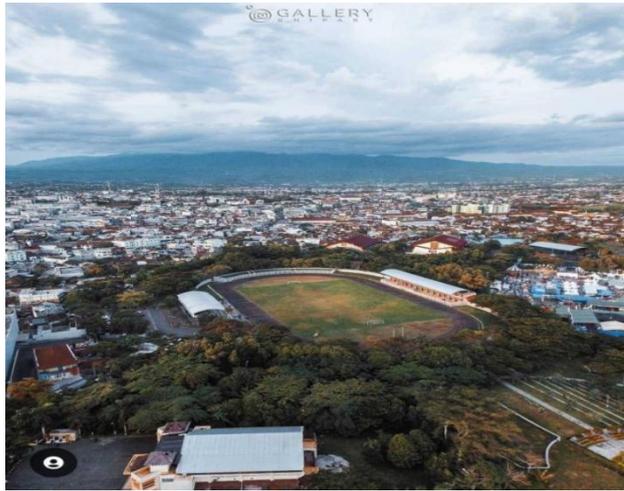


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Stadion Wiradadaha Tasikmalaya



Gambar 2. 1 Stadion Wiradadaha Tasikmalaya (Malik, 2017)

Pada gambar 2.1 Stadion Wiradadaha memiliki luas lahan sebesar 22.752,65 m² yang terletak di Jalan Lingkar Dadaha No 4, Nagarawangi, Kecamatan Cihideung, Kota Tasikmalaya. Stadion Wiradadaha Tasikmalaya adalah stadion olahraga modern yang telah memenuhi standar internasional dalam hal ini standar FIFA seperti rumput yang digunakan di lapangan, tribun penonton, *e-board*, *scoring board* dan kursi yang tahan terhadap api. Sebelum menjadi stadion modern, kondisi Stadion Wiradadaha terbengkalai dan tidak terurus. Hal ini dikarenakan sengketa kepemilikan aset kompleks stadion wiradadaha antara pemerintah Kabupaten Tasikmalaya dengan pemerintah Kota Tasikmalaya. Pada tahun 2016 status kompleks Stadion Wiradadaha memiliki kejelasan sebagai aset pemerintah Kota Tasikmalaya yang dikelola secara langsung oleh UPTD Tasikmalaya pada tahun 2019.

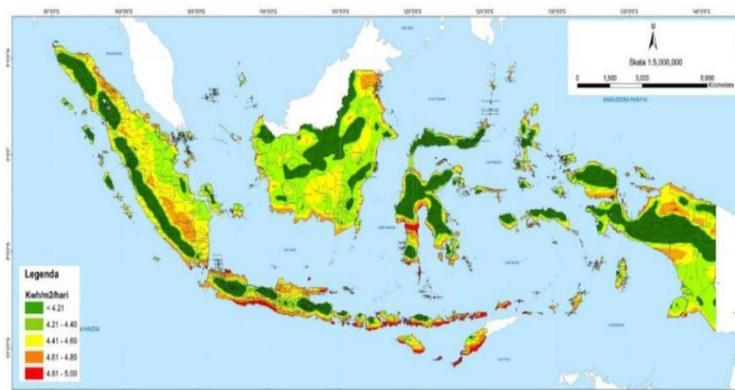


Gambar 2. 2 Struktur Atap Lengkung di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya
(Malik, 2017)

Berdasarkan gambar 2.2 struktur atap lengkung di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya terdapat 2 tribun. Tribun yang dipakai dalam pemodelan atap lengkung adalah tribun barat. Stadion Wiradadaha memiliki kapasitas bisa menampung penonton sebanyak 10 ribu tempat duduk dan kapasitas ini bisa meningkat menjadi 20 ribu jika tidak menggunakan tempat duduk (Malik, 2017).

2.2 Potensi Energi Surya di Indonesia

Sumber energi matahari di Indonesia dapat dibagi menjadi dua kategori kawasan yaitu sumber barat serta timur. Indonesia bagian barat memiliki potensi sebanyak 4,5 kWh/m²/hari sedangkan wilayah timur mempunyai potensi 5,1 kWh/m²/hari serta homogen-homogen Indonesia merupakan 4,8 kWh/ m²/hari. Potensi energi Indonesia diperkirakan lebih kurang 4,8 kWh/m²/hari atau 112000 GWp/hari. Seperti ditunjukkan gambar 2.3 yang menggambarkan potensi sumber daya energi surya Indonesia.



Gambar 2. 3 Peta Potensi Energi Surya (P3TKEBKE, 2014)

Dalam peta tersebut gambar 2.3 menandakan level insolasi yang dijelaskan melalui warna, warna hijau tua berkisar $4,21 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, warna hijau muda berkisar $4,21-4,40 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, warna kuning berkisar $4,41-4,60 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, warna oranye berkisar $4,61-4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ dan warna merah berkisar $4,81-5,00 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. 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).

2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan teknologi pembangkit yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Konversi terjadi di dalam modul surya pada sel surya. Sel surya terbuat dari lapisan tipis dari *silicon* (Si) murni dan campuran bahan semikonduktor lainnya yang selanjutnya mendapatkan energi foton dari cahaya matahari yang mengeksitasi elektron bergerak bebas sehingga mengeluarkan tegangan listrik arus searah (DC). Rangkaian modul surya akan membentuk suatu array surya. Pemanfaatan cahaya

matahari sebagai output daya dalam menghasilkan listrik DC (*direct current*) dapat diubah menjadi listrik AC (*alternating current*) jika diperlukan. Walaupun mendung, selama masih terkena cahaya, PLTS dapat menghasilkan listrik. Pemanfaatan PLTS mencapai 79 MW pada tahun 2020 (PLN, 2021). Umumnya sistem ini terdiri dari panel surya, *solar charger controller* atau inverter jaringan, baterai, inverter baterai dan komponen pendukung lainnya. Dengan kondisi penyinaran matahari di Indonesia yang terletak di daerah tropis dan berada di garis khatulistiwa, PLTS menjadi teknologi penyediaan tenaga listrik yang potensial untuk diaplikasikan (Badan Standarisasi Nasional, 2017), menjadikan siang dan malam seimbang dengan lama penyinaran matahari cukup lama mulai pukul 06.00 hingga pukul 17.00. Berikut beberapa keunggulan menggunakan teknologi PLTS diantaranya :

- a. Pemasangan dilakukan oleh tenaga kerja lokal (Indonesia).
- b. Teknologi yang dapat diterima dan dipahami oleh masyarakat awam.
- c. Keselamatan manusia dan lingkungan terjamin.
- d. Sistem yang tidak menghasilkan emisi gas, ramah lingkungan, bekerja pada temperature ruang dan tidak bising serta perangkat PLTS banyak tersedia di pasar dengan beragam pilihan daya, harga dan kualitas (Asclepias Rachmi, 2020).

Panel surya sebagai komponen utama dalam pemasangan sistem PLTS. Dengan sistem kontrol *solar charger controller* memiliki fungsi dalam mengatur daya listrik dalam *supply* ke beban. Terdapat 2 cara dalam penggunaannya, antara lain:

1. Penggunaan langsung, dimana daya listrik yang dibangkitkan panel surya

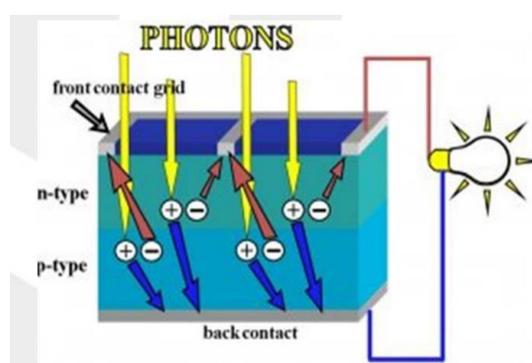
langsung dimanfaatkan beban, baik untuk peralatan DC, seperti lampu, AC, pompa air dan peralatan elektronik lainnya.

2. Penggunaan dengan bank penyimpanan, dimana daya listrik yang dibangkitkan panel surya disimpan terlebih dahulu ke baterai, agar dapat digunakan oleh beban pada malam hari. Seperti beban lampu untuk penerangan (Asclepias Rachmi, 2020).

2.3.1 Komponen PLTS

A. Panel Surya

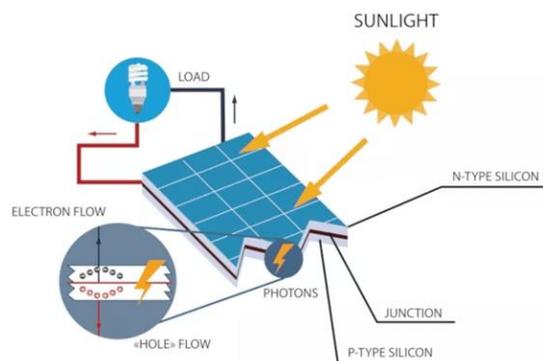
Dalam sistem PLTS, panel surya merupakan komponen penting yang dengan 'pemanen energi matahari'. Berfungsi mengubah energi surya menjadi energi listrik. Fenomena fisika dari panel surya sangat mirip dengan fenomena fisika dioda klasik (fenomena pn junction). Ketika panel surya menyerap cahaya matahari, energi foton yang diserap kemudian dipindahkan ke sistem proton- elektron bahan, membentuk pembawa muatan yang dipisahkan oleh sambungan, yang dapat dilihat pada gambar 2.4 . Ccccc Dilihat



Gambar 2. 4 Panel Surya (p-n junction)
(Julisman et al, 2017)

dari gambar 2.4 bahan dasar panel surya terbuat dari material semi konduktor tipe n (electron) dan tipe p (hole) digabungkan menjadi pn junction. Memiliki cara kerja

atau prinsip kerja yakni: cahaya matahari masuk ke panel surya, lalu diserap di zona sambungan pn – junction, sehingga menyebabkan electron bebas melewati silicon, lalu masuk ke sirkuit eksternal yang akan membentuk medan listrik, selanjutnya menjadi energi yang dapat di lepaskan untuk menghidupkan beban dan kembali ke panel surya begitu sebaliknya (Ramdhani,2017).

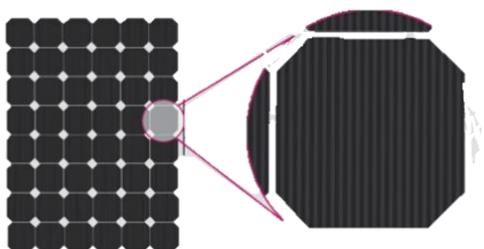


Gambar 2. 5 Prinsip Kerja Panel surya (Julisman et al, 2017).

Kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin besar juga energi listrik yang dibangkitkan oleh panel surya berdasarkan gambar 2.5. Pemeliharaan panel surya cukup mudah yakni dengan menyingkirkan segala bentuk benda yang dapat menghalangi cahaya matahari masuk ke panel surya. Satuan daya yang dibangkitkan oleh panel surya dalam keadaan standar uji STC (*Standar Test Condition*) dari pemancaran 1000 W/m^2 atau 1 kW/m^2 dan temperatur panel sebesar 25° C yang menghadap ke matahari 37° dengan matahari pada sudut $41,81^\circ$ di atas cakrawala. (Lg, 2017).

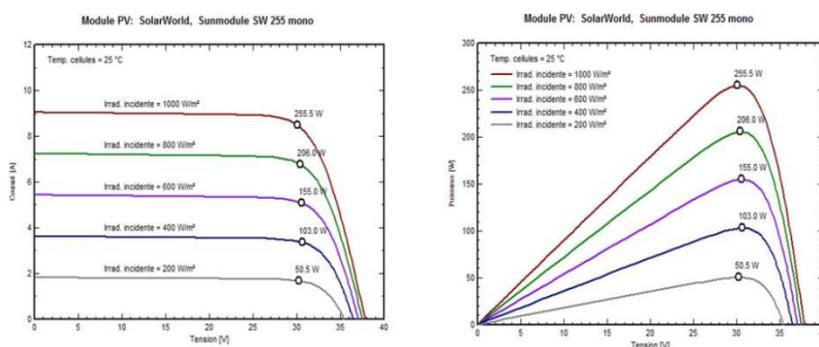
Panel surya dibedakan menjadi beberapa macam, diantaranya monocrystalline silikon, polycrystalline silikon, dan thin film dengan tingkat efisiensi penyerapan energi surya yang berbeda persentasenya (Rusiana Iskandar et al., 2017). Berikut detail perbedaan ketiga jenis modul surya tersebut, antara lain:

1. Monocrystalline



Gambar 2. 6 Panel surya tipe Monocrystalline (Asclepias Rachmi, 2020)

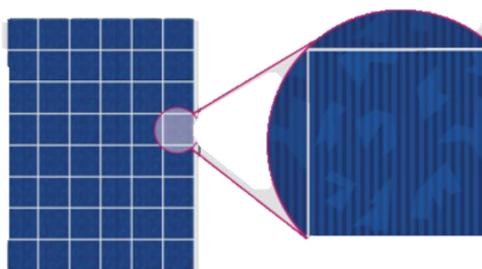
Pada gambar 2.6 proses pembuatan sel monocrystalline dari satu kristal silikon murni yang dipotong dengan peleburan mencapai 99.999%. Umumnya sel monocrystalline berwarna hitam.



Gambar 2. 7 Karakteristik keluaran panel surya tipe monokristalin, karakteristik I–V dan karakteristik P–V (Asclepias Rachmi, 2020)

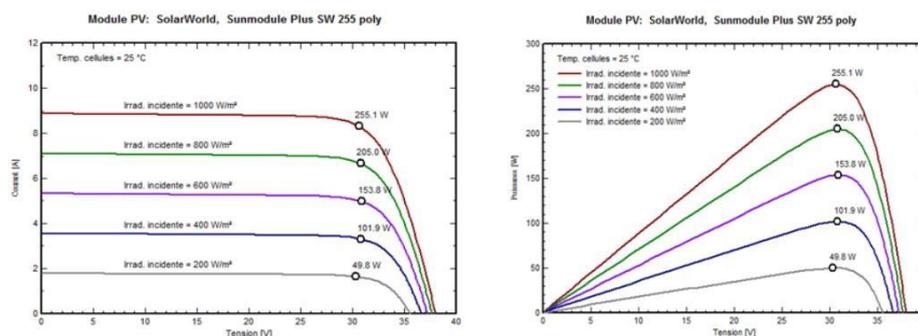
Berdasarkan grafik gambar 2.7 sel monocrystalline memiliki tingkat efisiensi mencapai 16,5% - 19% (standar konvensional) dan 17,5% - 22,6% (*passivated emitter and rear contact* atau *PERC*). Dari segi finansial harga panel jenis monocrystalline sebanding dengan efisiensi yang didapat serta cocok digunakan untuk penggunaan *on grid* dan PLTS dalam skala menengah maupun besar (Asclepias Rachmi, 2020).

2. Polycrystalline



Gambar 2. 8 Panel surya tipe Polycrystalline (Asclepias Rachmi, 2020)

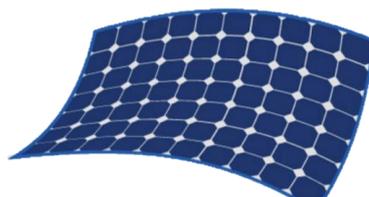
Pada gambar 2.8 proses pembuatan sel polycrystalline yakni fragmen kristal silikon yang dilebur bersama dalam cetakan sebelum dipotong. Sel polycrystalin cenderung memiliki rona kebiruan.



Gambar 2. 9 Karakteristik keluaran panel surya tipe polikristal, karakteristik I–V dan karakteristik P–V (Asclepias Rachmi, 2020)

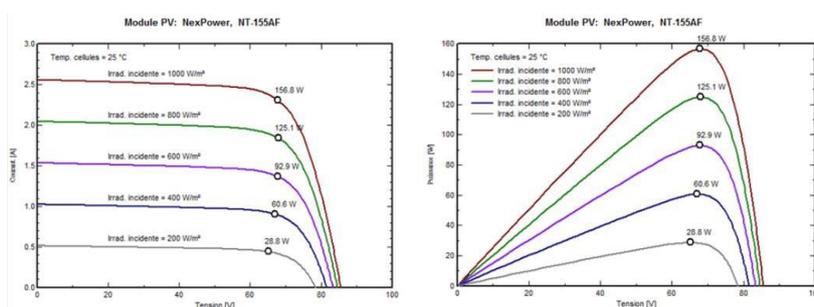
Berdasarkan grafik gambar 2.9 sel polycrystalline memiliki tingkat efisiensi 15% - 18% (standar konvensional) dan 17,5% - 19,5% (*passivated emitter and rear contact* atau *PERC*). Dari segi finansial pasaran dunia panel jenis ini merupakan jenis harga termurah di antara jenis solar panel lainnya. *Polycrystalline* sangat cocok digunakan untuk penggunaan *solar home sistem*, *off grid*, *on grid*, dan PJU tenaga surya (PJUTS) (Marpaung et al., 2020).

3. Thin Film



Gambar 2. 10 Panel surya tipe Thin Film (Asclepias Rachmi, 2020)

Pada gambar 2.10 prose pembuatan sel thin film terbuat dari berbagai bahan, pada umumnya yang digunakan dengan bahan *copper indium gallium selenide (CIGS)*, *silikon amorf (a-Si)*, *cadmium telluride (CdTe)* dan *gallium arsenide (GaAs)*. Sel thin film memiliki warna yang tergantung dari materi pembuatnya (untuk materi silikon akan berwarna hitam).



Gambar 2. 11 Karakteristik keluaran panel surya tipe thin film, karakteristik I-V dan karakteristik P-V (Asclepias Rachmi, 2020)

Berdasarkan grafik gambar 2.11 sel thin film memiliki tingkat efisiensi sebagai berikut: *CdTe* (9% - 11%), *a-Si* (6% - 8%), *CIGS* (10% - 12%), *GaAs* (28,8%). Dari segi finansial di pasaran saat ini harganya masih mahal dan biasa digunakan untuk kebutuhan spesifik serta cocok untuk penggunaan PTLs portabel pada mobil, perahu, area pemasangan yang tidak dapat menahan beban berat. Panel surya yang banyak digunakan di surya atap adalah jenis panel surya monocrystalline dan polycrystalline, berikut detail perbedaan keduanya secara spesifik:

a) Dilihat dari segi biaya dan efisiensi, monocrystalline memiliki tingkat efisiensi

yang lebih besar dengan harga lebih tinggi, sedangkan polycrystalline memiliki tingkat efisiensi lebih kecil dengan harga lebih murah;

- b) Dilihat dari segi kinerja, monocrystalline memiliki kinerja lebih baik ketika terkena cahaya langsung, sedangkan polycrystalline memiliki kinerja lebih baik dalam pencahayaan tidak langsung (terdifusi).
- c) Dilihat dari segi kapasitas, monocrystalline fokus pengembangan panel surya yang berasal dari kristal silikon dengan pengayaan unsur lain dan masih terus dikembangkan. Sampai panel surya jenis monocrystalline berkualitas, tahan lama, andal, dan mudah dipasang. Panel jenis monocrystalline dapat digunakan dalam berbagai iklim, serta memiliki umur teknis (lifetime) minimal 25 tahun, dengan penurunan efisiensi (derating factor) yang kecil, yaitu di bawah 1% per tahun jika di rawat dengan baik.

B. Solar Charge Controller



Gambar 2. 12 Solar charge controller (Lg, 2017)

Pada gambar 2.12 *Solar Charge Controller (SCC)* menerapkan teknologi *pulse width modulation (PWM)* memiliki fungsi dalam mengatur pengisian arus yang masuk ke baterai (*charging*) dan pengosongan arus dari baterai ke beban (*discharging*). Selain itu, *solar charge controller* dapat mencegah baterai dari

overcharge, *overdischarging* dan tegangan berlebih dari modul surya. Tegangan yang berlebih pada baterai akan mengurangi umur baterai. Baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan jika tidak memakai *solar charge controller*. Parameter dari *SCC* dilihat dari tegangan operasional maksimum (V_{max}) dan arus maksimum (I_{max}) dengan besaran tegangan operasional yang sesuai standar adalah 12 V, 24 V atau 48 V, sedangkan besaran arusnya antara 10 A - 60A (Heater and Diagnosis, 2020). Secara singkat prinsip kerja *SCC* yaitu menstabilkan tegangan yang masuk dari panel ke baterai agar tegangan pada pengisian baterai sesuai spesifikasi pada baterai yang digunakan pada panel surya, jika baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti. Cara mendeteksinya dilihat dari monitor level tegangan baterai pada *solar charge controller* yang mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, jika level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali (Lg, 2017).

C. Inverter

Inverter pada sistem PLTS dibutuhkan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan masukan DC pada inverter sama dengan tegangan keluaran panel surya dan tegangan baterai. Tegangan masukan DC pada inverter sistem bernilai 12 V, 24 V atau 48 V (Heater and Diagnosis, 2020). Berdasarkan penggunaannya inverter dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. *Off Grid Inverter*

Off grid inverter adalah inverter yang bekerja dengan backup battery sebagai sumber utama dari pembangkitan listrik oleh modul surya yang dihasilkan serta dapat menggantikan saat jaringan listrik dari PLN terjadi pemadaman listrik.

2. *On Grid Inverter*

On Grid Inverter adalah inverter yang bekerja dari modul surya secara langsung digunakan secara bersama dengan PLN sebagai sumber jaringan utama dan tanpa melalui sumber cadangan baterai, dengan menggunakan *On Grid Inverter* dapat mengurangi tagihan listrik sehingga dapat menghemat biaya penggunaan listrik. Kekurangan sistem *On Grid Inverter* adalah ketika terjadi pemadaman listrik utama PLN pada siang hari, maka inverter ikut mati sehingga tenaga matahari tidak optimal digunakan jika di daerah yang sering terjadi pemadaman listrik (Marpaung et al., 2020).

Terdapat beberapa jenis inverter berdasarkan fungsinya.

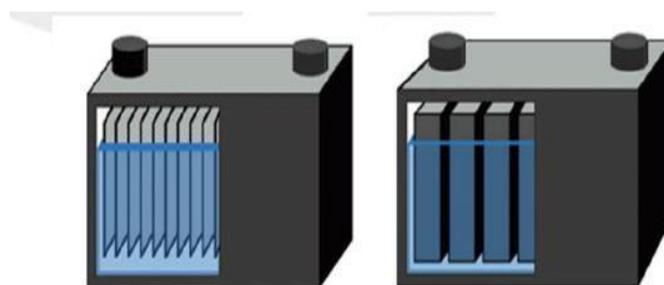
1. *Central inverter*: Sistem ini digunakan pada PLTS dengan struktur yang homogen atau tipe modul panel surya sama dengan kapasitas daya diatas 100 kW.
2. *String inverter*: Sistem ini digunakan pada string yakni panel surya dibagi beberapa *string* yang setiap *string* terdapat satu inverter. Sistem ini dapat menghemat biaya, mempermudah pekerjaan instalasi, meningkatkan energi dan availability sistem yang dihasilkan oleh panel surya.
3. *Module inverter*: Sistem ini bekerja pada setiap modul panel surya terdapat satu buah inverter mikro.
4. *Smart Inverter*: Sistem ini bekerja dimana inverter mampu untuk integrasi dengan jaringan listrik publik yang memiliki sensor dalam *monitoring* dan *control* jaringan listrik publik agar menjaga kestabilannya dan sinkron dengan

tegangan listrik publik. (Gardini Lambang Purbaya, 2019)

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter, diantaranya:

1. Kapasitas beban inverter yang digunakan mendekati kapasitas beban yang hendak digunakan agar inverter dapat bekerja maksimal.
2. Input tegangan DC pada inverter bisa 12 Volt atau 24 Volt.
3. Keluaran dari inverter *sinwave* atau *square wave* output AC.
4. Dapat mengatasi sertakan seperti dapat memberikan daya tertinggi dengan waktu yang singkat saat menghidupkan sistem. Sehingga dengan memiliki kehandalan ini inverter yang aman dapat mengatasi arus sirkuit pendek dan pemutus arus berlebih atau sebagai sakering.
5. Memiliki daya dengan rating 50%-90% yang sesuai dengan syarat beban, umumnya pabrik menyediakan kinerja inverter di 70% dari daya nominalnya.
6. Memiliki *Automatic fail-over* yang berpindah secara otomatis dengan sumber daya berbeda antara jaringan listrik PLN dan pembangkit daya listrik dan energi surya (Heater and Diagnosis, 2020).

D. Baterai



Gambar 2. 13 (a) Baterai Otomotif (Kiri) (b)Baterai Solar Panel (Kanan) (Heater and Diagnosis, 2020)

Pada gambar 2.13 bentuk dari baterai otomotif dan baterai solar panel cukup signifikan perbedaannya. Pada sistem PLTS fungsi baterai yakni untuk menyimpan daya yang dihasilkan panel surya sehingga dapat digunakan oleh beban saat radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Terdapat dua tujuan baterai dalam sistem PLTS yaitu untuk memberi daya listrik yang dihasilkan panel surya dan wadah menyimpan kelebihan daya. Baterai dalam sistem PLTS berjenis *deep cycle battery*. Karakteristik baterai *Deep cycle* (siklus dalam) sebagai berikut:

1. Terdapat pelat elektroda tebal agar mendapat total energi yang lebih besar.
2. Memiliki arus yang sedang dan bertahan lama.
3. Memiliki usia pakai 3000 - 4000 siklus pada 25 % DOD dan usia pakai 500 - 1800 siklus pada 80 % DOD.

Adapun parameter baterai yakni sebagai berikut :

1. Kapasitas batere (*Ah*)
2. *Effisiensi batere (%)*
3. *Depth of Discharge (DOD) (%)*
4. Tegangan operasional batere (*V*).

E. Kwh Meter *EXIM*

Kwh meter *EXIM* merupakan alat pada sistem PLTS yang memiliki fungsi mengukur surplus listrik yang masuk ke jaringan PLN, menghitung pemakaian listrik PLN saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik di malam hari atau saat cuaca hujan serta menghitung berapa listrik yang dikirim ke PLN dan berapa pemakaian listrik PLN di rumah tersebut. Kemudian tagihan listrik akan

dikurangi oleh listrik yang diekspor ke PLN. (Solar, 2021)



Gambar 2. 14 Kwh Meter Exim (Solar, 2021)

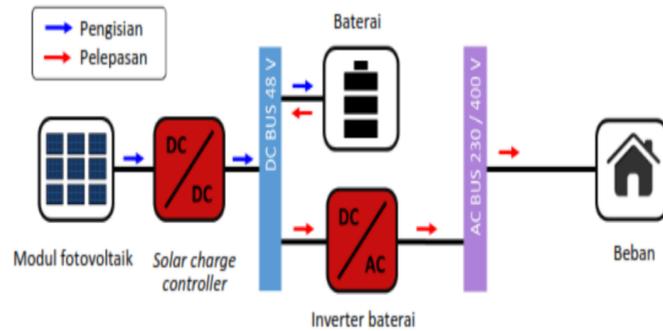
Berdasarkan gambar 2.14 sistem Kwh meter *EXIM* telah diatur dalam Peraturan Direksi PT.PLN (Persero) Nomor 0733.K/DIR/2013 tentang Pemanfaatan Energi Listrik dari Fotovoltaik oleh Pelanggan PT. PLN (Persero). Pelanggan PT. PLN akan memasang jenis kWh meter *EXIM* untuk pelanggan yang memanfaatkan energi listrik dari panel surya, selain dari listrik PLN. Energi listrik yang diterima PLN dari panel surya akan diimbangi dengan energi listrik yang dikirim PLN ke pelanggan (Marpaung et al., 2020).

2.3.2 Konfigurasi sistem PLTS

Dalam konfigurasi sistem PLTS terbagi menjadi 3 jenis yakni PLTS *off grid*, PLTS *on grid*, dan PLTS *hybrid*. Berikut penjelasan ketiga jenis konfigurasi sistem PLTS.

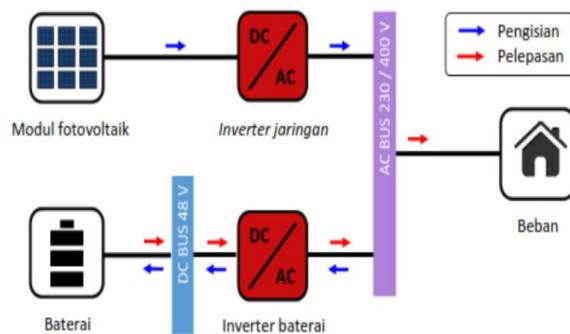
A. Sistem PLTS *Off-Grid*

Sistem PLTS *offgrid* merupakan sistem penyuplai beban tanpa terhubung jaringan PLN. Komponen utama PLTS *Offgrid* adalah baterai penyimpan energi.



Gambar 2. 15 Sistem PLTS Off Grid dengan Konfigurasi DC Coupling
(Latasya, 2019)

Konfigurasi *DC Coupling* pada gambar 2.15 merupakan jenis dari sistem PLTS *offgrid* dengan memanfaatkan radiasi matahari pada siang hari untuk disimpan dalam baterai agar mencapai kondisi pengisian baterai yang maksimal (*State Of Charge*). Ketika beban meningkat energi listrik akan disalurkan oleh inverter yang mengkonversikan tegangan DC menjadi AC sampai batas minimum dari state of charge (Latasya, 2019).



Gambar 2. 16 Sistem PLTS Off Grid dengan Konfigurasi AC Coupling
(Latasya, 2019)

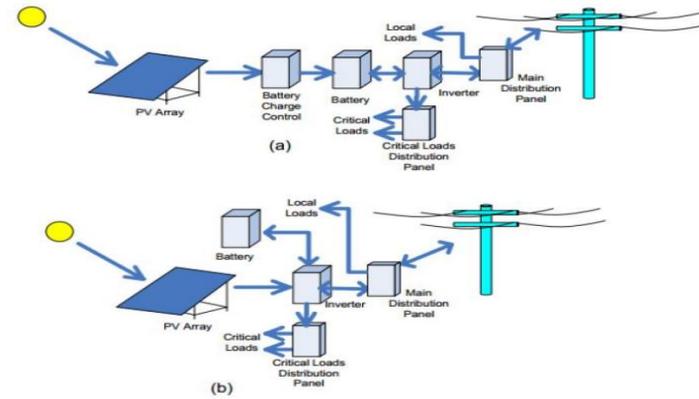
Sedangkan konfigurasi *AC Coupling* berdasarkan gambar 2.16 memiliki sedikit perbedaan yang dari sistem *DC coupling* berdasarkan gambar 2.15 yakni keberadaan inverter jaringan. Pada *AC coupling*, inverter jaringan berfungsi sebagai penghubung antara PV array dan baterai pada bus AC yang memiliki perangkat MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) digunakan untuk memaksimalkan daya

input yang diterima dari PV array ke beban kemudian disimpan ke baterai. (Latasya, 2019).

B. Sistem PLTS *On-Grid*

Sistem PLTS *on grid* menggunakan modul surya untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga. Sistem PLTS *on grid* selalu berhubungan dengan jaringan PLN sehingga mengoptimalkan pemanfaatan energi panel surya untuk menghasilkan energi listrik yang maksimal. (Irfan, 2017). Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik sistem ini dibagi menjadi dua yaitu sistem penyimpanan (storage) yang menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik tanpa baterai. Baterai pada PLTS *On-grid* digunakan untuk menyuplai listrik ke beban apabila jaringan mengalami kegagalan dengan periode tertentu serta menyuplai listrik ke jaringan PLN apabila terdapat kelebihan daya listrik (*exces power*) yang dibangkitkan PLTS. Prinsip kerja PLTS sistem *on-grid* dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pada siang hari, modul surya mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah atau DC. Selanjutnya *grid inverter* merubah listrik arus DC modul surya menjadi listrik arus AC untuk menyuplai berbagai peralatan elektronik di rumah tangga. Sehingga di siang hari, kebutuhan listrik untuk disuplai langsung oleh modul surya. Jika terdapat kelebihan energi dari modul surya maka kelebihan listrik dapat dijual ke PLN sesuai kebijakan.
2. Pada saat malam hari atau cuaca mendung peralatan elektronik akan disuplai oleh PLN karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN (Irfan, 2017).

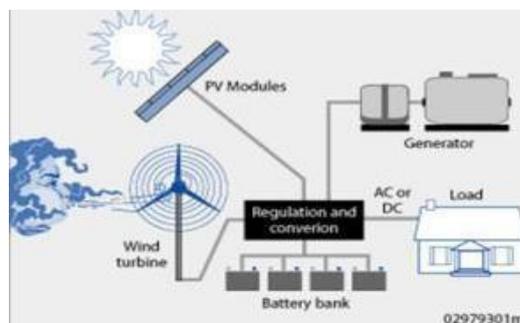


Gambar 2. 17 Sistem PLTS grid-connected Dengan Penyimpanan (Storage) (a) Charge Control dan Inverter Charge Control terpisah (b) Charge Control Terintegrasi (Irfan, 2017)

PLTS *on-grid* sesuai gambar 2.17 dapat menggunakan baterai sebagai cadangan energi. Jika terjadi kegagalan atau pemadaman listrik saat menyuplai listrik maka peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal tanpa adanya gangguan dalam jangka waktu tertentu (Irfan, 2017).

C. Sistem PLTS *Hybrid*

Sistem PLTS *hybrid* menggunakan lebih dari dua sistem pembangkit listrik. Umumnya sistem PLTS *hybrid* banyak digunakan dengan PLTS seperti tenaga mikrohidro, generator set dan tenaga angin.



Gambar 2. 18 Sistem PLTS Hybrid (Adhim Mustakim, 2020).

Berdasarkan gambar 2.18 Sistem PLTS *hybrid* merupakan solusi untuk mengurangi penggunaan bahan bakar terutama di pedesaan yang masih bergantung pada PLTD atau generator set sebagai sumber energi listriknya (Adhim Mustakim, 2020).

2.3.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berdasarkan Teknologi

Berdasarkan teknologinya terdapat 3 macam dudukan panel surya meliputi *roof-mounted*, *ground-mounted*, dan *floating solar sistem*. Berikut penjelasannya:

A. *Roof-Mounted*



Gambar 2. 19 Roof-Mounted (IESR, 2022)

Instalasi *roof-mounted* sesuai gambar 2.19 merupakan instalasi PLTS memanfaatkan ruang atap yang kosong pada bangunan dengan pertimbangan kondisi cuaca, usia atap yang ada, kemiringan atap dan garis lintang geografis. (Melink, 2020).

b. *Ground-Mounted*



Gambar 2. 20 PLTS Ground-Mounted (Agung, 2021)

Instalasi *ground-mounted* sesuai gambar 2.20 merupakan instalasi PLTS memanfaatkan lahan terbuka yang datar dan stabil dengan tiang didorong ke dalam tanah. 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. Kelemahan *ground mounted* yaitu karena posisi panel surya yang dekat dengan tanah sehingga rentan terkena debu dan kotoran, maka solusi permasalahan tersebut adalah dari segi perawatan rutin dalam membersihkan panel surya dalam rentan waktu 4 bulan sekali. (Fauzi Wibowo et al., 2019).

c. *Floating solar sistem*



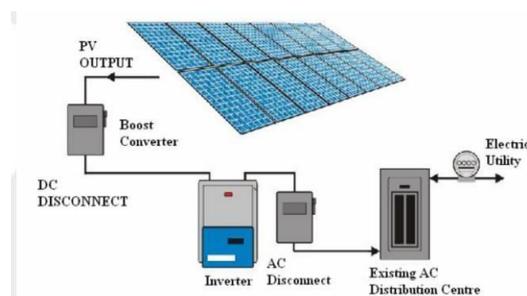
Gambar 2. 21 PLTS Terapung (EBTKE, 2016)

Floating solar sistem atau PLTS terapung sesuai gambar 2.21 merupakan instalasi sistem PLTS dengan model PLTS diletakan terapung diatas air seperti danau, waduk, laut dan lain sebagainya. (EBTKE, 2016).

2.3.4 PLTS Atap Sistem *On Grid*

Dalam Peraturan Kementrian ESDM No. 26 Tahun 2021 memaparkan tentang PLTS atap yang terhubung dengan jaringan listrik pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum, sistem PLTS atap merupakan sistem PLTS yang dipasang dan diletakan pada atap. Dalam penggunaan PLTS atap memiliki beberapa tujuan yakni dapat menghemat tagihan listrik pelanggan, mendapat listrik dari sumber EBT, dan dapat berkontribusi dalam menurunkan

emisi gas rumah kaca. Peraturan Presiden No.79 tahun 2014 yang tercantum dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Pemerintah Indonesia menetapkan kebijakan dalam bauran energi nasional yakni peningkatan energi terbarukan (EBT) hingga 23% pada tahun 2025. Maka dari itu perlunya dukungan untuk mengatasi hal tersebut, beberapa kebijakan yang telah dikeluarkan pemerintah terutama di bidang pemanfaatan energi surya. Berikut rancangan penelitian yang akan dilakukan menggunakan pemodelan PLTS atap dengan sistem *on grid*



Gambar 2. 22 Sistem PLTS Atap On Grid
(Heater and Diagnosis, 2020)

Berdasarkan gambar 2.22 PLTS *on grid* adalah sistem yang terhubung langsung dengan PLN, Kapasitas daya dalam sistem PLTS *rooftop on grid* terbatas berkisar 100kWp – 1MWp (Heater and Diagnosis, 2020). Untuk menghitung sistem PLTS *on grid* yang dipasang di atap dengan memanfaatkan atap secara maksimal, maka diperlukan beberapa tahap perhitungan jumlah modul surya dengan luas atap yang tersedia . Tahapan nya adalah sebagai berikut:

1. Hitung luas rooftop untuk menentukan kapasitas PLTS
2. Tentukan susunan string dan array. Jumlah panel surya dalam satu string (terhubung seri) dan jumlah string dalam satu array (terhubung parallel)

Adapun beberapa hal yang perlu diketahui dalam penerapan PLTS Atap *on-grid* di Indonesia yang mengacu pada Peraturan menteri ESDM No.49 tahun 2018, jo. Peraturan menteri No.13 tahun 2019, jo. Peraturan menteri No.16 tahun 2019, jo. Peraturan menteri No.26 tahun 2021 adalah:

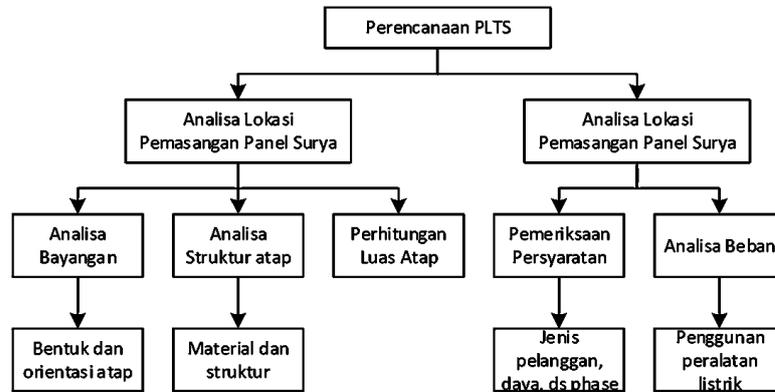
1. Sistemnya meliputi modul surya, inverter, sambungan listrik pelanggan, sistem pengaman, dan meter kWh Ekspor-Import.
2. Pengguna meliputi pelanggan rumah tangga, bisnis, sosial, pemerintah, maupun industri.
3. Kapasitas yang diizinkan adalah maksimal sebesar 100% daya tersambung pelanggan (Watt).
4. Lokasi pemasangan modul dapat diletakan pada atap, dinding, atau bagian lain dari bangunan milik pelanggan PLN.

Mekanisme sistem PLTS atap *On Grid* adalah sebagai berikut:

1. Panel surya mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya menghasilkan arus listrik DC
2. Arus DC diubah oleh inverter menjadi listrik AC
3. Arus AC masuk ke jaringan listrik di dalam rumah melalui AC breaker panel
4. Pemakaian energi listrik untuk penerangan atau peralatan elektronik rumah tangga
5. Penggunaan kWh meter ekspor impor (exim) dengan menggunakan sistem net metering selanjutnya meter exim akan membaca ekspor dan impor listrik dari pelanggan PLTS ke jaringan PLN.

2.3.5 Perencanaan PLTS Atap

Dalam pelaksanaannya perencanaan PLTS atap dibagi menjadi 3 tahap yaitu perencanaan PLTS atap, perancangan sistem PLTS atap, dan pengajuan, pemasangan dan penyambungan. Berikut diagram perencanaan PLTS atap.



Gambar 2. 23 Diagram Perencanaan PLTS Atap. (Asclepias Rachmi, 2020).

Berdasarkan diagram dalam gambar 2.23 terdapat 2 langkah utama yang perlu dilakukan yaitu, analisis lokasi pemasangan panel surya dan analisis sistem kelistrikan Berikut detail penjelasan dalam merencanakan PLTS atap:

A. Analisa Lokasi Pemasangan Panel Surya

Adapun tujuan dari adanya analisa lokasi pemasangan panel surya yakni untuk memastikan bahwa area atap yang ada dapat menyangga PLTS sebesar kapasitas yang dibutuhkan. Terdapat 3 langkah dalam menentukan analisa lokasi pemasangan panel surya, antara lain:

1. Analisa Bayangan

Analisa bayangan terdiri dari tahap perencanaan PLTS, baik itu PLTS atap, *ground*, atau *floating*. Memiliki bertujuan untuk memastikan sinar matahari yang

jatuh ke panel surya tidak terhalang oleh objek yang berada disekitarnya. Karena efek bayangan dapat mempengaruhi efisiensi modul surya dalam kinerja modul surya membangkitkan listrik. Ada tiga hal yang harus diperhatikan, yaitu:

a. Melihat Bentuk Atap

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

b. Melihat Orientasi Atap dan Koordinat Lokasi Pemasangan

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

c. Melihat Adanya Efek Bayangan

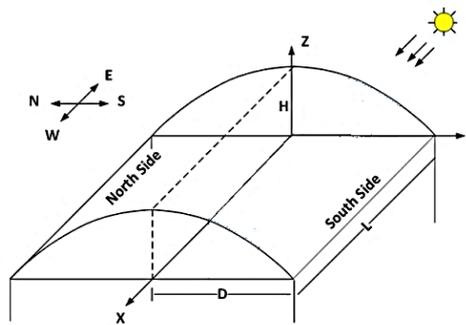
Efek bayangan yang dimaksud adalah mengamati secara langsung objek penghalang di sisi timur dan barat. Objek yang dimaksud dapat berupa atap itu sendiri, vegetasi/pohon, serta bangunan/tower.

2. Analisa Struktur Atap

Analisa struktur atap diperlukan untuk memastikan bahwa struktur atau konstruksi sipil dari atap bangunan yang ada cukup kuat untuk menyangga beban tambahan yakni panel surya.

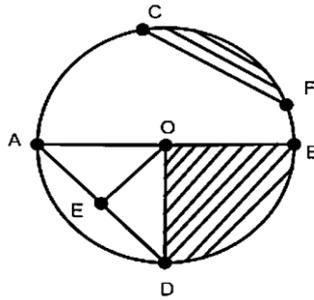
3. Perhitungan Luas Atap

Langkah ini diperlukan dalam menghitung luas atap yang potensial untuk pemasangan panel surya dari pertimbangan hasil analisa bayangan. Luas atap yang dihasilkan akan menjadi kebutuhan luas area yang efektif untuk panel surya dengan kapasitas sistem yang ditentukan.



Gambar 2. 24 Struktur Atap Lengkung (Appelbaum,2020)

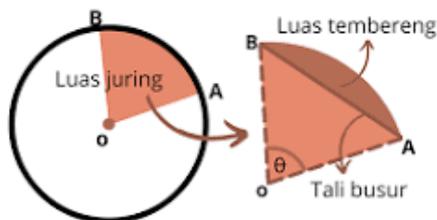
Berdasarkan gambar 2.24 perhitungan dalam menentukan luas ,nilai derajat kemiringan PLTS atap lengkung dan tinggi panel surya. Dalam menentukan nilai tilt atau kemiringan panel dapat dihitung dengan rumus lingkaran, terdapat beberapa unsur lingkaran yang terdiri atas ruas garis atau kurva lengkung yaitu busur, tali busur, jari-jari, diameter, dan apotema. Sedangkan unsur lingkaran yang terdiri atas luasan yaitu juring dan tembereng (Sari I.Y,2017). Dilihat dari bentuk lengkungan atap stadion maka harus diidentifikasi terlebih dahulu bentuk lengkungan sesuai dengan ukuran lengkungan yang ada di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya. Lengkungan stadion membentuk lengkungan panjang busur bukan lengkungan $\frac{1}{2}$ lingkaran, maka dalam menentukan nilai derajat maka yang harus diperhitungkan adalah tinggi dari lengkungan serta besar sudut dalam sebuah lingkaran seperti gambar 2.25 yang ditunjukkan dibawah ini:



Gambar 2. 25 Unsur-unsur dalam Lingkaran (Sari I.Y,2017)

Berdarkan gambar 2.25 terdapat keterangan setiap titik dalam lingkaran :

- O : Pusat Lingkaran
- $\overline{OA}, \overline{OB}, \overline{OD}$: Jari-jari Lingkaran
- $\overline{AD}, \overline{CB}, \overline{AB}$: Tali Busur lingkaran
- \overline{AB} : Diameter
- $\frown AD, \frown BD, \frown FCB$: Busur Lingkaran
- \overline{OE} : Apotema (garis dari O \perp tali busur)
- Daerah BOD : Juring
- Daerah CF : Tembereng



Gambar 2. 26 Bentuk Lengkungan Atap Busur Lingkaran
(Sari I.Y,2017)

Pada gambar 2.26 bentukan atap Stadion Wiradadaha yang tidak membentuk sebuah lingkaran melainkan sebuah lengkungan seperti tembereng pada sebuah lingkaran. Maka langkah pertama yang dihitung untuk mencari nilai sudut juring dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Keliling Lingkaran} : 2\pi r \quad (2.1)$$

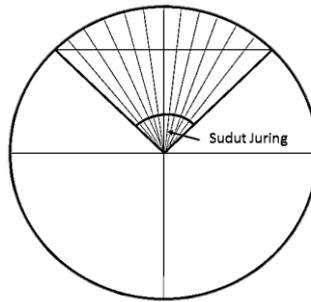
$$\text{Panjang Busur} : \frac{\theta}{360} \times 2\pi r \quad (2.2)$$

$$\text{Tali Busur} : 2 \times r \sin \frac{\theta}{2} \quad (2.3)$$

Dimana:

r = jari jari lingkaran

θ = sudut juring



Gambar 2. 27 Bentuk Potongan Bagian dalam Penentuan Sudut Panel Surya (Sari I.Y,2017)

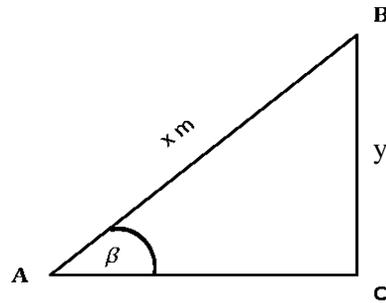
Pada gambar 2.27 potongan juring yang telah diketahui sudutnya nanti dibagi kembali menjadi beberapa bagian juring kecil agar dapat menentukan besar sudut yang dibentuk panel surya. Potongan juring tersebut dibagi menjadi 12 potongan juring yang sama besar selanjutnya dihitung nilai sudut per segmen penempatan PLTS didapat dengan rumus

$$\text{Kemiringan sudut} : \frac{a}{b} \pi \times \frac{\text{sudut juring}}{\pi} \quad (2.4)$$

dimana a = nilai bagian sedangkan b adalah total keseluruhan bagian.

Trigonometri diartikan sebagai bagian dari matematika yang mempelajari tentang ilmu ukur sudut dan batasa-batasan dalam segitiga. Jadi dapat disimpulkan bahwa Trigonometri adalah bagian dari ilmu matematika yang mempelajari tentang

hubungan antara sisi dan sudut suatu segitiga serta fungsi dasar yang muncul dari relasi tersebut (Depdiknas, 2020: 1211).



Gambar 2. 28 Ilustrasi dalam Menentukan Ketinggian Panel Surya (Depdiknas, 2020)

Dari gambar 2.28, sudut siku-siku dibentuk oleh perpotongan antara sisi AC dan BC. Sisi BC disebut juga sisi tegak, sisi AC disebut sisi mendatar, dan tepat di depan sudut siku-siku terdapat sisi miring (AB). Sisi miring selalu lebih panjang dari kedua sisi lainnya. Setelah mengetahui hasil perhitungan kemiringan maka langkah selanjutnya yaitu menghitung ketinggian panel surya dimana nilai ketinggian panel ini di perlukan sebagai data masukan nanti dalam pemodelan PLTS menggunakan aplikasi Helioscope. Perhitungan ini diambil dari rumus perbandingan trigonometri ketika nilai jarak AB dan sudut dari sebuah diketahui maka tinggi yang di dapat adalah sebagai berikut :

$$\sin \beta = \frac{AB}{AC} \quad (2.5)$$

Maka dalam menentukan besar AC yakni:

$$\text{Height (h) AC} = AB \sin (\beta) \quad (2.6)$$

dimana AB = panjang panel surya sedangkan β adalah kemiringan panel.

B. Analisa sistem kelistrikan.

Analisa dilakukan sesuai ketentuan teknis yang diatur dalam peraturan perundangan, maupun ketentuan teknis PLN sebagai syarat penyambungan.

1. Pemeriksaan Persyaratan Sistem Kelistrikan

Beberapa pemeriksaan persyaratan sistem kelistrikan diantaranya memeriksa status pelanggan PLN apakah jenis rumah tangga (R), bisnis (B), sosial (S), pemerintah (P) atau jenis pelanggan industri (I) serta pemeriksaan daya yang tersambung saat ini. Terdapat 2 jenis sambungan PLN sesuai kebutuhan jenis kWh meter yang berbeda, yakni sambungan 1 *phase* dan 3 *phase* sehingga dapat menentukan kapasitas maksimal sistem PLTS atap yang dapat dipasang, yaitu sebesar 100% daya tersambung. Daya *phase* dapat dilihat dari daya yang tersambung di kWh meter dan MCB yang terpasang atau dapat dilihat dari tagihan rekening listrik. Dengan adanya analisa pemeriksaan ini maka dapat menghitung kebutuhan/penggunaan energi listrik untuk menentukan kapasitas sistem PLTS atap yang optimal serta investasi awal yang dikeluarkan optimal.

2. Analisis Beban

Analisis kebutuhan beban yang dipakai sebuah bangunan terdiri dari dua metode, yaitu:

a. Berdasarkan daya listrik peralatan rumah/kantor

Metode pengukuran dilakukan secara langsung agar memberikan gambaran kebutuhan listrik riil di siang hari secara detail berdasarkan jenis, jumlah, dan durasi pemakaian peralatan listrik yang ada.

b. Berdasarkan catatan kWh meter

Merupakan metode sederhana yang dapat digunakan pada bangunan kantor seperti gedung yang cukup luas dengan peralatan listrik yang kompleks (Asclepias Rachmi, 2020).

Selain data pemakaian bangunan tersebut terdapat perencanaan beban yang akan dipakai nanti setelah pemodelan PLTS mendapatkan daya yang dihasilkan. Adapun perencanaan beban yang akan ditambahkan antara lain:

a. Penerangan

Untuk ukuran lapangan sepak bola stadion wiradadaha bisa dikatakan sesuai standar dimana standar PSSI untuk ukuran lapangan sepak bola adalah sebagai berikut :

- Panjang: 90-120 meter
- Lebar: 45-90 meter
- Ukuran radius lingkaran tengah: 9,15 meter
- Diameter lingkaran tengah: 18,3 meter
- Panjang ukuran kotak kiper: 18,3 meter
- Lebar ukuran kotak kiper: 5,5 meter
- Panjang ukuran kotak penalti: 39,2 meter
- Lebar ukuran kotak penalti: 16,5 meter
- Panjang Gawang: 7,32 meter
- Tinggi Gawang: 2,44 meter
- Jarak Titik penalti dari garis gawang: 11 meter

Rumus pencahayaan standar

$$N = \frac{E . L . W}{\phi . LLF . CU . n} \quad (2.7)$$

Ket.

N	Jumlah titik lampu	
E	Kuat penerangan	Lux
L	Panjang Ruang	M
W	Lebar Ruang	M
ϕ	Total Lumen Lampu	Lumen
LLF	Light Loss Factor	0,7 - 0,8
CU	Coeffisien of Utilization	50 - 65 %
n	Jumlah Lampu dalam 1 titik lampu	

Tingkat yang direkomendasikan dalam perancangan sistem pencahayaan lapangan sepak bola berdasarkan SNI 03-3647-1994 yaitu tingkat penerangan horizontal pada arena 1 meter diatas permukaan lantai untuk ketiga kelas, sebagai berikut:

- 1) Untuk latihan dibutuhkan minimal 200 lux.
- 2) Untuk pertandingan dibutuhkan minimal 300 lux.
- 3) Untuk pengambilan video dokumentasi dibutuhkan minimal 1000 lux.

Berikut daftar sarana dan prasarana stadion dan lapangan sepak bola berdasarkan Peraturan Menteri No 7 Tahun 2021 :

Tabel 2. 1 Sarana dan prasarana stadion sepak bola (Permen,2021)

1.	Ruang Ganti	9.	Ruang Pelatih
2.	Ruang Penjualan Tiket	10.	Ruang Wasit
3.	Ruang Briefing	11.	Ruang Medis
4.	Ruang Pemanasan	12.	Ruang Tes Doping
5.	Ruang Manajer	13.	Ruang Pengawas Pertandingan
6.	Ruang Sekretariat	14.	Ruang Kerja
7.	Gudang Perlengkapan	15.	Drainasse 75 mm/ menit
8.	Air Bersih minimal 80 m ³ untuk penyiraman 1 kali lapangan	16.	Ruang Kontrol

b. AC

Penggunaan AC pada ruangan di stadion wiradadaha ini bertujuan untuk kenyamanan. Dalam hal ini kita cari kapasitas AC yang sesuai dengan ukuran ruangan. Perlu kita ketahui juga berapa nilai daya pendingin AC berdasarkan PK, karena dipasaran banyak memakai standar PK ini.

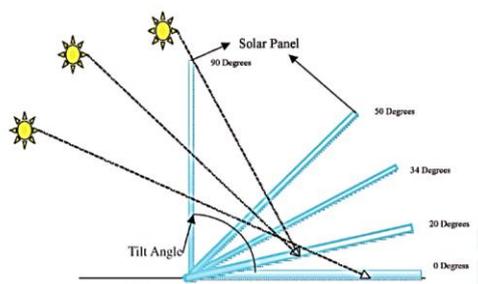
Tabel 2. 2 tabel nilai PK AC peruangan (Faizal,2014)

PK	BTU/h	m ²
0,5	5000	10
0,75	7000	14
1	9000	18
1,5	12000	24
2	18000	36

Selanjutnya bisa kita pelajari rumus untuk menghitung kebutuhan AC sesuai ukuran ruangan berikut ini :

$$\text{BTU/h} = P \times L \times 537 \quad (2.8)$$

2.4 Kemiringan sudut matahari dengan panel surya



Gambar 2. 29 Pemasangan PV Module dengan sudut kemiringan (Hanif M,2015)

Terdapat beberapa cara dalam mendapat radiasi matahari secara maksimal yakni dengan mengatur kedudukan panel surya dalam mengikuti pergerakan arah matahari sesuai gambar 2.29 dengan menentukan posisi sudut kemiringan,

sudut deklinasi, bujur lintang, sudut *zenith*, sudut datang matahari, sudut permukaan *azimuth*, serta sudut jam matahari terhadap pergerakan arah matahari. Dalam mendapatkan sudut kemiringan yang sesuai dengan kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi agar daya yang diserap dapat maksimal. Selain itu dalam menentukan arah sudut kemiringan modul surya dapat didapat dari 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°) yang diletakan mendatar (*tilt angle* = 0°) (Widodo, 2017).

Beberapa parameter sudut – sudut yang penting dalam menentukan posisi matahari yaitu:

- a. Sudut *Latitude* (ϕ), merupakan sudut lintang utara atau selatan dari garis ekuator, yang bernilai positif untuk lintang utara, ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$). Perancangan model dilakukan di Stadion Wiradadaha Tasikmalaya dengan letak geografisnya berada pada -7.34°LS dan 108.22°BT .
- b. Sudut deklinasi (δ), 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 (β), merupakan sudut kemiringan suatu bidang terhadap garis horizontal, ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$) (Widodo, 2017)

Adapun persamaan untuk menentukan sudut bidang miring terhadap radiasi matahari. Persamaan 2.8 menunjukkan sudut deklinasi (δ) dari matahari di permukaan bumi sebagai fungsi dari n (urutan hari dari 1 Januari).

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284+n}{365}\right) \quad (2.9)$$

Pengaturan kemiringan yang didasarkan pada koordinat garis lintang wilayah tersebut atau sudut latitude (ϕ) dan sudut deklinasi (δ) matahari pada saat itu (Bayu Sutanto, 2021).

$$\beta = |\phi - \delta| \quad (2.10)$$

Dimana:

β = Sudut tilt/slope

ϕ = Sudut latitude lokasi penempatan PLTS

Dimana nilai sudut Latitude Stadion Wiradadaha $\phi = -7.34^\circ$

δ = Sudut deklinasi

Tabel 2. 3 Perhitungan Sudut Deklinasi (Widodo, 2017)

Bulan	Tanggal dalam bulan	Jumlah tanggal pengujian terhadap bulan	Sudut deklinasi (δ)	Sudut Tilt/Slope (β)
Januari	i	17	23.4	16.06
Februari	31+i	48	15.6	8.26
Maret	59+i	76	-1.6	-8.94
April	90 + i	107	16.3	8.96
Mei	120 + i	137	12.1	4.76
Juni	151 + i	168	-6.9	-14.24
Juli	181 + i	198	-20	-27.34
Agustus	212 + i	229	-4.1	-11.44

September	243 + i	260	14.4	7.06
Oktober	273 + i	290	14.1	6.76
November	304 + i	321	-4.4	-11.74
Desember	334 + i	351	-21.2	-28.54

2.5 Perhitungan Perancangan PLTS

Perhitungan pertama dilakukan dengan menghitung jumlah modul panel surya yang digunakan (Purbaya, 2019).

$$\text{Jumlah panel surya} = \frac{\text{kapasitas pembangkit yang direncanakan}}{P_{mpp} \text{ (Panel Surya)}} \quad (2.11)$$

Untuk perhitungan atap lengkung saat nilai luas nya sudah di dapat dan belum tau kapasitas pembangkit yang direncanakan maka bisa menggunakan asumsi panel yang ingin dimodelkan agar presisi mengetahui jumlah modul yang dipasang agar menutupi seluruh area lengkungan atap serta perhitungan dengan logika matematis untuk menghitung jarak permodul baik lebar atau panjangnya dilihat dari ukuran modul surya yang direncanakan dalam pemodelan menggunakan *Helioscope*.

$$\text{Jarak lebar permodul} = \frac{\text{Lebar atap} - (\text{Panjang modul} \times \text{Jumlah modul})}{\text{Jumlah modul} - 1} \quad (2.12)$$

$$\text{Jarak panjang permodul} = \frac{\text{Panjang atap} - (\text{Lebar modul} \times \text{Jumlah modul})}{\text{Jumlah modul} - 1} \quad (2.13)$$

2.6 Densitas Energi

Densitas energi merupakan kerapatan energi yang dihasilkan dari banyaknya energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTS terhadap luas daerah PLTS yang digunakan. Nilai densitas ini didapat dari hasil pembagian antara nilai energi yang

dihasilkan selama satu tahun dibagi dengan luas area yang dipakai oleh panel surya. Sebelum di bagi nilai energi yang dihasilkan dikonversi terlebih dahulu dari kWh menjadi watt dengan cara membagi nya dengan berapa jam yang dipakai selama 1 tahun (Rizali, 2018). Persamaan densitas energi adalah sebagai berikut.

$$De = \frac{E}{S} \quad (2.14)$$

dengan:

De = Densitas Energi (kWh/m²)

E = Energi (kWh)

S = Luas (m²)

2.7 Software Helioscope

Helioscope, diluncurkan oleh *Folsom Lab USA*, difungsikan untuk perancangan sistem fotovoltaik, 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 komponen dan tata letak (Romadhoni et al., 2020). Adapun input software helioskop terdiri dari tilt (masukan kemiringan bidang panel surya terhadap atap, nol=datar) dan height (masukan nilai ketinggian segmen lapangan dari tanah ke atap) (Folsom Labs, 2016). Alat ini menyuguhkan keluaran tahunan, kumpulan data cuaca, rasio kinerja, dan sistem parameter berbeda - beda untuk mendapatkan hasil simulasi (Romadhoni et al., 2020).