

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Energi Matahari

Energi matahari adalah radiasi yang di produksi oleh reaksi fusi nuklir pada inti matahari. Matahari mensuplai hampir semua panas dan cahaya yang diterima bumi untuk digunakan makhluk hidup. Selain itu energi matahari berjumlah besar dan bersifat kontinu terbesar yang tersedia di alam ini, khususnya energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari. Energi matahari yang sampai ke bumi dalam bentuk paket – paket energi disebut foton. Semua radiasi elektromagnetik termasuk cahaya matahari mengandung foton yang dimana foton tersebut mengandung energy (Ngurah et al., 2005)

Energi surya hadir dalam bentuk panas dan cahaya, energi dalam bentuk panas dapat dipakai secara langsung maupun tidak langsung beberapa contoh dari pemakaian langsung adalah menghangatkan rumah, memasak, dan menyediakan air panas sedangkan contoh pemakaian tidak langsung adalah pembangkit listrik tenaga surya. Energi matahari dalam bentuk radiasi dapat dirubah secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi photovoltaic (PV), yang perangkatnya sering disebut sel surya, serta sistemnya dinamakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pengukuran potensi energi matahari di lokasi yang direncanakan untuk pemasangan system PLTS sangat diperlukan dan akan mempengaruhi keberhasilan implementasi system itu sendiri (Tarigan & Kartikasari, 2017).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah sistem pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi elektromagnetik menjadi energi listrik melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (iradiasi) matahari yang masuk ke sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya. Sel surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis dari bahan semi konduktor silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya (Gautama et al., 2021)

Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dapat langsung digunakan untuk mencatu beban, atau disimpan terlebih dahulu dalam sebuah baterai. PLTS ini menghasilkan tegangan DC (Direct Current) yang dapat diubah menjadi tegangan AC (Alternative Current). Pembangkit Listrik Tenaga Surya mengkonversi energi cahaya yang diterima Modul Sel Surya perangkat ini adalah komponen utama pada sistem pembangkit ini. Hasil keluaran dari modul sel surya ini sudah berbentuk energi listrik DC yang selanjutnya akan dikonversikan menjadi energi listrik AC dengan menggunakan alat yang dinamakan Inverter (Lumempouw et al., 2015)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu pembangkit yang mudah untuk diaplikasikan dalam memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari terutama di Indonesia yang memiliki intensitas matahari yang banyak. Selain itu juga system pembangkit listrik tenaga surya dapat digunakan dengan 2 cara yakni (Musfita, G.A., H, Husada., Suyanto, 2020) :

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 terlebih dahulu disimpan, agar dapat digunakan sewaktu-waktu bahkan dalam kondisi tidak ada matahari sekalipun.

Pada pembangkit listrik tenaga surya memiliki 2 macam sistem yaitu system on grid dan offgrid yang cocok untuk rumah dan penjelasan tentang pada offgrid dan ongrid adalah sebagai berikut :

1. Sistem PLTS On-Grid

On-grid merupakan salah satu system pada PLTS, sistem ini adalah sistem PLTS yang tersambung ke jaringan PLN. kelebihan PLTS jenis ini yaitu dapat menyalurkan listrik yang di hasilkan ke PLN. PLTS jenis ini menggunakan meteran listrik khusus, yakni net metering dimana meteran listrik ini dapat memungkinkan listrik yang dihasilkan oleh PLTS di jual ke PLN dan memungkinkan adanya proses jual-beli listrik.

Dibandingkan dengan sistem lainnya system on-grid ini merupakan system yang cukup sederhana dan membutuhkan biaya yang lebih kecil, PLTS on-grid mempunyai komponen utama yaitu panel surya dan inverter. PLTS jenis ini dapat mengurangi biaya listrik, pada komponen PLTS on-grid tidak membutuhkan baterai maka system ini mempunyai kekurangan yaitu jika terjadi pemadaman maka hunia juga akan ikut padam, kerana system PLTS on-grid bergantung pada listrik PLN (Muh Akhsan Maarif Bahrir, 2018).

Komponen utama dalam system PLTS On-grid adalah inverter yang terintegrasi dengan Power Conditioning Unit (PCU). Inverter berfungsi untuk mengubah listrik DC yang dibangkitkan oleh Array PV kedalam bentuk listrik AC sesuai dengan tegangan dan power quality yang disyaratkan oleh Jaringan. Sistem

ini otomatis berhenti menyuplai daya ke jaringan ketika fasilitas jaringan tenaga listrik tidak beroperasi (Musfita, G.A., H, Husada., Suyanto, 2020)

2. Sistem PLTS Off-Grid

PLTS off-grid adalah sistem PLTS yang dapat beroperasi sendiri tanpa bantuan dari PLN karena PLTS jenis ini memungkinkan penyimpanan listrik yang dihasilkan oleh PLTS dengan menggunakan baterai yang kemudian digunakan ketika dibutuhkan, karena PLTS jenis ini bersifat standalone maka tidak dapat melakukan proses ekspor-impor ke PLN.

Keunggulan utama dari sistem off-grid jika dibandingkan dengan offgrid adalah ketika terjadi pemadaman listrik oleh PLN maka PLTS dengan sistem offgrid akan tetap menyediakan listrik, sistem off-grid ini mempunyai kelemahan dalam segi biaya karena mengikat biaya baterai yang mahal dan membutuhkan jumlah yang banyak, PLTS jenis ini mempunyai komponen yaitu panel surya, charge controller, inverter, serta baterai. Inverter yang digunakan pada sistem off-grid berbeda dari sistem on-grid, inverter yang digunakan pada sistem off-grid adalah inverter dengan kemampuan bi-directional yang memungkinkan pengisian baterai dan mengambil listrik dari baterai.

Pada PLTS sistem off-grid pengaturan array panel surya dan jumlah baterai yang digunakan sangat kompleks, detail akan kebutuhan listrik sangat diperlukan dalam perencanaan sistem, hal ini disebabkan penggunaan baterai tidak boleh terlalu besar dan terlalu kecil dan baterai juga merupakan komponen yang berbahaya sehingga diperlukan perhatian ekstra dalam menanganinya, selain itu baterai merupakan komponen yang mahal baik dari segi pembelian maupun dari segi maintenance. Jika dibandingkan sistem on-grid dan offgrid maka dapat diketahui

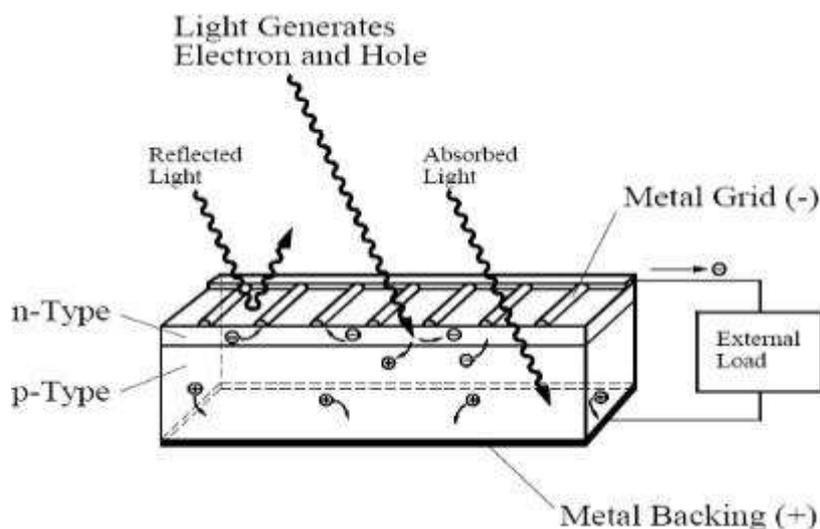
sistem off-grid mempunyai banyak komponen tambahan maka biaya instalasi PLTS sistem off-grid lebih tinggi. PLTS off-grid dapat mencapai 2 kali biaya PLTS on-grid dengan kapasitas yang sama (Muh Akhsan Maarif Bahrir, 2018).

2.3 Prinsip Kerja Panel Surya

Menggunakan lapisan tipis silikon murni (Si) atau bahan semikonduktor lainnya dapat mengubah energi matahari menjadi arus searah. Silikon merupakan bahan yang banyak digunakan karena merupakan unsur yang banyak ditemukan di alam. Silikon adalah semikonduktor yang sangat dikenal memiliki sifat logam dan non-logam. Untuk digunakan sebagai semikonduktor, silikon harus dimurnikan hingga kemurnian tertinggi.

Bahan semikonduktor yang disimpan di bawah sinar matahari akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang disebut efek fotolistrik. Efek ini adalah elektron dilepaskan dari permukaan logam akibat tumbukan cahaya. Efek ini adalah proses fisik dasar dimana fotovoltaik mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sinar matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut foton yang memiliki banyak energi, yang besarnya bergantung pada panjang gelombang spektrum. Ketika foton-foton ini mengenai sel surya, cahayanya akan dipantulkan atau diserap, atau mungkin saja dipancarkan. Cahaya yang diserap akan menghasilkan listrik.

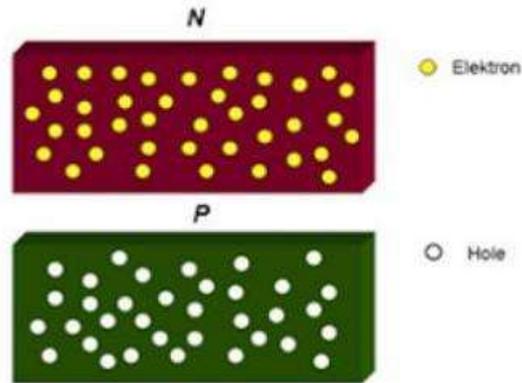
Saat tumbukan itu terjadi, energi yang dibawa oleh foton disalurkan pada elektron yang terdapat pada atom sel surya. Energi yang didapat dari foton, membuat elektron memisahkan diri dari ikatan normalnya dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik. Pelepasan ikatan itu, mengakibatkan terbentuknya lubang atau "hole".



Gambar 2. 1 Konversi Cahaya Matahari (Gautama et al., 2021)

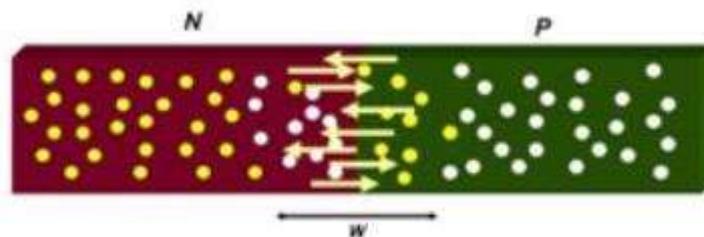
Gambar 2.1 Menggambarkan bagaimana proses konversi energi matahari menjadi energi listrik, Karena bahan penyusun solar cell adalah semikonduktor yang terdiri dari dua jenis semikonduktor tipe-n dan tipe-p, maka proses pengubahan sinar matahari menjadi energi listrik dimungkinkan. Semikonduktor tipe-n adalah semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan elektronnya adalah negative ($n = \text{negatif}$). Semikonduktor tipe p memiliki lubang berlebih, sehingga disebut p ($p = \text{positif}$) karena kelebihan muatan positif. Dengan menambahkan elemen lain ke semikonduktor, bagaimana kita mengontrol jenis konduktor.

Dua jenis semikonduktor n dan p ini disatukan akan membentuk sambungan p-n atau diode p-n (sambungan metalurgi) yang dapat diilustrasikan sebagai berikut:



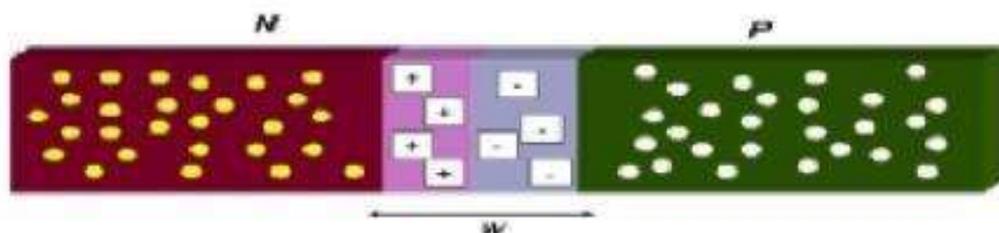
Gambar 2. 2 Semikonduktor p dan n (Gautama et al., 2021)

Pada gambar 2.2 dijelaskan mengenai ilustrasi awal dari electron p dan n sebelum terjadi konversi dalam Photovoltaic mengubah energi matahari menjadi energi listrik.



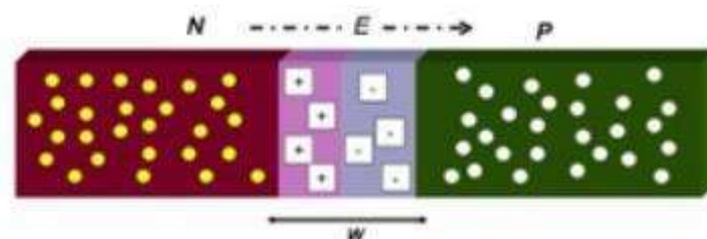
Gambar 2. 3 Gerakan Elektron dalam Panel Surya (Gautama et al., 2021)

Pada gambar 2.3 dijelaskan Setelah kedua jenis semikonduktor ini dihubungkan bersama, elektron akan ditransfer dari semikonduktor n ke semikonduktor p, dan lubang akan ditransfer dari semikonduktor p ke semikonduktor n. Perpindahan elektron dan lubang ini hanya berjarak tertentu dari batas sambungan awal.



Gambar 2. 4 Daerah Deplesi dalam Panel Surya (Gautama et al., 2021)

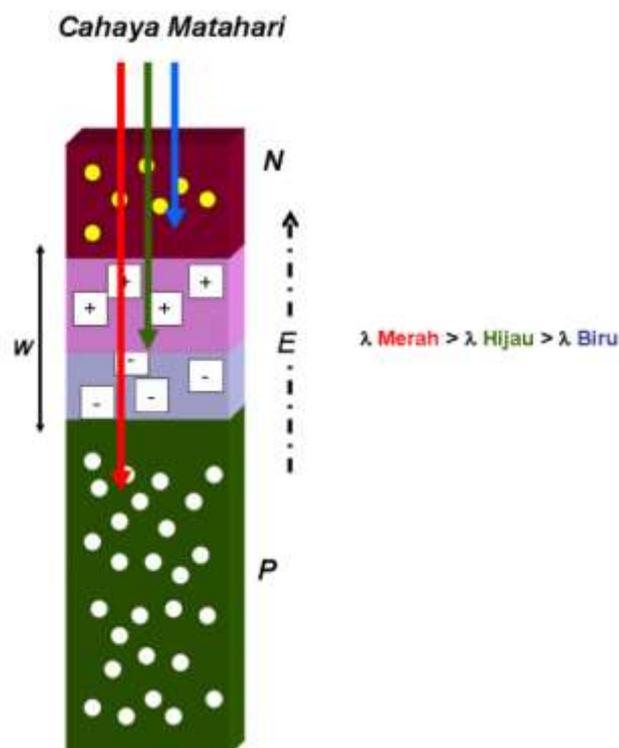
Pada gambar 2.4 menjelaskan tentang daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah Depleksi yang ditandai dengan huruf W. Pada daerah depleksi ini terdapat banyak keadaan terisi (hole+elektron).



Gambar 2. 5 Timbulnya Medan Listrik (Gautama et al., 2021)

Pada gambar 2.5 menjelaskan mengenai elektron dan lubang di daerah penipisan disebut pembawa muatan minoritas karena mereka ada di berbagai jenis semikonduktor. Karena perbedaan antara muatan positif dan negatif di zona penipisan, medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif dihasilkan, yang mencoba menarik lubang kembali ke semikonduktor p dan elektron kembali ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan lubang dan elektron di awal zona depleksi.

Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah depleksi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah depleksi seperti pada gambar 2.2.

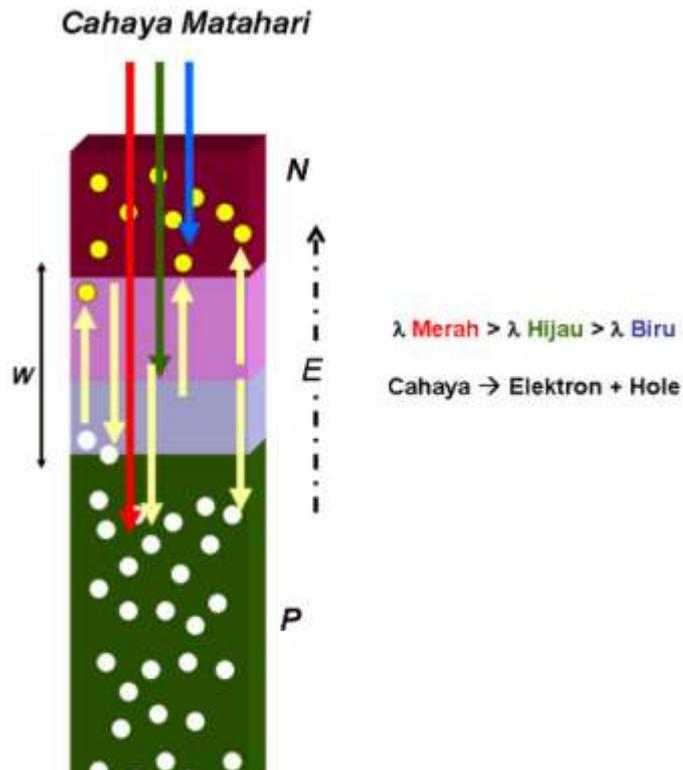


Gambar 2. 6 Posisi Elektron dan Hole Pada Panel Surya (Gautama et al., 2021)

Pada gambar 2.6 dijelaskan mengenai bagaimana proses konversi cahaya menjadi energi listrik dengan Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan p dan n berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali kearah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E. Dengan kata lain, medan listrik E mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain. Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi.

Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap kearah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke

permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.

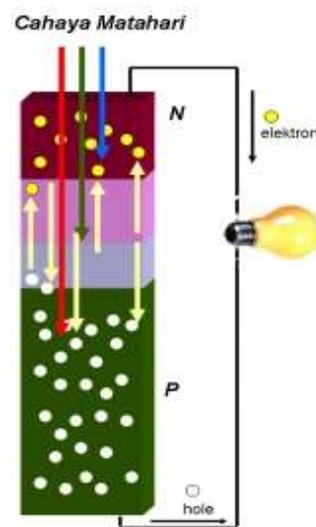


Gambar 2. 7 Proses Konversi Cahaya Matahari menjadi Energi Listrik (Gautama et al., 2021)

Pada gambar 2.7 dijelaskan mengenai perpindahan elektron dan hole ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (electron-hole photogeneration) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lambda” sebagaimana gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula.

Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

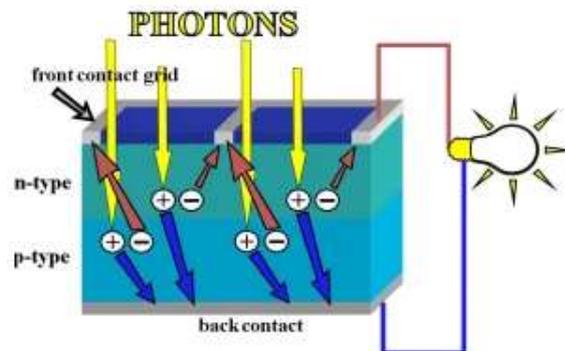


Gambar 2. 8 Hasil Konversi Cahaya Matahari menjadi Energi Listrik (Gautama et al., 2021)

Pada gambar 2.8 menggambarkan hasil dari proses konversi matahari menjadi energy listrik yang dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke

kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



Gambar 2. 9 Gambaran Umum Proses Konversi Cahaya Matahari ke Energi Listrik (Gautama et al., 2021)

Pada gambar 2.9 merupakan gambaran umum bagaimana proses terjadinya konversi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menunjukkan electron dan hole yang bergerak naik dan turun sehingga menghasilkan gelombang elektro magnetic yang menghasilkan listrik (Gautama et al., 2021).

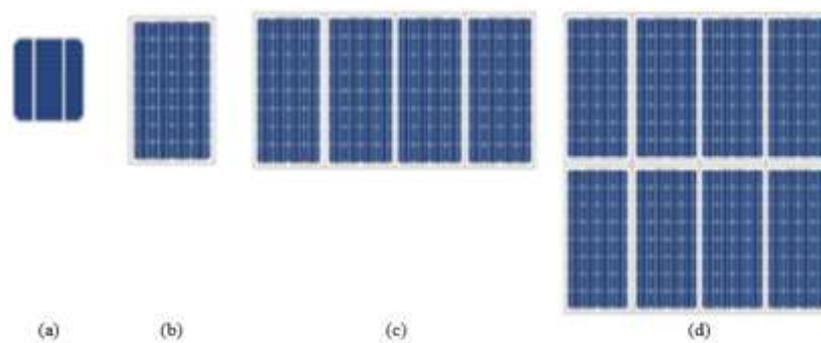
2.4 Komponen Utama Sistem Pompa Air Listrik Tenaga Surya

Sistem Pompa Air Listrik Tenaga Surya sendiri terdiri dari beberapa komponen yakni Panel Surya, Inverter, dan Pompa yang menunjang sistem pompa air listrik tenaga surya baik yang digunakan secara On-grid atau Off-grid berikut merupakan komponen yang digunakan dalam Sistem Pompa Air Listrik Tenaga Surya.

2.4.1 Panel Surya

Bagian paling kecil dari panel surya adalah sel surya yang terbentuk pada sebuah foto dioda yang besar dan dapat menghasilkan daya listrik. Fotovoltaik terdiri dari dua jenis bahan semikonduktor yang berbeda yang disambungkan

melalui suatu junction, kemudian jika terkena sinar matahari pada permukaannya akan diubah menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan daya yang efisien dan banyak, maka sel surya tersebut disusun menjadi panel yang dinamakan panel surya.



Gambar 2. 10 Formasi panel PV pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

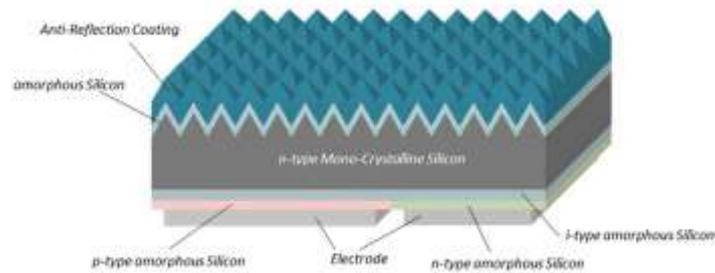
(Ramdhani, 2018). (a). Sel Surya, (b). Panel Surya, (c). String, (d). Array.

Pada Gambar 2.10 menjelaskan:

- a. Disebut sebagai sel dalam panel surya yang memiliki tegangan output 0,5 Volt DC.
- b. Sel dirangkai dengan seri menjadi sebuah modul atau panel surya yang memiliki keluaran yang beragam.
- c. Panel yang sudah disusun secara lurus dengan rangkaian seri disebut menjadi String atau baris yang dipasang tergantung dengan besaran Solar Charge Controller (SCC) atau Inverter Jaringan yang digunakan
- d. Array yang biasa disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang dirangkai secara parallel.

Adapun jenis-jenis panel surya berdasarkan bahan dan teknologi yang digunakan yaitu :

1. Monocrystalline



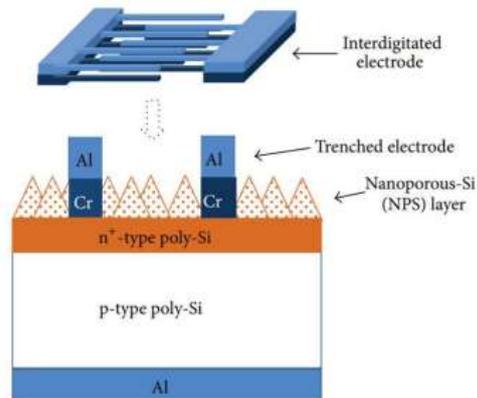
Gambar 2. 11 Struktur Modul Monocrystalline (Sharp, 2018)

Gambar 2.11 merupakan gambar struktur panel surya jenis Monocrystalline atau sel surya kristal tunggal dibuat dari silicon kristal tunggal melalui proses yang disebut Czochralski atau pemurnian bahan dilakukan dengan proses kristalisasi. Dalam proses pembuatannya, kristal silicon dipotong dari ukuran besar menjadi potongan kristal silicon tipis. Produksi kristal tunggal ini memerlukan perlakuan yang tepat sebagai proses “rekristalisasi”, yang membuat sel surya jenis ini lebih mahal dan memerlukan berbagai perlakuan. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah apabila disusun menjadi panel surya, bentuk bulat atau octagonal tergantung dari bentuk batang kristal silikonnya sehingga ada yang kosong. Untuk efisiensinya sendiri panel surya jenis Monocrystalline berkisar antara 15-20%.



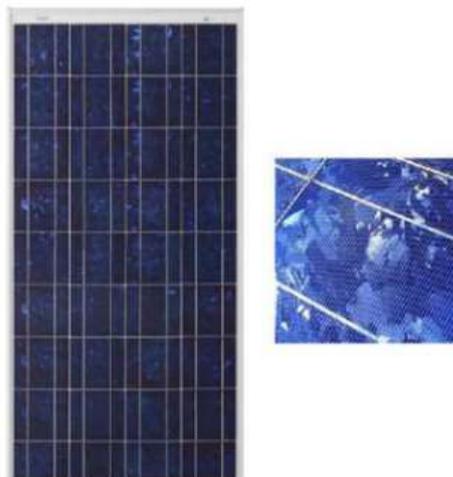
Gambar 2. 12 Contoh Produk Modul Surya Jenis Monocrystalline (Nugraha, 2020)

2. Polycrystalline



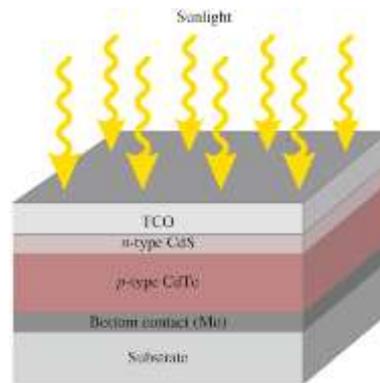
Gambar 2. 13 Struktur Modul Polycrystalline¹² (Wu & Tang, 2014)

Gambar 2.13 merupakan gambar dari panel surya jenis *Polycrystalline* atau silicon polikristalin, panel surya jenis ini biasanya terdiri dari banyak kristal yang berbeda yang digabungkan satu sama lain dalam satu sel. Teknologi pemrosesan sel surya polikristalin yang lebih ekonomis diproduksi melalui proses metalurgi tingkat silicon dengan pemurnian kimia. Kemudian silicon mentah dicairkan, setelah itu dituang ke dalam cetakan persegi, didinginkan dan dipotong menjadi wafer persegi. Panel surya jenis ini merupakan panel yang paling banyak digunakan selain karena biaya produksi yang lebih murah tingkat efisiensinya juga berkisar 13-18%.



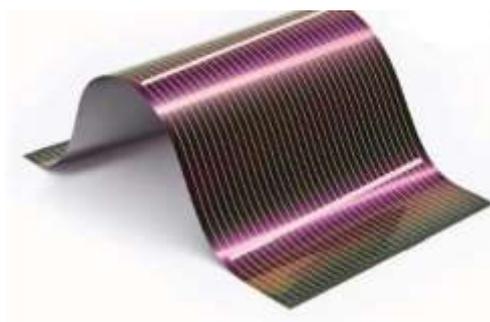
Gambar 2. 14 Contoh Produk Modul Surya Jenis Polycrystalline (Nugraha, 2020)

3. Thin Film Solar Cell



Gambar 2. 15 Struktur Modul Thin-Film (Electrical Academia, 2021)

Gambar 2.15 Thin Film merupakan modul surya dengan struktur lapisan tipis mikrokrystalsilikon dan amorphous dengan efisiensi modul 8.5%. Panel surya amorf dibuat dari lapisan silikon non kristal yang dilapiskan pada substrat tipis seperti kaca, plastik atau logam. Bahan konduktor yang dihasilkan sangat serbaguna; lunak, ringan, dan mudah dipotong menjadi bentuk unik yang cocok untuk banyak aplikasi (Neumeister Karsten, 2022). Sel surya film tipis dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu silikon amorf (a-Si), kadmium telurida (CdTe) dan tembaga indium gallium selenium (CIGS) (Gautama et al., 2021).



Gambar 2. 16 Contoh Produk Modul Surya Jenis Thin-Film (John, 2020)

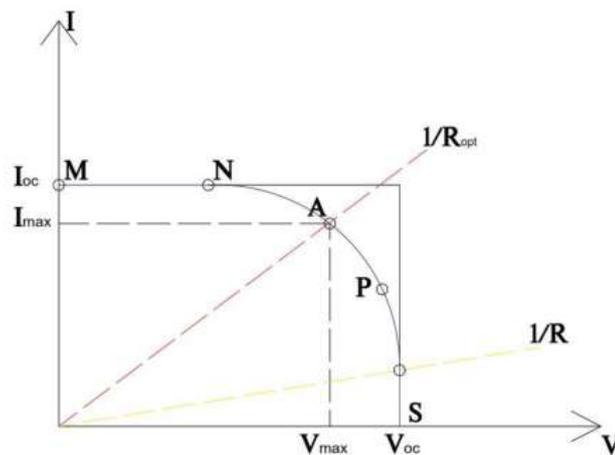
Perbedaan dari ketiga jenis modul surya dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbedaan Modul Monocrystalline, Polycrystalline, dan Thin-Film

Jenis Modul	Kelebihan	Kekurangan
<i>Monocrystalline</i>	Panel yang memiliki efisiensi yang tinggi dan memiliki masa pakai \pm 25 Tahun	Jenis panel surya termahal.
<i>Polycrystalline</i>	Efisiensi dan biaya panel seimbang, dan memiliki masa pakai \pm 25 Tahun	Nilai efisiensi = Monocrystalline > polycrystalline > Thin Film Temperatur mempengaruhi produktivitas dan daya tahan.
<i>Thin-Film</i>	Temperatur tinggi tidak mempengaruhi produktivitas dan biaya rendah.	Efisiensi yang rendah dan masa pakai lebih pendek dibanding panel Monocrystalline dan Polycrystalline

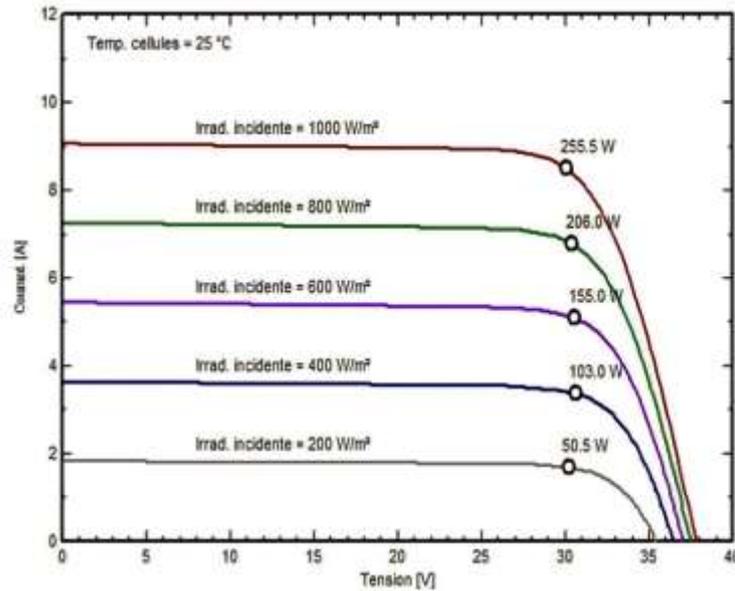
2.4.1.1 Karakteristik Panel Surya

Karakteristik sel surya merupakan kurva hubungan arus dan tegangan yang dipengaruhi dari radiasi matahari dan suhu. Daya maksimal (W_p) pada sel surya dapat diraih dengan radiasi matahari pada kondisi $1000W/m^2$ dan suhu pada kondisi $25^\circ C$ sesuai standar tes condition (STC) (Eka et al., 2018).

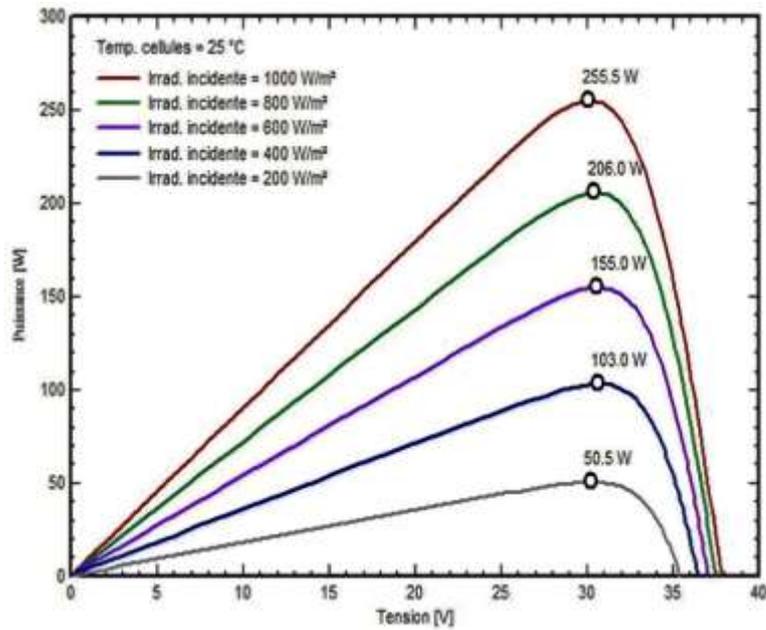


Gambar 2. 17 Karakteristik Sel Surya (Eka et al., 2018)

Karakteristik keluaran Daya, Tegangan dan Arus pada modul surya jenis Monocrystalline (Module PV: SolarWord, Sunmodule SW 255 mono) ditunjukkan pada Gambar 2.18 dan Gambar 2.19.

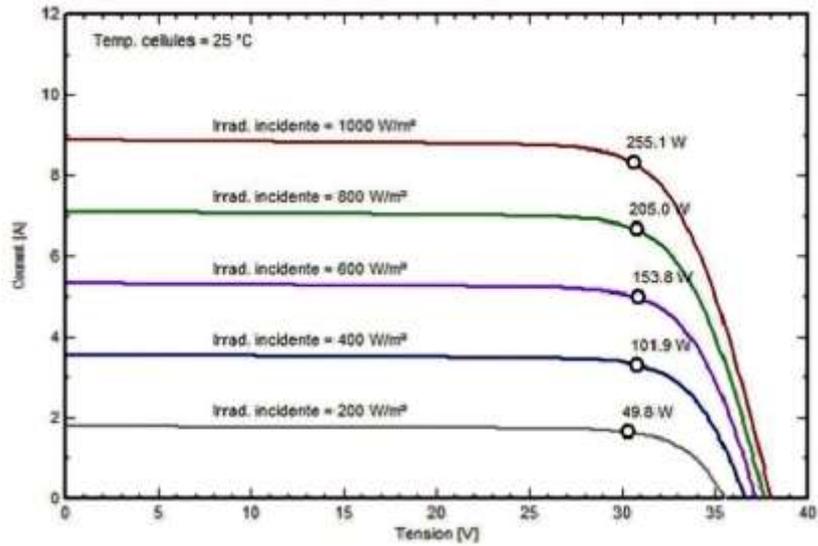


Gambar 2. 18 Karakteristik I-V Modul Monocrystalline (Elamim et al., 2017)

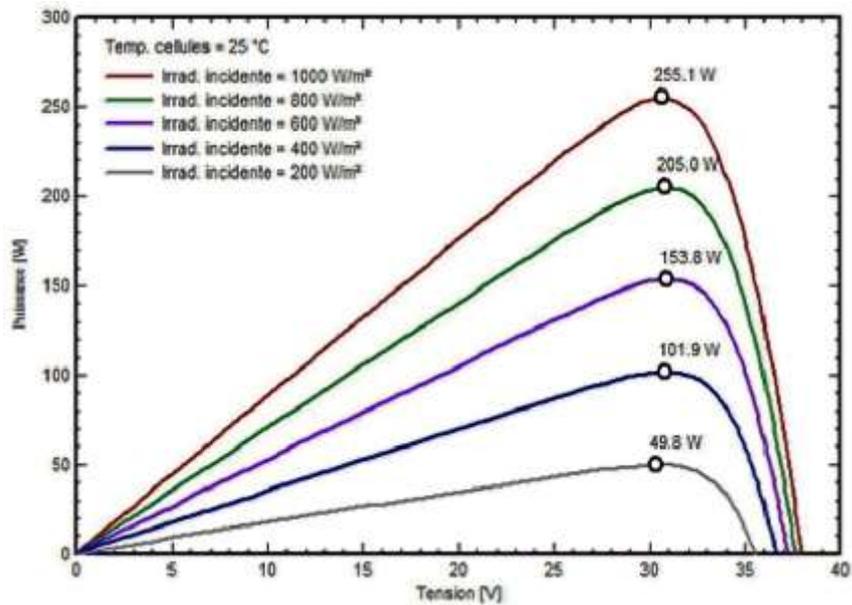


Gambar 2. 19 Karakteristik P-V Modul Monocrystalline (Elamim et al., 2017)

Karakteristik keluaran Daya, Tegangan dan Arus pada modul surya jenis Polycrystalline (Module PV: SolarWord, Sunmodule SW 255 poly) ditunjukkan pada Gambar 2.20 dan Gambar 2.21.

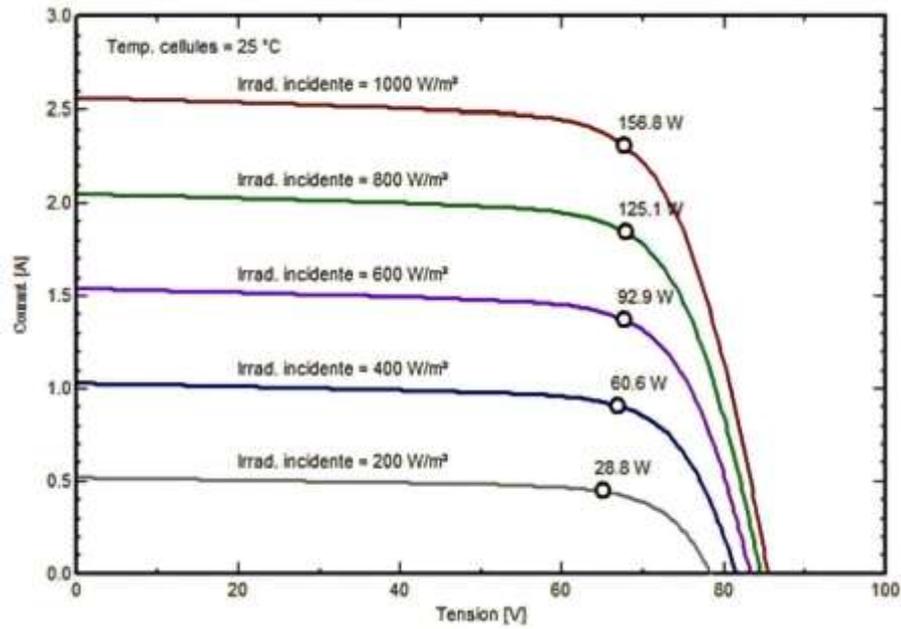


Gambar 2. 20 Karakteristik I-V Modul Polycrystalline (Elamim et al., 2017)

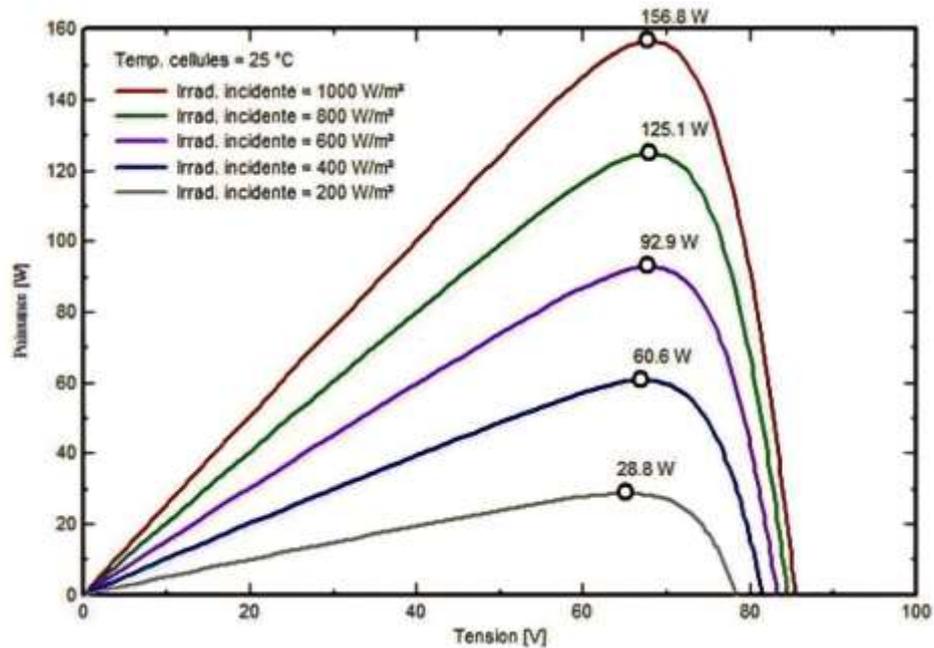


Gambar 2. 21 Karakteristik P-V Modul Polycrystalline (Elamim et al., 2017)

Karakteristik keluaran Daya, Tegangan dan Arus pada modul surya jenis Amorphous (Modul PV: NexPower, NT-155AF) ditunjukkan pada Gambar 2.22 dan Gambar 2.23.



Gambar 2. 22 Karakteristik I-V Modul Amorphous (Elamim et al., 2017)



Gambar 2. 23 Karakteristik P-V Modul Amorphous (Elamim et al., 2017)

Jumlah panel surya yang akan digunakan tergantung pada daya yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi diperhitungkan dengan persamaan – persamaan sebagai berikut (Roza & Mujirudin, 2019).

1. Menghitung Area Array (PV Area)

Area array (PV Area) diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PV\ area = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}} \quad 2.1$$

Dimana :

EL = pemakaian energi (kWh/hari)

Gav = isolasi harian matahari rata-rata (kWh/m²/hari)

η_{PV} = efisiensi panel surya

η_{out} = efisiensi inverter

2. Menghitung daya yang dibangkitkan (*Wattpeak*)

Besar daya yang dibangkitkan (*Wattpeak*) dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$P_{WP} = PV_{area} \times PSI \times \eta_{PV} \quad 2.2$$

P_{WP} : Daya yang dibangkitkan

PV_{area} : Luas area panel

PSI (Peak Solar Insulation) : 1000 W/m²

η_{PV} : Efisiensi Panel Surya

Selanjutnya berdasarkan daya yang dibangkitkan (*Wattpeak*), maka jumlah panel surya yang diperlukan dapat diperhitungkan dengan rumus :

$$\eta_{PV} = \frac{P_{WP}}{P_{MPP}} \quad 2.3$$

Dimana :

η_{PV} = Jumlah panel

$P_{wattpeak}$ = Daya yang dibangkitkan

P_{MPP} = Daya maksimum keluaran panel surya (W)

Panel surya pada umumnya di desain untuk bekerja secara optimal pada suhu 25°C apabila terjadi kenaikan suhu dapat mengakibatkan kerusakan pada panel surya dan menurunkan performa efisiensi penyerapan panel surya (Roza & Mujirudin, 2019). Untuk mengetahui berapa besaran penurunan panel surya dengan rumus dibawah ini:

$$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} = \frac{0,5\%}{^\circ\text{C} \times P_{MPP} \times \text{Kenaikan temperatur } (^\circ\text{C})} \quad 2.4$$

Dimana :

$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$: Daya saat temperature naik °C dari temperature standar

P_{MPP} : Daya keluaran maksimum panel surya.

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik/turun menjadi t°C dari temperature standarnya diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{MPP \text{ saat } t^\circ\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat menjadi } t^\circ\text{C}} \quad 2.5$$

Dimana :

$P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^\circ\text{C}}$: Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperatur disekitar panel surya naik menjadi t°C dari temperature standarnya

$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$: Daya saat temperature naik °C dari temperature standar

P_{MPP} : Daya keluaran maksimum panel surya.

Faktor koreksi temperature (*Temperature Correction Factor*) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$TCF = \frac{P_{MPP \text{ saat menjadi } t^{\circ}C}}{P_{MPP}} \quad 2.6$$

TCF : Faktor koreksi temperature

$P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}C}$: Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperatur disekitar panel surya naik menjadi $t^{\circ}C$ dari temperature standarnya

P_{MPP} : Daya keluaran maksimum panel surya.

2.4.2 Inverter

Inverter adalah perangkat listrik yang terhubung ke system PLTS untuk mengubah arus DC dari panel surya menjadi arus AC. Ada juga inverter yang menyertakan konversi DC-DC untuk mengubah tegangan keluaran hasil Panel Surya menjadi tegangan konstan untuk mengisi baterai.

Inverter biasanya dibagi menjadi 2 yakni:

1. Inverter Jaringan

Inverter jaringan atau dikenal juga sebagai inverter PV atau grid inverter adalah komponen elektronik daya yang mengonversi tegangan DC dari larik modul fotovoltaik menjadi tegangan AC baik untuk pemakaian langsung atau untuk menyimpan kelebihan daya ke dalam baterai. perangkat ini juga dilengkapi dengan MPPT (maximum power point tracker) untuk mengoptimalkan daya yang ditangkap dari larik modul fotovoltaik.

Karena inverter ini tidak dapat beroperasi tanpa tegangan dan frekuensi jaringan, inverter baterai harus tetap dalam kondisi operasional dan menjaga bank baterai tetap pada state of charge baterai yang ditetapkan. Pada kasus khusus dimana tersedia tegangan jaringan, inverter akan melakukan sinkronisasi dengan tegangan dan frekuensi jaringan agar dapat bergabung dengan jaringan tersebut dan

mengirimkan daya yang telah dikonversi ke jaringan AC (Ramdhani, 2018). Selain itu juga inverter jaringan memiliki fungsi antara lain :

- a. Anti-islanding atau mematikan otomatis inverter dari jaringan ketika jaringan listrik tidak tersedia untuk memberikan keamanan terhadap jaringan.
- b. Memaksimalkan transfer daya dari larik modul fotovoltaik ke baterai dengan menggunakan algoritma MPPT.

2. Inverter Baterai

Inverter baterai atau juga dikenal sebagai inverter yang berdiri sendiri (stand-alone) adalah otak dari sistem PLTS off-grid berbasis komunal. Inverter baterai bertugas untuk membentuk jaringan distribusi AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi dalam batas yang diijinkan dan menjaga keseimbangan energi di dalam jaringan. Inverter baterai biasanya dapat digunakan secara dua arah (bidirectional) atau satu arah (unidirectional) tergantung pada konfigurasi dari sistem. Dalam sistem penyambungan AC-coupling, inverter baterai berfungsi sebagai inverter (pengubah tegangan DC-AC) serta charger (pengubah tegangan AC-DC). Jika terdapat kelebihan energi dari modul fotovoltaik dan baterai tidak terisi penuh, inverter baterai bertindak sebagai charger. Dan jika terdapat kekurangan energi dan baterai masih memiliki energi yang tersisa, baterai akan mengeluarkan daya untuk memenuhi permintaan melalui inverter.

Beberapa inverter baterai dapat ditingkatkan dayanya atau diinterkoneksi secara modular untuk mencapai keluaran (output) yang lebih besar. Inverter baterai dapat dikonfigurasi secara paralel sebagai klaster tunggal (single-cluster) dalam konfigurasi satu fasa atau tiga fasa serta beberapa klaster (multi-cluster) dengan panel distribusi tambahan. Dalam konfigurasi multi-cluster,

jika satu klaster tambahan bermasalah, yang lainnya masih dapat beroperasi (Ramdhani, 2018).

Inverter baterai memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Mengubah tegangan DC dari bank baterai (48 VDC) ke jaringan listrik AC 230 VAC
2. Melindungi bank baterai dari pengisian yang berlebihan dengan mengurangi arus pengisian (charging) ketika baterai sudah penuh. Pengisian baterai yang berlebihan dapat menyebabkan timbulnya gas atau ledakan, tergantung pada teknologi baterai.
3. Melindungi bank baterai dari terkurasnya energi secara berlebih (deeply discharged) dengan cara menghentikan keluaran ketika kondisi penyimpanan energi pada baterai (state of charge) turun di bawah batas minimum. Karena inverter baterai membutuhkan baterai untuk dapat beroperasi, terkurasnya daya baterai secara berlebih dapat menyebabkan tidak beroperasinya inverter baterai atau terhentinya pasokan daya listrik ke jaringan.
4. Memantau tegangan dan arus pengisian serta tegangan dan arus pelepasan (discharging) dan energi ke dan dari bank baterai serta tegangan dan arus keluaran AC
5. Saklar pemindah secara otomatis (automatic transfer switch) di saat inverter baterai terhubung ke sumber daya lain seperti jaringan listrik eksternal atau pembangkit listrik eksternal. Jaringan listrik eksternal atau pembangkit listrik eksternal dapat digunakan sebagai cadangan ketika kondisi penyimpanan daya baterai sedang rendah.

2.4.3 Pompa

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari dataran rendah ke tinggi atau untuk menaikkan tekanan cairan dari cairan yang bertekanan rendah ke tinggi atau untuk memindahkan sebuah cairan dari satu tempat ke tempat yang lain, Pada umumnya pompa digerakkan oleh motor, mesin, atau sejenisnya. Pompa dapat memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lainnya melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang akan dipindahkan dan akan dilakukan secara terus menerus.

Secara umum, mesin pompa air ini terdiri dari 2 komponen utama, yakni komponen mesin penggerak dan komponen tabung pompa. Kedua komponen ini terdiri dari bagian-bagian yang memiliki fungsi masing-masing diantaranya:

1. Mesin Penggerak

Mesin pompa air ini memiliki sesuatu mesin penggerak yang berupa dinamo atau elektromotor. Dinamo ini berupa rangkaian gulungan yang terdiri dari rotor dan stator yang akan berputar apabila dihubungkan ke sumber listrik. Dan putaran dinamo ini yang akan bertugas untuk menggerakkan putaran impeller.

2. Kapasitor

Kapasitor yang ada pada mesin pompa air celup ini memiliki jenis kapasitor starting. Kapasitor starting ini berfungsi untuk mengangkat putaran dini dari dinamo penggerak keetika mesin pompa airnya dinyalakan. Apabila memang mesin dinamonya sudah berputar, maka kapasitor startig akan terputus secara otomatis.

3. Tabung Pompa Air

Tabung pompa air merupakan tempat dimana terjadinya siklus pemompaan air. Tabung pompa air berupa ruangan kecil yang dilengkapi dengan jalur lubang hisap dan saluran keluar air. Pada bagian dalam tabung pompa inilah letak dari berputarnya impeller.

4. Impeller

Impeller ini merupakan komponen mesin pompa air yang berupa kipas bergerigi. Fungsi dari impeller ini sendiri adalah untuk menghasilkan tenaga hisap dan tenaga dorong. Dengan begitu, maka siklus dari pemompaan airnya pun akan terjalin dengan baik.

5. Mekanikal seal

Mekanikal seal merupakan seal yang memiliki pegas. Fungsinya adalah untuk membagikan tekanan pada mesin. Sementara pada mesin pompa air sendiri, mekanikal seal berfungsi untuk membagikan penutup jalur poros impeller dengan bagian tabung pompa air. Dengan begitu, maka ketika poros impeller berputar, maka air pun tidak bisa mengalir keluar.

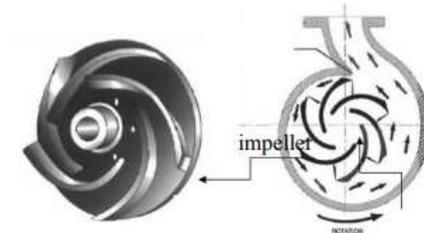
6. Check valve

Check valve merupakan bagian dari pompa air yang berfungsi untuk menutup saluran hisap dari mesin pompa celup. Dengan adanya check valve, maka air tidak akan bisa keluar atau kembali ke sumber air ketika mesin pompa airnya tidak menyala.

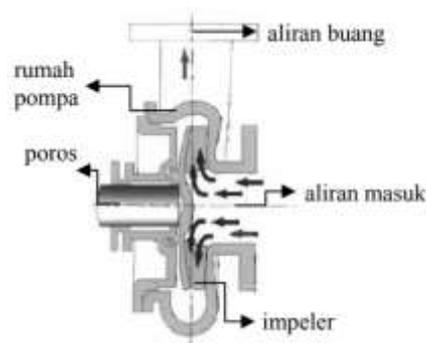
2.4.3.1 Prinsip Kerja Pompa

Pada pompa terdapat sudu-sudu impeller gambar 2.26 yang berfungsi membawa zat cair dari tempat yang rendah ketempat yang lebih tinggi gambar 2.27.

Impeler dipasang pada poros pompa yang berhubungan dengan motor penggerak, biasanya motor bakar atau motor listrik.



Gambar 2. 24 Penampang Impeller dan Perubahan Energi Pompa (Anis, 2008)



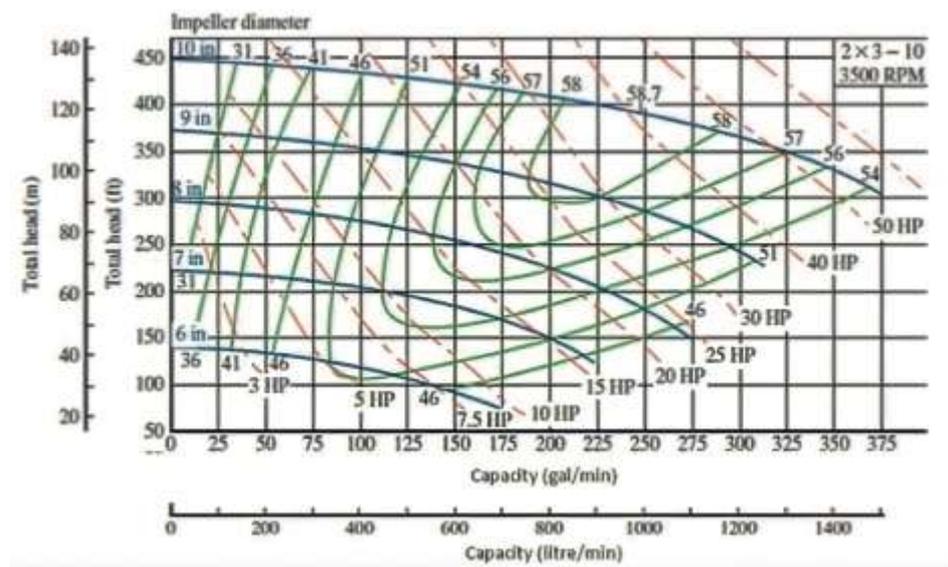
Gambar 2. 25 Proses Pemompaan (Anis, 2008)

Poros pompa akan berputar jika penggeraknya berputar. Karena poros pompa memutar impeller dengan sudu-sudu impeller memutar zat cair yang ada didalamnya akan ikut berputar sehingga tekanan dan kecepatannya naik dan terlempar dari tengah pompa ke saluran yang berbentuk volut atau spiral dan disalurkan keluar melalui nosel.

Jadi fungsi impeller pompa adalah merubah energi mekanik yaitu putaran impeller menjadi energi fluida (zat cair). Jadi, zat cair yang masuk pompa akan mengalami penambahan energi. Penambahan energi pada zat cair mengakibatkan pertambahan head tekan, head kecepatan dan head potensial. Jumlah dari ketiga bentuk head tersebut dinamakan head total. Head total pompa juga dapat didefinisikan sebagai selisih head total (energi persatuan berat) pada sisi hisap pompa dengan sisi tekan pompa.

2.4.3.2 Karakteristik Pompa

Kurva karakteristik pompa biasa disebut juga kurva performansi, menggambarkan hubungan antara kapasitas, head, tenaga dan efisiensi pompa. Pengetahuan kurva karakteristik pompa diperlukan untuk memilih pompa pada kondisi operasional tertentu yang memberikan nilai efisiensi tinggi dan biaya operasional yang rendah. Karakteristik pompa adalah kemampuan pompa untuk mengalirkan fluida dengan ketinggian tertentu pada berbagai debit. Hubungan debit dengan tekanan adalah berbanding terbalik. Semakin tinggi tekanan fluida maka debit yang didapatkan akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya dapat dilihat pada gambar 2.28.



Gambar 2. 26 Kurva Karakteristik Pompa/Kurva Performa Pompa (Anis, 2008)

2.4.3.3 Jaringan Perpipaan

Sistem pemipaan adalah suatu penyediaan penyaluran air minum atau air bersih di dalam sebuah perencanaan perancangan pompa air. Dalam sistem jaringan perpipaan ini memiliki berbagai macam pertimbangan atau kerugian yang harus dihitung untuk perencanaan pemasangan pompa air dengan kondisi-kondisi

tertentu. Sebelum menentukan jenis pompa yang digunakan ada beberapa hal yang perlu diketahui dan diperhitungkan yaitu sebagai berikut:

1. Debit

Sebelum menentukan debit air yang dibutuhkan harus diketahuui terlebih dahulu densitas air atau massa jenis air, viskositas nya. Untuk densitas air dapat diketahui pada tabel 2.2, sedangkan viskositas pada Tabel 2.3

Tabel 2. 2 *Density of liquid water* (Christie J., 1993)

Temperature		Density		Temperature		Density	
K	C°	g/cm ³	kg/m ³	K	C°	g/cm ³	kg/m ³
237.15	0	0.99987	999.87	323.15	50	0.98807	988.07
27.15	4	1.00000	1000.00	333.15	60	0.98324	983.24
283.15	10	0.99973	999.73	343.15	70	0.97781	977.81
293.15	20	0.99823	998.23	353.15	80	0.97183	971.83
298.15	25	0.99708	997.08	363.15	90	0.96534	965.34
303.15	30	0.99568	995.68	373.25	100	0.95838	958.38
313.15	40	0.99225	992.25				

Tabel 2. 3 *Viscosity of Liquid Water* (Christie J., 1993)

Temperature		Viscosity [(Pa.s) 10 ³ (kg/m.s) 10 ³ or cp	Temperature		Viscosity [(Pa.s) 10 ³ (kg/m.s) 10 ³ or cp
K	°C		K	°C	
273.15	0	1.7921	323.15	50	0.5494
275.15	2	1.6728	325.15	52	0.5315
277.15	4	1.5674	327.15	54	0.5146
279.15	6	1.4728	329.15	56	0.4985
281.15	8	1.3860	331.15	58	0.4832
283.15	10	1.3077	333.15	60	0.4688
285.15	12	1.2363	335.15	62	0.455
287.15	14	1.1709	337.15	64	0.4418
289.15	16	1.1111	339.15	68	0.4293
291.15	18	1.0559	341.15	70	0.4174
293.15	20	1.0050	343.15	72	0.4061
293.35	20.2	1.0000	345.15	74	0.3952
295.15	22	0.9579	347.15	76	0.3849
297.15	24	0.9142	349.15	78	0.3750
298.15	25	0.8937	351.15	80	0.3655
299.15	26	0.8737	353.15	82	0.3565
301.15	28	0.8360	355.15	84	0.3478

303.15	30	0.8007	357.15	85	0.3395
305.15	32	0.7679	359.15	86	0.3315
307.15	34	0.7371	361.15	88	0.3239
309.15	36	0.7085	363.15	90	0.3165
311.15	38	0.6814	365.15	92	0.3095
313.15	40	0.6560	367.15	94	0.3027
315.15	42	0.6321	369.15	96	0.2962
317.15	44	0.6097	371.15	98	0.2899
319.15	46	0.5883	373.15	100	0.2832
321.15	48	0.5683			

Debit air dapat diperhitungkan dengan persamaan:

$$Q = \frac{G}{\rho} \quad 2.9$$

Q : Debit (m³/jam)

G : Jumlah air yang dibutuhkan (kg/jam)

ρ : Densitas air (kg/m³)

2. Total Head

Head merupakan energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida setiap satuan massa. Untuk memperoleh nilai total head maka perlu diketahui terlebih dahulu ukuran pipa optimumnya terlebih dahulu yaitu dengan menghitung:

a. Menentukan ukuran pipa

Nilai-nilai yang diberikan dalam Tabel 2.4 dapat digunakan untuk menentukan ukuran pipa setelah perhitungan.

Tabel 2. 4 *Dimensions of Standard Steel Pipe*

Ukuran nominal pipa (in)	Diameter Luar		Schedule Number	Tebal Dinding		Diameter Dalam		Luas Penampang ft ²
	in	mm		in	mm	in	mm	
1/8"	0.405	10.29	40	0.068	1.73	0.269	6.83	0.00040
			80	0.095	2.41	0.215	5.46	0.00025
1/4"	0.540	13.72	40	0.088	2.24	0.364	9.25	0.00072
			80	0.119	3.02	0.302	7.67	0.00050

3/8"	0.675	17.15	40	0.091	2.31	0.493	12.52	0.00133
			80	0.126	3.20	0.423	10.74	0.00098
1/2"	0.840	21.34	40	0.109	2.77	0.622	15.80	0.00211
			80	0.147	3.73	0.546	13.87	0.00163
3/4"	1.050	26.67	40	0.113	2.87	0.824	20.93	0.00371
			80	0.154	3.91	0.742	18.85	0.00300
1"	1.315	33.40	40	0.133	3.38	1.049	26.64	0.00600
			80	0.179	4.45	0.957	24.31	0.00499
1 1/4"	1.660	42.16	40	0.40	3.56	1.380	35.05	0.01040
			80	0.191	4.85	1.278	32.46	0.00891
1 1/2"	1.900	48.26	40	0.145	3.68	1.610	40.89	0.01414
			80	0.200	5.08	1.500	38.10	0.01225
2"	2.375	60.33	40	0.154	3.91	2.067	52.50	0.02330
			80	0.218	5.54	1.939	49.25	0.02050
2 1/2"	2.875	73.03	40	0.203	5.16	2.469	65.71	0.03322
			80	0.276	7.01	2.323	59.00	0.02942
3"	3.500	88.90	40	0.216	5.49	3.068	77.92	0.05130
				0.300	7.62	2.900	73.66	0.04587
3 1/2"	4.000	101.6	40	0.226	5.74	3.548	90.12	0.06870
			80	0.318	8.08	3.364	85.45	0.06170
4"	4.500	114.3	40	0.237	6.02	4.026	102.3	0.08840
			80	0.337	8.56	3.826	97.18	0.07986
5"	5.563	141.3	40	0.258	6.55	5.047	128.2	0.1390
			80	0.375	9.53	4.813	122.3	0.1263
6"	6.625	168.3	40	0.280	7.11	6.065	154.1	0.2006
			80	0.432	10.97	5.761	146.3	0.1810
8"	8.625	219.1	40	0.322	8.18	7.981	202.7	0.3474
			80	0.500	12.70	7.625	193.7	0.3171

Ukuran pipa dapat dihitung dengan persamaan:

$$D_{opt} = 226 \times G^{0,5} \times \rho^{-0,35} \quad 2.10$$

Keterangan:

D_{opt} : Diameter optimum pipa (mm)

G : Jumlah air yang dibutuhkan (kg/jam)

ρ : Densitas larutan (kg/m³)

(Richardson's, 1983)

b. Menghitung head pump

Ada 4 head yang perlu diperhitungkan diantaranya:

- Head Loss (HL)
- Head Tekanan (Hp)
- Head Statis (Hs)
- Head Laju Alir (Hv)

Sebelum menghitung nilai head perlu diketahui terlebih dahulu yaitu nilai bilangan reynold dan kecepatan aliran nya, bilangan Reynold adalah parameter tak berdimensi yang mengidentifikasi perilaku fluida berdasarkan atribut seperti viskositas atau kecepatan fluida. Bilangan Reynold nantinya digunakan untuk menentukan pola aliran, yaitu aliran turbulen dan aliran laminar yang nantinya dipergunakan untuk perhitungan dalam menentukan pompa. Nilai reynold yang kurang dari 2100 disebut aliran laminar sedangkan nilai yang lebih dari 4000 disebut aliran turbulen, faktor koreksi untuk aliran turbulen $\alpha = 1$ sedangkan untuk aliran laminar $\alpha = 0,5$ (Christie J., 1993). dapat dihitung dengan persamaan:

$$N_{Re} = \frac{\rho \times ID \times v}{\mu} \quad 2.11$$

Keterangan :

N_{Re} : Bilangan Reynold

ρ : Densitas larutan (kg/m³)

ID : Diameter dalam pipa (m)

V : Kecepatan aliran (m/s)

μ : Viskositas larutan (kg/m.s atau pa.s)

Untuk kecepatan aliran didapat dari persamaan:

$$v = \frac{Q}{A} \quad 2.12$$

Dimana:

V : Kecepatan aliran (m/s)

Q : Debit (m³/s)

A : Luas penampang pipa (m²)

- Head Loss (HL)

Head loss adalah kerugian yang terjadi di dalam pipa, yang perlu untuk menentukan *head loss* antara lain:

- Friksi karena kontraksi dari sungai ke pipa, H_c

$$H_c = k_c \frac{v^2}{2a} \quad 2.13$$

Dimana:

K_c : koefisien kerugian kontraksi = $0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$

A_2 : Luas penampang dari pipa (lebih kecil)

A_1 : Luas penampang dari sungai (lebih besar)

a : Faktor koreksi aliran

(Christie J., 1993)

- Friksi pada pipa lurus, F_f

$$F_f = 4f \frac{\Delta L v^2}{ID^2} \quad 2.14$$

F_f : *friction* loss pipa lurus

f : *Fanning Friction Loss*

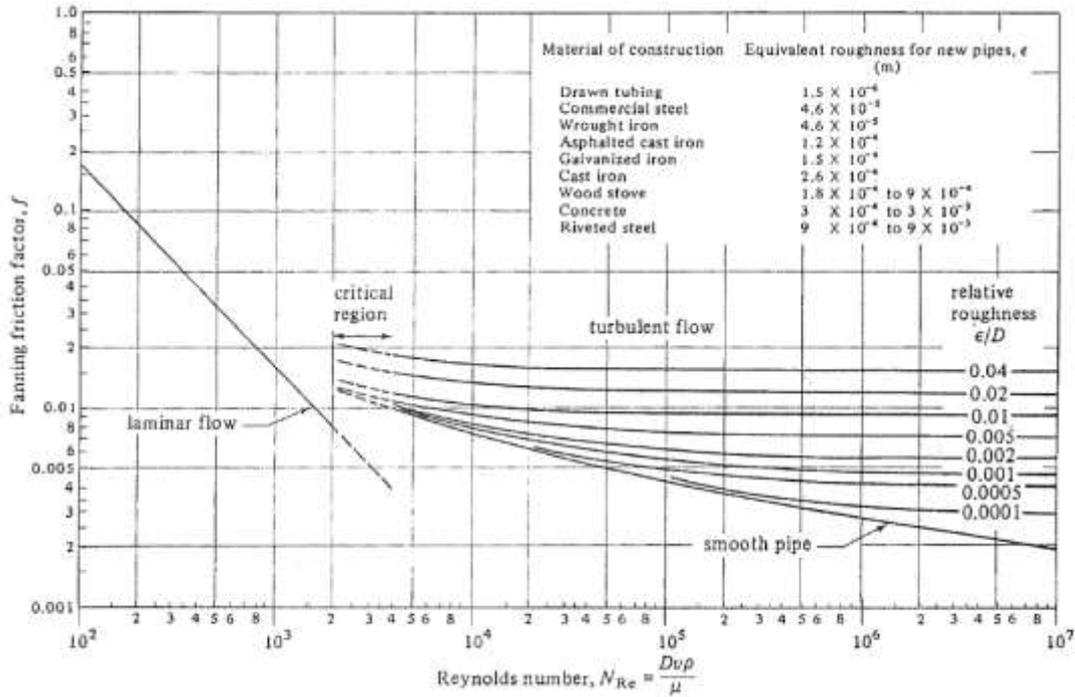
ΔL : Panjang pipa keseluruhan (m)

ID : Diameter dalam pipa (m)

V : Kecepatan aliran (m/s)

Fanning friction didapat dengan cara mengplotkan nilai Reynold pada diagram moody, diagram Moody adalah grafik dalam bentuk non-dimensi yang

menghubungkan faktor gesekan Darcy-Weisbach f_D , bilangan Reynolds Re , dan kekasaran permukaan untuk aliran berkembang penuh dalam pipa melingkar, dapat dilihat pada gambar 2.28.



Gambar 2. 27 Diagram Moody (Christie J., 1993)

- Friksi pada elbow, $H_{f,elbow}$

$$h_f = \sum_{elbow} \times k_f \frac{v^2}{2} \tag{2.15}$$

Diamana:

h_f : Friction loss belokan pipa

\sum_{elbow} : Jumlah belokan pipa

k_f : Nilai kerugian gesekan untuk aliran turbulen melalui katup dan belokan pipa

V : Kecepatan aliran (m/s)

Nilai kerugian gesekan untuk aliran turbulen melalui katup dan belokan pipa diperoleh dari jenis pipa yang digunakan dapat di lihat pada gambar 2.9

<i>Type of Fitting or Valve</i>	<i>Frictional Loss, Number of Velocity Heads, K_f</i>	<i>Frictional Loss, Equivalent Length of Straight Pipe in Pipe Diameters, L_e/D</i>
Elbow, 45°	0.35	17
Elbow, 90°	0.75	35
Tee	1	50
Return bend	1.5	75
Coupling	0.04	2
Union	0.04	2
Gate valve		
Wide open	0.17	9
Half open	4.5	225
Globe valve		
Wide open	6.0	300
Half open	9.5	475
Angle valve, wide open	2.0	100
Check valve		
Ball	70.0	3500
Swing	2.0	100
Water meter, disk	7.0	350

Gambar 2. 28 Kerugian gesekan untuk aliran turbulen melalui katup dan belokan pipa (Christie J., 1993)

- Friksi karena ekspansi dari pipa ke penampungan air, H_{ex}

$$H_{ex} = K_{ex} \frac{v^2}{2a} \quad 2.16$$

Dimana:

K_{ex} : koefisien kerugian ekspansi = $\left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$

A_2 : luas penampang tangki (lebih besar)

A_1 : luas penampang dari pipa (lebih kecil)

a : Faktor koreksi aliran

(Christie J., 1993)

Total friksi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sum F = h_c + F_f + h_{f,elbow} + h_{ex} \quad 2.17$$

(Christie J., 1993)

- Head Statis (H_s)

Head statis adalah perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar dan di sisi hisap, dapat dihitung dengan persamaan:

$$H_s = g \cdot (Z_1 - Z_2) \quad 2.18$$

Dimana :

g : Percepatan gravitasi m/s²

Z₁ : jarak permukaan sungai ke pompa

Z₂ : tinggi pipa input

(Christie J., 1993)

- Head Laju Alir (H_v)

$$H_v = V_2^2 - V_1^2 \quad 2.19$$

Dimana:

v : Kecepatan aliran (m/s)

Karena menggunakan pompa sentrifugal sehingga V₂ = V₁

- Head Pressure (H_p)

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho} \quad 2.20$$

Dimana:

P : Tekanan atmosfer

ρ : Densitas larutan (kg/m³)

Karena tekanannya sama-sama tekanan atmosfer, maka P₂ = P₁ = 1 atm

(Christie J., 1993)

Maka untuk Head totalnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$(\sum F) = H_f \times H_s \times H_v \times H_p \quad 2.21$$

ΣF = Head Total (j/kg)

H_f = Head Friksi (j/kg)

H_s = Head Statis (j/kg)

H_v = Head Laju Alir (j/kg)

H_p = Head Preasure (j/kg)

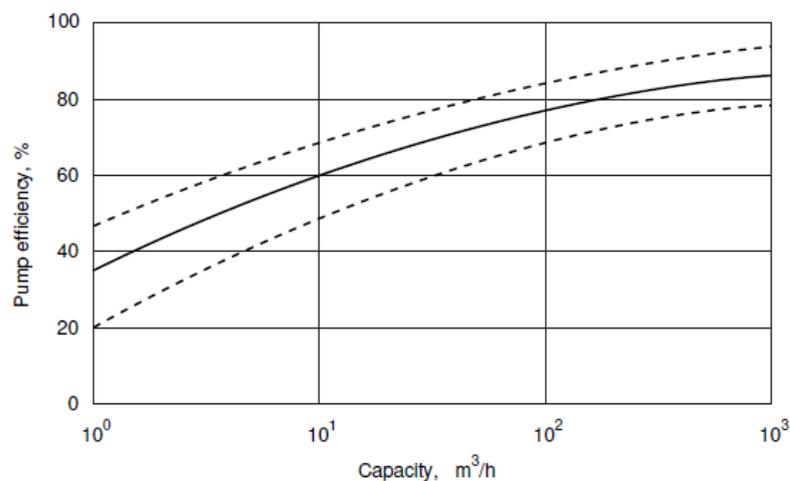
3. Kinerja poros (*shaft work*)

Kinerja poros dapat dhiitung menggunakan persamaan:

$$W_s = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2a} + g(Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F \quad 2.22$$

4. Energi pompa (W_p)

Untuk menentukan energi pompa yang dapat digunakan, namun sebelumnya harus diketahui efisiensi pompa nya terlebih dahulu, efisiensi pompa sentrifugal bergantung pada ukurannya. Nilai-nilai yang diberikan dalam Gambar 2.30 dapat digunakan untuk memperkirakan kebutuhan daya dan energi untuk tahap awal tujuan desain. Efisiensi pompa biasanya sekitar 90 persen (Richardson's, 1983).



Gambar 2. 29 Efisiensi pompa sentrifugal (Richardson's, 1983)

Energi pompa dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$W_p = \frac{W_s}{\eta} \quad 2.23$$

Dimana:

η : Efisiensi pompa

(Christie J., 1993)

5. Daya pompa

$$\text{Power (P)} = \frac{m \times W_p}{1000} \quad 2.24$$

Dimana:

m : Laju alir massa

(Christie J., 1993)

2.5 Definisi dan Topologi Lahan Sawah

Sawah merupakan lahan usaha pertanian yang dimana permukaannya datar ataupun rata, dimana dibatasi oleh suatu pematang. Lahan sawah biasanya ditanami dengan padi ataupun tanaman budidaya lainnya. Untuk tanaman padi memerlukan penggenangan khusus karena mempunyai masalah pengairan yang disebabkan padi mempunyai priode tertentu dalam pertumbuhannya. Dalam pengairan pada padi dapat digunakan sistem irigasi dari mata air yang terdekat, sungai, ataupun air hujan. Sawah dapat dibedakan berdasarkan sumber air yang digunakan serta keadaan genagannya yaitu, sawah irigasi, sawah tadah hujan, sawah lebak, dan sawah pasang surut.

2.5.1 Sawah Irigasi

Sawah irigasi juga dapat dikatan sebagai sawah yang sumber airnya berasal dari tempat lain melalui saluran-saluran yang sengaja dibuat.

2.5.2 Sawah Tadah Hujan

Sawah tadah hujan adalah sawah yang sumber airnya tergantung atau berasal dari curah hujan tanpa adanya bangunan-bangunan irigasi permanen. Sawah tadah hujan umumnya terdapat pada wilayah yang posisinya lebih tinggi dari sawah irigasi atau sawah lainnya sehingga tidak memungkinkan terjangkau oleh pengairan. Waktu tanam padi akan sangat tergantung pada datangnya musim hujan. Sawah tadah hujan hanya bisa dipanen dua kali jika tidak terjadi kemarau yang panjang dan jika terjadi kemarau yang panjang hanya bias satu kali panen atau tidak sama sekali dalam satu tahun.

2.5.3 Sawah Pasang Surut

Sawah Pasang Surut dimana irigasinya yang tergantung pada gerakan pasang dan surutnya air, letaknya di wilayah yang datar dan tidak jauh dari laut, sumber air pada sawah pasang surut salah satunya air tawar sungai, yang di karenakan adanya pengaruh pasang dan surut air laut untuk mengairi melalui saluran irigasi. Pada lahan pasang surut dibedakan empat tipologi lahan berdasarkan jangkauan luapan air pasang, yaitu tipe luapan A, B, C dan D. Tipe luapan A dan B mempunyai potensi untuk persawahan karena dapat terjangkau air pasang dan biasanya terdapat lebih dekat ke pantai, namun mempunyai kendala potensi kemasaman tanah atau salinitas tinggi. Sedangkan tipe luapan C dan D karena posisinya lebih tinggi dan jangkauan air pasang lebih terbatas, sehingga potensinya lebih sesuai untuk tegalan atau tanaman tahunan.

2.5.4 Sawah Lebak

Sawah lebak ialah sawah yang diusahakan di daerah rawa dengan memanfaatkan naik turunnya permukaan air rawa secara alami, sehingga di dalam

sistem sawah lebak tidak dijumpai sistem saluran air. Sawah ini umumnya terdapat di daerah yang relatif dekat dengan jalur aliran sungai besar (permanen) yaitu di *backswamp* atau rawa belakang dengan bentuk wilayah datar agak cekung, kondisi drainase terhambat sampai sangat terhambat, permukaan air tanah dangkal bahkan hingga tergenang dimusim penghujan, selalu terkena luapan banjir atau kebanjiran dari sungai didekatnya selama jangka waktu tertentu dalam satu tahun. Oleh karena itu sawah ini baru dapat ditanami padi setelah air genangan menjadi dangkal (surut), dan terjadi umumnya pada musim kemarau.

2.6 Kebutuhan Air Tanaman Padi

Kebutuhan air untuk tanaman adalah jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk proses pertumbuhannya sehingga diperoleh tambahan berat kering tanaman. Jumlah air yang diperlukan di dalam proses produksi padi tergantung pada iklim, posisi lanscape, periode pertanaman, karakteristik drainase tanah, pengelolaan irigasi, dan fase pertumbuhannya.

Varietas tanaman padi yang sering ditanam di Indonesia ada dua yaitu varietas lokal dan varietas unggul. Keduanya memiliki waktu pertumbuhan dan kebutuhan air yang berbeda, biasanya varietas lokal memiliki waktu pertumbuhan yang lebih lama dan membutuhkan lebih banyak air dibandingkan dengan varietas unggul. Perbedaan kebutuhan air dari kedua jenis varietas di atas dapat dilihat pada tabel 2.5.

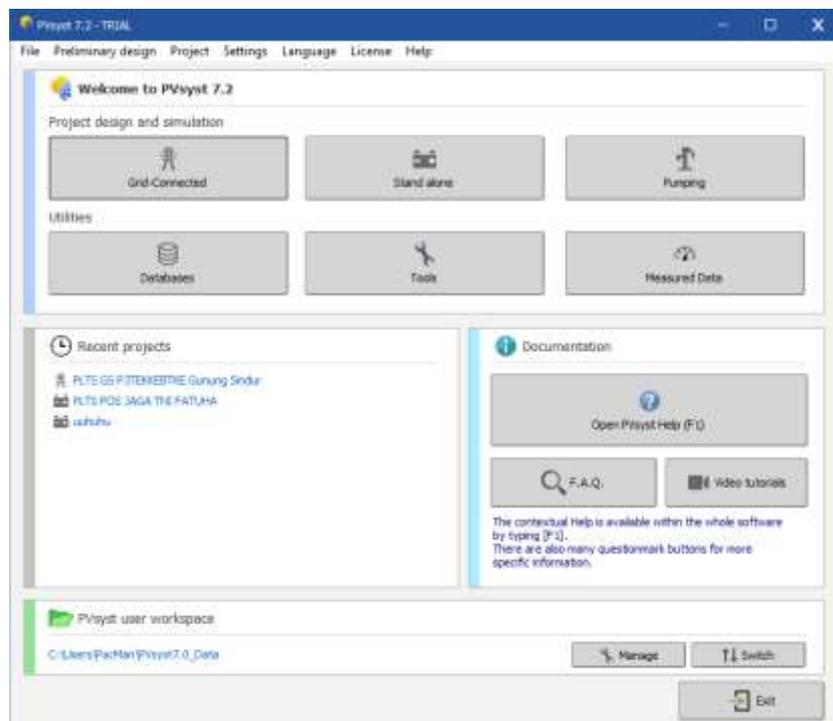
Tabel 2. 5 Kebutuhan Air Tanaman Padi Sesuai Tahap pertumbuhannya (Purba, 2011)

Tahap Pertumbuhan	Varietas Lokal			Varietas Unggul		
	mm/hari	l/det/ha	Periode (hari)	mm/hari	l/det/ha	Periode
Pengelolaan Tanah	12,7	1,0	-	12,7	1,0	-

Pembibitan	3,0	0,4	20	3,0	0,4	20
Tanam s/d Primordial	7,5	0,9	40	6,4	0,75	35
Primordial s/d Bunga	8,8	1,0	25	7,7	0,9	20
Bunga s/d Penuh	8,8	1,0	20	9,0	1,0	20
Bunga Penuh s/d Pemasakan	8,4	1,0	20	7,8	0,9	20
Pemasakan s/d Panen	0	0	15	0	0	15

2.7 Software PVsyst

Software PVsyst merupakan aplikasi yang digunakan untuk pembelajaran, pengukuran, dan analisa sebuah sistem PLTS secara menyeluruh. Aplikasi ini sendiri dikembangkan oleh universitas Geneva, pada aplikasi ini kita dapat melakukan pemodelan system diantaranya *Grid-Connected*, *Stand Alone / Off-Grid*, *Pumping system*.



Gambar 2. 30 Tampilan awal Pvsyst

Pada gambar 2.29 menunjukkan tampilan awal dari *PVSyst* yang menunjukkan simulasi apa saja yang dapat dilakukan selain itu juga kita bisa menambah database PV Module, Inverter yang akan digunakan apabila tidak tersedia. Melakukan analisa biaya dan losses pun dapat kita lakukan pada aplikasi ini.

2.8 Penelitian Terkait

Tabel 2.6 Penelitian Terkait

Nomor	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan
1	Simulation of Photovoltaic Water Pumping System for Small Scale Irrigation and Rural Electrification by Using PVsyst: Case of Madhicho, W/Harerghe, Oromia, Ethiopia	(Aliyi & Nuru, 2020)	Zona Harerghe Barat Ethiopia 2020	Penelitian ini membahas analisis pompa air PV dengan menggunakan PVsyst dan juga membandingkan pemompaan surya dengan sistem pemompaan bertenaga diesel dengan membandingkan mana yang lebih ekonomis untuk Irigasi skala kecil dan Elektrifikasi pedesaan.
2	Feasibility study of a solar photovoltaic water pumping system for rural Ethiopia	(Girma et al., 2015)	School of Mechanical and Industrial Engineering, Addis Ababa Institute of Technology, Addis Ababa, Ethiopia 2015	Penelitian ini membahas kelayakan sistem pompa air tenaga surya menggunakan software PVSyst dan melakukan perbandingan ekonomi dan kinerja antara pompa diesel dan pompa tenaga surya untuk mengetahui mana sistem yang lebih ekonomis dan menunjukkan kelayakan sistem
3	A Study Of Solar	(Khera, 2019)	EEE Department	Jurnal ini membahas tentang desain sistem

Nomor	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan
	Powered Water Pumping System Using PVSyst.		, Manav Rachna International, Institute of Research & Studies. 2019	pompa air tenaga surya untuk meningkatkan efisiensi sistem pemompaan air dan untuk memperkirakan biaya dan kinerja
4	Effective Pumping System Using PVSyst To Harness Solar Power For Bangladesh Agriculture Sector	(Imran Hossain & Raisul Islam, 2018)	Dhaka, Bangladesh 2018	Penelitian ini membahas tentang perancangan dan analisis sistem pompa air listrik tenaga surya menggunakan perangkat lunak PVSyst dengan memperhitungkan faktor ekonomi, perkiraan biaya total pembuatan sistem ini
5	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Suplai Daya Pompa Air Submersible Inoto 2 HP Di Dusun Leran	(Bukhori et al., 2021)	Dusun Leran, Desa Palembang, Kanor, Kabupaten Bojonegoro, Maret 2021	Penelitian ini membahas perancangan PLTS on-grid berdasarkan daya pompa air yang disimulasikan dengan software PVSyst. Pada penelitian ini pompa air diproyeksikan untuk dapat mengangkat air dari dalam tanah dengan volume sebesar 1.328 m ³ /bulan sesuai dengan data penggunaan air pelanggan. Sistem PLTS yang dirancang menggunakan modul surya Risen RSM72-6-335P berkapasitas 335 Wp sebanyak 10 unit dan inverter Solis 1P4K-4G berkapasitas 4 kW. Hasil simulasi menunjukkan produksi energi tahunan PLTS sebesar 4,194 MWh/tahun dengan solar fraction sebesar 1,28 yang berarti bahwa produksi energi PLTS mampu

Nomor	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan
				memenuhi kebutuhan energi listrik pompa air.

Berdasarkan Tabel 2.6 dimana merupakan hasil dari beberapa penelitian terkait analisa dan simulasi pompa air listrik tenaga surya menggunakan software PVSyst yang telah dilaksanakan, dari beberapa penelitian tersebut membahas tentang perencanaan dan desain sistem pompa air listrik tenaga surya untuk irigasi pertanian dan kebutuhan sehari-hari menggunakan perangkat lunak PVSyst, disamping itu juga penelitian tersebut membahas tentang studi kelayakan dan perbandingan dalam segi ekonomi antara pemakaian pompa diesel dengan pompa air tenaga surya untuk irigasi pertanian. Maka pembeda dari penelitian ini yaitu pada analisis kinerja pembangkit listrik tenaga surya sebagai penggerak pompa yang dikhususkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi sawah atau untuk memenuhi kebutuhan air tanaman padi.