

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah peralatan pembangkit listrik yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. PLTS sering juga disebut *Solar Cell*, atau *Solar Photovoltaic*, atau *Solar Energy*. Orang awam seringkali keliru menganggap *Solar Water Heater* (Pemanas Air Tenaga Surya) sebagai PLTS. *Solar water heater* memanfaatkan thermal dari solar energy dan menghasilkan air panas, prinsip yang sama juga diterapkan untuk *solar dryer* (pengering tenaga surya), sedangkan PLTS memanfaatkan energi sinar matahari yang di terima oleh *solar cell photovoltaic* untuk mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi listrik DC. Pada umumnya *solar cell* merupakan sebuah hamparan semikonduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Besarnya arus dan tegangan tergantung jumlah modul surya yang di susun secara seri atau pararel atau dengan istilah *solar Array*.

2.1.1 Komponen-komponen Penyusun PLTS

Untuk lebih mengetahui apa itu pembangkit listrik tenaga surya, maka dalam tulisan ini akan dijelaskan komponen-komponen yang dipakai dalam PLTS, dan trend teknologi yang ada seperti dibawah.

1. Sel Surya (*photovoltaic*)

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan yang namanya sel surya atau *solar cell*. Apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron dan hole. Elektron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik.

Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk digunakan kemudian. Gambar 2.1 dibawah ini merupakan contoh Sel Surya.



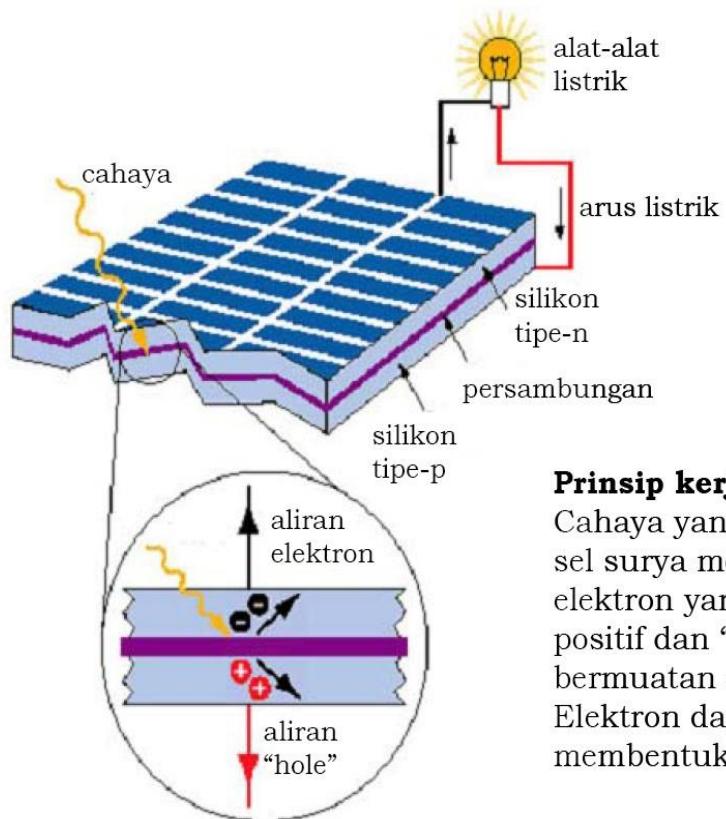
Gambar. 2.1 Contoh sel surya

Besarnya pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, makin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel surya makin besar pula foton yang dimiliki sehingga makin banyak pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan yang akan mengakibatkan besarnya arus yang mengalir. Makin pendek panjang gelombang cahaya maka makin tinggi energi fotonnya sehingga makin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga berimplikasi pada makin besarnya arus yang mengalir.

Prinsip kerja sel surya adalah bahwa cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan *hole* yang bermuatan negatif kemudian elektron dan *hole* mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini di kenal sebagai prinsip *photoelectric*.

Sel surya dapat tereksifikasi karena terbuat dari semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif yaitu lapisan negatif (*tipe-n*) dan lapisan positif (*tipe-p*). Karena sel surya ini mudah pecah dan berkarat sehingga sel ini dibuat dalam bentuk panel-panel dengan

ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air dan panel ini dikenal dengan panel surya, seperti terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini..



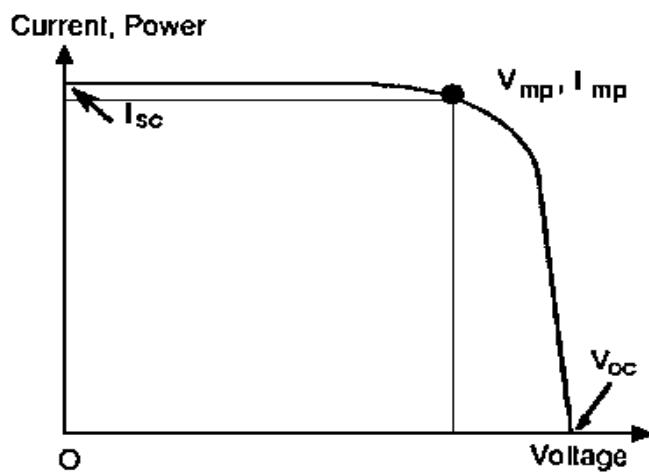
Prinsip kerja sel surya.

Cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan "hole" yang bermuatan negatif. Elektron dan "hole" mengalir membentuk arus listrik

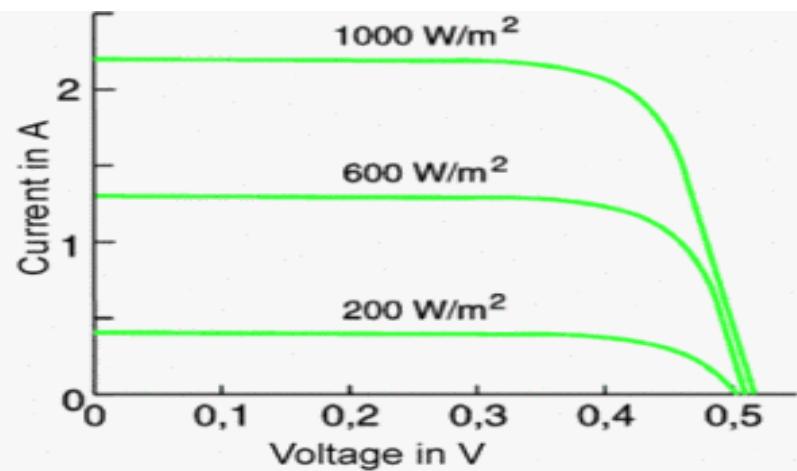
Gambar 2.2 Menunjukkan proses perubahan cahaya akan menjadi arus listrik

Total pengeluaran listrik (*wattage*) dari sel surya adalah sebanding dengan Volt/tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. Sel surya dapat menghasilkan arus dari volt yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan bateri yang menghasilkan arus dari volt yang relatif konstan.

Karakteristik output dari sel surya dapat dilihat dari kurva performansi, disebut I-V kurva. I-V kurva menunjukkan hubungan antara arus dan volt (Ouaschning, 2005), sebagaimana pada gambar 2.3 dan 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.3 kurva I-V



Gambar 2.4 Karakteristik daya yang di hasilkan watt/m²

Gambar di atas menunjukkan tipikal kurva I-V. Volt (V) adalah sumbu horizontal. Arus (I) adalah sumbu vertical. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam *standar Test Conditions* 1000 watt per meter persegi radiasi (atau disebut satu matahari puncak / *one peak sun hour*) dan 25 derajat celcius suhu *solar cell panel*.

2. Modul Photovoltaic

Komponen utama sistem surya *photovoltaic* adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya *photovoltaic*. Untuk membuat modul *photovoltaic* secara pabrikasi bisa menggunakan teknologi kristal dan thin film. Modul photovoltaic dapat dibuat dengan teknologi yang relative

sederhana, sedangkan untuk membuat sel *photovoltaic* diperlukan teknologi tinggi.

Modul *photovoltaic* tersusun dari beberapa sel *photovoltaic* mempunyai ukuran 10 cm x 10 cm yang dihubungkan secara seri atau pararel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul sel surya sekitar 60% dari biaya total. Jadi, bila modul sel surya bisa dibuat didalam negeri berarti akan bisa menghemat biaya. Untuk itulah, modul pembuatan sel surya di Indonesia tahap pertama adalah membuat bingkai (*frame*), kemudian membuat laminasi dengan sel-sel yang masih di *import*, seperti terlihat pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar: 2.5 Contoh modul *photovoltaic*

Sedangkan kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya *photovoltaic* adalah investasi awal yang besar. Untuk mendapatkan kapasitas yang lebih besar maka beberapa modul digabung akan membentuk *array*.

3. Battery Charge Regulator (BCR)

Alat pengatur merupakan perangkat elektronik yang mengatur aliran listrik dari modul surya ke baterai dan aliran listrik dari baterai ke peralatan listrik inverter. *Change-Discharge* pengontrol melindungi baterai dari pengisian berlebihan dan melindungi dari pengiriman muatan arus berlebihan keinput terminal. BCR juga mempunyai beberapa indicator yang akan memberikan kemudahan kepada pengguna PLTS dengan memberikan informasi mengenai kondisi baterai sehingga pengguna PLTS dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik yang terdapat didalam baterai. BCR sebagai pengatur system agar penggunaan listriknya aman dan efektif, sehingga semua komponen - komponen system aman dari bahaya perubahan level tegangan. BCR yang digunakan kapasitasnya tergantung dari kapasitas daya modul surya.

4. Baterai

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakan beban. Ukuran baterai yang dipakai sangat tergantung pada ukuran panel dan *load pattern*. Ukuran baterai yang terlalu besar baik untuk efisiensi operasi tetapi mengakibatkan kebutuhan investasi yang terlalu besar. Sebaliknya ukuran baterai terlalu kecil dapat mengakibatkan tidak tertampungnya daya yang lebih. Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, array panel menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai. Kapasitas bateri tergantung dari daya modul yang dikeluarkan dengan tegangan yang dikeluarkan 24 V, tegangan DC.

5. *Inverter*

Inverter berfungsi untuk merubah arus dan tegangan listrik DC (*direct current*) yang dihasilkan array PV menjadi arus dan tegangan listrik AC (*alternating current*). Inverter yang digunakan adalah inverter dengan kapasitas tergantung dari kapasitas daya modul surya dengan tegangan keluaran AC 220 Volt.

2.1.2 Sistem Kerja PLTS

Prinsip kerja PLTS sederhana, yakni mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan.

Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising. Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita.

Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (charge controller), dan aki (batere) 12 volt yang maintenance free. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungan seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt. Modul sel surya itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari.

Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya itu merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt plus minus 10 persen. Bila tegangan turun sampai 10,8 volt, maka kontroler akan mengisi aki

dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan itu terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik. Bila tegangan aki itu mencapai 13,2 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu.

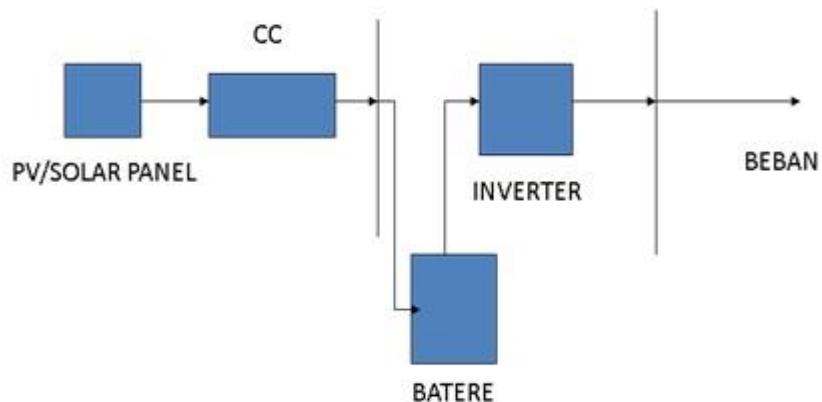
Rangkaian kontroler pengisian itu sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dalam keadaan jadi di pasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit tersendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap yang siap pakai. Jadi, sistem sel surya dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri.

Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi statis menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari. Orbit yang ditempuh bumi berbentuk elip dengan matahari berada di salah satu titik fokusnya. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya.

Jadi, untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optional untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya.

Kontroler seperti ini dapat dibangun, misalnya, dengan menggunakan mikrokontroler 8031. Kontroler ini tidak sederhana, karena terdiri dari bagian perangkat keras dan bagian perangkat lunak. Biasanya, paket sistem sel surya yang lengkap belum termasuk kontroler untuk menggerakkan panel surya secara otomatis supaya sinar matahari jatuh tegak lurus. Karena itu, kontroler macam ini cukup mahal.

Seperti apa prinsip kerja PLTS dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Prinsip kerja PLTS (Skema)

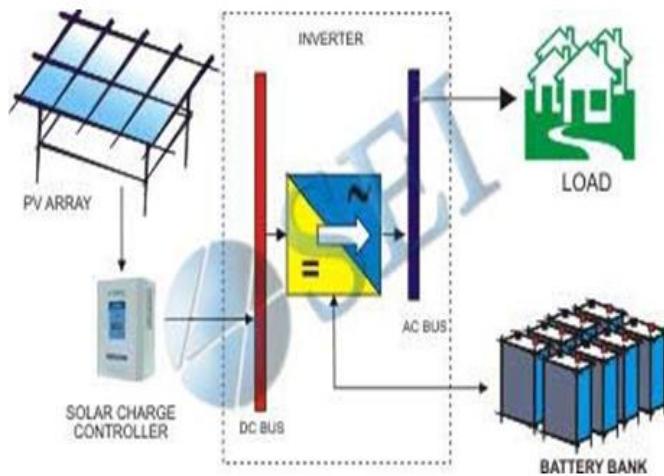
2.2 Jenis Sistem PLTS

Sistem PLTS terdiri dari beberapa jenis, meliputi *stand alone photovoltaic*, *grid connected photovoltaic battery backup*, *grid connected photovoltaic system*, dan *hybrid photovoltaic power system*.

2.2.1 *Stand Alone Photovoltaic*

Stand Alone PV system atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (sistem PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem PLTS terpusat disebut juga Stand-Alone PV system, yaitu sistem PLTS yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian photovoltaic module untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan.

Secara umum Konfigurasi sistem PLTS Sistem Terpusat dapat dilihat seperti terlihat blok diagram dibawah :



Gambar 2.7 Stand Alone Photovoltaic

2.2.2 Grid Connected Photovoltaic

A. Grid Connected Photovoltaic System

Grid Connected PV System merupakan solusi *green energi* bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem PLTS ini menggunakan Modul Surya (Photovoltaic Module) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem PLTS ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya.



Gambar 2.8 Grid Connected Photovoltaic System

Sesuai namanya, Grid Connected-PV, maka sistem PLTS ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan Energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin.

Pada siang hari, Modul Surya yang terpasang pada atap akan mengkonversi sinar matahari menjadi Energi listrik Arus Searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang disebut Grid-inverter merubah listrik arus searah (DC) dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga seperti Lampu, TV, Kulkas, Mesin Cuci, dll. Jadi pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh Modul Surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN (tergantung kebijakan).

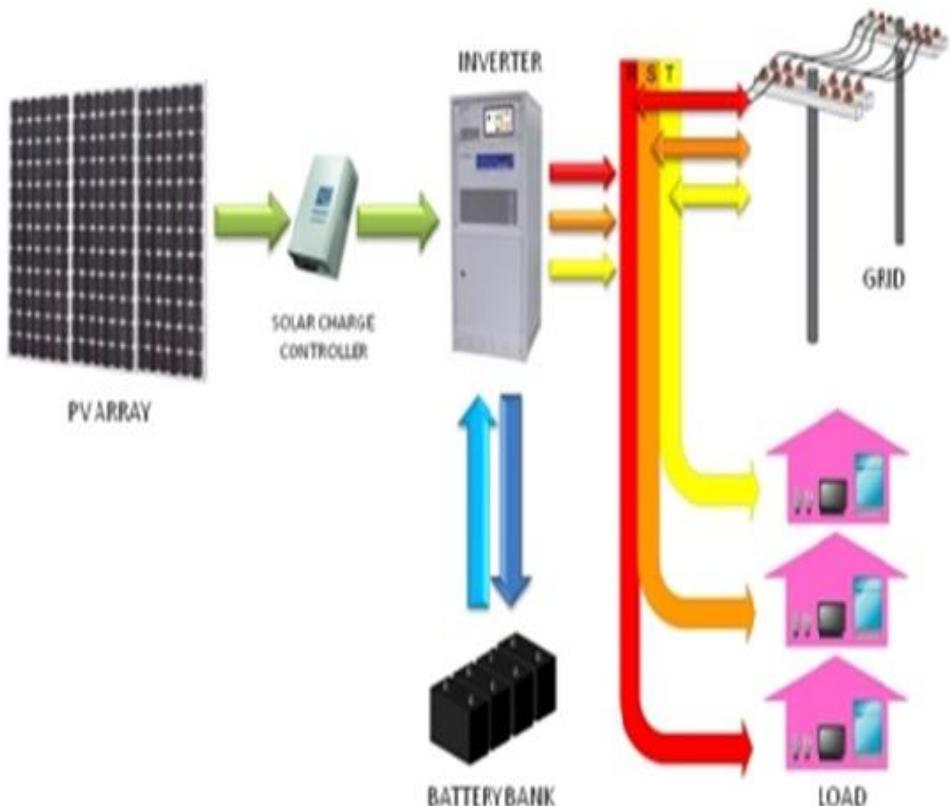
Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan disupport oleh jaringan PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN.

b. *Grid Connected Photovoltaic Battery Backup*

Grid-connected PV with battery backup adalah sistem PLTS solusi energi hijau untuk penduduk perkotaan baik perumahan, perkantoran, atau fasilitas publik. Sistem ini menggunakan Modul Surya (Photovoltaic Module) sebagai penghasil listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik PLN dan sekaligus turut andil dalam penyelamatan lingkungan dengan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi listrik.

Sistem PLTS ini juga berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik.

Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (Pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.



Gambar 2.9 Grid Connected Photovoltaic Battery

2.3 Manfaat Menggunakan PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mampu menyuplai listrik untuk lokasi yang belum dijangkau jaringan listrik PLN.

1. Potensi pemanfaatan energi surya tersebar secara merata sehingga dapat digunakan untuk daerah yang terpencil.
2. Listrik surya merupakan solusi yang cepat, karena proses instalasi yang relatif cepat untuk menghasilkan listrik penerangan dll.
3. Tenaga surya merupakan energi yang sangat bersih, karena sifatnya secara fisika tidak dapat Meng-absorsi UV radiasi (dari matahari), tidak

menghasilkan emisi sedikit pun, tidak menimbulkan suara berisik dan tidak memerlukan bahan bakar yang perlu dibeli setiap harinya.

4. Sistem tenaga surya terbukti handal lebih dari 50 tahun mendukung program luar angkasa, dimana tidak ada sumber energi lain, tidak juga nuklir, yang mampu bertahan dalam keadaan ekstrim di luar angkasa.
5. Panel surya mempunyai kesan modern dan futuristik, tetapi juga mempunyai kesan peduli lingkungan dan bersih. Sangat cocok untuk dunia arsitektur modern yang memadukan unsur-unsur penting tersebut. Aplikasi komunitas:penerangan jalan umum, pompa air, perangkat komunikasi, kulkas vaksin, perangkat puskesmas di daerah. Aplikasi pertanian: irigasi, pengusir hama.

2.3.1 Keuntungan Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Listrik yang berasal dari tenaga surya adalah energi yang penggunaannya akan meningkat dari tahun ke tahun, karena terbarukan dan tak habis-habisnya. Dapat dimanfaatkan untuk hal-hal positif dan menguntungkan bagi kehidupan sehari-hari, terutama untuk daerah tertinggal.

1. Sumber energi tersedia sepanjang tahun dan gratis.
2. Daya tahan lama.
3. Ramah lingkungan.
4. Tidak menghasilkan gelombang elektromagnetik.
5. Pemasangan mudah
6. Peralatan sederhana
7. Sistem bekerja baik selama 25 tahun
8. Tidak menggunakan bahan bakar
9. Tidak ada pengoperasian khusus.
10. Tidak ada pemanasan global.
11. Dapat ditempatkan di daerah terpencil.
12. Aman

2.3.2 Kelemahan – Kelemahan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Berdasarkan buku panduan keandaalan sistem kerja PLTS memiliki kelemahan sebagai berikut :

1. Modul surya memiliki efisiensi konversi yang rendah dibandingkan jenis pembangkit yang lainnya.
2. Untuk bekerja dengan baik, panel surya harus cukup mendapatkan penyinaran (tergantung pada musim).
3. Memerlukan area yang luas untuk pemasangan panel surya untuk mendapatkan daya keluaran yang tinggi.
4. Harga panel surya (skala kecil) masih mahal sehingga biaya pembangkitan yang dihasilkan juga mahal.

2.4 Hal-hal yang Mempengaruhi Pengoperasian Panel Surya

Berdasarkan buku panduan keandaalan sistem kerja PLTS memiliki kelemahan sebagai berikut :

1. Temperatur

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap normal pada temperatur 25°C . Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan (Voc) yang dihasilkan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C (dari 25°C) akan mengakibatkan berkurang sekitar 0,5% pada total tenaga (daya) yang dihasilkan. (Foster dkk., 2010).

2. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari akan berpengaruh pada daya keluaran panel surya. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka arus (I_{sc}) akan semakin rendah. Hal ini membuat titik Maximum Power Point berada pada titik yang semakin rendah.

3. Orientasi Panel Surya (Array)

Orientasi dari rangkaian panel surya (array) ke arah matahari adalah penting, agar panel surya (array) dapat menghasilkan energi maksimum. Misalnya, untuk lokasi yang terletak di belahan bumi Utara maka panel surya (array) sebaiknya diorientasikan ke Selatan. Begitu pula untuk lokasi yang

terletak di belahan bumi Selatan maka panel surya (array) diorientasikan ke Utara (Foster dkk., 2010).

4. Sudut Kemiringan Panel Surya (Array)

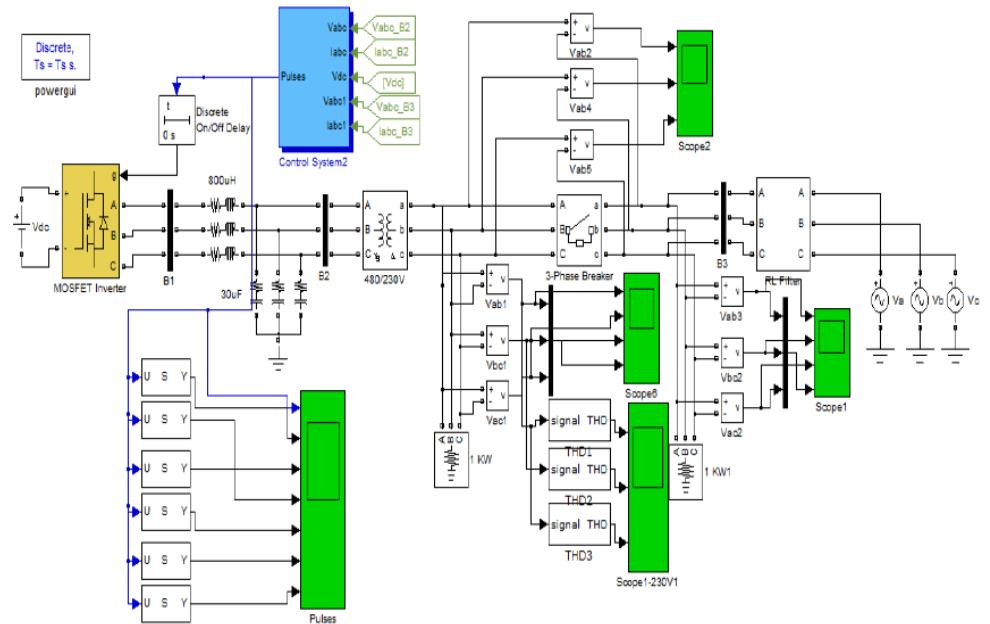
Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap radiasi matahari di permukaan panel surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan panel surya sama dengan lintang lokasi (Foster dkk., 2010). Misalnya panel surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang = 0°) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0°), akan menghasilkan energi maksimum.

2.5 Penjelasan Simulink Matlab

Simulink adalah desain lingkungan simulasi dan model berbasis sistem dinamis dan tertanam, terintegrasi dengan Matlab. Simulink, juga dikembangkan oleh MathWorks, adalah aliran data Pemograman grafis alat bahasa untuk pemodelan, simulasi dan menganalisis multi-domain sistem dinamis. Ini pada dasarnya adalah alat blok diagram grafis dengan set disesuaikan blok perpustakaan. Adapun Algoritma Matlab menjadi model serta ekspor hasil simulasi ke dalam Matlab. Contohnya adalah Simulink, mendukung pada:

1. Desain Sistem Tingkat
2. Simulasi
3. Generasi Kode otomatis
4. Pengujian dan Verifikasi sistem tertanam

Contoh Simulasi menggunakan Simulasi Matlab:



Gambar 2.10 Pemodelan Simulasi Mosfet inverter pada Simulink Matlab

2.6 Kerangka Pemikiran

Kerangka berpikir adalah penjelasan sementara terhadap suatu gejala yang menjadi yang menjadi objek permasalahan kita. Kerangka berpikir ini disusun dengan berdasarkan pada tinjauan pustaka dan hasil penelitian yang relevan atau terkait. Kerangka berpikir ini merupakan suatu argumentasi dalam merumuskan hipotesis. Dalam merumuskan suatu hipotesis, argumenasi kerangka berpikir menggunakan logika deduktif (untuk metode kuantitatif) dengan memakai pengetahuan ilmiah sebagai premis-premis dasarnya.

2.6.1 Tahapan Kerangka Pemikiran

