

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Jalan Tol**

Jalan tol merupakan alternatif prasarana transportasi darat yang dibangun untuk melengkapi sistem jaringan jalan dan sebagai upaya untuk mengurangi kemacetan lalu lintas. Ruas jalan tol merupakan bagian atau penggalan dari sebuah jaringan jalan tertentu dimana pengusahaannya juga dilakukan oleh Badan Usaha tertentu. Desain rencana jalan tol ini lebih tinggi dibandingkan dengan jalan umum yang ada, hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan pelayanan, keamanan, dan kenyamanan dari para pengguna jalan, selain itu jalan tol harus dapat melayani arus lalu lintas jarak jauh dengan mobilitas tinggi (Ridwan, 2020).

Persyaratan memasang, membangun, memperbaiki, mengganti baru, memindahkan, dan merelokasi bangunan utilitas dan atau utilitas yang terletak di dalam, pada, sepanjang, melintas di atas atau di bawah setiap Jalan Tol diatur oleh Menteri (PP No 8, 1990).

##### **2.1.1 Bagian dan jenis jalan tol**

Adapun istilah dan definisi yang berkaitan dengan bagian - bagian dari jalan tol yang tercantum di dalam standar Geometri Jalan Bebas Hambatan Untuk Jalan Tol Tahun 2009 adalah sebagai berikut :

- a. Badan Jalan, adalah bagian jalan yang meliputi lajur lalu lintas dengan atau tanpa jalur pemisah, dan bahu jalan.

- b. Bahu Jalan, adalah bagian dari ruang manfaat jalan yang berdampingan dengan lajur lalu lintas yang berfungsi untuk menampung kendaraan yang berhenti dalam rangka untuk keperluan darurat, dan juga berfungsi sebagai pendukung samping bagi lapis pondasi bawah, lapis pondasi, dan lapis permukaan jalan raya.
- c. Daerah Bebas Samping Di Tikungan, adalah ruang untuk menjamin kebebasan pandang di tikungan sehingga jarak pandang henti dipenuhi.
- d. Gardu Tol (*tollbooth*), adalah ruang tempat bekerja bagi para pengumpul tol untuk melaksanakan tugas pelayanan kepada para pemakai jalan.
- e. Gerbang Tol (*toll gate*), adalah tempat pelayanan transaksi tol bagi para pemakai jalan tol yang terdiri dari beberapa buah gardu dan juga sarana kelengkapan lainnya.
- f. Gerbang Tol Utama, adalah gerbang tol terbesar yang memiliki kapasitas besar untuk transaksi tol (memiliki jumlah lajur gardu tol banyak) yang terletak pada jalur utama.
- g. Gerbang Tol Ramp, adalah gerbang tol yang terletak pada ramp, awal simpang susun atau jalan aksesnya.
- h. Jalan Bebas Hambatan, adalah jalan umum untuk lalu lintas menerus dengan pengendalian jalan masuk secara penuh dengan tanpa adanya persimpangan sebidang serta dilengkapi dengan pagar ruang milik jalan.

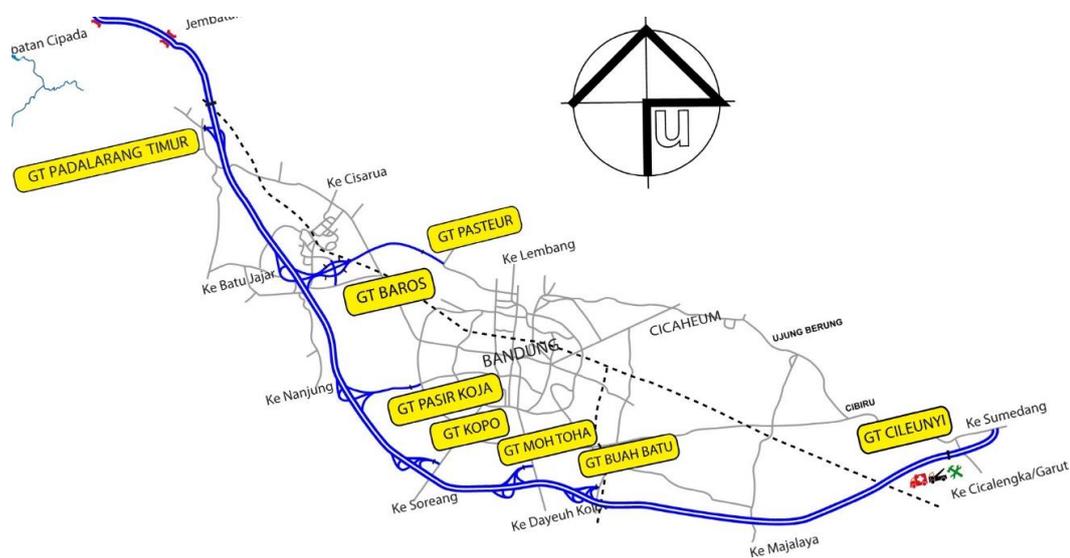
- i. Lajur, adalah bagian jalur yang memanjang, dengan atau tanpa marka jalan, yang memiliki lebar cukup untuk satu kendaraan bermotor untuk bergerak / berjalan.
- j. Median, adalah bagian dari jalan yang tidak dapat dilalui oleh kendaraan, dengan bentuk memanjang sejajar jalan, terletak di sumbu / tengah jalan, dimaksudkan untuk memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan, median dapat berbentuk median yang ditinggikan maupun median yang diturunkan, atau median datar.
- k. Persimpangan, adalah pertemuan atau percabangan jalan, baik sebidang maupun yang tidak sebidang.
- l. Ruang Bebas, adalah ruang sepanjang jalan tol yang dibatasi oleh lebar, tinggi, dan kedalaman tertentu yang hanya diperuntukkan bagi keamanan arus lalu lintas dan bangunan untuk pengamanan jalan tol.
- m. Terowongan, adalah jalan dimana sekelilingnya tertutup, umumnya elevasi jalan tersebut berada di bawah permukaan tanah (Ridwan, 2020).

## **2.2 Jalan Tol Padalarang – Cileunyi**

Jalan tol Purbaleunyi (Purwakarta – Bandung – Cileunyi) merupakan salah satu jalan tol yang memiliki peran penting di Indonesia. Jalan tol ini menghubungkan Jakarta sebagai Ibu Kota Negara Indonesia dengan Bandung sebagai pusat pemerintahan Jawa Barat. Jalan tol Purbaleunyi dibagi menjadi dua bagian yaitu Padaleunyi (Padalarang–Cileunyi) yang dibangun pada tahun 1989-

1992 dan Cipularang (Cikampek – Purwakarta – Padalarang) yang dibangun pada tahun 2003-2005 (Yuliani, 2015).

Menurut PT Jasa Marga jalan tol Padaleunyi merupakan jalan lingkaran selatan yang memiliki panjang 64,4 km. Jalan tol Padaleunyi dibangun guna menghubungkan daerah-daerah komersial yang berada di sekitar Bandung. Peta jalan tol Padalarang – Cileunyi ditunjukkan pada gambar 2.1 dan daftar gerbang tol Padalarang – Cileunyi ditunjukkan pada tabel 2.1.



Gambar 2. 1 Peta Jalan Tol Padalarang – Cileunyi (Jasa marga, 2022)

Tabel 2. 1 Daftar Gerbang Tol Padalarang – Cileunyi (Jasa marga, 2022)

| <b>Gerbang Tol</b> | <b>Kilometer</b>       | <b>Keterangan</b>  |
|--------------------|------------------------|--|
| Padalarang         | 122                    | Keluar menuju Padalarang, Cianjur, Cikalong Wetan  |
| Baros              | 127 – 4P (Tol Pasteur) | Keluar menuju Cimahi, Baros, Leuwigajah  |
| Pasteur            | 127 – 1P (Tol Pasteur) | Keluar menuju Pasteur, Lembang, Gegerkalong, Dago, Bandung Kota.   |
| Pasir Koja         | 132                    | Keluar menuju Pasir Koja, Leuwi Panjang, Bandung Kota  |
| Kopo               | 135                    | Keluar menuju Kopo, Soreang, Ciwidey, Bandung Kota   |
| Mohammad Toha      | 139                    | Keluar menuju Mohammad Toha, Banjaran, Bandung Kota  |
| Buah Batu          | 142                    | Keluar menuju Buahbatu, Dayeuhkolot, Bandung Kota  |
|                    |                        | Penghabisan Jalan Tol Purbaleunyi(Padaleunyi).   |
| Cileunyi           | 155                    | Menuju Cileunyi, Jatinangor, Sumedang, Cirebon, Garut, Tasikmalaya, Ciamis, Purwokerto, Yogyakarta, Solo, Blitar, Kediri, Malang, Jember, Banyuwangi, Denpasar, Gianyar, Mataram |

### **2.3 Penerapan Atap Lengkung**

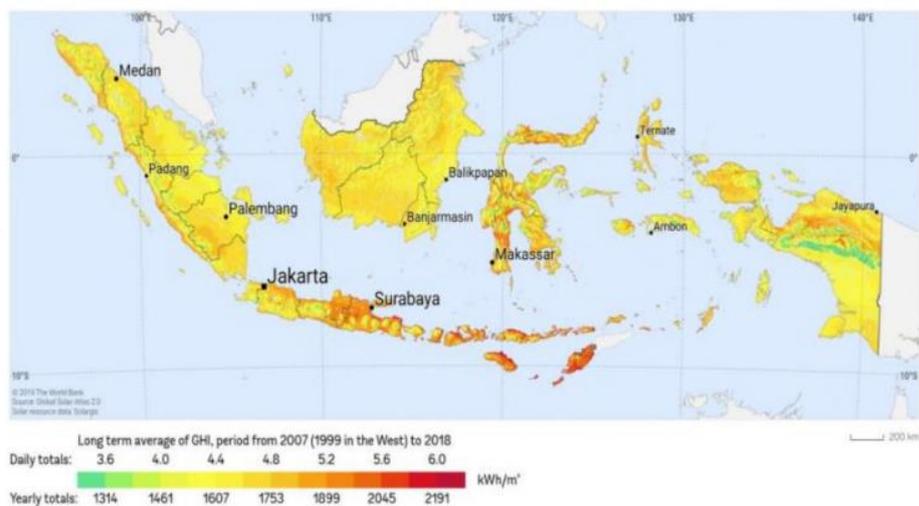
Pemasangan desain atap lengkung akhir-akhir ini semakin meningkat karena berbagai alasan. Atap lengkung menyenangkan secara estetika, serta bermanfaat untuk desain arsitektur dengan cara yang praktis. Bentuk dan struktur atap lengkung memiliki bentuk yang khas dan struktur lengkung yang kompleks. Kemudian dari segi estetika, tampak luar bangunan terlihat sangat dinamis baik dari sisi melebar, tampak depan, sisi memanjang maupun tampak samping. Hal itu disebabkan karena atap hanya terdiri dari 1 bidang dan dengan bentuk lengkung, tidak datar. Bentuk ini memberikan estetika yang menarik dan ruang dalam yang optimal. Namun, struktur lengkung ini juga memerlukan perencanaan dan analisis yang cermat untuk memastikan kekuatan dan kestabilan yang memadai (Halim, 2023). Alur angin

terhadap bentuk atap lengkung memungkinkan angin dibagian atas bangunan dengan kecepatan tinggi dapat lewat dengan baik tanpa terhadang bangunan, sedang bagian yang membutuhkan angin tetap dapat menerima angin dengan baik tanpa memberatkan beban struktur bangunan (Riogilang, 2015). Karena bentuk yang dimilikinya menghadirkan manfaat tersendiri dalam penanggulangan air hujan. Bentuk yang lengkung memungkinkan air hujan untuk jatuh ke permukaan tanah menjadi lancar. Sehingga air hujan yang turun tidak meninggalkan genangan yang dapat merusak atap (Maurina et al., 2011). Selain anti genangan air, penggunaan atap lengkung juga menguntungkan saat musim kemarau tiba. Dedaunan yang gugur dan rontok dari pohon biasanya akan jatuh ke permukaan tanah atau tertiuap angin. Saat dedaunan melewati atap lengkung, besar kemungkinan akan terjatuh ke tanah dan tidak menumpuk pada atap (Maurina et al., 2011).

#### **2.4 Potensi Energi Matahari di Indonesia**

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Peta potensi energi surya di negara Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.1 dengan tingkat ketidakpastian (uncertainty) hingga + 8 %. Nilai ketidakpastian tersebut pada umumnya didapati di negara dengan iklim tropis seperti halnya Indonesia. Berdasarkan peta potensi tersebut dapat diketahui bahwa Indonesia memiliki potensi rata-rata adalah 4,8 kWh/m<sup>2</sup> dimana beberapa daerah memiliki potensi energi surya yang cukup tinggi.

Potensi yang sangat baik ini tentunya menjadi peluang bagi energi baru terbarukan khususnya PLTS untuk berkembang pesat di Indonesia pada masa yang akan datang (Bernando, 2020).



Gambar 2. 2 Peta Global Horizontal Irradiation Negara Indonesia (Bernando, 2020)

## 2.5 Potensi Energi Matahari di Jalan Tol Padalarang - Cileunyi

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 tentang Jalan, Jalan Bebas Hambatan adalah jalan umum untuk lalu lintas dengan pengendalian jalan masuk secara penuh dan tanpa adanya persimpangan sebidang serta dilengkapi dengan pagar ruang milik jalan. Jalan Tol adalah jalan bebas hambatan yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar. Selain itu, ruang terbuka jalan tersedia. Dengan mengubah jalan ini menjadi jalan raya surya akan membuka lahan baru untuk pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia. Hasil modul fotovoltaik di

jalan raya bebas hambatan dapat digunakan untuk kebutuhan jalan seperti tempat istirahat, pintu tol, pos pemeriksaan kontrol lalu lintas, serta dapat meningkatkan keselamatan lalu lintas sebagai penerangan. Selain itu, hasil modul fotovoltaik memberikan perlindungan kebisingan tambahan dan yang paling utama dapat meningkatkan daya tahan dan umur panjang karakteristik permukaan jalan raya dengan melindungi dari panas berlebih dan curah hujan (Mehadi, Nishat, et al., 2021).

Nilai radiasi matahari di perlukan agar data yang dihasilkan optimal dan sesuai dengan sistem yang dibutuhkan, maka data rata-rata radiasi diambil dari aplikasi Meteororm yang terhubung ke aplikasi Helioscope untuk nilai radiasi dan untuk temperatur menggunakan data dari website BMKG. Kondisi matahari di daerah Jalan Tol Padaleunyi terbilang baik, sehingga besarnya radiasi dan temperatur yang didapat untuk lokasi Gerbang Tol Cileunyi terdapat pada tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Rata-rata nilai radiasi dan temperatur

| Bulan     | Radiasi (kWh/m <sup>2</sup> /hari) | Temperatur (°C) |
|-----------|------------------------------------|-----------------|
| Januari   | 4,77                               | 25,2            |
| Februari  | 5,57                               | 25,4            |
| Maret     | 5,13                               | 25,7            |
| April     | 5,17                               | 26              |
| Mei       | 5,06                               | 25,7            |
| Juni      | 5,07                               | 25,4            |
| Juli      | 5,10                               | 25,3            |
| Agustus   | 5,35                               | 25,5            |
| September | 5,60                               | 25,4            |
| Oktober   | 6,00                               | 26              |
| November  | 5,10                               | 25,7            |

|                  |             |              |
|------------------|-------------|--------------|
| Desember         | 4,94        | 25,7         |
| <b>Rata-rata</b> | <b>5,24</b> | <b>25,58</b> |

Berdasarkan tabel 2.2 dapat diketahui bahwa rata-rata potensi radiasi matahari adalah 5,24 kWh/m<sup>2</sup>/hari, di mana untuk potensi radiasi matahari tertinggi pada bulan Oktober adalah 6,00 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan untuk potensi radiasi terendah berada pada bulan Januari adalah 4,77 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Untuk temperatur rata-rata adalah 25,58°C, temperatur tertinggi berada pada bulan Oktober dan April yaitu adalah 26°C dan temperatur terendah berada pada bulan Januari yaitu adalah 25,2 °C.

## 2.6 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

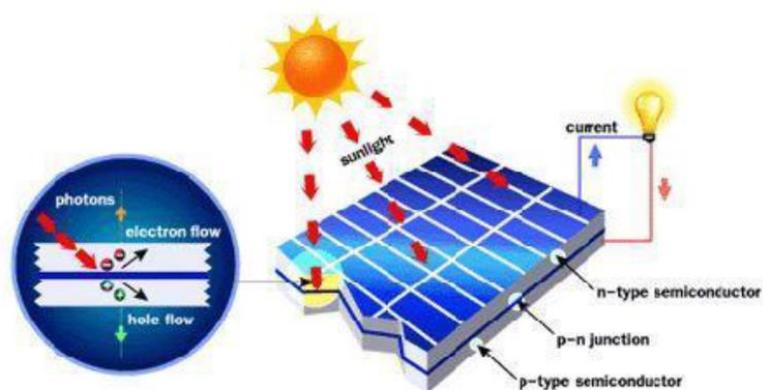
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada modul surya yang terdiri dari sel surya. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari *silicon* (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah (DC). Selanjutnya rangkaian modul surya akan membentuk suatu array surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*) yang dapat diubahnya menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan (Untag, 1993).

Sistem PLTS dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis. Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara umum PLTS dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (*on-grid PV system*) dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV system*) atau PLTS yang berdiri

sendiri (*stand-alone*). PLTS stand-alone ini selain dapat beroperasi secara mandiri, juga dapat di-tunjang oleh sumber daya lain seperti tenaga angin, generator set, maupun tenaga air serta tenaga mikro hidro yang disebut sebagai sistem PLTS hybrid (Vidhia Kumara et al., 2018).

## 2.7 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada umumnya dapat bekerja apabila menerima cahaya foton dari matahari dan cahaya foton tersebut diterima oleh sel surya dimana sel surya dapat mengkonversikan energi foton menjadi energi listrik. Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya fotovoltaik berupa semikonduktor. Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negative (n) sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positive (p). (Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019)



Gambar 2. 3 Prinsip kerja sel surya (Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019)

Silikon adalah bahan semi konduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron dan hole. Elektron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk digunakan kemudian (Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019).

Besarnya pasangan elektron dan hole yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, makin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel surya makin besar pula foton yang dimiliki sehingga makin banyak pasangan elektron dan hole yang dihasilkan yang akan mengakibatkan besarnya arus yang mengalir. Makin pendek panjang gelombang cahaya maka makin tinggi energi fotonnya sehingga makin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga berimplikasi pada makin besarnya arus yang mengalir (Haerurrozi, Abdul Natsir, 2019).

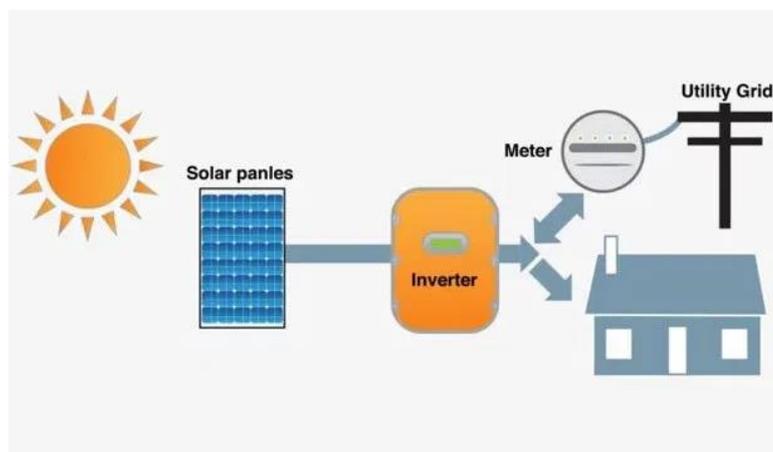
## **2.7 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

### **2.7.1 Berdasarkan koneksi sistem terhadap grid**

PLTS secara umum dibagi menjadi 2, yaitu sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (*on-grid PV system*) dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV system*). Penjelasan tentang kedua jenis PLTS berdasarkan teknologinya adalah sebagai berikut ini:

a. Sistem PLTS On Grid

PLTS On Grid merupakan sistem yang dapat langsung terkoneksi dengan jaringan PLN, dimana sistem PLTS dapat dikonfigurasi dengan jaringan listrik atau jaringan PLN di lokasi yang telah dialiri listrik oleh PLN, dan sistem di lokasi tersebut memiliki jam operasional dalam sehari. Penggunaan PLTS yang terhubung pada jaringan listrik untuk mensuplai energi listrik di rumah tangga atau industri (Anugrah, 2020). Sistem PLTS On Grid ditunjukkan oleh gambar 2.4.

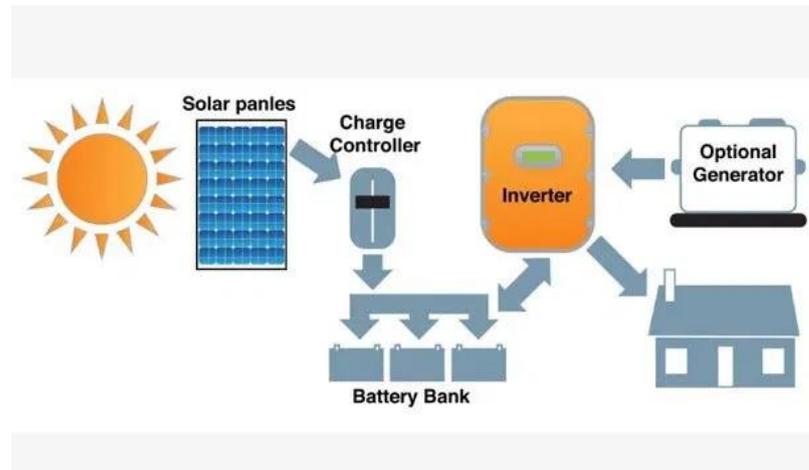


Gambar 2. 4 Skema Sistem PLTS On Grid (Builder, 2020)

b. Sistem PLTS Off Grid

Sistem Off Grid atau biasa disebut stand alone adalah sistem yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai sumber energi utama penyedia energi yang dikonversi menjadi energi listrik. Sistem dapat berjalan tanpa bantuan jaringan PLN karena mempunyai penyimpanan energi berupa baterai. PLTS Off Grid ini biasanya memakan biaya cukup mahal karena harga baterai yang cukup tinggi. Sistem *Off-Grid* ada yang bekerja berdampingan dengan pembangkit lain atau bisa disebut

dengan hybrid sistem. Tujuan hybrid sistem sama dengan grid connection yaitu menjaga keseimbangan pembangkit daya. Sistem PLTS *Off-Grid* umumnya digunakan pada daerah/wilayah yang jauh/tidak terjangkau jaringan listrik PLN (Builder, 2020). Sistem PLTS Off Grid ditunjukkan oleh gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Skema Sistem PLTS Off Grid (Builder, 2020)

### 2.7.2 Berdasarkan teknologi

Terdapat banyak jenis dudukan surya, berdasarkan teknologinya terdapat 3 pilihan utama meliputi roof-mounted, ground-mounted, dan Reservoir / lake based floating solar system. Penjelasan ketiga teknologi tersebut adalah sebagai berikut.

#### a. *Roof-Mounted*

Metode instalasi roof-mounted merupakan instalasi PLTS yang memanfaatkan ruang atap yang kosong pada bangunan seperti gedung komersial besar dan atap rumah dengan mempertimbangkan usia atap yang ada, garis lintang geografis, kondisi cuaca, kemiringan atap, dan naungan dari bangunan atau vegetasi yang berdekatan (Melink, 2020).

Metode teknologi roof-mounted seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2. 6 PLTS Roof-Mounted (Melink, 2020)

b. Ground-Mounted

Metode instalasi ground-mounted merupakan instalasi PLTS yang memanfaatkan lahan terbuka yang datar dan stabil dengan tiang yang didorong ke dalam tanah. Ground-mounted menghasilkan lebih banyak energi karena dapat dipasang dengan sudut kemiringan yang lebih optik. Untuk menangkap jumlah maksimum sinar matahari, panel surya yang dipasang di tanah menggunakan bingkai logam yang terhubung ke bumi untuk menahan panel pada sudut yang tetap (Melink, 2020). Kelebihan dari panel surya yang dipasang di atas tanah yaitu mempunyai rata-rata temperatur panel surya lebih stabil karena adanya cooling dari tanah yang bisa menyerap panas. Adapun kelemahan pada sistem di atas tanah yaitu adanya debu dan kotoran karena posisinya lebih rendah sehingga dekat dengan tanah. Adapun solusi pada masalah ini panel surya dibersihkan dalam rentang waktu empat bulan sekali (Fauzi Wibowo et al., 2019).

Metode teknologi ground-mounted seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 PLTS Ground-Mounted (Melink, 2020)

c. *Floating solar system*

PLTS terapung adalah adalah sebuah model PLTS yang diletakan terapung diatas air seperti danau, waduk dan sejenisnya, termasuk laut. Metode instalasi floating solar photovoltaic yaitu dengan memanfaatkan permukaan air dengan menggunakan sistem apung. Keuntungan PLTS terapung antara lain tidak membutuhkan lahan/daratan yang umumnya lebih mahal atau bernilai, kemudian mengurangi terjadinya penguapan air, menghambat pertumbuhan gulma lainnya seperti eceng gondok serta penguapan air yang terjadi dan tertahan oleh modul PV menciptakan sebuah sistem pendinginan yang meningkatkan efisiensi listrik yang dihasilkan oleh sel photovoltaic (EBTKE, 2016). Metode teknologi floating solar system seperti pada gambar 2.8.



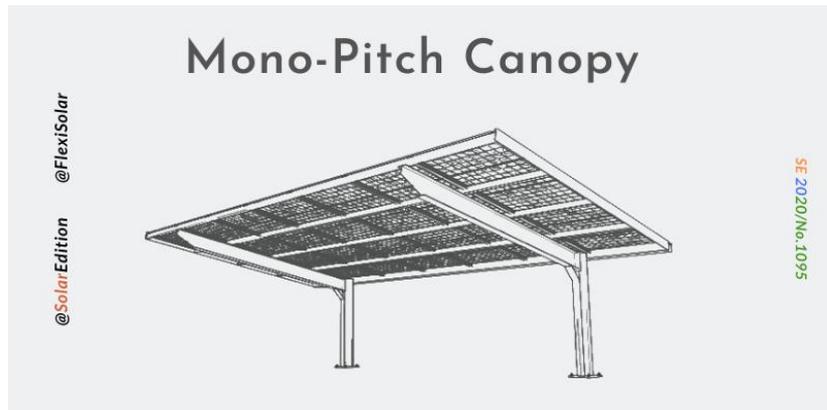
Gambar 2. 8 PLTS Terapung (EBTKE, 2016)

### 2.7.3 Berdasarkan jenis kanopi

Kanopi jalan surya adalah jenis struktur surya baru yang dipasang di atas jalan untuk menangkap energi matahari di ruang yang tersedia dan kurang dimanfaatkan ini. Dapat digunakan untuk menghemat lahan dan dapat meningkatkan produksi tenaga surya sekaligus melindungi jalan, kendaraan, dan pengguna jalan. (Solartechadvisor, 2021). Berdasarkan jenis atap kanopi, struktur tempat modul fotovoltaik dipasang diklasifikasikan menjadi tiga jenis:

#### a. *Mono Pitch Canopy*

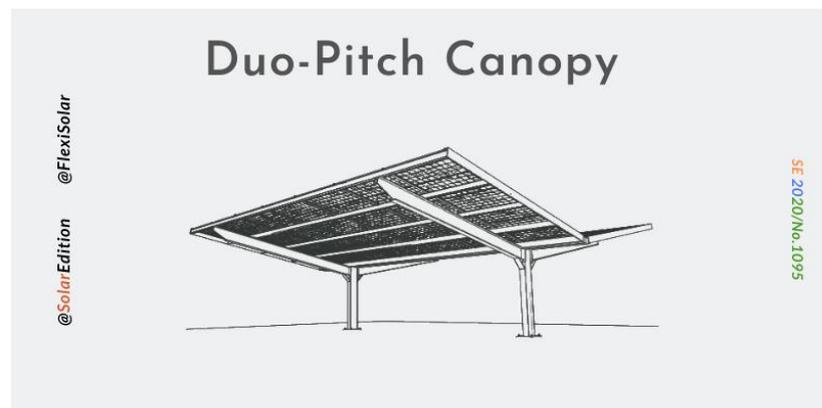
Mono pitch canopy memiliki kemiringan permukaan datar, yang memiliki sudut kemiringan yang sama pada waktu tertentu. Sudut kemiringan yang paling tepat untuk kanopi ini adalah 5-10° (Hindawi, 2020).



Gambar 2. 9 Kanopi Monopitch (Hindawi, 2020)

b. *Duo Pitch Canopy*

Kanopi duopitch memiliki dua baris atap yang disusun dengan orientasi Timur-Barat, membuat keduanya menjadi lembah. Persimpangan dua panel surya menciptakan lembah yang dapat dirancang sebagai terowongan pengumpul air (Solartechadvisor, 2021).



Gambar 2. 10 Kanopi Duopitch (Hindawi, 2020)

c. *Barrel-Arch Canopy*

Barrel arch canopy adalah kanopi surya permukaan lengkung datar. Permukaan lengkung diterjemahkan menjadi sudut kemiringan yang berbeda di setiap titik (Solartechadvisor, 2021).



Gambar 2. 11 Kanopi Barrel Arch (Hindawi, 2020)

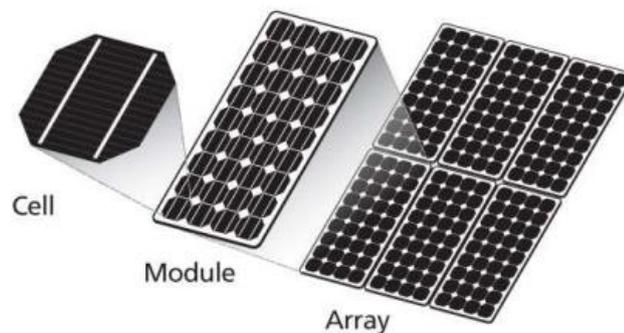
Tabel 2. 3 Kelebihan dan kekurangan jenis-jenis kanopi (Hindawi, 2020)

| Jenis kanopi | Kelebihan   | Kekurangan   |
|--------------|---|--|
| Monopitch    | Desain sederhana memudahkan pemasangan di jalan raya.   | Apa pun di luar sudut kemiringan $10^\circ$ akan mengurangi keteduhan pada mobil dan energi matahari yang terkumpul. |
| Duopitch     | Produksi energi surya PV maksimum saat matahari berada di sisi utara dan selatan.             | Refleksi dan kemungkinan perubahan dapat terjadi, terutama pada sudut kemiringan yang lebih besar.                   |
| Barrel arch  | Umumnya, kanopi surya lengkung mengumpulkan cahaya yang signifikan di setiap posisi matahari. | Kanopi surya mungkin tidak menyerap energi maksimum untuk sudut tertentu.  |

## 2.8 Komponen-komponen pada PLTS

### 2.8.1 Modul surya

Modul surya atau sel fotovoltaik adalah sebuah alat yang mengubah cahaya menjadi arus listrik dengan menggunakan efek fotolistrik. Kapasitas daya merupakan spesifikasi modul surya yang menyatakan besarnya daya yang bisa dihasilkan oleh modul surya saat intensitas radiasi yang diterima adalah  $1000 \text{ W/m}^2$  dan kondisi suhu lingkungan  $25^\circ\text{C}$ . Kapasitas daya modul surya diukur dalam satuan Watt-peak (Wp). Daya dan arus listrik yang dihasilkan modul surya berubah-ubah tergantung pada besarnya intensitas radiasi surya yang diterima. Modul surya atau modul photovoltaic akan disambung secara seri untuk membentuk suatu rangkaian yang kemudian akan diparalel untuk membentuk sebuah array atau susunan dalam proses instalasi (Hasan, 2012). Ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2. 12 Sel, Modul, Array (Marpaung et al., 2020)

### 2.8.2 Jenis-jenis modul surya

Jenis sel surya ini dibedakan menjadi beberapa macam, diantaranya monokristalin silikon, polikristalin silikon, dan amorphous (amorf) dengan tingkat efisiensi penyerapan energi matahari yang juga berbeda persentasenya

(Rusiana Iskandar et al., 2017). Penjelasan ketiga jenis modul surya tersebut sebagai berikut ini.

a. Monokristalin (Monocrystalline)

Monokristalin dibuat dari bahan silikon kristal yang di dapat dari peleburan silikon yang mempunyai kemurnian tinggi yaitu mencapai 99,999%. Efisiensi sel surya jenis silikon ini mempunyai efisiensi konversi yang paling tinggi yaitu sekitar 16% sampai 17%. Oleh karena itu modul surya berbahan monokristal ini dapat menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling besar. Kekurangan monokristalin dari sudut pandang ekonomis adalah bahannya yang masih mahal. Jika modul surya sebagian ditutupi dengan warna, kotoran atau salju seluruh rangkaian bisa rusak. Modul surya monokristalin cenderung lebih efisien dalam cuaca hangat dan kinerja akan buruk karena suhu naik (Marpaung et al., 2020).

b. Polikristalin (Polycrystalline)

Polikristalin merupakan modul surya yang memiliki susunan kristal acak. Modul surya polikristalin cenderung memiliki toleransi panas sedikit lebih rendah dari modul surya monokristalin. Secara teknis berarti bahwa mereka melakukan sedikit lebih buruk dari modul surya monokristalin dalam suhu tinggi. Panas dapat mempengaruhi kinerja modul surya dan juga memperpendek life time solar sel. Namun efek ini sangat kecil dan dapat diabaikan. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristalin untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada

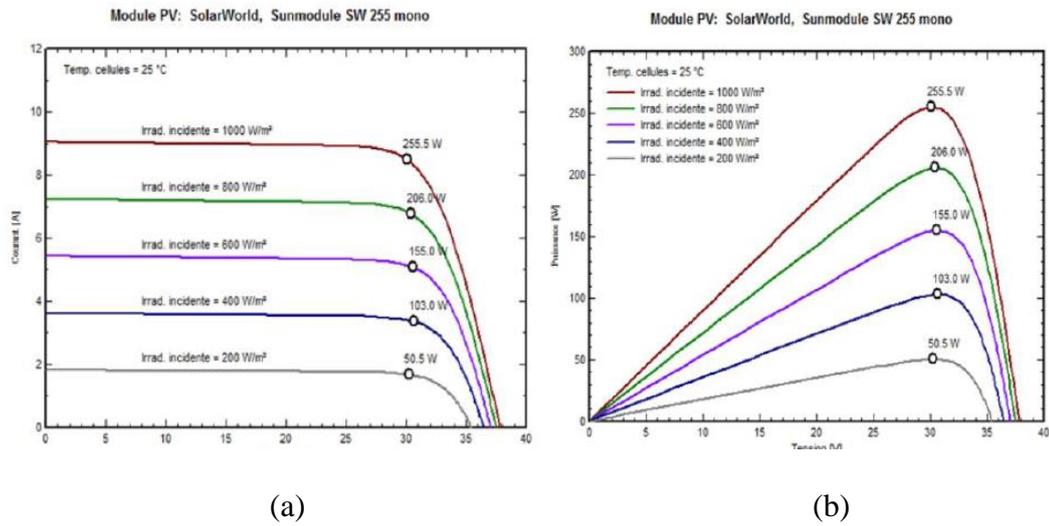
saat cuaca berawan dikarenakan kemurnian silikon yang lebih rendah. Efisiensi modul surya polikristalin mencapai 12% sampai 14% (Marpaung et al., 2020).

c. Amorphous (Amorf)

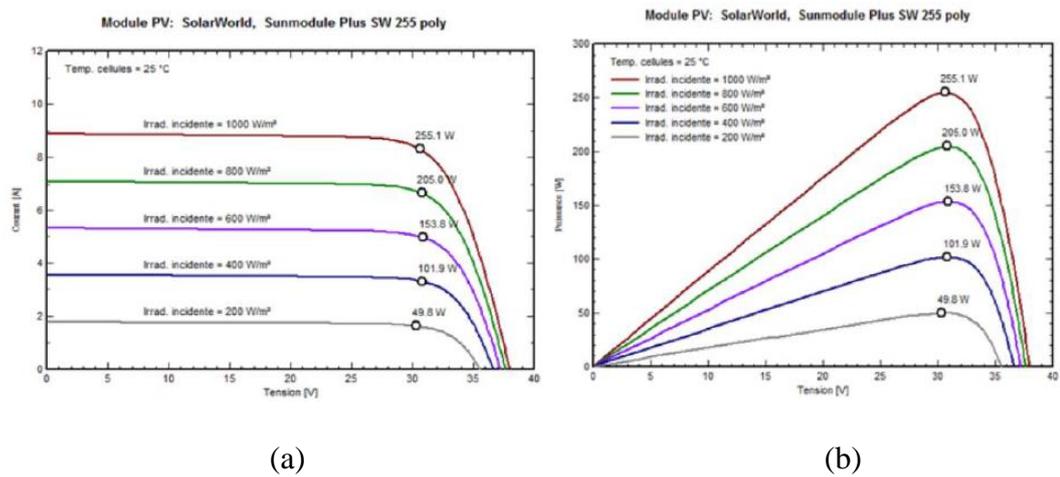
Silikon Amorf (a-Si) telah digunakan sebagai bahan sel photovoltaic selama beberapa waktu. Meskipun mempunyai kinerja yang lebih rendah dibandingkan sel surya tradisional c-Si. Disini efisiensi yang lebih tinggi dapat dicapai dengan menyusun beberapa sel tipis-film di atas satu sama lain, masing-masing sesuai untuk bekerja dengan baik pada frekuensi cahaya tertentu. Pendekatan ini tidak berlaku untuk c-sel Si, dengan teknik konstruksi yang tebal dan karenanya sangat buram, menghalangi cahaya mencapai lapisan lain dalam susunan. Pembuatan dari solar sel bertipe a-Si dalam produksi skala besar tidak efisien, tetapi biaya a-Si sel menggunakan sekitar 1% dari silikon yang dibutuhkan untuk sel c- Si, dan biaya silikon adalah faktor terbesar dalam biaya pembuatan sel. Namun, biaya lebih tinggi karena pembuatan konstruksi multi-layer, sampai saat ini, membuat a-Si tidak menarik kecuali dalam peran mana ketipisan atau fleksibilitas adalah keuntungan (Dai et al., 2021).

Beberapa studi dan penelitian sudah dilakukan dan berkaitan dengan analisis karakteristik hubungan kurva arus, tegangan, dan daya maksimum pada jenis panel surya. Karakteristik sel surya dimodelkan dengan menggunakan output arus dan tegangan (kurva I-V) pada gambar 2.13(a), gambar 2.14(a), dan 2.15(a) dan menggunakan daya terhadap tegangan (kurva P-V) pada gambar 2.13(b), gambar 2.14(b), dan 2.15(b) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi Iradiasi maka

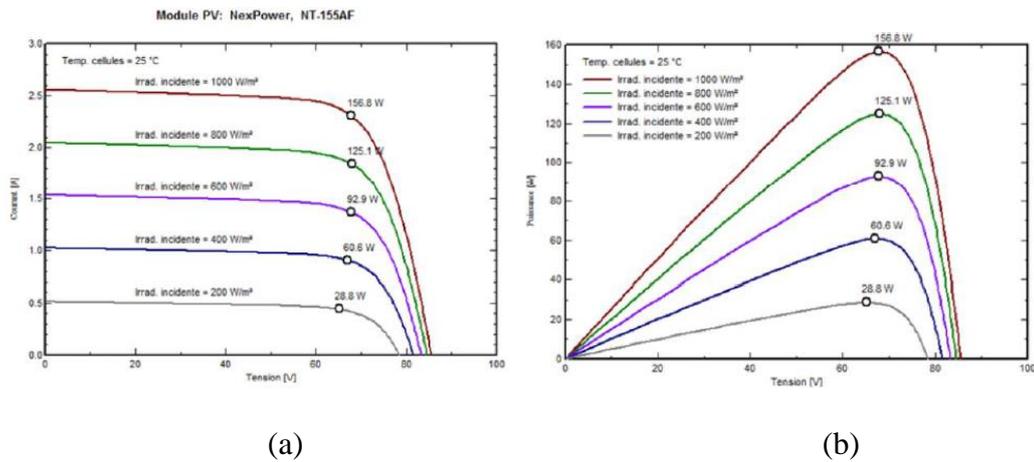
semakin besar arus dan daya yang dihasilkan panel surya, dan terlihat bahwa perbedaan Iradiasi tidak begitu mempengaruhi tegangan yang dihasilkan panel surya. (Suharta, Nadella Penny, 2021)



Gambar 2. 13 Karakteristik monokristalin silikon berbentuk kurva (a) arus terhadap tegangan (b) daya terhadap tegangan (Elamim et al., 2017)



Gambar 2. 14 Karakteristik polikristalin silikon berbentuk kurva (a) arus terhadap tegangan (b) daya terhadap tegangan (Elamim et al., 2017)



Gambar 2. 15 Karakteristik amorf-Si berbentuk kurva (a) arus terhadap tegangan (b) daya terhadap tegangan (Elamim et al., 2017)

### 2.8.3 Inverter

Inverter merupakan perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Penentuan kapasitas kebutuhan inverter minimal setara dengan ukuran daya yang digunakan agar efisiensi kerjanya maksimal. Berdasarkan penggunaannya inverter dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

#### a. Off Grid Inverter

Off grid inverter bekerja dengan menggunakan sumber listrik backup battery yang dihasilkan dari modul surya dan menggantikan saat jaringan listrik dari penyedia listrik utama (PLN) padam.

#### b. On Grid Inverter (Grid Tie Inverter)

Grid tie inverter bekerja secara langsung dari modul surya tanpa melalui sumber backup, juga dapat digunakan secara bersama dengan penyedia jaringan listrik utama (PLN) sehingga dapat mengurangi beban tagihan listrik. Sistem ini bekerja

secara sinkron dan otomatis berbagai beban antara modul surya sebagai yang utama dan PLN sebagai backup, apabila supply yang dihasilkan modul surya kurang maka akan dipenuhi oleh PLN. Kekurangan sistem ini adalah ketika terjadi pemadaman listrik utama (PLN) pada siang hari, inverter ikut mati sehingga tenaga matahari tidak optimal digunakan jika di daerah yang sering terjadi pemadaman listrik (Marpaung et al., 2020).

Berdasarkan fungsinya terdapat beberapa jenis inverter adalah sebagai berikut.

- a. Central inverter: digunakan untuk PLTS dengan struktur yang homogen (modul PV dengan tipe yang sama), digunakan untuk sistem dengan kapasitas daya diatas 100 kW.
- a. String inverter: digunakan pada string, dimana PV dibagi dalam beberapa string dan masing-masing string menggunakan satu inverter. Teknologi ini akan menurunkan biaya dan memudahkan pekerjaan instalasi, meningkatkan energi yang dihasilkan serta meningkatkan availability system.
- b. Module inverter: setiap modul PV menggunakan satu buah inverter mikro dengan biaya yang relatif murah.
- c. Smart Inverter: inverter yang mampu untuk dapat diintegrasikan dengan jaringan listrik publik, karena dilengkapi dengan sensor yang dapat memonitor dan mengontrol jaringan listrik publik sehingga bisa menjaga kestabilannya dan sinkron dengan tegangan listrik public (Purbaya, 2019).

#### 2.8.4 Combiner Box

Panel combiner box merupakan komponen penting pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam memproteksi PLTS dari gangguan internal maupun eksternal yang memiliki potensi destruktif terhadap piranti-piranti pada PLTS. Pada panel combiner box ditambahkan peralatan pengukuran tegangan dan arus untuk setiap string panel surya dengan tujuan agar daya keluaran panel surya dapat dimonitor setiap jam. Instalasi panel combiner box terdiri atas instalasi fuse/sekring untuk tujuan membatasi arus dari panel surya ke panel combiner box. Berikut adalah komponen-komponen didalam combiner box.

- a. Instalasi peralatan *string monitoring* sebagai alat ukur output panel surya.
- b. Instalasi *disconnecting switch* sebagai saklar penghubung panel combiner box dan inverter.
- c. Instalasi surge protection untuk melindungi PLTS dari surge voltage.
- d. Mini Circuit Breaker (MCB) sebagai pemutus arus lebih dari panel surya dan baterai (Marpaung et al., 2020).

#### 2.8.5 Kabel

Kabel untuk menghubungkan komponen perangkat dalam implementasi PLTS sebaiknya memperhatikan spesifikasi perkabelan untuk mengurangi loss (kehilangan) daya, pemanasan pada kabel, dan kerusakan pada perangkat. Pengkabelan antar modul surya lebih diutamakan menggunakan kabel tembaga

dengan alasan drop voltage yang tidak terlalu besar dan lebih resistant terhadap kondisi cuaca luar dan korosi dibanding aluminium (Marpaung et al., 2020).

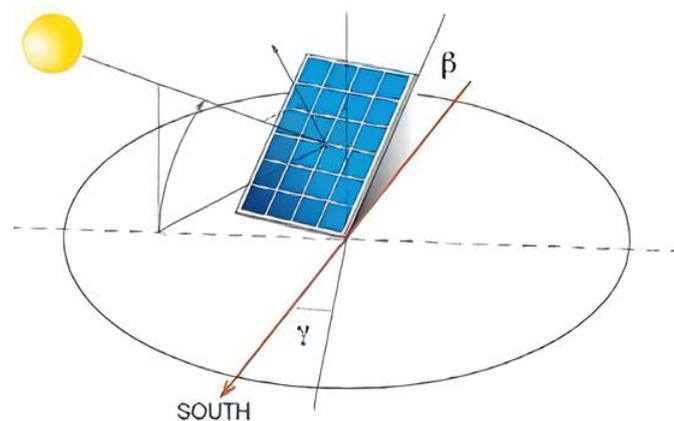
#### 2.8.6 Kwh meter exim

Net metering merupakan sistem layanan yang diberikan oleh PLN untuk pelanggan PLN yang memasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang telah memenuhi syarat. Di Indonesia sistem net metering ini telah diatur dalam Peraturan Direksi PT.PLN (Persero) Nomor 0733.K/DIR/2013 tentang Pemanfaatan Energi Listrik dari Fotovoltaik oleh Pelanggan PT.PLN (Persero). Pelanggan PT. PLN yang telah memasang net metering dapat mengirim/mengekspor kelebihan energi kWh dari fotovoltaik ke sistem ketenagalistrikan PLN dan akan dapat menerima/mengimpor energi listrik apabila energi listrik yang dihasilkan modul surya tidak memenuhi kebutuhan energi listrik pelanggan PLN. PLN akan memasang jenis kWh meter export import (exim) untuk pelanggan yang memanfaatkan energi listrik dari Fotovoltaik, selain dari listrik PLN. Energi listrik yang diterima PLN dari Fotovoltaik akan di offset/diimbangi dengan energi listrik yang dikirim PLN ke pelanggan (Marpaung et al., 2020).

### **2.9 Kemiringan sudut matahari dengan panel surya**

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap radiasi matahari dipermukaan modul surya. Sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Menentukan arah sudut kemiringan modul surya harus disesuaikan dengan letak geografis lokasi pemasangan modul surya tersebut. Penentuan sudut

pemasangan modul surya ini berguna untuk membenarkan penghadapan modul surya ke arah garis khatulistiwa. Pemasangan modul surya ke arah khatulistiwa dimaksudkan agar modul surya mendapatkan penyinaran yang optimal. modul surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang =  $0^\circ$ ) yang diletakan mendatar (*tilt angle* =  $0^\circ$ ) (Ilham Lubis, 2018).



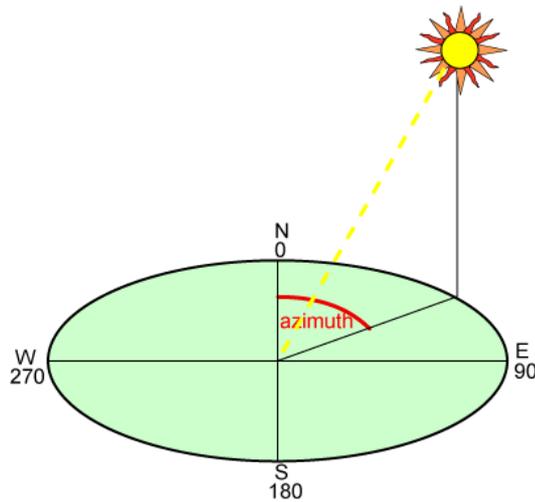
Gambar 2. 16 Sudut kemiringan modul surya (Ilham Lubis, 2018)

Terdapat beberapa parameter sudut – sudut yang penting dalam menentukan posisi matahari yaitu:

- a. Sudut *Latitude* ( $\phi$ ), merupakan sudut lintang utara atau selatan dari garis ekuator, yang bernilai positif untuk lintang utara, ( $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ ).
- b. Sudut deklinasi ( $\delta$ ), merupakan sudut posisi matahari saat solar noon (ketika matahari berada tepat di atas posisi lokal suatu daerah) terhadap garis ekuator/khatulistiwa, yang bernilai positif untuk saat matahari di wilayah utara, ( $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ ).

c. Sudut tilt/slope ( $\beta$ ), merupakan sudut kemiringan suatu bidang terhadap garis horizontal, ( $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ) (Ilham Lubis, 2018).

d. Sudut azimuth, merupakan arah mata angin dari mana cahaya matahari datang. Pada tengah hari, matahari selalu berada tepat di selatan di belahan bumi bagian utara dan tepat di utara di belahan bumi bagian selatan. Pada saat ekuinoks, matahari terbit tepat dari timur dan terbenam tepat di barat, terlepas dari derajat lintangnya, sehingga sudut azimuth adalah  $90^\circ$  pada matahari terbit dan  $270^\circ$  saat matahari tenggelam (Ilham Lubis, 2018).



Gambar 2. 17 Sudut azimuth (Honsberg & Bowden, 2022)

Terdapat beberapa persamaan untuk menentukan sudut bidang miring terhadap radiasi matahari. Persamaan 2.1 menunjukkan sudut deklinasi ( $\delta$ ) dari matahari di permukaan bumi sebagai fungsi dari  $n$  (urutan hari dari 1 Januari).

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284+n}{365}\right) \quad (2.1)$$

Untuk  $\omega$  (*hour angle*) sangat erat kaitannya dengan waktu lokal, sehingga kesalahan pada nilai  $\omega$  akan menyebabkan kesalahan yang signifikan. Nilai  $\omega$  akan bernilai 0 pada tengah hari, bernilai negatif pada pagi hari dan bernilai positif pada sore hari. Nilai  $\omega$  setiap jam nya akan bertambah  $15^\circ$ . Untuk menghitung *hour angel* dapat dihitung melalui persamaan 2.2.

$$\omega = (\text{solar time} - 12) \times 15^\circ \quad (2.2)$$

Untuk nilai *solar time* sendiri dapat dicari dengan persamaan 2.3.

$$\text{solar time} = \text{waktu lokal} + \frac{(\text{LSTM} - \text{Longitude}) \times 4' + \text{EoT}}{60} \quad (2.3)$$

Dimana,

$LSTM$  = Lokal Standard Time Meridian

$EoT$  = Faktor koreksi waktu sesuai rotasi bumi terhadap matahari

Nilai LSTM dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$LSTM = 15^\circ \times \Delta T_{GMT} \quad (2.4)$$

Dimana,

$T_{GMT}$  = selisih waktu secara time zone

Sedangkan  $EoT$  dicari dengan persamaan 2.5.

$$EoT = 9.87 \sin(2x) - 7.53 \cos(x) - 1.5 \sin(x) \quad (2.5)$$

Dimana nilai  $x$  didapat dari persamaan 2.6.

$$x = \frac{360}{365}n - 81 \quad (2.6)$$

Sudut jam atau hour angle ( $\omega$ ), merupakan perubahan nilai sudut matahari dari arah timur atau barat akibat rotasi bumi dengan nilai  $15^\circ$  per jam, yang saat pagi bernilai negatif dan sore bernilai positif. Diketahui jalan Tol Padalarang-Cileunyi memiliki sudut *latitude*  $-6.942381^\circ$  dan *longitude*  $107.752338^\circ$ . Dari persamaan 2.2 dapat diperoleh sudut tiap jam matahari menghadap pada bumi/panel surya dengan menggunakan nilai sudut *latitude* dan *longitude*. Berikut tabel 2.4 nilai sudut datang matahari dan tabel 2.5 nilai iradiasi matahari per jam yang didapat menggunakan parameter sudut matahari setiap tanggal 1 pada setiap bulan sepanjang tahun dari jam 6 pagi sampai jam 18 sore.

Tabel 2. 4 Nilai Sudut Datang Matahari di Jalan Tol Padalarang-Cileunyi

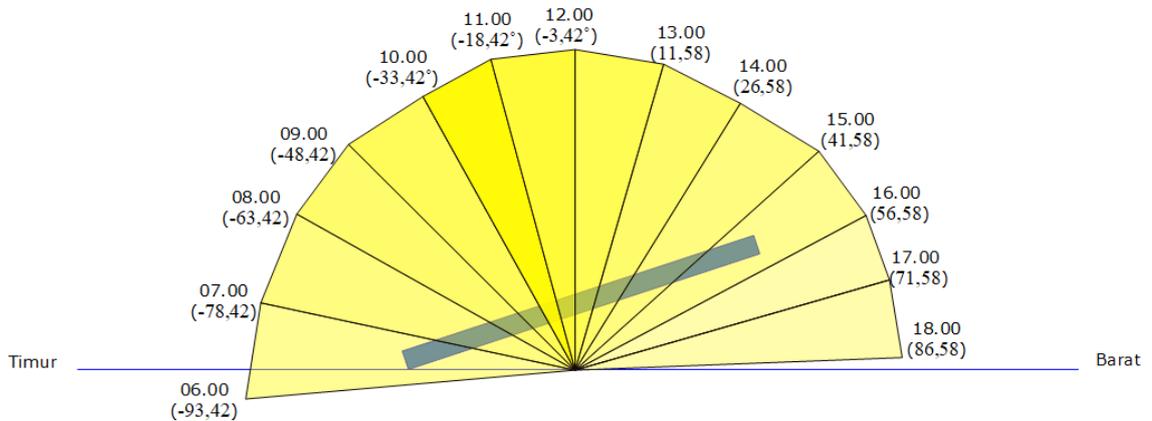
| Bulan     | Sudut per jam (derajat) |        |        |        |               |               |       |              |              |              |       |       |       |
|-----------|-------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------|-------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|
|           | 06.00                   | 07.00  | 08.00  | 09.00  | 10.00         | 11.00         | 12.00 | 13.00        | 14.00        | 15.00        | 16.00 | 17.00 | 18.00 |
| Januari   | -93.42                  | -78.42 | -63.42 | -48.42 | <b>-33.42</b> | <b>-18.42</b> | -3.42 | <b>11.58</b> | <b>26.58</b> | <b>41.58</b> | 56.58 | 71.58 | 86.58 |
| Februari  | -91.84                  | -76.84 | -61.84 | -46.84 | <b>-31.84</b> | <b>-16.84</b> | -1.84 | <b>13.16</b> | <b>28.16</b> | <b>43.16</b> | 58.16 | 73.16 | 88.16 |
| Maret     | -90.01                  | -75.01 | -60.01 | -45.01 | <b>-30.01</b> | <b>-15.01</b> | -0.01 | <b>14.99</b> | <b>29.99</b> | <b>44.99</b> | 59.99 | 74.99 | 89.99 |
| April     | -93.92                  | -78.92 | -63.92 | -48.92 | <b>-33.92</b> | <b>-18.92</b> | -3.92 | <b>11.08</b> | <b>26.08</b> | <b>41.08</b> | 56.08 | 71.08 | 86.08 |
| Mei       | -92.11                  | -77.11 | -62.11 | -47.11 | <b>-32.11</b> | <b>-17.11</b> | -2.11 | <b>12.89</b> | <b>27.89</b> | <b>42.89</b> | 57.89 | 72.89 | 87.89 |
| Juni      | -95.47                  | -80.47 | -65.47 | -50.47 | <b>-35.47</b> | <b>-20.47</b> | -5.47 | <b>9.53</b>  | <b>24.53</b> | <b>39.53</b> | 54.53 | 69.53 | 84.53 |
| Juli      | -89.65                  | -74.65 | -59.65 | -44.65 | <b>-29.65</b> | <b>-14.65</b> | 0.35  | <b>15.35</b> | <b>30.35</b> | <b>45.35</b> | 60.35 | 75.35 | 90.35 |
| Agustus   | -91.34                  | -76.34 | -61.34 | -46.34 | <b>-31.34</b> | <b>-16.34</b> | -1.34 | <b>13.66</b> | <b>28.66</b> | <b>43.66</b> | 58.66 | 73.66 | 88.66 |
| September | -93.59                  | -78.59 | -63.59 | -48.59 | <b>-33.59</b> | <b>-18.59</b> | -3.59 | <b>11.41</b> | <b>26.41</b> | <b>41.41</b> | 56.41 | 71.41 | 86.41 |
| Oktober   | -91.92                  | -76.92 | -61.92 | -46.92 | <b>-31.92</b> | <b>-16.92</b> | -1.92 | <b>13.08</b> | <b>28.08</b> | <b>43.08</b> | 58.08 | 73.08 | 88.08 |
| November  | -90.39                  | -75.39 | -60.39 | -45.39 | <b>-30.39</b> | <b>-15.39</b> | -0.39 | <b>14.61</b> | <b>29.61</b> | <b>44.61</b> | 59.61 | 74.61 | 89.61 |
| Desember  | -90.19                  | -75.19 | -60.19 | -45.19 | <b>-30.19</b> | <b>-15.19</b> | -0.19 | <b>14.81</b> | <b>29.81</b> | <b>44.81</b> | 59.81 | 74.81 | 89.81 |

Pada tabel 2.4 merupakan sudut datang matahari yang berbeda-beda setiap bulannya. Nilai minus (-) menandakan posisi matahari sedang terbit. Angka yang dicetak tebal pada tabel merupakan nilai yang memiliki iradiasi matahari paling besar diantara jam-jam lainnya.

Tabel 2. 5 Nilai iradiasi per jam di Jalan Tol Padalarang-Cileunyi

| Bulan     | Nilai iradiasi per jam (Wh/m <sup>2</sup> ) |     |     |            |            |            |            |            |            |            |            |           |
|-----------|---|-----|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
|           | 6-7   | 7-8 | 8-9 | 9-10       | 10-11      | 11-12      | 12-13      | 13-14      | 14-15      | 15-16      | 16-17      | 17-18     |
| Januari   | 88  | 205 | 282 | 327        | 324        | 296        | 264        | 208        | 140        | 84         | 52         | 18        |
| Februari  | 45  | 164 | 242 | 306        | 312        | 275        | 264        | 223        | 144        | 90         | 56         | 21        |
| Maret     | 69  | 237 | 348 | 423        | 434        | 364        | 305        | 244        | 158        | 99         | 59         | 22        |
| April     | 92  | 296 | 405 | 459        | 441        | 399        | 360        | 314        | 216        | 140        | 85         | 13        |
| Mei       | 104   | 327 | 440 | 496        | 494        | 470        | 440        | 386        | 300        | 207        | 130        | 14        |
| Juni      | 87  | 301 | 421 | 487        | 504        | 488        | 468        | 435        | 365        | 269        | 169        | 18        |
| Juli      | 68  | 324 | 458 | 536        | 561        | 545        | 521        | 493        | 425        | 326        | 215        | 30        |
| Agustus   | 77  | 352 | 493 | <b>574</b> | <b>595</b> | <b>584</b> | <b>563</b> | <b>512</b> | <b>443</b> | <b>336</b> | <b>219</b> | <b>48</b> |
| September | 110   | 385 | 501 | 572        | 577        | 537        | 512        | 478        | 401        | 294        | 177        | 23        |
| Oktober   | 158   | 329 | 430 | 454        | 419        | 379        | 360        | 341        | 264        | 181        | 107        | 12        |
| November  | 172   | 282 | 358 | 385        | 352        | 303        | 263        | 225        | 148        | 94         | 55         | 8         |
| Desember  | 132   | 223 | 319 | 346        | 310        | 272        | 217        | 176        | 118        | 73         | 40         | 12        |

Pada tabel 2.5 merupakan nilai iradiasi matahari per jam yang berbeda-beda setiap bulannya yang didapatkan dari aplikasi website Global Solar Atlas . Nilai radiasi tertinggi berada pada jam 10 ke jam 11. Angka yang dicetak tebal pada tabel merupakan nilai yang memiliki iradiasi matahari paling tinggi pada bulan Agustus.



Gambar 2. 18 Sudut datang matahari pada 1 Januari

Pada gambar 2.18, sudut zenith bernilai negatif pada pagi hari, bernilai positif untuk sore hari seperti pada tabel 2.4. Untuk nilai zenith kurang dari  $-90^\circ$  diartikan matahari belum terbit dan bila nilainya lebih dari  $90^\circ$  diartikan matahari sudah terbenam. Pada 1 Januari jam 06.00 memiliki nilai  $-93,42^\circ$  di arah timur itu menandakan bahwa jam 06.00 merupakan pagi hari dan matahari belum terbit. Warna kuning menandakan warna iradiasi matahari dari terbit sampai tenggelam. Warna kuning paling pekat menandakan iradiasi matahari tertinggi berdasarkan nilai iradiasi per jam di Jalan Tol Padalarang-Cileunyi pada tabel 2.5.

## 2.10 Perhitungan Perencanaan PLTS

### A. Perhitungan Jumlah Rangkaian Modul Surya

Penyesuaian jumlah arus output dari panel surya ke input inverter maka modul dirangkai seri untuk memperoleh arus yang besar dan dirangkai paralel untuk memperoleh tegangan yang besar. Perhitungan langkah ini dengan menggunakan persamaan 2.7, 2.8 dan 2.9 (Purbaya, 2019)

## 1. Rangkaian seri

$$\text{Min. Modul Seri per Array} = \frac{v_{DC \text{ Min}}}{v_{mpp}} \quad (2.7)$$

$$\text{Max. Modul Seri per Array} = \frac{v_{DC \text{ Max}}}{v_{oc}} \quad (2.8)$$

## 2. Rangkaian parallel

$$\text{Min. Modul Paralel per Array} = \frac{I_{DC \text{ Min}}}{I_{sc}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$V_{DC \text{ Max}}$  = Tegangan maksimum DC di inverter (Volt)

$V_{DC \text{ Min}}$  = Tegangan minimum DC di inverter (Volt)

$I_{DC \text{ Max}}$  = Arus maksimum DC di inverter (Ampere)

$I_{DC \text{ Min}}$  = Arus minimum DC di inverter (Ampere)

$V_{OC}$  = Tegangan open circuit di modul surya (Volt)

$V_{mpp}$  = Tegangan mpp di modul surya (Ampere)

$I_{sc}$  = Arus mpp di modul surya (Ampere)

$I_{Mpp}$  = Arus mpp di modul surya (Ampere)

B. Menentukan *Performance Ratio (PR)*

Setelah mengetahui *energy specific yield* (daya input dari panel surya dikalikan dengan PSH (*Peak Sun Hours*) dikurangi dengan semua *losses* kemudian hasilnya dikalikan dengan 365 hari , sehingga dapat mengetahui energi yang dihasilkan

selama satu tahun. *Performance ratio* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.10 (Purbaya, 2019).

$$PR = \frac{\text{Energy to Grid (Wh)}}{\text{POA Irradiance } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right) \times \frac{\text{DC Nameplate (W)}}{\text{STC (1000 W/m}^2)}} \quad (2.10)$$

### 2.11 Densitas Energi

Densitas energi adalah perbandingan antara total produksi energi yang dihasilkan terhadap luas daerah PLTS yang digunakan. Persamaan densitas energi adalah sebagai berikut.

$$\rho = \frac{E}{S} \quad (2.11)$$

dengan:

De = Densitas Energi ( $\text{kW/m}^2$ )

E = Energi (kWh)

S = Luas ( $\text{m}^2$ )

## **2.12 Software 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 mampu mengetahui potensi shading ataupun performa masing – masing panel yang akan di tempatkan di berbagai bidang posisi.

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, lingkungan sekitar jalan Tol Padalarang – Cileunyi dan data meteorologi pada jalan Tol Padalarang – Cileunyi.