeriksaan kemungkinan memasukkan sumber daya ke dalam pengaturan PV bertenaga surya di atap rumah di Area Klinik Wilayah. Mimika menggunakan strategi *Net Present Worth* (NPV) yang mempunyai nilai positif (>0) sebesar Rp. 1.761.529,00, Daftar Produktivitas (PI) yang mempunyai nilai (>1) sebesar 1.0015, dan Masa Pengembalian Terbatas (DPP) sekitar 24 tahun 8 bulan. Dari hasil pemeriksaan dengan teknik ketiga menunjukkan adanya minat terhadap *PV* berbasis matahari atap sebagai pasokan listrik tambahan di klinik Darurat Lokal. Mimika pantas melaksanakannya (Kariongan, 2022)

3. Pada penelitian yang berjudul PEMANFAATAN PANEL SURYA *ON GRID* PADA RUMAH TINGGAL BERDASARKAN JUMLAH BEBAN

Berdasarkan hasil analisa yang diperoleh dari simulasi PLTS *on grid*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya :

- PLTS *on grid* dapat melayani kebutuhan beban secara maksimal ketika panel surya mendapatkan radiasi matahari yang maksimal yang pada siang hari sekitar jam 08.30 sampai 3.30 Kelebihan daya dari PLTS *on grid* tidak disimpan pada baterai tetapi langsung dikirim ke jaringan listrik PLN dan dicatat sebagai deposit daya pada KWh Exim.
- Penggunaan PLTS *on grid* dapat memberikan manfaat penghematan konsumsi daya listrik PLN sekitar 34,78% sampai dengan 89,54 (Patabang, 2022).
- Analisis hasil simulasi menunjukkan bahwa, ketika proyek dilaksanakan akan memasok sekitar 14237 MWh listrik per tahun. Proyek ini juga berkesempatan untuk menyelamatkan sekitar 6465 ton CO₂ yang seharusnya dipancarkan oleh pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil untuk menghasilkan jumlah listrik yang sama. Biaya total investasi yang harus dikeluarkan adalah sebesar \$20,009,000. Sekitar 90% dari biaya total investasi adalah untuk modul *PV* dan *inverter* (Sukmajati and Hafidz, 2015).