

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### 2.1 Profil Pengadilan Agama Kota Tasikmalaya



Gambar 2.1 Gedung Pengadilan Agama Kota Tasikmalaya

Pengadilan Agama kota Tasikmalaya berdiri pada tanggal 22 November 2011 yang diresmikan oleh Direktur Jenderal Badan Peradilan Agama Bapak Drs. H. Wahyu Widiana, MA yang pada saat ini sudah menempati Gedung baru yang berada di Jalan Letnan Harun Kelurahan Sukarindik Kecamatan Bungursari Kota Tasikmalaya yang diresmikan pada tanggal 30 Januari 2017 oleh ketua Mahkamah Agung Republik Indonesia Bapak Prof. Dr. H. Muhammad Hatta Ali, SH, MH. Gedung baru tersebut memiliki luas bangunan 2300 m<sup>2</sup> yang dibangun selama 2 tahun dengan menelan anggaran Rp 11 Milyar. Kepala Pengadilan Agama Kota Tasikmalaya Abun Bunyamin mengatakan, dengan menempati gedung baru, ini akan memberikan spirit dan semangat baru bagi para pegawai dalam memberikan pelayanan terhadap masyarakat. Kantor baru akan memicu semangat untuk melayani masyarakat, terutama dalam pelayanan perkara keluarga.

Pengadilan Agama Kota Tasikmalaya mempunyai visi dan misi sebagai berikut:

## 1. VISI

“Terwujudnya Pengadilan Agama Tasikmalaya Yang Agung”

## 2. MISI

- a. Meningkatkan Kepercayaan Masyarakat Terhadap Lembaga Peradilan;
- b. Mewujudkan Pelayanan Hukum Yang Prima Dan Berkeadilan Kepada Pencari Keadilan;
- c. Meningkatkan Akses Masyarakat Untuk Memperoleh Keadilan.

### 2.2 Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik

IKE listrik merupakan istilah untuk menyatakan besarnya pemakaian energi listrik pada suatu bangunan atau Gedung per meter persegi per tahun. Perhitungan IKE listrik penting karena dapat dijadikan sebagai tolak ukur dalam perhitungan peluang hemat energi (Maulida et al., 2019). Persamaan 2.1 digunakan untuk menghitung IKE listrik.

$$IKE = \frac{K_e}{L_b} \quad 2.1$$

Dimana:

$IKE$  = intensitas konsumsi energi listrik bangunan Gedung ( $kWh/m^2$ )

$K_e$  = konsumsi energi bangunan ( $kWh$ )

$L_b$  = luas total bangunan Gedung ( $m^2$ )

Sebagai acuan besarnya IKE listrik yang berlaku di Indonesia, penelitian yang dilakukan oleh ASEAN\_USAID pada tahun 1987 yang laporannya dikeluarkan pada tahun 1992 dan berdasarkan Peraturan Menteri No.13 tahun 2012, standar Intensitas Konsumsi Energi (IKE) dengan kriteria Penggunaan Energi di Gedung perkantoran ( $kWh/m^2/bulan$ ) tergantung kepada jumlah energi yang digunakan dan luas Gedung, yaitu:

- a. IKE perkantoran (komersial) = 240 kWh/m<sup>2</sup>/tahun
- b. IKE hotel / apartemen = 300 kWh/m<sup>2</sup>/tahun
- c. IKE pusat perbelanjaan = 330 kWh/m<sup>2</sup>/tahun
- d. IKE rumah sakit = 380 kWh/m<sup>2</sup>/tahun

Untuk bangunan yang menggunakan AC dan tidak, memiliki cara penilaian tingkat keefisienan yang berbeda (Zondra et al., 2019). Nilai konsumsi energi spesifik Gedung perkantoran ber AC dan tanpa AC dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tabel 2.1 Nilai IKE Gedung Perkantoran ber AC

Kriteria	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m <sup>2</sup> /bulan)
Sangat Efisien	< 8.5
Efisien	8.5 sampai dengan ≤ 14
Cukup Efisien	14 sampai dengan ≤ 18.5
Boros	≥ 18.5

Tabel 2.2 Nilai IKE Gedung Perkantoran tanpa AC

Kriteria	Konsumsi Energi Spesifik (kWh/m <sup>2</sup> /bulan)
Sangat Efisien	< 3.4
Efisien	3.4 sampai dengan ≤ 5.6
Cukup Efisien	5.6 sampai dengan ≤ 7.4
Boros	≥ 7.4

### 2.3 Potensi energi surya di Indonesia

Energi surya merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan atau diubah menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah yang menerima sinar matahari. Rata-rata

nilai dari radiasi matahari atmosfer bumi adalah 1.353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang (Rahayuningtyas, 2014).

Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional, potensi energi matahari di Indonesia mencapai rata-rata 4.8 kWh/meter<sup>2</sup> per hari dengan posisi Indonesia berada pada garis khatulistiwa, setara 112.000 GWp jika dibandingkan dengan potensi luas lahan Indonesia atau sepuluh kali lipat dari potensi Jerman dan Eropa. Melalui data dari Rencana Pengelolaan Energi Nasional (RUEN) menunjukkan bahwa total rencana pembangunan pembangkit listrik sampai pada tahun 2025 adalah sebesar 56.024 MW, dimana 23% dari total pembangkitan tersebut merupakan rencana pembangunan pembangkit listrik dengan mengandalkan potensi Energi Terbarukan (EBT). Sehingga sampai pada tahun 2025 Indonesia akan membangun sebesar 12.800 MW pembangkit EBT (Ibrahim, 2014). Berikut gambar 2.2 peta persebaran potensi energi surya di Indonesia.



Gambar 2.2 Peta Potensi Tenaga Surya (Ministry of Energy, 2010)

Dengan besarnya rata-rata potensi energi matahari di Indonesia seperti pada gambar 2.2, sudah selanjutnya pengembangan PLTS menjadi prioritas.

## 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah suatu sistem yang mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. Sistem PLTS umumnya terdiri dari panel surya, *Solar Charger Controller* atau inverter jaringan, baterai, inverter baterai dan beberapa komponen pendukung lainnya. Indonesia karena terletak di Indonesia mengakibatkan siang dan malam seimbang sehingga lama penyinaran matahari juga cukup lama yakni mulai pukul 06.00 hingga pukul 17.00.

Energi listrik yang dihasilkan PLTS berbentuk *Direct Current* (DC). Bentuk DC ini dapat diubah ke bentuk *Alternating Current* (AC) menggunakan inverter. PLTS merupakan pencatu daya yang dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri maupun hibrida.

Pada dasarnya PLTS menggunakan panel surya sebagai komponen utama. Kemudian ada sistem kontrol dengan *solar charger controller* atau *solar inverter* untuk mengatur daya listrik yang dihasilkan untuk dapat digunakan pada beban. Kita dapat melakukan penggunaan ini dengan 2 cara, yaitu:

1. Penggunaan langsung, dimana daya listrik panel surya dimanfaatkan langsung oleh beban, baik untuk peralatan DC, seperti lampu dan pompa air, ataupun peralatan AC, seperti lemari pendingin ataupun televisi.
2. Penggunaan dengan bank penyimpanan, yaitu berupa baterai. Dalam hal ini, energi yang dihasilkan disimpan terlebih dahulu, agar dapat digunakan sewaktu-waktu bahkan dalam kondisi tidak ada matahari sekalipun.

#### 2.4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap (PLTS Atap)

Berdasarkan SNI 8395:2017, PLTS adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari, melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (iradiasi) matahari yang mengenai sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya. Dengan kondisi penyinaran matahari di Indonesia yang terletak di daerah tropis dan berada di garis khatulistiwa, PLTS menjadi salah satu teknologi penyediaan tenaga listrik yang potensial untuk diaplikasikan (Badan Standarisasi Nasional, 2017).

#### 2.4.2 Standar PLTS

Di Indonesia standar untuk PLTS telah ditetapkan Badan Standarisasi Nasional (BSN) dalam bentuk Standar Nasional Indonesia (SNI) dan PT PLN dalam bentuk Standar PLN (SPLN). Standar Nasional Indonesia terkait PLTS yang dikeluarkan BSN ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 SNI terkait PLTS

No	Standar	Tentang
1	SNI IEC 62116:2014	Inverter fotovoltaik terhubung jaringan listrik – Prosedur uji pencegahan <i>islanding</i>
2	SNI 8395:2017	Panduan studi kelayakan pembangunan PLTS fotovoltaik
3	SNI IEC 62446-1:2016	Sistem fotovoltaik (FV) – Persyaratan untuk pengujian, dokumentasi dan pemeliharaan
4	SNI IEC 61215-1:2016	Modul fotovoltaik (FV) terrestrial – Kualifikasi desain dan pengesahan jenis – Bagian 1: Persyaratan uji
5	SNI IEC 61215-1-1:2016	Persyaratan khusus untuk pengujian modul fotovoltaik (FV) silikon kristalin

No	Standar	Tentang
6	SNI IEC 61215-2:2016	Modul fotovoltaik (FV) terrestrial – Kualifikasi desain dan pengesahan jenis – Bagian 2
7	SNI IEC 61730-1:2016	Kualifikasi keamanan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2: Persyaratan konstruksi
8	SNI IEC/TS 61836:2018	Sistem energi fotovoltaik surya – Istilah, definisi dan simbol
9	SNI IEC 61730-2:2016	Kualifikasi keamanan modul fotovoltaik (FV) – Bagian 2: Persyaratan pengujian

Dari tabel 2.3 dapat dilihat bahwa Indonesia sudah memiliki berbagai standar yang disesuaikan dengan standar internasional untuk mendukung perkembangan PLTS di tanah air. PLN sebagai perusahaan milik negara yang bertanggung jawab terhadap pendistribusian dan penjualan tenaga listrik juga telah mengeluarkan beberapa standar terkait PLTS *on-grid*. SPLN terkait PLTS *on-grid* yang dikeluarkan ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 SPLN terkait PLTS

No	Standar	Tentang
1	D3.022-2:2012	Inverter untuk PLTS Persyaratan Umum dan Metode Uji
2	D5.005-1:2015	Persyaratan Teknis Interkoneksi Sistem Fotovoltaik (PV) Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah
3	SPLN D6.001:2012	Persyaratan Minimum Uji Komisioning Dan Inspeksi PLTS

#### 2.4.3 Peraturan PLTS Atap

Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), melalui Peraturan Presiden No.79 tahun 2014, Pemerintah Indonesia menetapkan kebijakan peningkatan pangsa energi terbarukan dalam bauran energi nasional hingga 23% pada tahun 2025. Untuk mendukung upaya tersebut, terutama di bidang pemanfaatan energi

surya, pemerintah telah mengeluarkan beberapa kebijakan teknis sebagai landasan pelaksanaannya, salah satunya melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No.49 tahun 2018, jo. Permen ESDM No.13 tahun 2019, jo. Permen ESDM No.16 tahun 2019, tentang penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap oleh pelanggan PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Persero.

Aturan ini dimaksudkan untuk membuka peluang bagi seluruh pelanggan PT. PLN (Persero) baik dari sektor rumah tangga, bisnis, pemerintah, sosial maupun industri untuk berperan serta dalam pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi, khususnya energi surya (EBTKE, 2018). Untuk mendorong pelaksanaannya secara masif di Indonesia, pemerintah telah mengeluarkan Surat Edaran Menteri ESDM No. 363/22/MEM.L/2019 kepada menteri Kabinet Kerja, jaksa agung, panglima TNI, kepala kepolisian negara RI, pimpinan lembaga pemerintah non-kementerian, para gubernur, dan para bupati/wali kota di Indonesia. Surat edaran tersebut berisi imbauan untuk memasang instalasi PLTS atap pada gedung/bangunan meliputi perkantoran, rumah dinas, gudang, tempat parkir dan fasilitas umum lainnya.

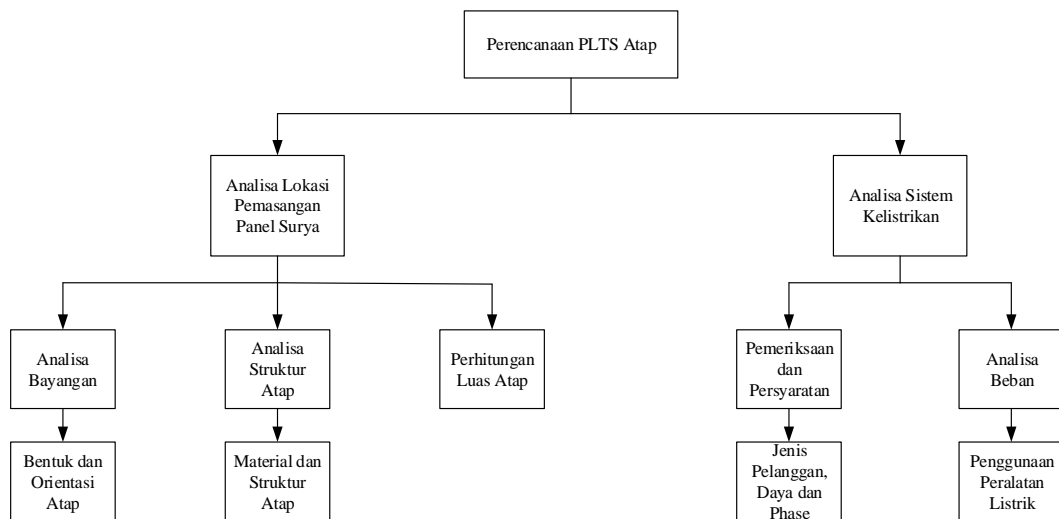
Prinsip utama dalam penerapan PLTS Atap *on-grid* di Indonesia berdasarkan Permen ESDM No.49 tahun 2018, jo. Permen No.13 tahun 2019, jo. Permen No.16 tahun 2019, adalah:

- a. Sistemnya meliputi modul surya, inverter, sambungan listrik pelanggan, sistem pengaman, dan meter kWh Ekspor-Import;
- b. Pengguna meliputi pelanggan rumah tangga, bisnis, sosial, pemerintah, maupun industri;



- c. Kapasitas yang diizinkan adalah maksimal sebesar 100% daya tersambung pelanggan (Watt);
- d. Lokasi pemasangan modul dapat diletakan pada atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan milik pelanggan PLN.

Dalam pelaksanaannya perencanaan PLTS Atap dibagi menjadi 3 tahap yaitu Perencanaan PLTS Atap, Perancangan Sistem PLTS Atap, dan Pengajuan Pemasangan dan Penyambungan. Berikut gambar diagram perencanaan PLTS Atap.



Gambar 2.3 Diagram Perencanaan PLTS Atap

Dalam perencanaan PLTS Atap, ada tiga langkah utama yang perlu dilakukan yaitu, analisis lokasi pemasangan panel surya, analisis sistem kelistrikan dan perhitungan luas atap. Tujuan dari Analisa lokasi pemasangan panel surya ini untuk memastikan bahwa area atap yang ada dapat menyangga PLTS sebesar kapasitas yang dibutuhkan.

a. Analisa Bayangan

Analisa bayangan merupakan Langkah yang sangat penting dalam tahap perencanaan PLTS, baik itu PLTS atap., *ground*, atau *floating*. Analisa ini bertujuan untuk memastikan sinar matahari yang jatuh ke panel surya tidak terhalang oleh objek yang berada disekitarnya. Karena efek bayangan ini dapat mempengaruhi efisiensi modul surya dalam memproduksi listrik atau kinerja modul surya. Dalam Analisa bayangan terdapat tiga hal yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Melihat Bentuk Atap

Jika berbentuk datar, maka dapat langsung ke langkah kedua. Jika berbentuk prisma, maka Langkah kedua dilakukan dengan fokus analisa pada sisi atap yang menghadap utara dan selatan. Sisi atap yang menghadap ke timur dan barat menjadi kurang efektif untuk pemasangan panel surya karena potensi terkena bayangan atapnya cukup tinggi.

2. Melihat Orientasi Atap dan Koordinat Lokasi Pemasangan

Posisi lintang matahari dalam satu tahun mengalami perubahan, relatif terhadap lokasi pengamat di bumi. Lintasan matahari bergeser sedikit ke utara khatulistiwa pada periode yang lain. Sehingga bangunan yang berada di wilayah utara khatulistiwa sebaliknya mengarahkan panel surya ke arah selatan. Sebaliknya bangunan yang berada di wilayah selatan khatulistiwa sebaliknya mengarahkan panel surya ke arah utara.

### 3. Melihat Adanya Efek Bayangan

Langkah ini dilakukan dengan mengamati secara langsung objek penghalang di sisi timur dan barat. Objek yang dimaksud dapat berupa atap itu sendiri, vegetasi/pohon, serta bangunan/tower.

#### b. Analisa Struktur Atap

Analisa struktur atap bertujuan untuk memastikan bahwa struktur/konstruksi sipil dari atap bangunan yang ada cukup kuat untuk menyangga beban tambahan yaitu panel surya.

#### c. Perhitungan Luas Atap

Langkah ini bertujuan menghitung luas atap yang potensial untuk pemasangan panel surya dengan mempertimbangkan hasil analisa bayangan. Luas atap yang dihasilkan, nantinya menjadi pertimbangan apakah sesuai dengan kebutuhan luas area efektif panel surya untuk kapasitas sistem yang ditentukan.

Selain analisa bayangan selanjutnya ada analisa sistem kelistrikan. Analisa ini perlu dilakukan sehubungan dengan ketentuan teknis yang telah diatur dalam peraturan perundangan, maupun ketentuan teknis PLN sebagai syarat penyambungan.

#### a. Pemeriksaan Persyaratan Sistem Kelistrikan

Dalam pemeriksaan persyaratan sistem kelistrikan ini terdapat beberapa langkah, diantaranya memeriksa status dan jenis pelanggan PLN seperti rumah tangga (R), bisnis (B), sosial (S), pemerintah (P), maupun jenis pelanggan industri (I) dan memeriksa daya yang tersambung saat ini. Saat ini terdapat 2 jenis sambungan PLN yang berimplikasi pada kebutuhan jenis kWh meter yang

berbeda, yaitu sambungan 1 *phase* dan 3 *phase*. Dengan mengetahui daya tersambung saat ini, maka dapat menentukan kapasitas maksimal sistem PLTS atap yang dapat dipasang, yaitu sebesar 100% daya tersambung. Untuk mengetahui daya *phase* dan daya yang tersambung bisa dilihat pada kWh meter dan MCB yang terpasang juga bisa pada tagihan rekening listrik.

b. Analisa Beban

Analisa digunakan untuk menghitung kebutuhan/penggunaan energi listrik, yang akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan kapasitas sistem PLTS atap yang optimal. Dengan cara ini diharapkan investasi yang dikeluarkan juga optimal.

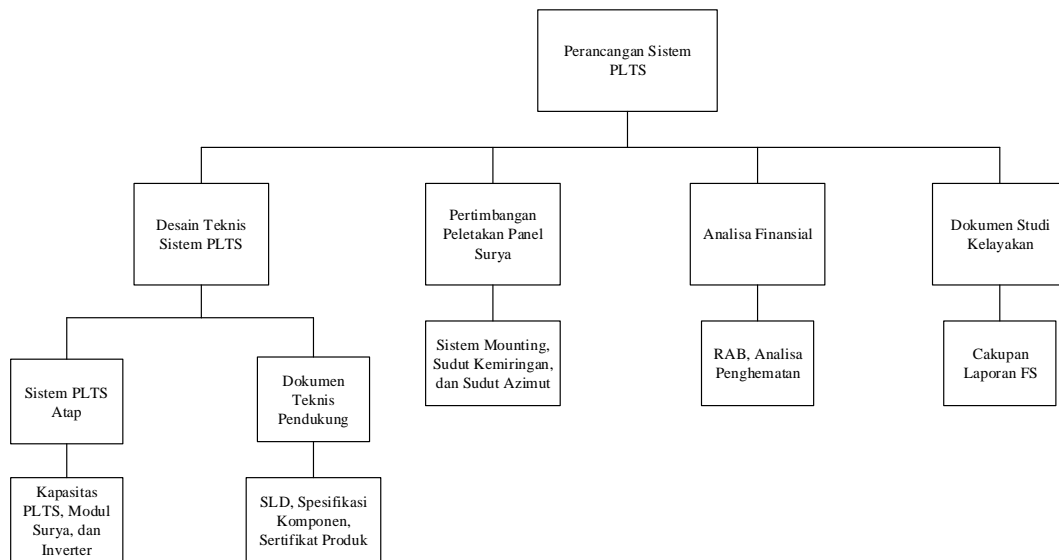
Analisa kebutuhan beban dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu:

1. Berdasarkan daya listrik peralatan rumah/kantor

Jika memungkinkan, perhitungan dilakukan secara detail berdasarkan jenis, jumlah, dan durasi pemakaian peralatan listrik yang ada. Pendekatan ini akan memberikan gambaran kebutuhan listrik riil di siang hari. Melihat tingkat kedetailannya, maka pendekatan ini lebih cocok dilakukan oleh pelanggan rumah tangga. Selain itu, pelanggan PLN juga dapat memperoleh manfaat lebih jika memaksimalkan penggunaan listrik di siang hari, dibandingkan pada waktu malam, melalui perubahan perilaku (*behaviour change*). Oleh karena itu, pendekatan ini juga dapat mengakomodasi rencana penggunaan peralatan listrik baru di siang hari, dimana sebelumnya masih digunakan pada waktu malam.

## 2. Berdasarkan catatan kWh meter

Cara ini merupakan pendekatan yang paling lebih mudah/serhana yang dapat digunakan pada bangunan kantor (gedung yang cukup luas dengan kegiatan (peralatan listrik) yang kompleks).



Gambar 2.4 Diagram Perancangan PLTS Atap

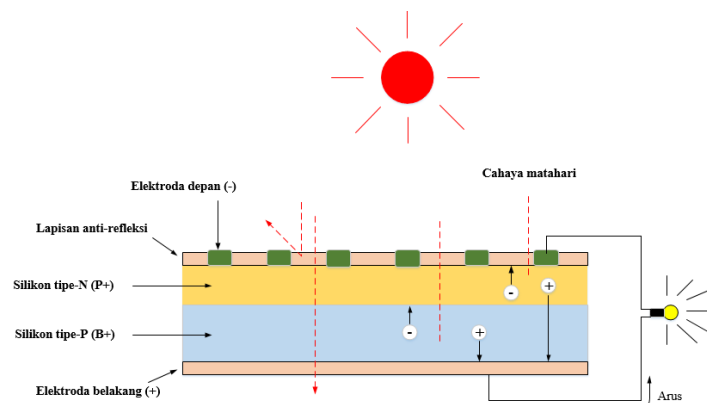
Dalam perencanaan sistem PLTS terdapat beberapa hal yang harus dilakukan, yaitu desain teknis sistem PLTS, pertimbangan peletakan panel surya, analisis finansial, dan dokumen studi kelayakan.

### 2.5 Cara kerja solar panel

Sel surya merupakan peralatan elektronik yang mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya didefinisikan juga sebagai teknologi yang menghasilkan listrik DC dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan oleh cahaya matahari (Dalimunthe & Kurniawan, 2019). Sedangkan panel surya merupakan gabungan dari beberapa modul yang tersusun dari beberapa sel surya. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya maka sel

surya akan selalu menghasilkan energi listrik. Namun, ketika tidak dipaparkan oleh cahaya sel surya berhenti menghasilkan energi listrik (Luque & Hegedus, 2003).

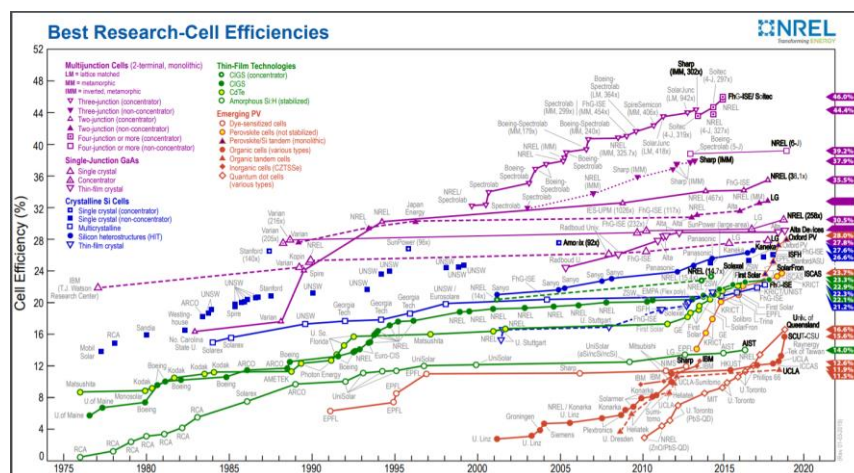
Solar sel menggunakan p-n *junction* yang memiliki prinsip *junction* yaitu penggabungan dari semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Pada semikonduktor tersebut terdapat elektron yang berperan sebagai penyusun dasarnya. Dikategorikan untuk semikonduktor yang bertipe-n adalah elektron positif sedangkan untuk semikonduktor tipe-p sebagai elektron yang bermuatan negatif. Atom boron sebagai penghasil material silikon tipe-p sedangkan atom fosfor untuk menghasilkan material silikon yang bertipe-n. Berikut prinsip kerja sel surya yang di jelaskan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Sel Surya (Damanik, 2011)

Dalam sel-sel surya tersebut seperti pada gambar 2.5, menurut Damanik (2015) ketika energi matahari mencapai permukaan sel kemudian akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) atau tegangan sel surya yang akan timbul pada lapisan yang terbentuk antara permukaan semikonduktor dengan dua bahan semikonduktor yang berbeda jenis tersebut. Cahaya matahari terdiri dari banyak partikel yang sangat kecil yang disebut foton, dimana foton ini akan mencapai permukaan sel surya dan menyebabkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron pada struktur atomnya. Elektron yang bermuatan negatif akan bebas

bergerak. Pada atom semikonduktor tipe-p dan tipe-n tersebut akan mengalami kehilangan elektron, kekosongan tersebut dinamakan “hole” yang dikatakan bermuatan positif. Elektron bebas tersebut bersifat negatif, daerah ini disebut dengan semikonduktor tipe-n sedangkan “hole” yang bersifat positif dinamakan semikonduktor tipe-p. Pada persimpangan antara dua daerah tersebut dinamakan “junction”, dimana pada daerah tersebut akan menimbulkan energi yang mendorong elektron bebas dan hole tersebut ke arah yang berlawanan. Elektron akan menjauh dari lapisan N tersebut begitu pula pada hole akan menjauh dari lapisan P. Apabila elektron-hole ini diberikan beban listrik melalui penghantar akan menimbulkan arus listrik (Damanik, 2011). Gambar perkembangan efisiensi energi surya terdapat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik Perkembangan Efisiensi Sel Surya (Saga, 2010)

Gambar 2.6 menunjukkan perkembangan efisiensi tertinggi terbaru berbagai teknologi sel surya di dunia. NREL melakukan pembaharuan data secara periodic efisiensi tertinggi dari masing-masing teknologi sel surya. Nilai efisiensi tertinggi dari seluruh teknologi yang ada dipegang oleh perusahaan *Solar Junction* pada teknologi *multijunction* dengan nilai efisiensi sebesar 44%.

## 2.6 Konfigurasi sistem PLTS

Pada umumnya terdapat 3 jenis desain konfigurasi sistem PLTS, yaitu PLTS *off grid*, PLTS *on grid*, dan PLTS *hybrid*.

### 2.6.1 Sistem PLTS *Off-Grid*

Dimana suatu sistem PLTS yang berdiri sendiri untuk menyuplai beban tanpa terhubung dan bantuan dari *grid*/jaringan PLN. Dalam penerapannya komponen utama sistem PLTS *stand-alone/off grid* ialah baterai yang digunakan sebagai penyimpanan energi. Sistem PLTS *Off-Grid* terdapat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sistem PLTS *Off-Grid* (Naim & Wardoyo, 2017)

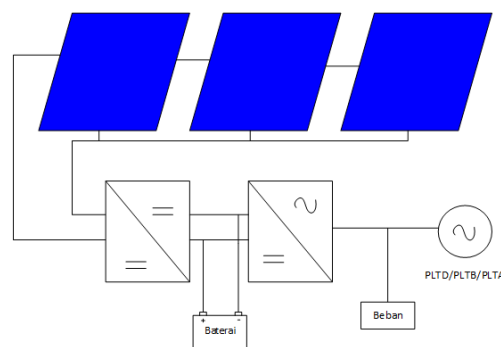
Berdasarkan gambar 2.7, energi yang dihasilkan oleh PV pada siang hari akan dipakai untuk pemakaian sendiri pada beban DC dan Sebagian digunakan untuk menyuplai beban AC melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban. Proses pengisian energi listrik dari panel surya ke baterai diatur oleh regulator yang disebut *Solar Charger Controller* (SCC) agar tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang dihasilkan oleh panel surya sangat bergantung pada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh panel surya dan efisiensi sel (Musfita & Suyanto, 2020).



### 2.6.2 Sistem PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS On Grid adalah sistem yang mampu terkoneksi langsung dengan jaringan PLN, dimana sistem PLTS ini dapat dikonfigurasi dengan grid atau jaringan PLN pada lokasi yang sudah memiliki atau disuplai listrik oleh PLN dan sistem di lokasi tersebut memiliki waktu operasi pada siang hari. Sistem ini dihubungkan (tied) karena PLTS terhubung pada sistem eksisting. Salah satu tujuan penggunaan sistem PLTS on grid adalah untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak.

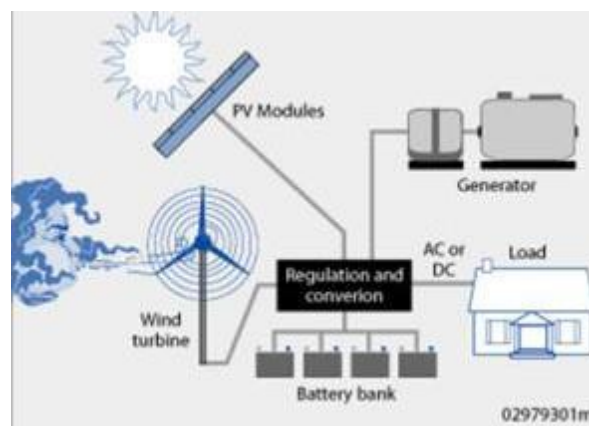
PLTS dengan sistem ini tidak menggunakan baterai agar tidak berpengaruh terhadap stabilitas dari sistem. Maka dengan itu, kapasitas sistem PLTS yang dapat dipasang hanya 20% dari rata-rata beban pada siang hari. Inverter yang biasa digunakan adalah Grid-tie Inverter. Berdasarkan karakteristik dari sistem PLTS ini, cocok untuk gedung perkantoran, pusat perbelanjaan dan residensial. Dengan begitu dapat menekan pembayaran tagihan listrik ataupun dapat dibayar oleh PLN jika mempunyai energi berlebih yang dihasilkan oleh sistem PLTS (Nathawibawa et al., 2017). Berikut konfigurasi dasar dari sistem PLTS on grid pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sistem PLTS *On-Grid*

### 2.6.3 Sistem PLTS *Hybrid*

Sistem tenaga hibrida menggunakan dua atau lebih sistem pembangkit listrik dengan sumber energi yang lain. Pada dasarnya sistem generator *hybrid* yang banyak digunakan pada sistem hybrid dengan PLTS merupakan generator set, tenaga mikrohidro dan tenaga angin. Sistem ini merupakan alternatif dari sistem tenaga hybrid, tepat apabila digunakan pada tempat yang tidak terjangkau pembangkit listrik besar (seperti jaringan PLN), Sistem tenaga hybrid menggunakan PLTS sebagai sumber utamanya. Genset utama tersebut digabungkan dengan genset atau genset lain sebagai sumber energi cadangan. Ciri utama yang biasanya membedakan ketiga jenis sistem tenaga hybrid (sistem *on-grid* dan sistem *off-grid*) adalah penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik. Pada sistem *off-grid*, sistem baterai harus digunakan karena PLTS merupakan sumber energi utama, seperti pada gambar 2.9.



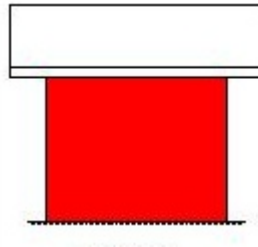
Gambar 2.9 Sistem PLTS *Hybrid*

Sebagai pengembangan sistem *On Grid* saat ini sistem *Microgrid* mulai banyak digunakan. Menurut definisi proyek penelitian Uni Eropa. *Microgrid* mencakup sistem distribusi daya kecil yang terdiri dari sumber energi terdistribusi,

termasuk turbin mikro, sel bahan bakar, pembangkit listrik fotovoltaik, dll., Dengan media penyimpanan energi dan beban fleksibel. Microgrid biasanya terletak pada tegangan rendah dan harus dapat bekerja dalam kondisi normal (terhubung dengan jaringan listrik) dan kondisi pengoperasian darurat, sehingga meningkatkan keandalan. Selain meningkatkan keandalan, *microgrid* juga ramah lingkungan. Sistem PLTS hybrid dapat juga menjadi solusi untuk mengurangi penggunaan bahan bakar terutama di pedesaan yang masih bergantung pada PLTD atau generator set sebagai sumber energi listriknya (Adhim Mustakim, 2020).

## 2.7 Jenis-jenis Bentuk Atap

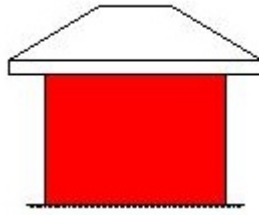
### 2.7.1 Model desain atap pelana



Gambar 2.10 Jenis Atap Pelana (Rury et al., 2015)

Atap pelana seperti pada gambar 2.10 merupakan model atap yang paling umum kita jumpai digunakan pada ke banyak rumah dan sekolah. Bidang pada atap ini hanya terdiri dari 2 sisi yang bertemu di pada bubungan atap. Desain atap pelana memiliki kemiringan 35 derajat sehingga sangat efektif dalam kondisi cuaca panas atau pun hujan karena dapat panas sinar matahari dan juga dapat mengalirkan air hujan langsung ke bawah tanpa tertampung di atap.

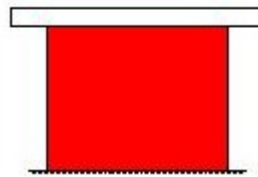
### 2.7.2 Model Atap Perisai



Gambar 2.11 Jenis Atap Perisai (Rury et al., 2015)

Atap perisai seperti pada gambar 2.11 merupakan pengembangan bentuk dari desain atap pelana. Atap perisai berupa sebuah bidang yang miring di semua sisinya yang terbentuk dari 2 bidang segi tiga dan 2 bidang trapesium. Sudut yang digunakan pada bagian atap perisai sekitar 30-40 derajat. Keunggulan dari atap ini adalah dapat melindungi semua luar bagian dinding dari sinar matahari maupun terpaan hujan deras. Dan karena bentuknya yang agak miring arah angin akan dibelokkan ke arah atas sehingga dapat mengurangi resiko kerusakan dari struktur bangunan atap.

### 2.7.3 Model atap datar

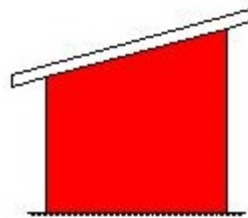


Gambar 2.12 Jenis Atap Datar (Rury et al., 2015)

Atap datar seperti pada gambar 2.12 merupakan desain atap yang paling sederhana. Biasanya atap dengan desain seperti ini terbuat dari beton yang kuat yang langsung dicor ketika proses pembangunan sebuah rumah. Selain itu dari segi biayanya juga bisa dibilang lebih murah karena lebih simpel. Atap model ini sering digunakan untuk membuat area rooftop yang dapat ditempati untuk bersantai. Akan tetapi apabila Anda menggunakan desain atap jenis ini maka kerugiannya adalah tidak bisa mengalirkan air ke bawah sehingga dapat

berpotensi menyebabkan genangan yang bisa memicu kebocoran. Oleh karena itu, jika ingin menggunakan atap model ini maka sebaiknya juga menyediakan jalur keluar air dan arahkan kemiringan lantai pada jalur keluar air tersebut agar air dapat mengalir keluar, lantai atap juga sebaiknya di semen halus dan licin untuk mencegah air terserap masuk ke dalam.

#### 2.7.4 Model atap sandar



Gambar 2.13 Jenis Atap Sandar (Rury et al., 2015)

Desain model atap sandar seperti pada gambar 2.13 biasanya digunakan pada bangunan tambahan seperti emperan ataupun selasar. Tetapi untuk saat ini model atap ini juga telah digunakan pada rumah yang mengusung tema konsep modern.

#### 2.8 Menghitung Luas Atap Perisai

Atap yang dipakai oleh Pengadilan agama kota Tasikmalaya adalah tipe atap Perisai. Untuk menghitung luas atap Perisai digunakan beberapa tahap, yaitu menghitung bagian atap yang berbentuk segitiga, berbentuk trapesium dan berbentuk jajar genjang.

Untuk menghitung luas atap, harus mengetahui dahulu kemiringan atap-atapnya. Rumus kemiringan atap yaitu:

$$R = \frac{L}{\cos \theta} \quad 2.2$$

$$h = L \times tg \theta \quad 2.3$$

Dimana,

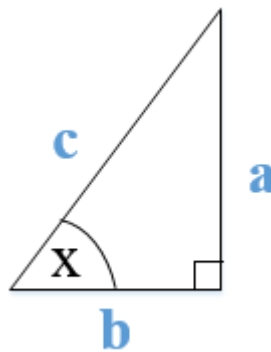
$R$  = kemiringan atap

$L$  = Panjang atap

$h$  = tinggi kemiringan atap

$\theta$  = sudut kemiringan atap

Untuk menghitung derajat kemiringan atap digunakan rumus *pythagoras* dan sinus berikut ini:



$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad 2.4$$

Dimana:

$a$  = sisi samping

$b$  = sisi depan

$c$  = sisi miring

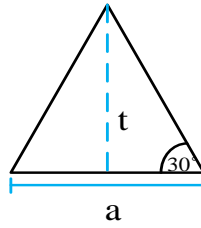
$x$  = sudut miring

maka nilai sin adalah:

$$\sin x = \frac{a}{c} \quad 2.5$$

$$x = \text{Arc}^{-1} \sin \frac{a}{c} \quad 2.6$$

Rumus luas segitiga adalah:



Gambar 2.14 Segitiga

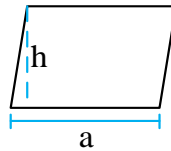
$$\text{Luas Segitiga} = \frac{1}{2} a \times t \quad 2.7$$

Dimana,

a = alas

t = tinggi

Rumus luas jajar genjang:



Gambar 2.15 Jajar Genjang

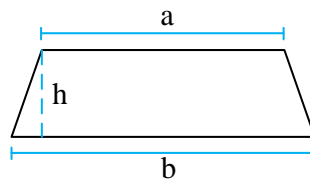
$$\text{Luas jajar genjang} = a \times h \quad 2.8$$

Dimana,

a = alas

h = tinggi

Rumus luas trapesium:



Gambar 2.16 Trapesium

$$\text{Luas trapesium} = \frac{1}{2}(a + b) \times h \quad 2.9$$

Dimana,

a = alas atas

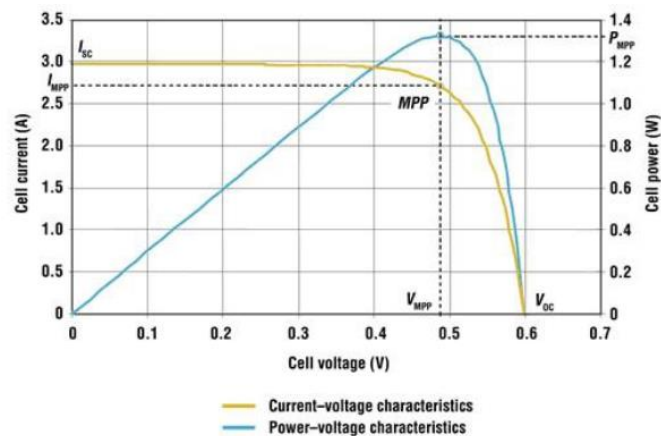
b = alas bawah

h = tinggi

## 2.9 Komponen-komponen pada PLTS

### 2.9.1 Modul solar sel

Modul solar panel adalah komponen utama dalam PLTS, karena solar panel adalah perangkat yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik yang intinya tanpa panel surya PLTS tidak dapat terjadi. Solar panel sendiri terbagi menjadi beberapa macam, diantaranya solar panel tipe *monocrystalline*, solar panel tipe *polycrystalline*, dan solar panel tipe *thin film*.



Gambar 2.17 Karakteristik keluaran panel surya, karakteristik I–V dan karakteristik P–V

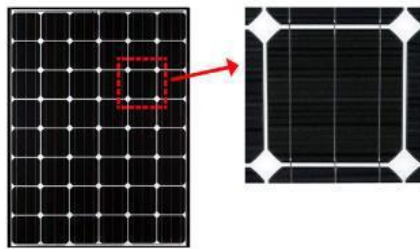
Kurva 2.17 menunjukkan bahwa saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (*maximum power Point*) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum ( $P_{mpp}$ ). Tegangan di *Maximum power Point* (MPP)  $V_{mpp}$ , lebih kecil



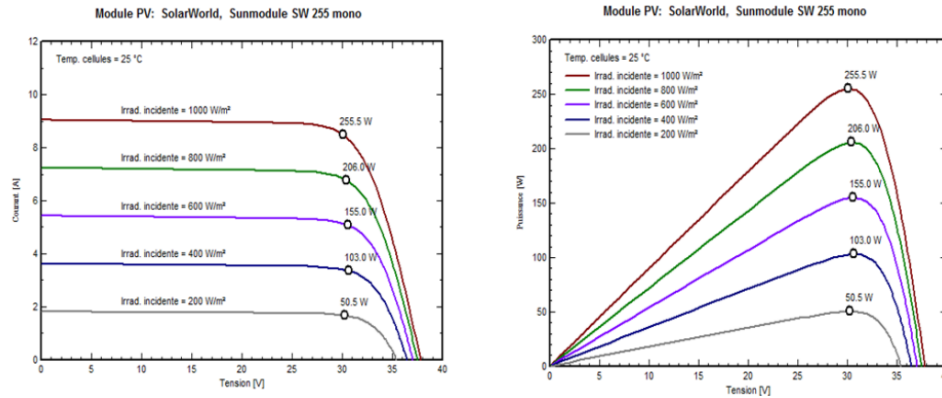
daripada tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus saat MPP  $I_{mpp}$ , adalah lebih rendah dari arus short circuit ( $I_{sc}$ ).

#### 2.9.1.1 *Solar Panel Tipe Monocrystalline*

Sel surya *monocrystalline* atau tunggal, seperti namanya, dibuat dari kristal silikon tunggal oleh suatu proses disebut proses *Czochralski* atau pemurnian suatu bahan dilakukan dengan cara pengkristalan. Selama proses pembuatan, kristal silikon tersebut diiris dari ukuran besar menjadi kepingan-kepingan kristal silikon yang tipis. Produksi kristal tunggal ini membutuhkan pemrosesan yang tepat sebagai proses "rekristalisasi", sehingga membuat sel surya jenis ini lebih mahal dan mengalami banyak proses. Kelemahan dari sel surya jenis ini adalah ketika disusun menjadi panel surya, terlihat membentuk bulat atau segi delapan tergantung bentuk batangan kristal silikonnya, akan menyisakan beberapa ruang kosong. Efisiensi sel surya *monocrystalline* berada diantara 17% - 18%. Contoh panel surya *monocrystalline* dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.18 Solar Panel Tipe *Monocrystalline*



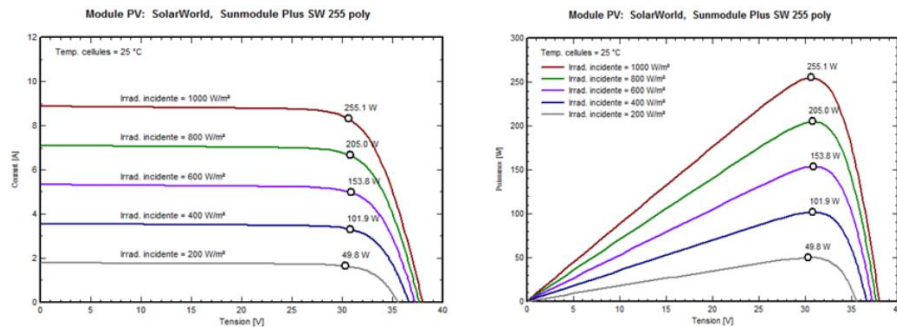
Gambar 2.19 Karakteristik keluaran panel surya tipe monokristalin, karakteristik I–V dan karakteristik P–V

### 2.9.1.2 Solar Panel Tipe Polycrystalline

Sel surya *polycrystalline* silikon dikenal juga dengan *polysilicon* dan multi-kristal silikon. Modul surya *polycrystalline* umumnya terdiri dari sejumlah kristal yang berbeda yang digabungkan antara satu sama lain di dalam satu sel. Pengolahan sel surya *polycrystalline* lebih ekonomis, yang diproduksi dari proses *metalurgi grade silicon* dengan pemurnian kimia. Kemudian silikon baku dicairkan kemudian dituang ke dalam cetakan persegi, didinginkan dan dipotong menjadi wafer persegi. Sel surya jenis ini pada saat ini adalah sel surya yang paling populer. Sel surya *polycrystalline* mendominasi dalam pasar sel surya hingga 48% dari produksi sel surya di seluruh dunia selama 2008. Selama pematatan silikon cair tersebut, berbagai struktur kristal terbentuk. Meskipun mereka sedikit lebih murah dibandingkan dengan panel surya silikon monokristalin, tetapi dalam segi efisiensi hanya sekitar 12% - 14%. Ciri-ciri fisik dari modul surya jenis *polycrystalline* adalah warnanya kebiruan dengan bentuk kotak atau persegi dengan pola guratan kebiruan. Kemudian ketika sel surya disusun menjadi modul, akan terlihat lebih rapat dan sedikit ruang kosong. Contoh panel surya *monocrystalline* dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.20 Solar Panel Tipe *Polycrystalline*



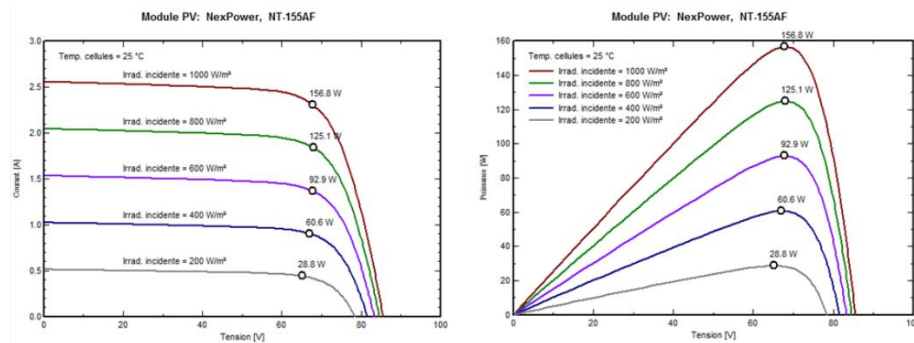
Gambar 2.21 Karakteristik keluaran panel surya tipe polikristal, karakteristik I–V dan karakteristik P–V

### 2.9.1.3 Solar Panel Tipe *Thin Film*

Sebagian besar sel surya *thin film* dan *Amorphous Silicon* atau a-Si adalah sel surya generasi kedua, dan lebih ekonomis dibandingkan dengan sel surya wafer silikon generasi pertama. Sel wafer silikon memiliki lapisan penyerap cahaya hingga  $350 \mu m$ , sedangkan sel surya *thin film* memiliki lapisan penyerap cahaya yang sangat tipis, umumnya berukuran  $1 \mu m$ . Inovasi terbaru dari *Thin Film* adalah *Thin Film Triple Junction PV* yang memiliki efisiensi pada saat udara berawan menghasilkan energi listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang sama. Berdasarkan materialnya, sel surya *Thin Film* diklasifikasikan menjadi 3, yaitu *Amorphous Silicon (a-Si)*, *Cadmium Telluride (CdTe)* dan *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)* (Sharma et al., 2015).



Gambar 2.22 Solar Panel Tipe *Thin Film*



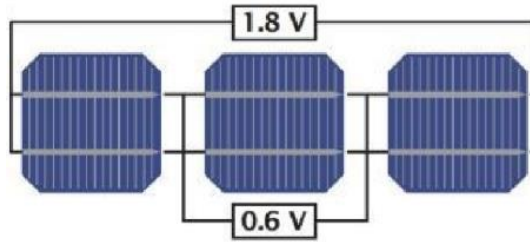
Gambar 2.23 Karakteristik keluaran panel surya tipe *thin film*, karakteristik I–V dan karakteristik P–V

#### 2.9.1.4 Rangkaian panel surya

Jika ingin membuat suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya atau sistem PLTS, dibutuhkan rangkaian modul surya untuk memenuhi spesifikasi inverter atau *controller* yang digunakan pada sistem dan juga untuk memenuhi kebutuhan beban. Rangkaian dapat disusun menjadi seri ataupun secara paralel.

##### a. Rangkaian seri

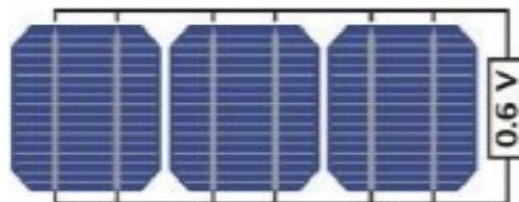
Pada rangkaian seri yang terdapat pada sel surya maka sel surya pertama kutub positifnya (+) harus terhubung dengan kutub negatif (-) panel surya lainnya begitu seterusnya. Contohnya ketika menghubungkan panel surya secara seri sebanyak 5 buah, dengan tegangan panel surya sebesar 6 V dan arusnya sebesar 50 A, maka tegangan yang akan didapatkan sebesar 30 V, kemudian pada nilai arus pada panel surya yang disusun seri akan tetap menjadi 50 A. Gambar rangkaian seri panel surya dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Rangkaian seri panel surya

b. Rangkaian paralel

Pada sel surya yang menggunakan rangkaian paralel maka sel surya kutub positifnya (+) terhubung dengan kutub positif (+) sel surya lainnya, begitu juga dengan kutub negatif (-) sel surya juga harus terhubung dengan kutub negatif (-) sel surya yang lain. Contohnya jika memiliki 5 modul surya, ingin disusun secara paralel dengan masing-masing modul surya tersebut memiliki nilai arus sebesar 50 A dan nilai tegangannya sebesar 6 V. Akan terjadi peningkatan arus keluarannya sebesar 250 A, sedangkan pada nilai total tegangan pada rangkaian 26 modul surya tersebut tetap dengan nilai sebesar 6 V. (Romadhoni et al., 2020). Gambar rangkaian paralel panel surya dapat dilihat pada gambar 2.25.



Gambar 2.25 Rangkaian paralel panel surya

#### 2.9.1.5 Energi Densitas Panel Surya

Nilai densitas energi didapat dari hasil pembagian antara nilai energi yang dihasilkan selama satu tahun dibagi dengan luas area yang dipakai oleh panel surya seperti pada persamaan 2.10 berikut.

$$\text{Energi Densitas} = \frac{\text{Energi per tahun}}{\text{Luas Area yang dipakai}} \quad 2.10$$

Biasanya energi densitas dibandingkan dengan energi yang sudah ditetapkan oleh pabrik pembuat panel surya sendiri, untuk melihat berapa persen energi yang dapat terserap oleh panel surya apakah memenuhi setelan pabrik atau tidak.

### 2.9.2 Inverter

Inverter adalah suatu perangkat elektrik yang terhubung ke sistem PLTS untuk mengubah listrik DC yang berasal dari modul surya menjadi listrik AC yang dapat dimasukkan ke dalam jaringan listrik. Banyak inverter memiliki konverter DC-DC yang disertakan untuk mengubah tegangan variabel array PV ke tegangan konstan yang merupakan input untuk inverter yang sebenarnya. Inverter yang digunakan adalah inverter khusus untuk sistem PLTS dan biasa disebut dengan smart inverter. Untuk sistem PLTS yang berdiri sendiri atau *standalone* memiliki inverter yang terhubung ke baterai atau biasa disebut dengan inverter baterai. Desain inverter semacam itu sangat berbeda dari desain untuk sistem yang terhubung ke jaringan.

Dalam sistem yang terhubung ke jaringan atau sistem *on grid*, inverter terhubung langsung ke array PV. Kemudian mengubah listrik DC yang berasal dari array PV menjadi listrik AC. Lebih lanjut, inverter seperti itu biasanya mengandung sistem MPPT atau *Maximum Power Point Tracking*. Karena inverter yang terhubung ke jaringan listrik PLN harus disinkronkan dengan jaringan PLN, yang berarti bahwa fasa sinyal AC yang berasal dari inverter harus sama dengan fasa jaringan listrik PLN. Pemilihan *Inverter* yang cocok guna pengaplikasian tertentu bergantung pada

kebutuhan beban dan sistem itu sendiri; apakah itu sistem yang terhubung ke jaringan (terhubung ke jaringan) atau sistem yang berdiri sendiri (sistem mandiri). Adapula *inverter hybrid* yang merupakan perpaduan dari *inverter off grid* dan *on grid inverter*. Selain dapat sebagai *on grid inverter* juga dapat berfungsi sebagai *backup power* ketika terjadi pemadaman listrik utama/PLN atau panel surya menghasilkan daya yang tidak mencukupi. Sehingga sistem ini dapat bekerja di daerah yang tidak ada listrik sama sekali atau sering terjadi pemadaman listrik, di daerah perkotaan yang jarang terjadi pemadaman listrik dan gedung-gedung yang memerlukan banyak penggunaan energi untuk penghematan. Efisiensi pengoperasian inverter kira-kira 90%. Berikut hal yang harus di pertimbangkan untuk memilih jenis *inverter*:

a. Kapasitas beban (Watt)

Pilih inverter yang memiliki beban kerja mendekati beban yang ingin kita simulasikan untuk mencapai efisiensi kerja yang maksimal;

b. Inputan DC 12 volt atau 24 volt

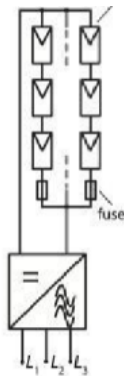
c. Sinewave atau bias disebut square wave output AC

Kerugian yang dialami pada inverter umumnya adalah konsumsi daya berupa panas. Umumnya, tergantung pada beban keluaran, efisiensi inverter sekitar 50-90 %. Jika beban keluaran mendekati beban kerja inverter yang terdaftar, jadi efisiensi akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.

Berdasarkan dari desain terdapat tiga jenis sistem desain inverter yang dapat digunakan dalam pemasangan inverter, yaitu *central inverter*, *string inverter*, dan *central inverter with optimizers*.

### 2.9.2.1 *Central Inverter*

*Central Inverter System* adalah desain inverter sederhana yang digunakan dalam sistem PV. Di sini, modul PV saling terhubung dalam satu string untuk meningkatkan tegangan sistem. Beberapa string dihubungkan secara paralel membentuk array PV yang hanya terhubung ke satu inverter pusat. Inverter yang menggunakan MPPT dan konversi daya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.26, dimana sebuah sistem dengan inverter tiga fase digambarkan. Konfigurasi ini sebagian besar digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya berskala besar yang menggunakan inverter pusat biasanya dari tegangan DC ke tegangan tiga fasa. Banyaknya jumlah string yang terhubung seri dibatasi karena agar setiap modul surya menerima jumlah energi dari matahari yang sama, selain itu juga untuk mengurangi perbedaan dari sudut azimuth pada masing-masing modul surya. Keuntungan yang didapatkan ketika menggunakan inverter central atau terpusat adalah rangkaian yang sederhana, ekonomis dan dapat mengurangi biaya perawatan. Tetapi ketika inverter central ini terjadi kerusakan maka seluruh sistem kelistrikannya akan terganggu atau bahkan akan mati total. Dapat dilihat sistem inverter central pada gambar 2.26.

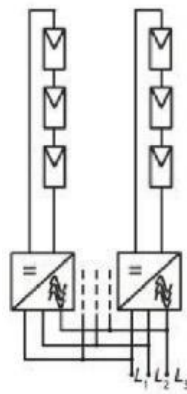


Gambar 2.26 *Central Inverter System*



### 2.9.2.2 *String Inverter*

*String Inverter* seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.27, menggabungkan keunggulan konsep inverter terintegrasi pusat dengan *string* PV yang tersusun dengan beberapa modul surya. Contohnya pada sejumlah modul PV yang terhubung secara seri membentuk *string* PV dengan peringkat daya hingga 5-6 kWp dalam konfigurasi 1 fase dan hingga 20-30 kWp dalam konfigurasi 3 fase. Proteksi pada sistem ini juga memerlukan pertimbangan khusus, dengan penekanan pada pemasangan kabel DC yang tepat. Meskipun *partial shading* string akan mempengaruhi efisiensi keseluruhan sistem, setiap string dapat dioperasikan secara independen di MPP-nya, jika masing-masing string memiliki MPPT sendiri. Sistem inverter seperti ini akan bekerja masing-masing dapat menyebabkan permasalahan pada instalasi pengkabelannya dan biaya yang harus dikeluarkan menjadi lebih mahal. Untuk keuntungan dari inverter string ini adalah ketika salah satu inverter atau string mengalami gangguan maka inverter/string lainnya masih dapat beroperasi.

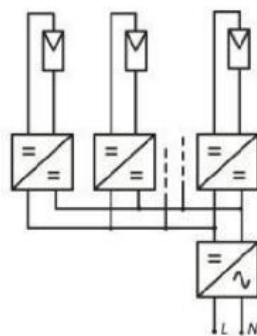


Gambar 2.27 *String Inverter System*

### 2.9.2.3 *Central Inverter with Optimizers*

Struktur dari sistem *central inverter* dengan optimizers adalah gabungan antara *central inverter* dan *micro inverter*. Alat pengoptimal atau *optimizers* diberikan ke setiap string modul yang berisi MPPT dan konverter DC-DC yang terlihat pada Gambar 2.28. Optimizer dari semua modul dihubungkan secara seri satu sama lain menuju inverter terpusat. Inverter dapat menerima tegangan input dalam rentang tertentu, jika tegangan berada diluar kisaran tegangan tersebut, arus diubah sedemikian rupa sehingga tegangan jatuh dalam kisaran yang dapat diterima inverter pusat. Sebagai akibatnya, tegangan output dari optimizer ditentukan oleh input daya dari modul PV dan arus yang diatur oleh inverter. Keuntungan dari sistem desain inverter ini adalah setiap modul dapat beroperasi pada MPPT-nya. Akan berpengaruh pada efek *shading* yang terjadi pada setiap rangkaian modul surya.

Keuntungan lain adalah bahwa semua optimizer dapat beroperasi pada tegangan yang mendekati dengan tegangan modul PV. Karena konversi DC-DC sangat efisien. Selanjutnya, optimizer mengonsumsi daya yang sangat kecil, sehingga tidak ada masalah dengan *losses* yang terjadi. Selain itu, penambahan kapasitas PV modul dapat dilakukan hanya dengan menambah string selama inverter pusat masih dalam kapasitasnya.



Gambar 2.28 *Central Inverter With Optimizers*

### 2.9.3 Baterai

Baterai adalah peralatan yang mampu mengubah energi kimia menjadi energi listrik (D. Linden & B. Reddy, 2011). Hampir semua perangkat zaman sekarang menggunakan baterai dengan berbagai bentuk dan kapasitas seperti baterai kancing untuk jam tangan, baterai ion, aki, bahkan sekarang baterai lithium-udara tengah dikembangkan. Baterai memegang fungsi yang sangat penting, apalagi pada PLTS sistem *off-grid* untuk menyimpan energi dari solar panel. Fungsi lain dari baterai antara lain:

1. Sebagai suplai bagi beban dengan tegangan dan arus yang stabil melalui inverter baterai, juga dalam hal terjadi putusnya pasokan daya (*intermittent*) dari panel surya;
2. Sebagai cadangan energi untuk mengatasi perbedaan antara daya yang tersedia dari modul panel surya dan permintaan beban;
3. Menyediakan cadangan energi untuk digunakan di hari-hari dengan cuaca berawan atau pada kondisi darurat. Penentuan kapasitas baterai harus memperhitungkan hari-hari Ketika sistem berjalan penuh tanpa pasokan daya dari panel surya untuk memenuhi kebutuhan listrik (hari otonom);
4. Memasok daya ke komponen elektroda daya seperti SCC dan inverter.

Untuk menentukan kapasitas baterai yang digunakan dapat menggunakan persamaan 2.11 berikut:

$$Kapasitas\ baterai = \frac{W_{total} \times Hari\ otonom}{\eta \times DoD} \quad 2.11$$

Dimana:

$W_{total}$  = Total Kebutuhan Energi Harian (kWh)

$\eta$  = Efisiensi baterai

DoD = *Depth of Discharge*, minimum yang dipersyaratkan  $\approx 45\%$

Hari otonom diasumsikan dua hari dengan tambahan satu hari sebagai cadangan modul surya tidak mendapatkan sinar matahari atau saat hari mendung (ing. Bagus Ramadhani, M. (2018). *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jakarta: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.)

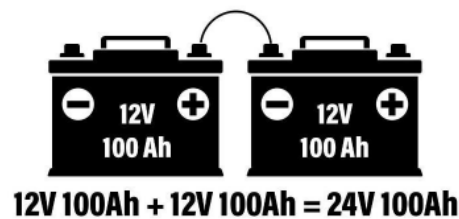
Untuk menghitung berapa banyak baterai yang dibutuhkan dapat dicari menggunakan persamaan 2.12, yaitu:

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{\text{Daya jam}}{\text{Daya baterai}} \quad 2.12$$

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{\text{Daya jam}}{V \text{ baterai} \times Ah \text{ baterai}} \quad 2.13$$

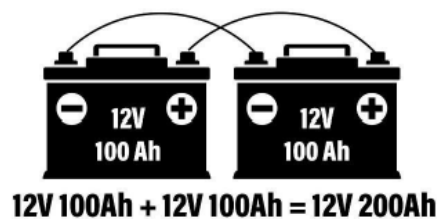
Dimana, daya jam dalam satuan Wh.

Baterai juga memiliki 2 sambungan, yaitu seri dan parallel. Sambungan seri menghubungkan 2 atau lebih baterai secara bersamaan untuk meningkatkan tegangan sistem baterai dengan mempertahankan nilai amp-hours yang sama. Dalam koneksi seri, setiap baterai harus memiliki v=tegangan dan kapasitas yang sama, karena jika tidak akan merusak baterai. Untuk menghubungkan baterai secara seri, perlu menghubungkan terminal positif dari satu baterai ke negatif baterai lainnya. Saat mengisi baterai secara seri, perlu menggunakan pengisi daya yang sesuai dengan tegangan sistem. Dianjurkan mengisi setiap baterai satu per satu, dengan pengisi daya multi-bank, untuk menghindari ketidakseimbangan antar baterai (Alifyanti & Tambunan, 2011). Gambar baterai koneksi seri dapat dilihat pada gambar 2.29.



Gambar 2.29 Baterai Dengan Koneksi Seri (Rellion Battery, 2019)

Sedangkan koneksi parallel menghubungkan dua atau lebih baterai secara bersamaan untuk meningkatkan kapasitas amp-*hours* baterai, tetapi nilai tegangan tetap sama. Untuk menghubungkan baterai secara paralel, terminal positif dihubungkan bersama melalui kabel dan terminal negatif dihubungkan bersama dengan kabel lain. Sambungan paralel tidak memungkinkan baterai memberi daya di atas output tegangan standarnya, melainkan meningkatkan durasi yang dapat digunakannya untuk memberi daya pada peralatan. Saat mengisi baterai yang terhubung secara paralel, peningkatan kapasitas amp-*hours* mungkin memerlukan waktu pengisian yang lebih lama. (Rellion Battery, 2019) . Gambar baterai koneksi seri dapat dilihat pada gambar 2.30.



Gambar 2.30 Baterai Dengan Koneksi Paralel (Rellion Battery, 2019)

#### 2.9.4 Solar Charger Controller

*Solar Charge Controller* atau juga dikenal sebagai *battery charge regulator* (BCR) adalah komponen elektronik daya di PLTS untuk mengatur pengisian baterai dengan menggunakan modul fotovoltaik menjadi lebih optimal. Perangkat ini beroperasi dengan cara mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya

yang tersedia dari larik modul fotovoltaik dan status pengisian baterai (SoC, *state of charge*).

#### 2.9.5 Net Metering

Net metering adalah mekanisme penagihan listrik yang memungkinkan konsumen untuk menghasilkan sebagian atau seluruh listrik mereka sendiri, dimana jika ada kelebihan produksi dapat disuplai ke jaringan utilitas dan mendapatkan kompensasi sesuai kebijakan yang berlaku. Di Indonesia, penggunaan kWh meter EXIM dengan skema net metering telah diatur dalam peraturan Menteri ESDM dengan PLN sebagai penyedia jaringan utilitas listrik.

Cara kerjanya adalah konsumen (pelanggan PLN), baik rumah tangga, bisnis ataupun industri, akan memasang sistem listrik surya di bangunan mereka. Sistem listrik surya ini kemudian akan dihubungkan secara paralel dengan jaringan listrik PLN. Ketika siang hari, sistem listrik surya akan menghasilkan listrik yang akan dialirkan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Jika produksi panel surya kurang, maka pelanggan akan mengimpor listrik dari PLN. Sebaliknya, jika ada kelebihan produksi, maka pelanggan akan mengekspor listrik ke PLN sebagai “kredit energi listrik. Pelanggan PLN yang memasang PLTS hanya membayar selisih antara nilai kWh impor dan nilai kWh ekspor, jika nilai kWh ekspor lebih besar maka jumlah tersebut akan disimpan menjadi tabungan untuk mengurangi biaya tagihan pada bulan selanjutnya. Untuk pemasangan kWh ekspor-impor dapat mengajukan permohonan langsung kepada PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) di wilayah masing-masing. (Janaloka, 2017)

Kredit energi listrik pelanggan akan dihitung pada akhir bulan dengan skema perhitungan:

Tagihan Listrik Pelanggan (kWh) = Jumlah kWh Impor – 65% Nilai kWh Eksp 2.14

Dimana:

Jumlah kWh Impor = Jumlah kWh yang diimpor pelanggan dari PLN

Nilai kWh Ekspor = Nilai kWh yang diekspor pelanggan ke PLN

Pelanggan hanya akan membayar selisih nilai kWh yang diimpor dengan nilai kWh ekspor. Jika nilai ekspor lebih besar, maka jumlah kWh ekspor akan disimpan sebagai tabungan untuk mengurangi tagihan pelanggan pada bulan berikutnya. Sebagai catatan, skema net metering di Indonesia menggunakan jumlah kWh ekspor dan impor sebagai alat tukar. Jadi PLN tidak memberikan kredit listrik dalam bentuk uang kepada pelanggan.

#### 2.9.6 Mounting System

*Roof-mounted* dan *ground-mounted* merupakan dua metode utama untuk instalasi panel surya. Dalam penerapannya, kedua metode tersebut perlu mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti berikut:

##### 2.9.6.1 *Roof-Mounted*

- a. Biasanya tidak ada kendala di area ini;
- b. Atap dapat digunakan sebagai struktur pendukung pemasangan panel;
- c. Diperlukan *mounting* yang kuat dalam mengatasi permasalahan cuaca;
- d. Layak dan *cost-effective* pembangkitan yang memiliki kapasitas kecil.

##### 2.9.6.2 *Ground-Mounted*

- a. Diperlukan sebidang tanah yang stabil dan datar;
- b. Analisis geoteknik diperlukan untuk mengetahui stabilitas dari tanah dalam waktu yang lama;
- c. Tonggak dan baja diperlukan untuk struktur konstruksi penopang tambahan

- d. Layak dan cost-effective pada pembangkitan yang ber kapasitas besar.

#### 2.10 Aplikasi *Helioscope*

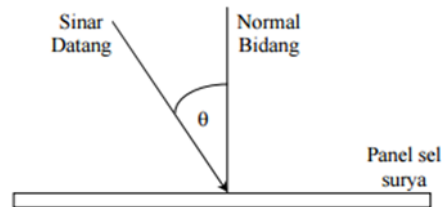
Terdapat *software* perancangan sistem fotovoltaik yang dibuat untuk memperkirakan produksi energi PLTS yaitu *helioscope*. *Helioscope* merupakan sebuah program berbasis web yang diperkenalkan oleh Folsom Labs yang memungkinkan para insinyur untuk melakukan simulasi lengkap sistem PLTS. Data yang digunakan *Helioscope* adalah data cuaca yang berasal dari stasiun cuaca di seluruh dunia dengan analisis TMY *weather* yaitu pemilihan kondisi cuaca yang sesuai dengan keadaan saat itu berdasarkan data 30 hari terakhir (Gunawan et al., 2019).

*Helioscope*, diluncurkan oleh Folsom Lab USA, difungsikan untuk perancangan sistem fotovoltaik, sama halnya fungsi tertentu dari PVSyst dan menambahkan fungsi desain AutoCAD, perancangan dalam satu paket dapat direalisasi, denah lokasi, konfigurasi larik, modul PV, dan spesifikasi inverter merupakan persyaratan masukan utama yang dibutuhkan oleh *Helioscope*. Produksi energi dapat di perkirakan dengan penggunaan aplikasi ini dengan menghitung kerugian yang disebabkan oleh cuaca dan iklim. Itu juga dapat menganalisis bayangan, kabel, efisiensi komponen, ketidakcocokan panel dan umur (penuaan) sebagai bentuk rekomendasi tentang komponen dan tata letak. Alat ini menyuguhkan keluaran tahunan, kumpulan data cuaca, rasio kinerja, dan sistem parameter berbeda - beda untuk mendapatkan hasil simulasi (Romadhoni et al., 2020).



### 2.11 Kemiringan sudut matahari dengan panel surya

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (angle of incidence) yaitu sudut antara arah sinar matahari datang dengan komponen tegak lurus bidang panel seperti pada gambar 2.31.



Gambar 2.31 Arah Sinar Datang Membentuk Sudut Terhadap Normal Bidang Panel Surya

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut  $\theta$  seperti gambar diatas maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor  $\cos \theta$ . (jansen, 1995)

Posisi matahari dilangit terhadap bumi dimanapun kita berada sesuai dengan letak geografis lintang dan bujur dapat dihitung dengan persamaan *zenith*. *Zenith* dinyatakan dalam satuan derajat, *zenith* bernilai negatif pada pagi hari, bernilai positif untuk sore hari dan bernilai nol pada saat tengah hari. Untuk nilai *zenith* kurang dari  $-90^\circ$  diartikan matahari belum terbit dan bila nilainya lebih dari  $90^\circ$  diartikan matahari sudah terbenam. Sudut zenith untuk setiap saat terhadap bumi pada suatu titik dengan letak geografis lintang-bujur dapat dihitung dengan persamaan 2.15 (Prasetyono et al., 2015):

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varphi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \sin\delta \quad 2.15$$

Dimana,

$\theta_z$  = sudut *zenith*

$\varphi$  = nilai lintang (longitude) dimana PV dipasang

$\beta$  = sudut kemiringan PV

$\delta$  = sudut deklinasi matahari

$\omega$  = sudut jam (*hour angle*)

Sudut deklinasi merupakan fungsi yang dipengaruhi oleh hari ke-n dalam setahun, dimana n antara 1-365, nilai 1 untuk tanggal 1 januari dan nilai 365 untuk tanggal 31 desember. Untuk menghitung sudut deklinasi digunakan persamaan 2.16.

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284 + n}{365}\right) \quad 2.16$$

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 2.17

$$\omega = (\text{solar time} - 12) \times 15^\circ \quad 2.17$$

Untuk nilai *solar time* sendiri dapat dicari dengan persamaan 2.18

$$\text{solar time} = \text{waktu lokal} + \left(\frac{(LSTM - Longitude) \times 4' + EoT}{60}\right) \quad 2.18$$

Dimana,

*LSTM* = Lokal Standard Time Meridian

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

Nilai LSTM dapat dihitung dengan persamaan 2.19

$$LSTM = 15^\circ \times \Delta T_{GMT} \quad 2.19$$

Dimana,

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

Sedangkan  $EoT$  dicari dengan persamaan 2.20

$$EoT = 9.87 \sin(2x) - 7.53 \cos(x) - 1.5 \sin(x) \quad 2.20$$

. Dimana nilai x didapat dari persamaan 2.21.

$$x = \frac{360}{365}n - 81 \quad 2.21$$

Setelah mengetahui posisi matahari terhadap bumi atau terhadap PV yang terpasang, kita bisa menghitung besarnya intensitas iradiasi sinar matahari untuk setiap saat sesuai dengan besar kecilnya *hour angel*. Besarnya radiasi matahari dapat dihitung dengan persamaan 2.22.

$$I_o = I_{sc} (1 + 0.033 \cos \frac{2\pi}{365}n) \cos \theta_z \quad 2.22$$

Dimana,

$I_o$  = Iradiasi matahari

$I_{sc}$  = konstanta iradiasi matahari (1367 kW/m<sup>2</sup>)

Besarnya iradiasi sinar matahari secara global ( $GHI$ ) yang mencapai permukaan bumi dapat dihitung dengan *clear sky model* seperti Daneshyar–Paltridge–Proctor model and Meinel Model.  $GHI$  dapat dihitung dengan persamaan 2.23.

$$GHI = DNI \times \cos \theta_z + Diffuse \quad 2.23$$

$$Diffuse = 14.29 + 21.04 \left( \frac{2\pi}{2 - \frac{(\theta_z \pi)}{180}} \right) \quad 2.24$$

$$DNI = I_o \times 0.7^{AM^{0.687}} \quad 2.25$$

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_z} \quad 2.26$$

Dimana,

$DNI$  = Intensitas iradiasi secara langsung

$Diffuse$  = Pantulan iradiasi sinar matahari

$AM$  = *Air Mass*

Setelah mengetahui besarnya intensitas iradiasi matahari secara global, kita dapat menghitung besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh PV sesuai dengan besarnya nilai GHI dan sudut PV saat itu dengan persamaan 2.27

$$P_{PV} = P_{PV,STC} f_{PV} f_{temp} \left( \frac{GHI}{I_{T,STC}} \right) \quad 2.27$$

$$f_{temp} = [1 + \alpha_p (T_C - T_{C,STC})] \quad 2.28$$

$$T_C = T_a + I_T \left( \frac{T_{C,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right) \left( 1 - \frac{nc}{\tau a} \right) \quad 2.29$$

Dimana,

$P_{PV}$  = Daya yang dihasilkan PV (W)

$P_{PV,STC}$  = Nominal PV sesuai rating daya pada *name plate*

$f_{PV}$  = Faktor penurunan daya dengan nilai antara 0.85-1.1

$f_{temp}$  = Faktor penurunan daya berdasarkan suhu PV

$I_{T,STC}$  = Besarnya iradiasi matahari saat pengetesan di pabrik

$\alpha_p$  = koefisien suhu (%/°C)

$T_C$  = suhu sel PV (°C)

$T_{C,STC}$  = suhu PV saat kondisi pengetesan (25 °C)

$T_a$  = suhu lingkungan (°C)

$T_{C,NOCT}$  = suhu normal PV dapat dioperasikan (°C)

$T_{a,NOCT}$  = suhu lingkungan dalam kondisi normal (20°C)

$I_{T,NOCT}$  = iradiasi sinar matahari kondisi normal (0.8 kW/m<sup>2</sup>)

$nc$  = efisiensi PV

$\tau a$  = kemampuan daya serap iradiasi matahari dari PV, min 90%