

BAB II

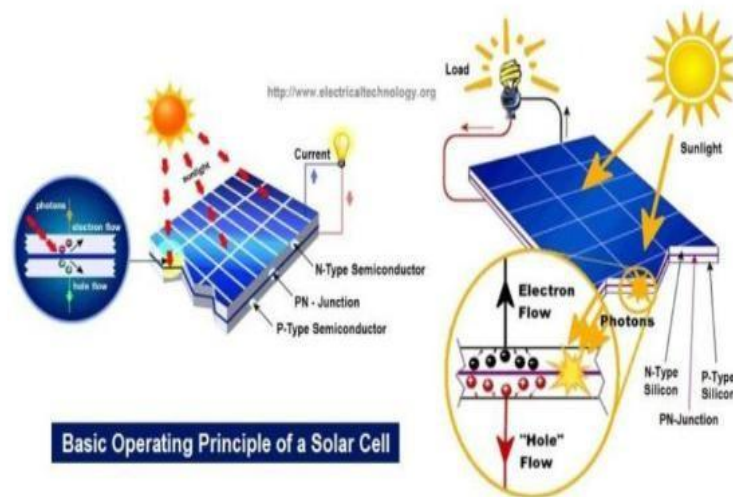
LANDASAN TEORI

2.1 Sel surya

Sel surya adalah komponen dioda aktif yang dibuat dari bahan semikonduktor atau polimer. Fungsi utamanya adalah mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Proses konversi energi cahaya matahari menjadi listrik ini dikenal sebagai efek *fotovoltaik*.

2.2 Cara kerja sel surya

Struktur dasar sel surya adalah dioda sambung (*diode junction*) yang terdiri dari dua lapisan tipis semikonduktor, yaitu semikonduktor jenis p dan semikonduktor jenis n. Susunan dioda inilah yang memungkinkan proses konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. (Ramadan, 2022).



Gambar 2. 1 proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik (Yamato & Rijadi, 2022)

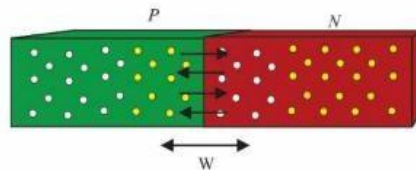
Apabila kedua jenis semikonduktor terhubung oleh cahaya matahari akan membentuk sambungan $p\sim n$ atau dioda $p\sim n$ bisa disebut juga sebagai *metalugi junction* yang bisa dijelaskan di bawah:

- a) Semikonduktor jenis p dan n belum terhubung



Gambar 2. 2 semikonduktor jenis p dan n sebelum terhubung (Ramadhan, 2021)

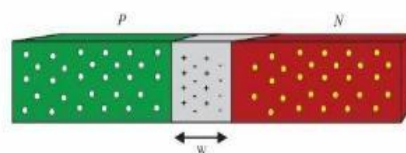
- b) Semikonduktor jenis p dan n sudah terhubung



Gambar 2. 3 semikonduktor jenis p dan n terhubung terhubung (Ramadhan, 2021)

Semikonduktor jenis p dan n sudah terhubung proses difusi semikonduktor jenis p dan jenis n Dimana proses perpindahan electron-elektron dari semikonduktor p menuju semikonduktor n , dan perpindahan hole dari semikonduktor jenis p menuju semikonduktor n .

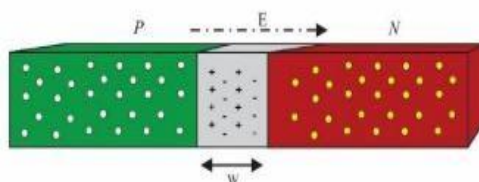
- c) Daerah deplesi (*deplation regional*)



Gambar 2. 4 daerah deplesi (Ramadhan, 2021)

pada sambungan semikonduktor *electron* dari semikonduktor *n* bersatu dengan *hole* pada semikonduktor *p* yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor *p* akan berkurang daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif, pada saat yang sama hole pada semikonduktor *p* Bersatu dengan *electron* yang ada pada semikonduktor *n* mengakibatkan jumlah electron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif. daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi dengan jarak huruf *W*, *electron* yang difusi ke semikonduktor *p* akan mengisi holes yang ada di daerah *junction* layer *n* sehingga daerah tersebut menjadi intrinsik.

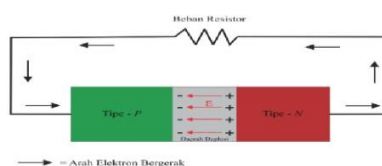
- d) Garis medan listrik *E* antara semikonduktor *p~n*



Gambar 2. 5 Garis medan listrik *E* antara semikonduktor *p~n* (Ramadhan, 2021)

dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal *E* dari sisi positif ke sisi negatif. Gambar 2.4 diatas menunjukkan garis medan listrik *E* pada sambungan semikonduktor.

- e) Proses arus listrik pada semikonduktor *p~n*



Gambar 2. 6 Proses arus listrik pada semikonduktor *p~n* (Ramadhan, 2021)

Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan $p\sim n$ berada pada titik seimbang, yakni saat Dimana hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali kearah semikonduktor p akibat medan listrik E . pada sambungan dioda $p\sim n$ inilah proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada gambar 2.5 menunjukan proses aliran arus listrik pada sambungan $p\sim n$.

f) *Fill factor*

Fill factor merupakan parameter yang berfungsi untuk menentukan daya maksimal dari sel surya dalam kaitannya dengan V_{oc} dan I_{sc} , *Fill factor* akan menentukan besaran daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh suatu panel surya, sehingga akan menentukan besaran arus dan tegangan maksimum power point. Pada gambar 2.6 diatas terlihat bahwa daerah yang terbentuk oleh V_m I_m lebih kecil dari pada daerah V_{oc} I_{sc} . Perbandingan inilah yang dinamakan *Fill Factor*.

$$FF = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.1)$$

Dimana:

FF = Fill Factor

V_{mpp} = Tegangan titik kerja maksimum

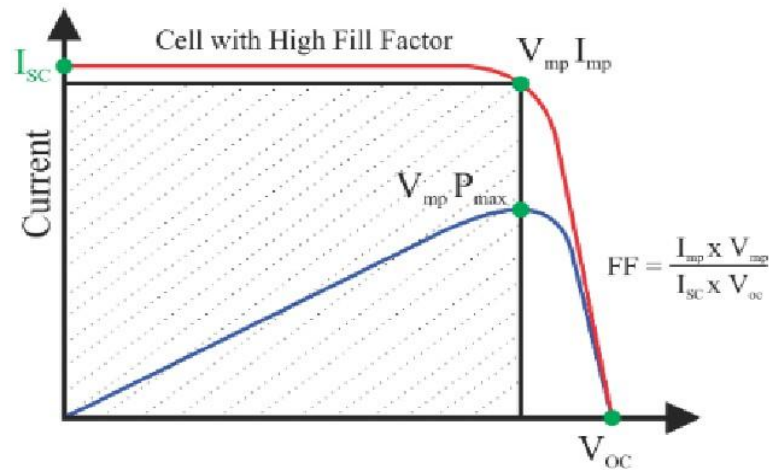
I_{mpp} = Arus titik kerja maksimum

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka

I_{sc} = Arus hubung singkat

Dengan menggunakan Fill Factor maka maksimum daya dari sel surya bisa didapatkan dengan persamaan :

$$P_{Max} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2.2)$$



Gambar 2. 7 fill factor (Ramadhan, 2021)

g) Karakteristik efisiensi energi

Efisiensi konversi merupakan perbandingan antara daya yang dapat diperoleh sebuah sel surya dengan daya yang diterima dari cahaya matahari.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana :

η = Efisiensi Energi

P_{out} = Daya keluar panel surya

P_{in} = Daya masuk panel surya

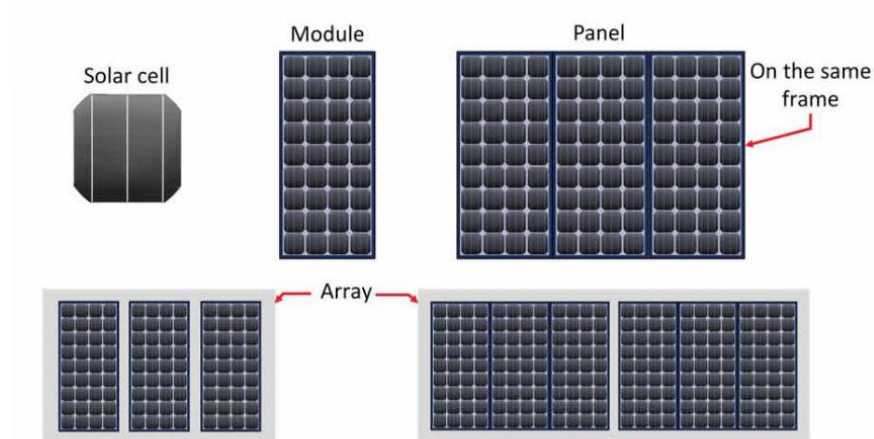
h) Rangkaian seri dan paralel

Sederhananya apabila sel surya dihubungkan seri maka tegangan yang dibangkitkan akan semakin besar tetapi arus yang dibangkitkan akan tetap, sedangkan jika dihubungkan paralel maka arus yang akan dibangkitkan akan semakin besar tetapi tegangan yang dibangkitkan tetap.

i) Konfigurasi *solar cell*

Pada umumnya sel surya dikonfigurasi satu dengan lainnya baik secara hubungan seri maupun secara paralel untuk membentuk suatu rangkaian sel

surya yang disebut “Modul Sel Surya”. Beberapa modul sel surya dihubungkan seri atau paralel untuk membentuk satu rangkaian yang disebut “Panel Sel Surya”, sedangkan jika modul surya dihungan secara baris dan kolom disebut “Array Sel Surya”. Untuk mempermudah bisa dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2. 8 Bentuk Sel, Modul/panel dan Array dari sel surya

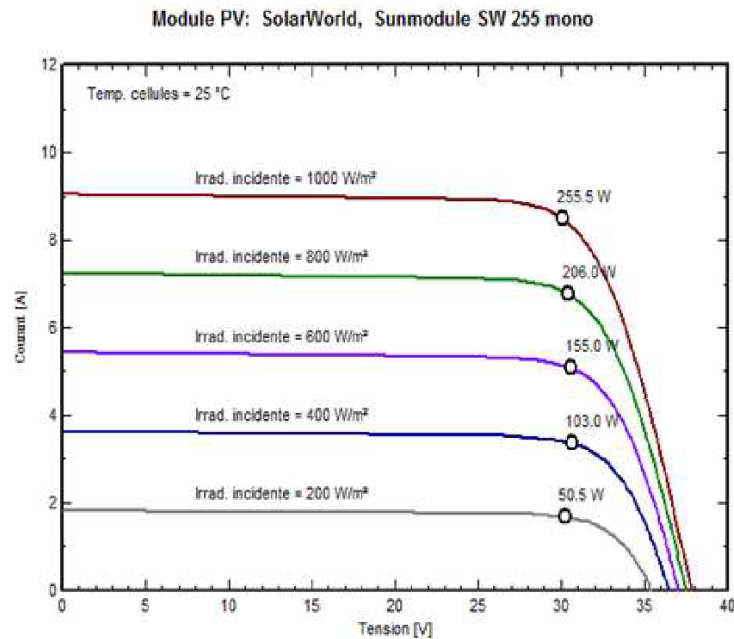
(Ramadhan, 2021)

j) Karakteristik *photovoltaic*

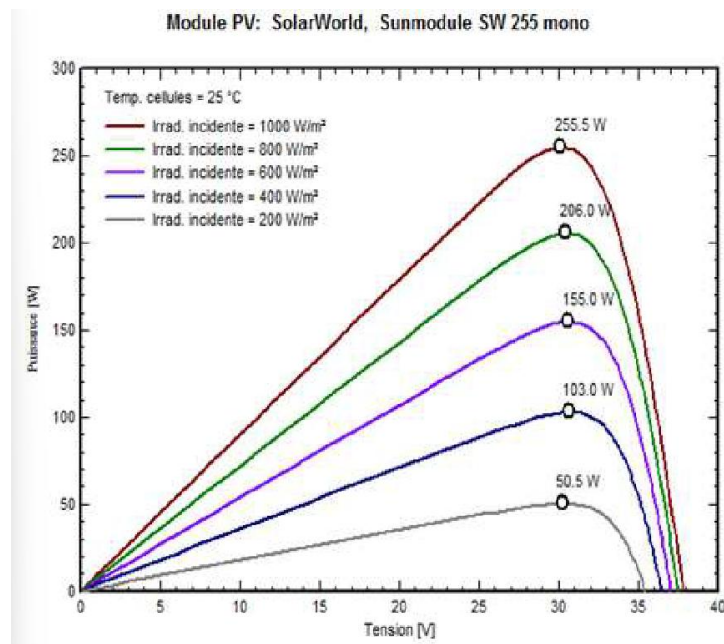
Sel surya memiliki kurva yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran dan daya, tegangan keluaran sel surya pada saat di titik kerja maksimal, maka daya keluaran yang dihasilkan akan maksimal.

Pada gambar 2.6 diatas menunjukkan kurva tegangan dan arus keluaran yang didapat dari fotovoltaic Ketika tidak dibebani secara langsung. Ketika sel dalam kondisi short circuit, arus maksimum (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang mengalir sehingga tegangan maksimum (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang dihasilkan arus dan tegangan maksimum disebut maximum power point (MPP).

Karakteristik keluaran daya, tegangan dan arus pada modul surya jenis Monocrystalline dengan modul PV Solarworld, Sunmodule 255 mono ditunjukkan pada gambar 2.8 dan 2.9 dibawah ini.



Gambar 2. 9 Karakteristik I-V Modul Monocrystalline (Elamim et al., 2017)



Gambar 2. 10 Karakteristik P-V Modul Monocrystalline (Elamim et al., 2017)

2.3 Tipe-tipe sel surya

Solar Cell terbagi menjadi dua tipe yaitu monocrystalline dan polycrystalline. Kedua tipe tersebut memiliki fungsi yang sama dalam sistem tenaga surya.

a) Monocrystalline

Tipe Monocrystalline memiliki karakter dengan warna hitam efisiensi jenis solar cell ini dapat mencapai 15% sampai dengan 18%. namun kelemahan dari tipe monocrystalline ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh,berawan), oleh karena itu akan menyebabkan efisiensinya akan turun drastis.



Gambar 2. 11 modul surya monocrystalline (Sanspower, 2020)

b) Polycrystalline

Dengan efisiensi antara 15% hingga 18%, tipe monocrystalline yang berwarna hitam merupakan pilihan yang efektif. Akan tetapi, kelemahan

utamanya terletak pada penurunan efisiensi yang drastis ketika sel surya ini tidak terpapar cahaya matahari penuh (di tempat teduh atau berawan).



Gambar 2. 12 modul polycrystalline (Sanspower, 2020)

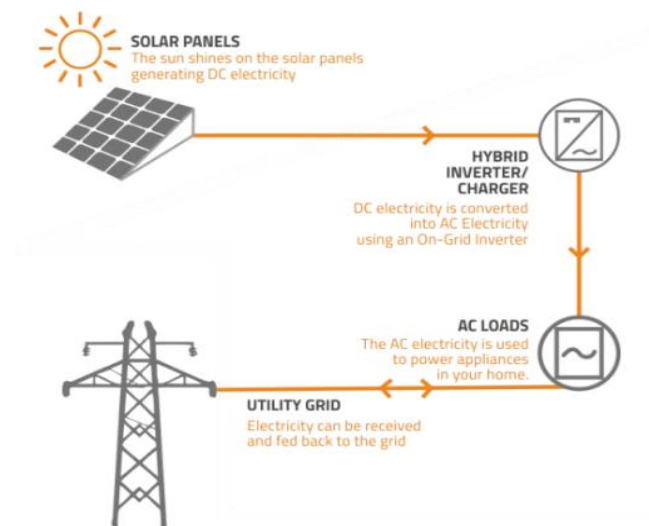
2.4 Konfigurasi sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

Konfigurasi pada sistem PLTS ada tiga diantaranya:

a) PLTS On-Grid

PLTS dengan konfigurasi On-Grid dimaksudkan untuk lokasi yang sudah mempunyai aliran listrik dan sistem dilokasi memiliki operasi siang hari, disebut OnGrid karena PLTS dihubungkan pada sistem eksisting. Tujuan dari PLTS adalah mengurangi konsumsi BBM.
mengurangi konsumsi BBM.

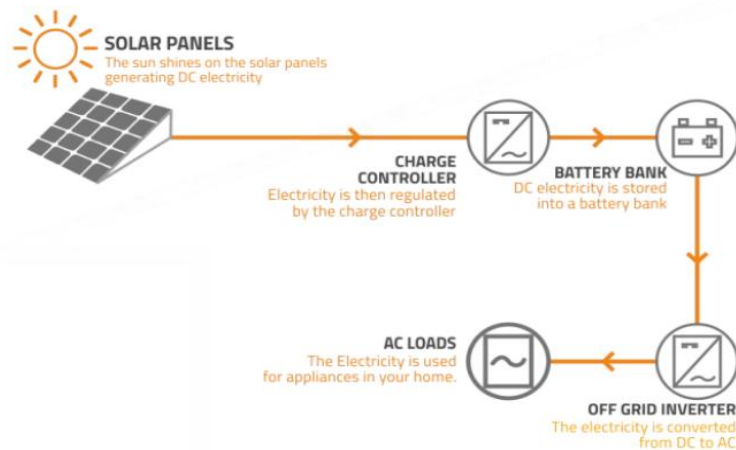
PLTS tipe On-Grid tidak dilengkapi baterai, agar PLTS tidak mempengaruhi stabilitas sistem induknya, maka kapasitasnya dibatasi maksimum sebesar 20% dari beban rata-rata siang hari. Inverter untuk PLTS On-Grid disebut juga On-Grid inverter. Jenis ini memiliki kemampuan melepaskan hubungan (islanding system) saat grid kehilangan tegangan. Gambar 2.13 dibawah menunjukkan konfigurasi sistem PLTS On-Grid.



Gambar 2. 13 PLTS On-Grid (Sedayu, 2009)

b) PLTS Off-Grid

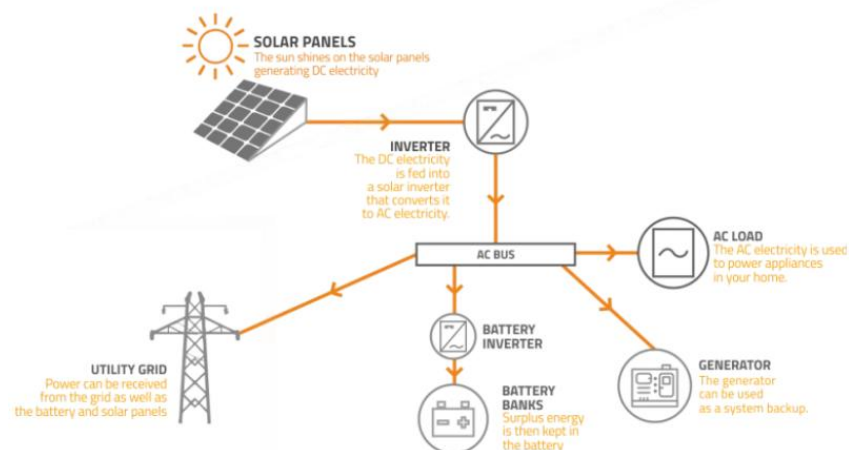
PLTS Off-Grid sering disebut juga PLTS Stand Alone artinya sistem hanya disuplai oleh panel surya saja tanpa ada pembangkit jenis lainnya semisal PLTD. Sistem tipe ini hanya tergantung pada matahari seutuhnya, karena panel tidak mungkin mendapatkan sinar matahari terus menerus terutama malam hari, maka sistem ini membutuhkan media penyimpanan yaitu baterai.



Gambar 2. 14 PLTS Off-Grid (Sedayu, 2009)

c) PLTS *Hybrid*

PLTS *Hybrid* adalah PLTS yang pengoperasiannya digabungkan dengan PLTD yang sudah ada. Pada sistem PLTS diharapkan berkontribusi secara maksimal untuk menyuplay beban pada siang hari, sehingga bagian PLTS tidak mengganggu sistem yang ada, maka PLTS harus dilengkapi dengan baterai sebagai stabiliser.

Gambar 2. 15 PLTS *Hybrid* (Sedayu, 2009)

2.5 Solar charging controller

Solar Charger Controller merupakan komponen kunci dalam sistem tenaga surya yang berfungsi mengontrol arus searah yang mengalir antara panel surya, baterai, dan beban. Perangkat ini didesain untuk mencegah pengisian daya yang berlebihan dan melindungi baterai dari lonjakan tegangan tinggi, memastikan baterai berfungsi optimal dan memiliki umur pakai yang panjang (Irawati et al., 2023).

a) *Maximum Power Point Tracker* (MPPT)

Fungsi utama MPPT adalah melacak titik daya maksimum berdasarkan kurva karakteristik panel surya. Penting untuk dicatat bahwa MPPT bukanlah mekanisme fisik yang mengubah posisi panel surya untuk mengejar matahari secara langsung. Sebaliknya, prinsip kerjanya adalah memastikan panel surya selalu beroperasi pada titik daya output tertinggi yang dapat dihasilkan. (Haqq et al., 2021).

2.6 Baterai

Baterai (*battery*) adalah sebuah sumber energi yang dapat mengubah energi kimia yang disimpan menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk perangkat elektronik. Setiap baterai terdiri dari terminal positif (Katoda) dan terminal negatif (anoda) serta elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output arus listrik dari baterai adalah arus searah atau sering disebut arus DC (AZIZ, 2018)

2.7 Inverter

Inverter adalah rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC.

Sumber tegangan inverter dapat berupa baterai, panel surya maupun tegangan DC lainnya.

2.8 Perencanaan kebutuhan rancangan PLTS

Sebelum dilakukan instalasi kelistrikan pada PLTS maka diperlukan perhitungan daya dan kuantitas komponen sistem PLTS untuk mencukupi kebutuhan daya per hari. Untuk menentukan daya yang akan akan dibangkitkan maka bisa menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a) Menentukan total beban pemakaian per hari

$$\text{Energi Beban (Wh)} = \text{Daya} \times \text{Waktu} \quad (2.5)$$

- b) Menentukan jumlah panel surya

$$\text{Jumlah panel surya} : \frac{\text{total energi pemakaian harian (Wh)}}{Wp \text{ panel} \times \text{jam matahari}} \quad (2.6)$$

- c) Menentukan ukuran modul surya

Jika konsumsi daya harian sudah ditentukan, maka ukuran modul surya bisa ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Modul surya} : \frac{\text{total energi beban pemakaian harian (Wh)} \times 1,2}{\text{peak sun hours}} \quad (2.7)$$

- d) Inverter

Inverter yang berhubungan langsung dengan beban listrik mempunyai kapasitas kerja dalam satuan watt, penentuan kapasitas harus lebih besar dari beban maksimum yang dibebani. Untuk menentukan kapasitas inverter menggunakan persamaan dibawah ini :

$$P_{\text{inv}} > P_{\text{maks load}} \quad (2.8)$$

- e) Solar charger controller

$$\text{Kapasitas SCC} = \frac{\text{daya yang dibangkitkan} \times \text{safety factor}}{\text{Tegangan sistem (PV)}} \quad (2.9)$$

f) Kapasitas baterai

Kapasitas baterai pada umumnya dinyatakan Ah (Ampere Hour) contohnya untuk baterai kapasitas 50 Ah, Maka baterai tersebut dapat mencapai arus 50 Ah dalam 1 jam, Kapasitas baterai dalam suatu perencanaan PLTS dipengaruhi faktor autonomy, yaitu keadaan baterai dapat menyuplai beban secara menyeluruh Ketika tidak ada energi yang masuk ke panel surya, besarnya kapasitas total baterai (Ah) yang dibutuhkan suatu PLTS dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$Ah = \frac{N \times Ed}{Vs \times DOD} \quad (2.10)$$

Dimana:

- Ah = Kapasitas Baterai
- Ed = Konsumsi Energi dalam sehari
- N = Jumlah Autonomous Day
- Vs = Tegangan baterai
- DOD = Depth Of Discharger

Untuk menentukan berapa banyak baterai yang digunakan bisa menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{\text{daya Listrik (Wh)}}{\text{kapasitas baterai}} \quad (2.11)$$

Dan untuk mengetahui besarnya jumlah energi yang disimpan dalam baterai (Wh)

$$Wh = Vs \times Ah \quad (2.12)$$

g) Densitas energi

sederhana untuk mendapatkan Panjang P dan L. Densitas daya adalah perbandingan antara rata-rata daya dengan luasan proyeksi tempat instalasi (Rizali, 2018).

$$\rho = \frac{E}{S} = \frac{\text{Rata-rata daya}}{\text{Luas Lahan}} \quad (2.13)$$

2.9 Energi angin

Angin terjadi karena pemanasan matahari yang tidak merata di bumi menyebabkan perbedaan tekanan dan suhu udara. Udara panas di khatulistiwa naik dan bergerak ke arah kutub yang lebih dingin, sementara udara dingin di kutub turun dan bergerak ke arah khatulistiwa. Perputaran dan perpindahan massa udara inilah yang kita kenal sebagai angin. (Napitupulu, 2022). Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik maka yang harus dilakukan adalah menghitung energi angin dengan persamaan di bawah ini:

Daya Angin

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.14)$$

Dimana :

P = Energi angin (watt)

ρ = massa jenis udara (1,225 kg/m³)

A = luas pengkal angin (m²)

V = Kecepatan angin

Daya Listrik

$$P_e = \varphi_{gen} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.15)$$

Dimana:

P_e = Daya Listrik

φ_{gen} = efisiensi generator

(Johnson, 2001).

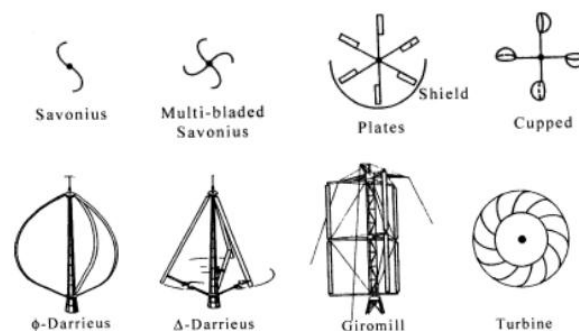
2.10 Mekanisme kerja turbin

Turbin angin adalah metode pemanfaatan energi angin yang berpotensi di Indonesia. Turbin ini berfungsi mengubah energi angin menjadi energi rotasi melalui bilah (blade) turbin. Secara mendasar, turbin angin mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik untuk memutar rotor dan menghasilkan energi listrik.

Turbin angin yang paling umum ditemukan adalah jenis horizontal (HAWT), di mana rotor dan generatornya berada di puncak tiang dan tersusun sejajar dengan tanah. Bilah turbin yang berbentuk airfoil digerakkan oleh gaya angkat dari hembusan angin. Putaran bilah ini kemudian diteruskan ke gearbox untuk menyesuaikan (meningkatkan) rasio kecepatan putar yang diperlukan generator agar dapat menghasilkan listrik secara maksimal. Energi listrik yang dihasilkan selanjutnya disalurkan melalui kabel ke transformator step-up di dasar tiang. Terdapat dua jenis utama turbin angin: VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) yang bilahnya berotasi tegak lurus terhadap tanah, dan HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) yang bilahnya berotasi sejajar dengan tanah.

a) VAWT

Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) adalah jenis turbin yang rotornya berotasi sejajar dengan arah angin. Keunggulan utama VAWT adalah kemampuannya untuk berputar dari segala arah angin dan menghasilkan torsi tinggi bahkan pada kecepatan angin rendah. Penempatan generator di bagian bawah turbin juga mempermudah pemeliharaan (maintenance), dan operasional pembangkit cenderung tidak bising. Namun, kelemahan utamanya adalah kecepatan angin di permukaan tanah cenderung sangat rendah, sehingga tanpa menara yang tinggi, produksi energi yang dihasilkan akan sangat minim.

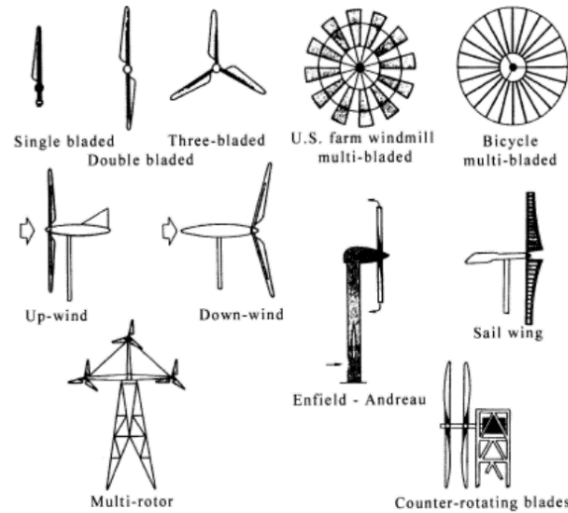


Gambar 2. 16 jenis-jenis Vertical Axis Wind Turbine (Yusuf Ismail Nakhoda, 2017)

b) HAWT

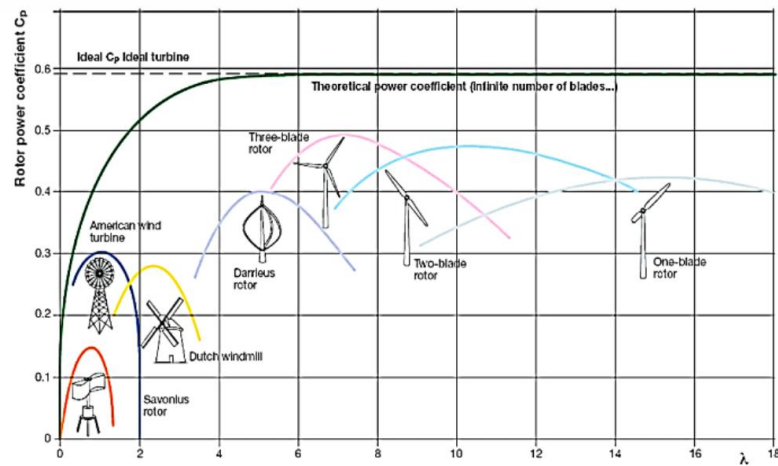
HAWT adalah turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Untuk mendapatkan putaran terbaik maka arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor, biasanya turbin jenis ini memiliki *Blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat, secara umum semakin banyak *blade* maka akan semakin tinggi putaran turbin. Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing, kelebihan dari jenis ini adalah memiliki efisiensi yang tinggi, dan *cut-in wind speed* rendah.

Kekurangannya yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin.



Gambar 2. 17 jenis jenis horizontal axis wind turbin (Yusuf Ismail Nakhoda, 2017)

c) *Coefisien Power*



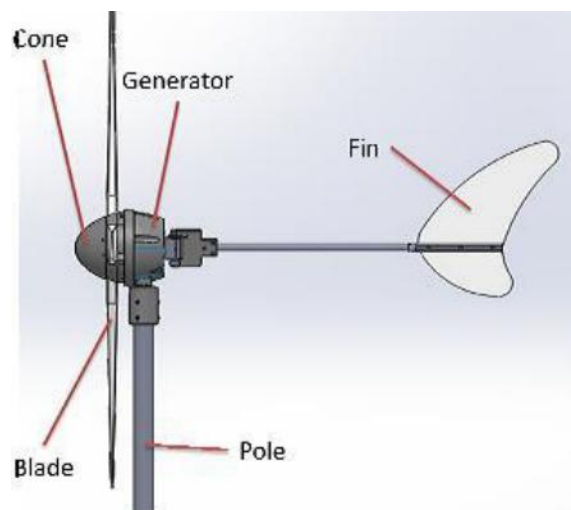
Gambar 2. 18 *coefisien power* PLTB (Al-Rawajfeh & Gomaa, 2023)

Gambar 2.16 menunjukkan berbagai jenis turbin angin VAWT dan HAWT, turbin angin tidak bisa menyerap energi angin secara menyeluruh dan memiliki daya serap sesuai dengan tipe *blade* yang digunakan, daya serap tersebut dikenal sebagai

Coefisein Power (C_p). Maksimal C_p yang bisa dicapai oleh turbin angin sebesar 59,3%, nilai dari 59,3% disebutkan oleh Betz Limit, berdasarkan nama ilmuwan jerman yaitu Albert Betz disekitar tahun 1920 yang menyebutkan *Tip Speed Ratio* (TSR), TSR adalah perbandingan kecepatan angin pada ujung *blade* dan angin, jika semakin besar TSR-nya maka akan semakin besar energi yang dihasilkan (Al-Rawajfeh & Gomaa, 2023).

2.11 Komponen turbin angin

Pada turbin angin Hawt disusun atas beberapa bagian komponen bisa dilihat pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2. 19 komponen turbin angin (Bachtiar & Hayyatul, 2018).

Penjelasan untuk komponen yang ada pada turbin bisa dilihat bawah ini:

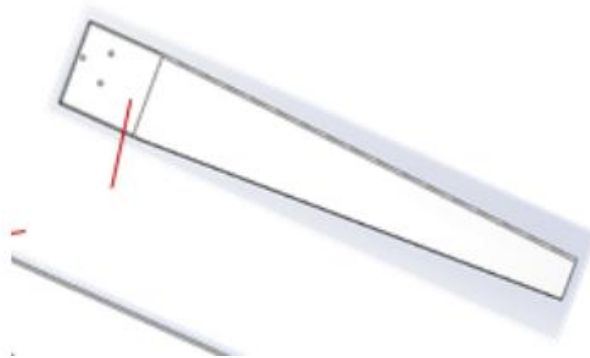
1. *Blade*/Sudu

Sudu atau blade adalah bagian rotor pada turbin angin. Fungsi rotor ini menerima energi kinetic dari angin dan diubah ke dalam energi gerak putar. Menggunakan

prinsip-prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat. Blade/sudu memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, berikut adalah jenis-jenis dari sudu:

a) Taper

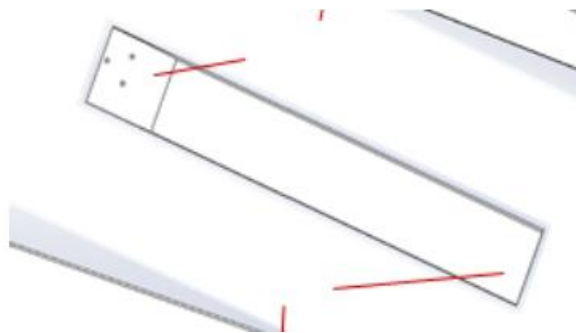
Taper merupakan *blade* yang dari pangkalnya akan mengecil keujung, gambar 2.18 dibawah ini menunjukan desain *blade* taper:



Gambar 2. 20 *blade* taper (Bachtiar & Hayyatul, 2018)

b) Taper Less

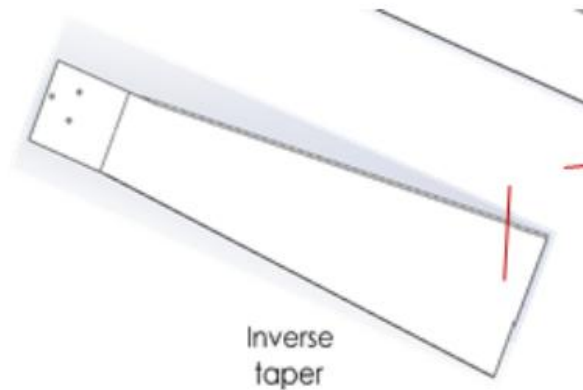
Blade Taper Less merupakan *blade* yang dari pangkal sampai ujung memiliki ukuran yang sama untuk desain bisa dilihat pada gambar 2.19 dibawah ini:



Gambar 2. 21 *blade* Taper Less (Bachtiar & Hayyatul, 2018)

c) Inverse Taper

Blade Inverse Taper merupakan *blade* yang ujungnya memperbesar desain bisa dilihat pada gambar 2.20 dibawah ini:



Gambar 2. 22 *blade* inverse Taper (Bachtiar & Hayyatul, 2018)

2. Generator

Generator adalah salah satu komponen penting dalam sistem turbin angin, generator ini dapat mengubah energi Gerak menjadi energi listrik, generator terbagi menjadi dua jenis diantaranya generator DC (satu arah) dan generator AC (arus bolak-balik). Generator AC dan generator DC memiliki prinsip yang berbeda, untuk generator DC kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak antara kutub-kutub magnet yang tetap ditempatkan. Sedangkan pada generator AC kebalikannya yaitu, kumparan jangkar disebut juga kumparan stator karena pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor Bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik.

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak diantara kutub magnet utara dan Selatan diputar oleh tenaga angin atau tenaga lainnya, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak balik atau fluks putar.

Fluks putar ini memotong-motong kumparan stator sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena mempengaruhi induksi dan fluks putar tersebut (Adam et al., 2019).



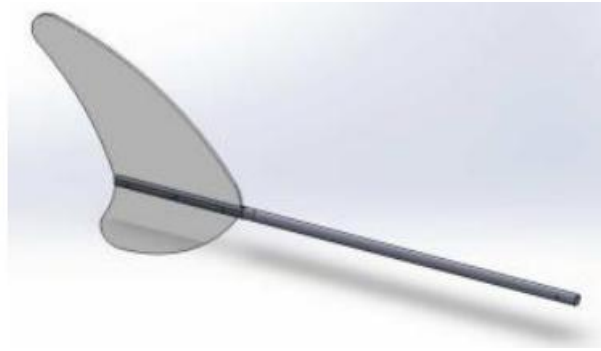
Gambar 2. 23 generator (Bachtiar & Hayyatul, 2018)

3. Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama sebagai penopang dari komponen sistem terangkai *blade*, poros dan generator.

4. Ekor

Ekor pada *wind turbine* berguna mengubah posisi generator dan turbin angin agar sesuai dengan arah datangnya angin, desain ekor bisa dilihat pada gambar 2.22 dibawah ini:



Gambar 2. 24 Ekor *wind turbine* (Bachtiar & Hayyatul, 2018)

Turbin angin VAWT darrieus mempunyai komponen sebagai berikut:

1. Sudu/*blade*

Sudu/*blade* berfungsi sebagai komponen penerima angin yang akan dikonversikan menjadi daya turbin



Gambar 2. 25 blade (Naveen et al., 2023)

2. Generator

Generator dalam turbin angin akan mengubah energi dari mekanik menjadi energi listrik (Naveen et al., 2023)



Gambar 2. 26 generator (Naveen et al., 2023)

3. Poros turbin

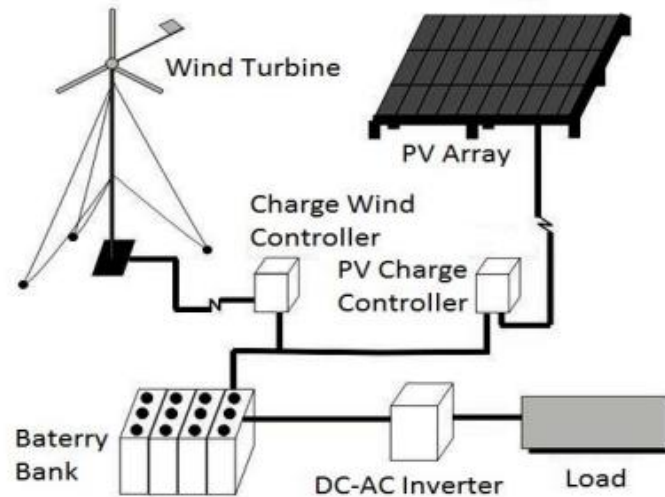
Poros turbin berfungsi sebagai alat penghubung terjadinya perubahan energi

4. Gear

berfungsi untuk mentransmisikan daya dari putaran rotor ke generator (Siswanto, 2019)

2.12 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*

Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) merupakan gabungan atau integrasi antara beberapa jenis pembangkit listrik yaitu pembangkit listrik berbasis energi baru terbarukan. Sistem pembangkit yang biasanya digunakan untuk PLTH adalah pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Kedua jenis pembangkit ini dioperasikan bersamaan dan dihubungkan pada satu rel/busbar untuk memikul beban bisa dilihat pada gambar 2.27 dibawah ini:



Gambar 2. 27 PLTH (Hayu & Siregar, 2018)

Klasifikasi pembangkit energi *hybrid* berdasarkan (Global, 2018) didasarkan pada definisi daya yang sangat kecil dan prinsip integrasi sumber energi terbarukan untuk memastikan pasokan daya yang stabil. Sistem *hybrid* menggabungkan dua atau lebih sumber energi primer untuk satu beban yang sama, dengan tujuan utama menjamin suplai energi yang lebih stabil dan optimal dibandingkan jika menggunakan sumber tunggal. berikut dibawah ini klasifikasi energi sesuai dengan energi yang dibangkitkan.

Tabel 2. 1 klasifikasi pembangkit listrik

skala	Rating kapasitas	Aplikasi umum
Pico	Kurang dari 5 kW	Catu daya untuk kebutuhan sangat kecil seperti penerangan satu rumah atau pengisian daya perangkat elektronik di daerah pedesaan.

Mikro	5 kW hingga 100 kW	Catu daya untuk komunitas kecil, fasilitas pedesaan, atau area yang tidak terhubung jaringan listrik utama.
Mini	100 kW hingga 1 MW	Menyuplai listrik untuk desa atau kluster perumahan yang lebih besar.
Kecil	1 MW hingga 10 MW	Pembangkit listrik lokal yang terhubung ke jaringan distribusi.
menengah	10 MW hingga 50 MW	Pembangkit yang memasok daya ke kota kecil atau kebutuhan industri spesifik.
Besar	50 MW hingga 100 MW	Pembangkit listrik yang berkontribusi signifikan pada jaringan listrik regional.
Skala utilitas	>100 MW	Pembangkit listrik utama berskala besar yang memasok listrik ke jaringan transmisi nasional atau regional.

2.13 Faktor lingkungan terhadap pembangkit listrik *hybrid*

1. Pengaruh lingkungan terhadap konversi PLTB

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang semakin diminati di berbagai negara, PLTB menggunakan energi angin sebagai sumbernya untuk menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan. Namun besarnya energi yang dihasilkan oleh PLTB dipengaruhi oleh beberapa faktor. Berikut adalah faktor yang mempengaruhi kinerja PLTB

a) Cuaca dan iklim

Cuaca dan iklim adalah faktor utama yang mempengaruhi besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh PLTB. PLTB membutuhkan angin yang cukup kuat untuk menggerakkan turbin angin dan menghasilkan listrik, jika cuaca sedang cerah

dan angin cukup bertiup kencang, maka PLTB akan menghasilkan listrik yang besar namun jika cuaca sedang mendung atau angin tidak cukup kuat maka produksi energi listrik dari PLTB akan menurun.

b) Lokasi Pembangunan PLTB

Lokasi Pembangunan PLTB juga berperan penting dalam menentukan besar energi listrik yang dapat dihasilkan, PLTB yang dibangun di daerah yang memiliki angin yang cukup kuat dan konsisten akan menghasilkan energi listrik yang lebih besar dibandingkan dengan PLTB di daerah yang jarang terjadi angin kencang, oleh karena itu penentuan lokasi yang strategis sangat diperlukan untuk memaksimalkan produksi energi listrik dari PLTB.

c) Perawatan dan pemeliharaan

Perawatan dan pemeliharaan yang rutin sangat penting dalam menjaga kinerja PLTB agar tetap optimal. Turbin angin yang terawat dengan baik akan lebih efisien dalam menghasilkan energi listrik, oleh karena itu melakukan perawatan dan pemeliharaan secara rutin akan membantu memastikan besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh PLTB tetap optimal (Taufik, 2024).

2. Pengaruh lingkungan terhadap konversi PLTS

Menurut (Gunawan et al., 2019) Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik PLTS adalah iradiasi matahari, suhu modul surya, Shading, tingkat kebersihan modul surya dan sudut kemiringan panel surya.

a) Radiasi

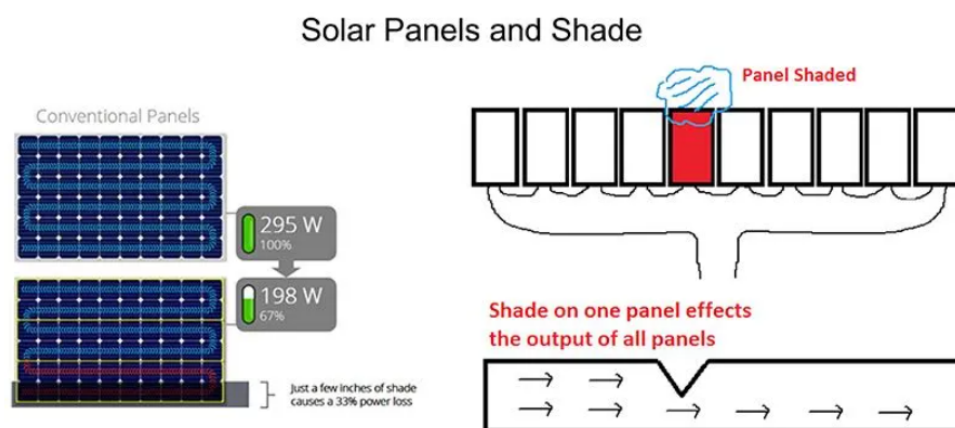
Iradiasi matahari adalah jumlah energi matahari yang diterima oleh suatu tempat setiap m^2 /hari. Semakin besar iradiasi yang diterima oleh modul

fotovoltaik, maka akan menghasilkan arus yang semakin besar dengan tegangan yang semakin kecil.

Data iradiasi kelurahan kahuripan tasikmalaya yang didapat menurut Metronorm 8.0 hasil dari Global Irradiation, Radiasi total pada lokasi tersebut rata-rata sebesar 4,85 kwh/m² per hari. Selain radiasi didapat juga *Diffuse Irradiation* atau radiasi hambur dengan rata-rata 2,49 kwh/m².

b) Bayangan (shading)

Bayangan (Shading) dapat mempengaruhi kinerja panel Surya. Umumnya PLTS yang dibangun berdekatan dengan bangunan terutama pada daerah perkotaan menyebabkan bayangan pada modul PLTS terutama yang dipasang di atap. Terkadang karena desain PLTS yang salah, bayangan antar modul sendiri juga dimungkinkan terjadi, Pepohonan di sekitarnya juga harus dianalisis dengan baik ketika sistem PLTS dirancang (Mansur, 2021).



Gambar 2. 28 Situasi PLTS terkena shading (Arfittariah & Wisyahyadi, 2022)

c) Debu (soiling)

Curah hujan alami dapat mencuci panel untuk mencegah penumpukan kotoran dalam jumlah besar, namun di daerah yang sangat berdebu dan kering, panel perlu dibersihkan secara manual menggunakan air jika terjadi penumpukan kotoran.

Kotoran alami (soiling) pada permukaan modul PV yang disebabkan oleh debu dapat menyebabkan penghalangan sinar matahari menuju sel surya. Pada sebuah percobaan menunjukkan bahwa, kerugian karena debu yang tidak dibersihkan dapat mencapai 5,48%. Untuk meningkatkan efisiensi sistem, modul perlu dibersihkan secara teratur (Giriantari, 2017).

2.14 Penelitian terkait

Tabel 2. 2 penelitian terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tahun Penelitian	Pembahasan
1.	Rancang Bangun Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> Tenaga Surya dan Bayu Untuk Simulasi Pompa Aerator Kolam 25 W	Uray Muhammad Devrifqi, Muhammad Imbarothur Mowaviq	2021	1) Pada penelitian kali ini, penulis telah berhasil untuk melakukan perancangan dan pembangunan gabungan antara dua pembangkit listrik yaitu PLTS dan PLTB menggunakan controller ber tipe <i>hybrid</i>. Setelah melalui controller, Output tegangan DC 12 V akan disambungkan ke baterai 12 V, kemudian setelah dari baterai output akan disalurkan ke beban melalui inverter yaitu dari 12 V ke 220 V. 2) sistem hibrida dipasangkan alat monitoring yang berbasis data logger untuk monitoring tegangan dan arus input dari PLTB dan PLTS secara online. sedangkan basis IoT untuk monitoring tegangan dan arus output keluaran dari inverter ke beban secara online. 3) Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Surya dan Bayu telah berhasil untuk dapat mensuplai daya hingga ke pompa aerator kolam 25 W. Namun sempat ditemukan masalah dimana nilai tegangan yang dihasilkan oleh inverter sangatlah tinggi yaitu melebihi 250 V. Sehingga untuk sistem yang lebih baik perlunya dilakukan penambahan beban serta penstabil

				tegangan 220 V pada hasil keluaran inverter.
2.	PERANCANGAN HYBRID SYSTEM PLTB DENGAN PV BERBASIS SMART GRID	SRIWATI, SARIPUDIN.M,M ULIATI, HASRIADI, FAHMI YAFI TUASAL AMONY	2023	Setelah berbagai pengujian, pengukuran, perhitungan maka rata-rata daya yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 41,55 Watt selama 8 jam penyinaran matahari dan PLTB sebesar 8,83 Watt dengan kecepatan angin rata-rata 3,6 m/s selama 8 jam. Sedangkan presentase kelayakan di peroleh 100%. Dengan menggunakan pembangkit sistem <i>hybrid</i> , sangat membantu dan memberikan banyak manfaat bagi masyarakat yang jauh dari jangkauan PLN agar tetap mendapatkan pasokan listrik penerangan untuk rumah, Solar sell akan mengisi baterai penyimpanan energi secara maksimal dengan adanya solar cell (dinamis), sehingga kebutuhan energi listrik dapat di capai dan didapatkan secara maksimal
3.	Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Surya-Bayu) di Banda Aceh Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan	Teuku Syaufi Hayu, Suriadi, Ramdhan Halid Siregar	2018	1. Berdasarkan hasil penelitian jaringan syaraf tiruan yang digunakan bekerja dengan baik, data hasil simulasi mampu untuk mengikuti bentuk dari data sebenarnya. 2. Potensi pembangunan PLTH (Surya-Bayu) di Banda Aceh bisa dilihat dari bagaimana potensi energi matahari dan energi angin pada daerah tersebut. 3. Berdasarkan hasil penelitian potensi daerah Banda Aceh adalah baik untuk memanfaatkan energi matahari pada daerah tersebut, setiap harinya

				selama 43 hari rata-rata Banda Aceh menerima intensitas radiasi matahari sebesar 4,44 kWh/m ² /hari.
4.	Rancang Bangun Pembangkit Listrik Portable Tenaga Surya dan Angin Dengan Sistem <i>Hybrid</i> Untuk Tempat Pengungsian Bencana Alam	Dandi Widhi Ramadhan, Yusuf Ismail Nakhoda, Ni Putu Agustini	2021	Dalam penelitian “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Portable Tenaga Surya dan Angin dengan Sistem <i>Hybrid</i> untuk Tempat Pengungsian Bencana Alam”, di dapatkan kesimpulan sebagai berikut : 1 Pada pengukuran solar cell didapatkan hasil semakin besar intensitas cahaya matahari maka didapatkan semakin besar arus dan tegangannya, untuk perolehan data pada pengukuran solar cell didapatkan tegangan tertinggi 20V dan arus 1,16A pada cuaca cerah. 2 Pada pengukuran wind turbine didapatkan hasil semakin besar kecepatan angin maka didapatkan semakin besar tegangan yang dihasilkan. Untuk perolehan data pada pengukuran wind turbine didapatkan tegangan tertinggi yaitu 24V dengan kecepatan angin 360Rpm. 3. Dengan sistem <i>hybrid</i> memiliki kelebihan pendapatan sumber tegangan dari 2 sumber berbeda, dimana pada alat ini sumber pertama dihasilkan oleh solar cell dan sumber kedua dihasilkan oleh wind turbine. Sehingga jika salah satu sumber pembangkit listrik tidak bekerja maka akan dibantu oleh pembangkit listrik kedua atau digunakan secara

				bergantian sesuai dengan kondisi alam di lapangan. 4. Dengan digunakannya model portable pada alat ini maka akan mempermudah proses transportasi serta perpindahan alat yang akan digunakan di tempat pengungsian bencana alam. Daftar
--	--	--	--	---