

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Tinjauan Pustaka

Berikut ini adalah beberapa penelitian tentang PLTS terdahulu yang berkaitan dengan tugas akhir ini:

Jufrizal M .T dan Muhammad Irfan, ST(2017). Melakukan penelitian “Perencanaan Teknis dan Ekonomis PLTS Sistem On Grid” Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui analisis teknis PLTS menggunakan data beban penerangan di Gedung Terpadu PT. Pertamina RU II Dumai sebesar 496 kWh untuk menentukan kapasitas sistem PLTS mencakup modul PV, dan inverter sentral, perhitungan biaya, simulasi menggunakan software PVsyst dan juga analisis ekonomis. Untuk mengevaluasi pengoperasian PLTS maka digunakannya analisis ekonomis dengan metode, seperti NPW (*Net Present Worth*), CF (*Cash Flow analysis*), B-CR (*Benefit Cost Ratio analysis*), dan PP (*Payback Period*). Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan untuk memenuhi beban harian sebesar 496 kWh dapat disuplai dari sistem PLTS dengan kapasitas *photovoltaic array* sebesar 517 kWp, dan inverter sebesar 100 kW. Nilai CFB sebesar Rp.108.943.024.578, CFC sebesar Rp.23.263.500.042, NPV sebesar Rp,85.679.524.536, BCR sebesar 30,9 dan PP selama 17,5 tahun.

Wisna Dwi Ariani (2014), menganalisis kapasitas dan biaya PLTS komunal untuk Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara untuk memenuhi kebutuhan desa tersebut. PLTS itu diproyeksikan akan menyuplai daya sekitar sebesar 8,9 kWh per hari. PLTS tersebut menggunakan 36 buah panel surya 150WP dan menggunakan 24 Unit baterai 500Ah. Biaya awal pembangunan PLTS ini diperkirakan membutuhkan dana sebesar Rp 433.125.000.

#### B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya atau yang disingkat menjadi PLTS adalah sebuah pembangkit energi listrik yang mengandalkan cahaya matahari sebagai sumber energi yang diubah menjadi energi listrik. PLTS merupakan

sebuah pembangkit energi terbarukan dan ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan bakar minyak maupun batubara serta tidak menimbulkan polusi dalam proses produksi energi. Energi matahari juga sangat atraktif karena tidak bersifat polutif, tidak akan habis dan gratis. (Darwin Sitompul, 1991:83).

Ada dua cara dasar untuk membangkitkan energi listrik dengan tenaga surya, yaitu sistem pemusatan energi surya (*concentrated solar power*) dan sistem fotovoltaik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin yang dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi cahaya matahari dari luasan area tertentu ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor. Panas yang terkonsentrasikan lalu digunakan sebagai sumber panas untuk pembangkitan listrik biasa yang memanfaatkan panas untuk menggerakkan generator. Sedangkan fotovoltaik adalah pembangkitan energi secara langsung yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik, pembangkitan ini yang umum digunakan di Indonesia.

Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) atau dikenal sebagai PLTS fotovoltaik merupakan suatu sistem yang mudah pengoperasiannya, handal, serta memerlukan biaya pemeliharaan dan operasional yang murah. Hal ini menjadikan PLTS fotovoltaik mampu bersaing dengan teknologi konvensional khususnya untuk daerah-daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN dan tergolong sebagai kawasan terpencil. Selain itu PLTS fotovoltaik juga merupakan suatu energi yang bersih dan tidak mencemari lingkungan. Beberapa kondisi yang sesuai untuk penggunaan SESF antara lain pada pemukiman desa terpencil, lokasi transmigrasi, perkebunan, dan pesisir pantai.

PLTS fotovoltaik yang paling cocok dikembangkan di daerah terpencil adalah PLTS *Off-Grid* terpusat. PLTS *Off-Grid* terpusat adalah sebuah sistem pembangkit listrik alternatif yang tidak terhubung ke jaringan PLN dan dibangun secara terpusat dalam satu lokasi dengan skala yang mampu memenuhi kebutuhan energi listrik di suatu daerah tertentu.

Pemilihan Sistem PLTS *Off Grid* didasarkan atas pertimbangan beberapa faktor, yaitu pola pemukiman antar rumah yang cukup menyebar, Sulit untuk mendapatkan transportasi darat, belum memerlukan integrasi dengan

pembangkit lain, modular dan mudah dikembangkan, kapasitas kecil sehingga mudah di instalasi, harga terjangkau, radiasi matahari sebagai sumber energi mencukupi, dan tidak tergantung terhadap bahan bakar minyak (Rahayuningtyas, dkk. 2014).

PLTS Fotovoltaik *Off-grid* memiliki beberapa komponen pokok yang digunakan untuk proses produksi listrik, di antaranya:

### **1. Panel Surya**

Panel surya atau sel fotovoltaik adalah alat yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Di buat pertamakali pada tahun 1883 oleh Charles Fritts. Sel surya menjadi pemeran utama untuk memaksimalkan cahaya matahari yang sampai ke bumi untuk menghasilkan listrik. Pada umumnya satu keping panel surya mempunyai ketebalan 3 cm, tersusun atas kutub positif dan negatif yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor. Prinsip kerja suatu sel surya adalah dengan memanfaatkan efek fotovoltaik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah secara langsung cahaya matahari menjadi suatu energi listrik.

Bahan dasar panel surya ini terbuat dari silicon berkrystal tunggal, yaitu bahan yang sering digunakan untuk pembuatan silicon berjenis semikonduktor. Silicon dimurnikan hingga membentuk suatu unsur pembentuk atom sehingga dapat digunakan sebagai bahan sel surya. Dengan terbentuknya sifat atom pada setiap sel dari panel surya tersebut maka terbentuk pula suatu elektromagnetik yang menyebabkan efek fotovoltaik.

Sel silicon dalam panel surya yang disinari matahari membuat proton bergerak menuju elektron dan menghasilkan arus dengan tegangan listrik. Sebuah sel silicon menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 24 sel silicon. Tegangan yang dikeluarkan oleh modul surya yang umum dipasaran bervariasi antara 6VDC, 12 VDC, 24 VDC, 36 VDC dan 48 VDC per modul. Daya yang dihasilkan juga bervariasi mulai

dari 10 Wp sampai 100 Wp per modul dengan dimensi modul yang berbeda sesuai dengan kapasitasnya.

Pada umumnya menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah lima jam. Misalnya, modul panel surya memiliki kapasitas output 50 WP 12 V, memberikan output daya sebesar 50 watt per jam dengan tegangan 12 Volt. Untuk perhitungan daya yang dihasilkan perhari adalah 50 Watt x 5 jam.



Gambar 2.1 Panel Surya

Berdasarkan material yang menyusunnya, secara umum ada tiga jenis panel surya yang terdapat di pasaran saat ini, yaitu:

a. *Crystalline Silicon (c-Si)*

Panel surya jenis ini memanfaatkan material silikon sebagai bahan utama penyusunnya. Tipe *crystalline* adalah generasi awal dari sel surya dan memiliki tiga tipe panel utama. Tipe panel surya ini yang paling banyak ditemui di pasaran dan umum digunakan untuk pembangkit listrik surya saat ini. Adapun tipe panel tersebut, yaitu:

i. *Monocrystalline silicon*



Gambar 2.2 Panel Surya Monocrystalline

Panel surya tipe ini menggunakan sel surya jenis *crystalline* tunggal dan memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan *polycrystalline*, yaitu sekitar 16-20%. Panel surya *Monocrystalline* umumnya berwarna hitam gelap dengan model terpotong pada tiap sudutnya.

ii. *Polycrystalline silicon*



Gambar 2.3 Panel Surya Polycristalline

Panel surya tipe ini menggunakan sel surya jenis multi *crystalline*, yaitu campuran silicon dan material lainnya. Panel surya ini dapat dikenali dari warna sel yang cenderung biru dengan bentuk persegi dengan efisiensi berkisar 13-16%.

b. *Thin-film solar cell*

Panel surya *Thin Film* menggunakan banyak lapisan material sebagai bahan material penyusunnya. Panel surya ini merupakan panel generasi kedua. Ketebalan lapisan materialnya mula dari nanometers (nm) hingga micrometers ( $\mu\text{m}$ ).



Gambar 2.4 Panel Surya Thin Film

Beberapa tipe panel surya thin film yang ada di pasaran berdasarkan material penyusunnya, yaitu:

i. *Cadmium telluride*

Panel surya tipe ini adalah panel surya yang memiliki tingkat efisiensi paling tinggi di antara tipe lain dikelasnya, yaitu 9-14.4%.

ii. *Copper indium gallium diselenide*

Panel surya tipe ini memiliki efisiensi 10-12% yang tersedia dipasaran dan efisiensi tertinggi yang pernah diproduksi dalam skala lab adalah 21.7%.

iii. *Amorphous thin-film silicon*

Panel surya tipe ini memiliki efisiensi paling rendah, yaitu 6-8% serta mengandung bahan yang kurang aman dalam materialnya. Beberapa tipe panel *Amorphous* diantaranya, *Amorphous silicon cells*, *Tandem-cell using a-Si/ $\mu$ c-Si*, *Tandem-cell using a-Si/pc-Si*, *Polycrystalline silicon on glass*.

iv. *Gallium arsenide (GaAs)*

Tipe panel dengan sel GaAs ini memiliki harga yang mahal serta hanya digunakan untuk industri tertentu dan tidak umum di pasaran. Efisiensi tertingginya adalah 28.8%.

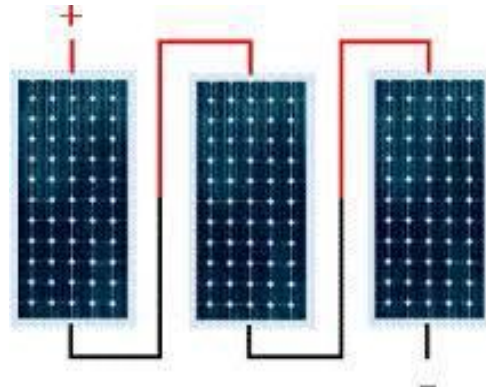
c. Material lainnya

Panel surya generasi ketiga ini tersusun dari lebih banyak variasi material untuk setiap panel surya. Beberapa di antara tipe panel surya tersebut adalah, *Copper zinc tin sulfide solar cell*, *Dye-sensitized solar cell*, *Organic solar cell*, *Perovskite solar cell*, *Polymer solar cell*, *Quantum dot solar cell* *Building-Integrated Photovoltaics*.

Untuk mendapatkan arus beserta tegangan dan daya yang sesuai dengan yang diperlukan, beberapa sel surya harus dikombinasikan pemasangannya. Beberapa kombinasi pemasangan sel surya, di antaranya:

a. Rangkaian seri

Menurut Sigalingging (1994:28), hubungan seri suatu sel surya didapat apabila bagian depan (+) sel surya utama dihubungkan dengan bagian belakang (-) sel surya kedua.



Gambar 2.5 Rangkaian seri panel surya

Dari keadaan seri ini didapatkan :

- i. Tegangan sel surya apabila dihubungkan seri satu sama lain

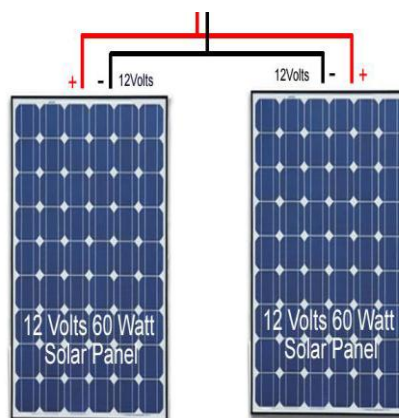
$$V_{\text{total}} = V + V + V + V + V_n$$

- ii. Arus sel surya sama apabila dihubungkan seri satu sama lain

$$I_{\text{total}} = I = I = I = I$$

b. Rangkaian paralel

Menurut Sigalingging (1994:30), rangkaian paralel sel surya didapatkan apabila terminal kutub positif dan negatif sel surya dihubungkan satu sama lain.



Gambar 2.6 Rangkaian paralel panel surya

i. Tegangan sel surya yang dihubungkan paralel sama dengan:

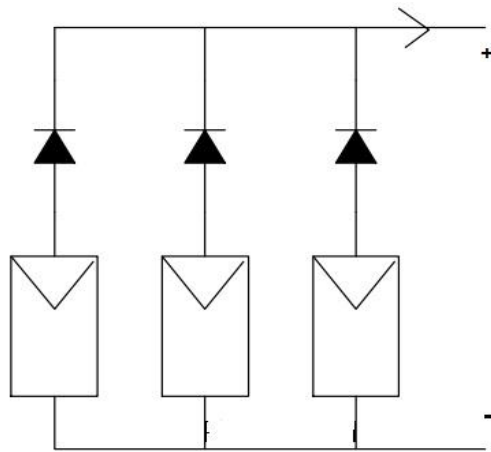
$$V_{total} = V = V = V = V$$

ii. Arus yang timbul dari hubungan ini langsung dijumlahkan

$$I_{total} = I + I + I + I$$

d. Rangkaian seri dan paralel pada sel surya

Menurut Sigalingging (1994:31), dalam prakteknya kebanyakan sel surya dihubungkan secara gabungan/kombinasi dari seri dan paralel dan bersamaan dengan itu dipasangkan beberapa dioda.



Gambar 2.7 Seri-paralel dengan Bypass Diode

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan sel surya adalah, kemungkinan adanya daun-daun yang menutupi sel-sel dari panel surya atau bayangan pohon yang dapat mengakibatkan daya menjadi nol.

## 2. *Solar Charging Controller*

Rangkaian kontrol *charging* dalam sistem sel surya adalah rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian baterai/aki. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt dengan toleransi plus minus 10%. Bila tegangan turun sampai 10,8 volt, kontroler akan melakukan pengisian pada baterai/aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Proses pengisian itu berlangsung pada saat ada cahaya matahari yang ditangkap oleh solar cell. Jika penurunan tegangan terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pasokan energi



listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan baterai/aki akan naik. Bila tegangan baterai/aki itu mencapai 13,2 volt, kontroler akan menghentikan proses pengisian baterai/aki.



Gambar 2.8 Solar Charger Controller

Beberapa fungsi detail dari *solar charger controller* adalah sebagai berikut:

- a. Mengatur pengisian arus ke baterai untuk menghindari *overcharging* dan *overvoltage*.
- b. Mengontrol arus yang dilepaskan atau diambil oleh baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *overloading*.
- c. Mengontrol temperatur baterai.

Dalam kelistrikan PLTS, *Solar Charger Controller* terbagi menjadi dua jenis, yaitu PWM dan MPPT.

a. *Pulse Width Modulation*

*Pulse Width Modulation* (PWM) adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Sinyal PWM memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, tetapi memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, sinyal PWM memiliki nilai

frekuensi gelombang yang tetap, tetapi *duty cycle* bervariasi antara 0% hingga 100% (Richard A. Cullen).

*b. Maximum Power Point Tracking*

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel surya sehingga panel surya bisa menghasilkan power maksimum. MPPT adalah sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik power maksimum yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel surya.

Dengan kapasitas daya dan arus yang sama, kontroler jenis PWM umumnya lebih murah daripada jenis MPPT. Tegangan input dengan rentang yang tidak terlalu jauh dengan tegangan baterai/aki, contohnya di kontroler input 12-23 VDC untuk baterai 12V serta input 24-30VDC untuk baterai 24V. Sedangkan jenis MPPT umumnya memiliki kelebihan, yaitu tegangan input yang tinggi untuk pengisian baterai baik 12V s/d 48V. Bahkan sebagian controller mampu melakukan pengisian hingga 60VDC.

Selain itu, MPPT mampu mengisi baterai lebih efektif dibandingkan PWM saat cuaca mendung. Hal itu disebabkan, karena MPPT mampu memanfaatkan kelebihan tegangan tersebut kemudian dikonversi sebagai arus yang tinggi ke baterai. Sedangkan di PWM saat cuaca mendung, meski tegangan tidak mengalami penurunan, tetapi arus jauh lebih kecil. Dengan kata lain, MPPT lebih efektif dan lebih terjamin dalam melakukan pengisian dan ketersediaan arus untuk ke baterai.

### **3. Baterai/accumulator**

Baterai/accumulator merupakan alat penyimpanan energi listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia dan sebaliknya. Baterai memiliki kelebihan yang dapat diisi ulang atau melalui proses *charging*. Menurut Rudolf Michael, *accumulator* merupakan sel listrik yang tempat berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik (*reversible*) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Di dalam *accumulator* terjadi proses

pengubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai. Yaitu, dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam *accumulator*. Saat pengisian, tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga kimia lalu disimpan di dalam *accumulator*. Sedangkan saat penggunaan, tenaga kimia di dalam *accumulator* diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk beban peralatan listrik. Dengan adanya proses tersebut *accumulator* sering dikenal dengan elemen primer dan sekunder. Untuk dapat melihat lebih jelas berikut adalah salah satu bentuk dari *accumulator*.

Baterai biasanya diklarifikasikan terhadap dua tipe, yakni baterai primer dan baterai sekunder. Baterai yang digunakan untuk pembangkit sel surya adalah baterai sekunder, artinya baterai yang dapat diisi dan dikosongkan secara berulang-ulang. Pada umumnya baterai yang digunakan untuk pembangkit tenaga surya adalah baterai *lead acid* dan baterai *nickel cadmium*. Dalam pemasangan suatu pembangkit tenaga surya biaya untuk pengadaan baterai ini biasanya hampir 10% dari biaya totalnya. (Karmon Sigalingging, 1994:63).

Ada beberapa tipe baterai yang dapat digunakan dalam sistem listrik surya, seperti baterai industrial, *lithium*, *air zinc*, *vanadium redoks*, hingga baterai hidrogen. Setiap jenis baterai tersebut memiliki tipe dan spesifikasi berbeda, sehingga model penggunaannya pun berbeda. Sekarang ini, tipe baterai *industrial lead acid* merupakan tipe yang paling sering digunakan. Baterai ini memanfaatkan Asam Timbal (*Lead Acid*) sebagai bahan kimianya. Dalam penggunaannya, tipe baterai ini memiliki batas ideal 80%. Sedangkan untuk tipe baterai *lithium*, memiliki batas ideal 95-99%, yang berarti *lithium* dapat digunakan secara maksimal dibandingkan dengan baterai industrial. Walaupun lebih ideal, namun baterai *lithium* memiliki biaya yang

masih lebih mahal dibandingkan baterai industrial. Sehingga penggunaan secara luas, masih belum cukup banyak (Janaloka.com).



Gambar 2.9 *Lead Acid Battery*

Meskipun baterai yang digunakan pada PLTS adalah tipe baterai sekunder, tetapi tidak semua baterai sekunder cocok untuk digunakan pada PLTS. Adapun beberapa jenis baterai sekunder yang terdapat di pasaran, di antaranya:

a. *Baterai Lead Acid*

Baterai jenis ini menggunakan asam timbal sebagai bahan kimianya. Ada dua tipe baterai dari jenis ini, yaitu *starting battery*, atau biasanya disebut aki otomotif sebab digunakan pada kendaraan motor dan mobil. *Deep Cycle battery*, atau dikenal juga dengan aki industri.

i. *Starting Battery*

*Starting battery* atau biasanya disebut aki otomotif, merupakan jenis baterai yang dirancang mampu menghasilkan energi yang tinggi dalam waktu singkat, sehingga dapat menyalakan mesin seperti mesin motor/mobil. Idealnya baterai ini dapat digunakan hingga 10-20% dari kapasitas nominalnya. Konstruksinya menggunakan banyak plat tipis secara paralel, agar resistansinya rendah, dengan permukaan yang lebih luas agar dapat melepas arus listrik yang tinggi saat dibutuhkan. Dari segi efisiensi baterai ini tidak cocok untuk PLTS.

## ii. *Deep Cycle Battery (Industrial Battery)*

*Industrial battery* merupakan jenis baterai yang dirancang untuk menghasilkan energi yang stabil dalam waktu yang lama. baterai jenis ini memiliki ketahanan terhadap siklus pengisian–pelepasan yang berulang-ulang dan konstan. Idealnya, baterai jenis ini dapat digunakan hingga 80% dari kapasitas nominalnya. Sehingga kapasitas energi yang dihasilkan lebih besar, tanpa merusak atau mengurangi umur baterai. Baterai jenis ini terbagi menjadi dua macam, yaitu:

### a) *Flooded Lead Acid Battery*

Sering disebut dengan aki basah, karena sel-sel di dalam baterai harus terendam cairan elektrolit agar berfungsi optimal, jika level cairannya kurang maka harus ditambah.

### b) *Valve-Regulated Lead Acid Battery*

Sering juga disebut aki kering. Secara fisik baterai jenis ini tertutup rapat dan yang terlihat hanya terminal positif dan negatif. Didesain agar cairan elektrolit tidak berkurang karena bocor atau penguapan, baterai jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka pada tekanan yang ekstrem untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya.

Berdasarkan konstruksinya, baterai *VRLA* dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

#### i) *Absorbent Glass Mat Battery*

Baterai jenis ini memiliki separator berupa fiberglass yang diletakkan di antara plat-plat selnya. Tujuannya untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori fiberglass. Fungsi fiberglass ini mirip seperti handuk yang menyerap air ketika salah satu ujung handuknya dicelupkan ke dalam ember yang berisi air. Tipe baterai ini lumrah digunakan sebagai salah satu tipe baterai yang sesuai untuk sistem panel surya.

ii) *Gell Cells*

Baterai jenis ini memiliki cairan elektrolit yang dicampur dengan pasir silika, sehingga menjadi seperti gel, gel ini berfungsi sebagai cairan elektrolit.

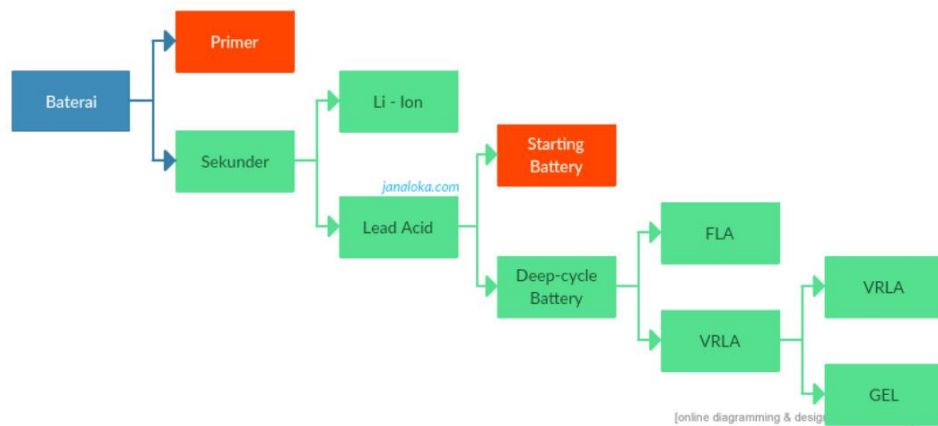
Meskipun semua baterai *deep-cycle* cocok untuk PLTS, tetapi tipe VRLA AGM dan Gel lebih banyak digunakan pada PLTS dibandingkan tipe FLA. Hal ini dikarenakan tipe VRLA memiliki ketahanan yang lebih baik dan bebas perawatan, dibanding jenis FLA, meskipun harganya cenderung lebih mahal.

b. Baterai Li-Ion

Baterai Li-ion adalah baterai yang menggunakan senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya. Baterai ini memiliki daya tahan yang tinggi dan tingkat penurunan daya saat tidak digunakan cukup rendah. Sehingga baterai jenis ini dapat bertahan dalam kondisi lingkungan apapun serta dapat menyimpan daya lebih lama dan lebih besar. Jika dibandingkan dengan baterai lead acid yang memiliki batas ideal 80%, baterai ini memiliki batas ideal 95-99%. Baterai tipe ini adalah yang paling sesuai untuk sistem panel surya. Namun harganya yang terlalu mahal membuat tipe lead acid lebih efisien.

Beberapa tipe baterai li-ion, di antaranya:

- i. Lithium kobalt oksida (LiCoO).
- ii. Lithium mangan oksida (LiMnO).
- iii. Fosfat besi litium (LiFePO).
- iv. Lithium nikel mangan kobalt oksida (LiNiMnCoO).



Gambar 2.10 Jenis Baterai

Selain itu, beberapa tipe baterai yang sesuai untuk sistem panel surya di masa depan di antaranya, Flow Batteries Redoks Vanadium dan baterai hidrogen.

#### 4. Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian elektronik yang dapat mengubah tegangan input DC menjadi output AC. Tegangan output yang berubah-ubah dapat diperoleh dengan mengubah-ubah tegangan input DC dan menjaga agar penyalaan inverter tetap konstan. Sebaliknya jika tegangan input dibuat konstan maka tegangan output variabel dapat diubah-ubah penyalaan dari inverter yang pada umumnya menggunakan modulasi lebar pulsa. Penyalaan inverter dapat diperoleh dari perbandingan tegangan output AC dengan tegangan input DC. (Rashid, 1993:366).

Untuk kebutuhan listrik AC, listrik DC yang disimpan di baterai/aki diubah menjadi listrik AC menggunakan Inverter. Inverter mengkonversi tegangan DC 12-24 V dari baterai menjadi tegangan AC 220 V. Rangkaian control digunakan untuk mendapatkan tegangan keluaran yang diinginkan. Rangkaian control berfungsi untuk mengatur frekuensi amplitudo gelombang keluaran. Supaya gelombang keluarannya dapat mendekati gelombang sinus, maka digunakan filter. Filter berfungsi untuk melewatkan frekuensi yang diharapkan saja.

Filter yang umum digunakan adalah filter jenis bandpass filter yang akan menangkal frekuensi rendah dan frekuensi tinggi yang tidak diinginkan pada keluarannya.

Inverter mode saklar adalah rangkaian utama dari sistem yang berfungsi untuk membalikkan tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik. Disebut mode saklar karena alat ini bekerja dengan menggunakan teknik *switching*. Keluaran dari inverter mode saklar ini masih berupa pulsa-pulsa berfrekuensi tinggi (frekuensi *switching*). Sementara rangkaian kontrol berfungsi untuk mengendalikan proses *switching* yang terjadi pada inverter mode saklar. Pengendalian ini akan menentukan bentuk gelombang, amplitudo gelombang, serta frekuensi gelombang keluaran pada sistem secara keseluruhan.



Gambar 2.11 Inverter DC to AC

## C. Prinsip Kerja

### 1. Prinsip kerja panel surya

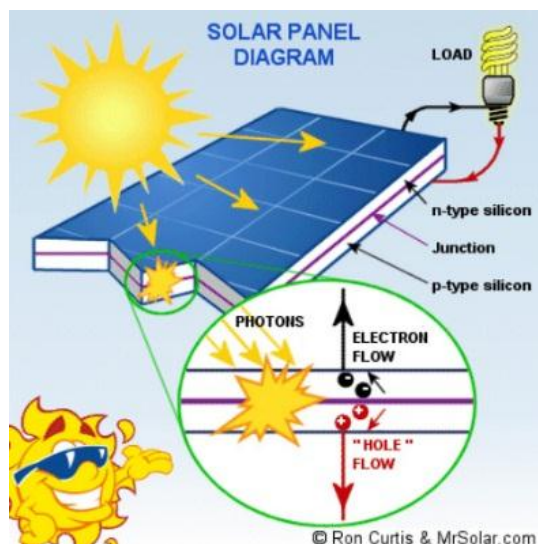
Prinsip kerja panel surya adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n junction. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor n dan p yang membentuk p-n junction, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (hole).

Untuk mendapatkan semikonduktor tipe-n dapat dilakukan dengan cara mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat



kelebihan elektron valensi dibandingkan dengan atom sekitar. Sementara semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III. Sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area doping-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi pada keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p. Pada proses ini telah terbentuk p-n junction. Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah terbentuk dioda.

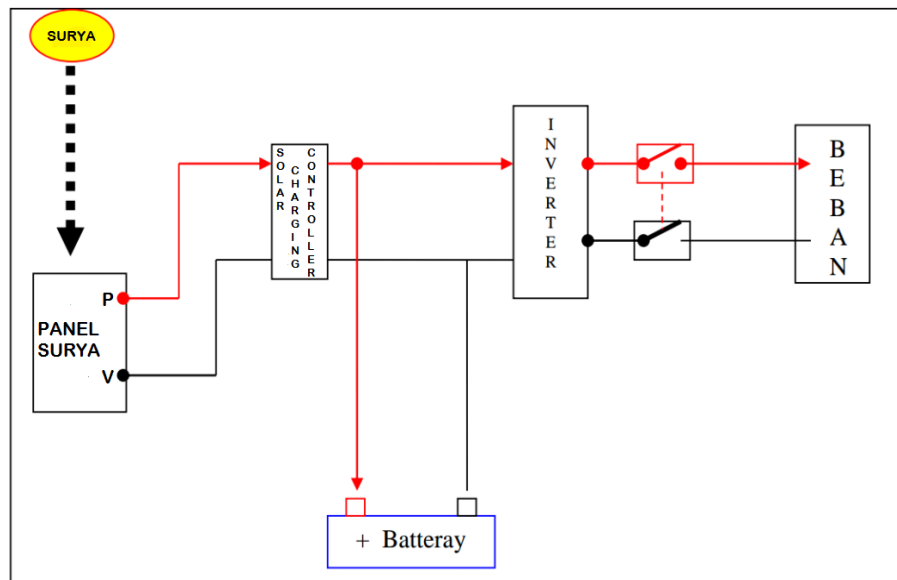
Ketika junction disinari, foton yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. (Junial Heri, 2012).



Gambar 2.12 Prinsip Kerja Panel Surya

## 2. Prinsip Kerja PLTS

Pada dasarnya prinsip kerja PLTS photovoltaik adalah meneruskan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Jadi, energi listrik dari panel surya tersebut kemudian disuplai ke beban dan digunakan untuk mengisi baterai melalui *solar charging controller* yang juga berfungsi sebagai pengaman arus balik dari baterai ke panel surya. Inverter berfungsi untuk mengubah listrik DC dari panel surya dan baterai menjadi listrik AC, dan juga berfungsi untuk mengontrol pengisian baterai. Untuk mengetahui lebih jelas prinsip kerja PLTS photovoltaik dapat melihat gambar di bawah ini:



Gambar 2.13 Skema Produksi Listrik PLTS

## D. Keuntungan dan Kelemahan PLTS

Berdasarkan data di lapangan ditemukan beberapa keunggulan dan kelemahan yang dimiliki PLTS, di antaranya:

### 1. Keuntungan PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah sebuah sistem pembangkit energi listrik yang menghasilkan energi listrik dari sinar matahari. Hal itu membuat PLTS tidak menimbulkan polusi, selain itu

tenaga matahari pun tersedia melimpah dan gratis. Berikut ini adalah beberapa keuntungan menggunakan PLTS:

- a. Sumber energi yang dipakai adalah energi terbarukan dan ramah lingkungan.
- b. Cocok digunakan di daerah pesisir pantai di Indonesia.
- c. Hemat biaya operasional dan biaya perawatan.
- d. Tidak memerlukan bahan bakar yang menyebabkan efek rumah kaca.
- e. Kapasitas listrik yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan.
- f. Tidak menimbulkan polusi udara dan suara sehingga tidak mengganggu ketertiban umum.

## 2. Kelemahan PLTS

Selain memiliki beberapa keunggulan PLTS juga memiliki beberapa kekurangan. Beberapa kekurangan tersebut di antaranya:

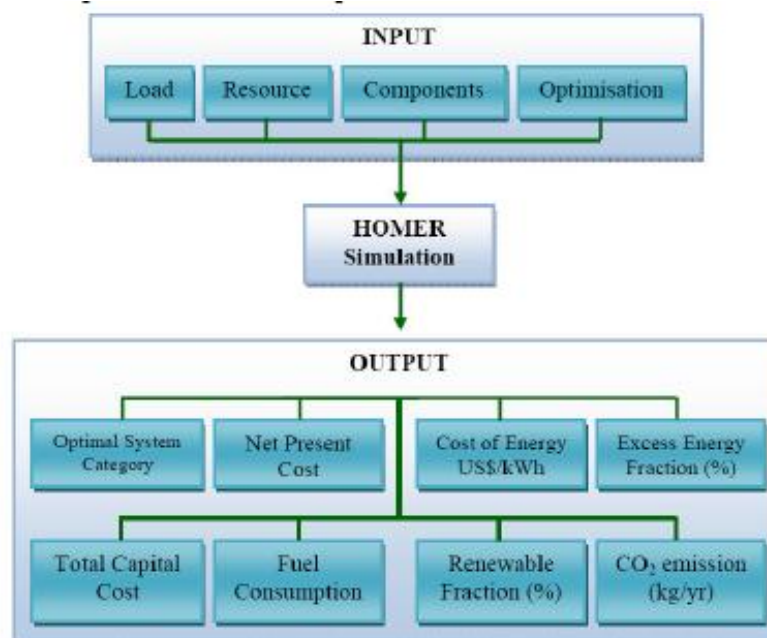
- a. Memiliki ketergantungan pada cuaca.
- b. Biaya awal untuk pembangunan relatif mahal.
- c. Butuh area yang cukup luas pada skala besar.
- d. Biaya penggantian baterai cukup mahal.

## E. HOMER

HOMER atau *Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables* adalah salah satu tool populer untuk desain sistem PLH menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone (off-grid)* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, fotovoltaik, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), mikroturbin, fuel-cell, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal (Lambert, Gilman, dan Lilienthal 2006).

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan *energy balance* untuk setiap 8,760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator diesel/bensin, HOMER juga dapat memutuskan, untuk setiap jam, apakah generator diesel/bensin beroperasi dan

apakah baterai diisi atau dikosongkan. Selanjutnya HOMER menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*life time costs*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar, dan lain-lain. Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut net presents costs - NPC (*life cycle costs*). Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. Error relatif tahunan sekitar 3% dan relative eror bulanan sekitar 10% (Sheriff dan Ross 2003).



Gambar. 2.14 Simulasi HOMER

Selain untuk melakukan simulasi HOMER juga menyediakan data-data tentang radiasi matahari, iklim dan cuaca yang bersumber berdasarkan data dari NASA dalam periode tertentu.