

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dengan semakin menipisnya sumber energy fosil yang tersedia di Indonesia ini, banyak cendekiawan memikirkan solusi untuk mengatasi permasalahan sumber energy fosil tersebut. Salah satu solusi yang ada yaitu dengan memanfaatkan sumber energy baru terbarukan yang ramah lingkungan yaitu sumber energy dari matahari atau bisa disebut tenaga surya. Beberapa penelitian yang membahas mengenai pembangkit listrik yang menggunakan tenaga surya antara lain:

Dari penelitian I B Kd Surya Negara (2016), yang membahas mengenai analisis perbandingan output daya listrik panel surya sistem tracking dengan solar reflektor. Dimana hasil dari penelitian ini nantinya akan dilakukan perbandingan antara output dari sistem tracking dengan sistem solar reflektor. Dari hasil penelitian yang dilakukan solar reflektor dengan sudut 70° menghasilkan output daya listrik yang lebih besar dibandingkan dengan sistem tracking yaitu sebesar 0.1224 Watt dan sistem tracking sebesar 0.1136 Watt.

Sedangkan penelitian dari Reynaldo Hilga Adis Prastica (2016), yang membahas mengenai mengenai analisis pengaruh penambahan reflektor terhadap tegangan keluaran modul solar cell. Dengan menggunakan panel surya sebanyak 3 buah dengan kapasitas masing-masing solar cell sebesar 120 Wp. Dimana peneliti bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan reflektor terhadap tegangan keluaran dari solar cell, dengan sudut kemiringan dari reflektor sebesar 65° , 75° , dan 85° . Dari hasil tegangan keluaran solar cell tanpa reflektor yaitu sebesar 20,4 V sedangkan dengan menggunakan reflektor menghasilkan tegangan 20,7 V dengan sudut kemiringan 75° .

Lalu penelitian dari Anggiat Mangaratua (2016), yang membahas mengenai analisis pengaruh reflektor terhadap intensitas cahaya matahari yang diterima dan daya yang dihasilkan panel surya tetap dan panel surya bergerak. Dari hasil

penelitian menunjukkan hasil daya panel surya bergerak dengan reflektor sebesar 21 Watt, panel surya bergerak tanpa reflektor menghasilkan daya 15,89 Watt, sedangkan panel surya diam dengan reflektor menghasilkan daya sebesar 15,32 Watt, dan panel surya diam tanpa reelector menghasilkan daya sebesar 12,87 Watt. Dari data tersebut didapat panel surya bergerak dengan penambahan reflektor mengalami kenaikan daya hingga 63% dibandingkan panel surya diam tanpa reflektor atau panel surya pada umumnya.

Penelitian dari Rismanto Arif Nugroho (2014), membahas mengenai memaksimalkan daya keluaran sel surya dengan menggunakan cermin pemantul sinar matahari (reflektor). Berdasarkan dari hasil penelitian yang didapatkan bahwa konfigurasi reflektor yang paling optimal yaitu dengan menempatkan pada kedua sisi sel surya dengan sudut kemiringan masing-masing 70° terhadap modul sel surya.

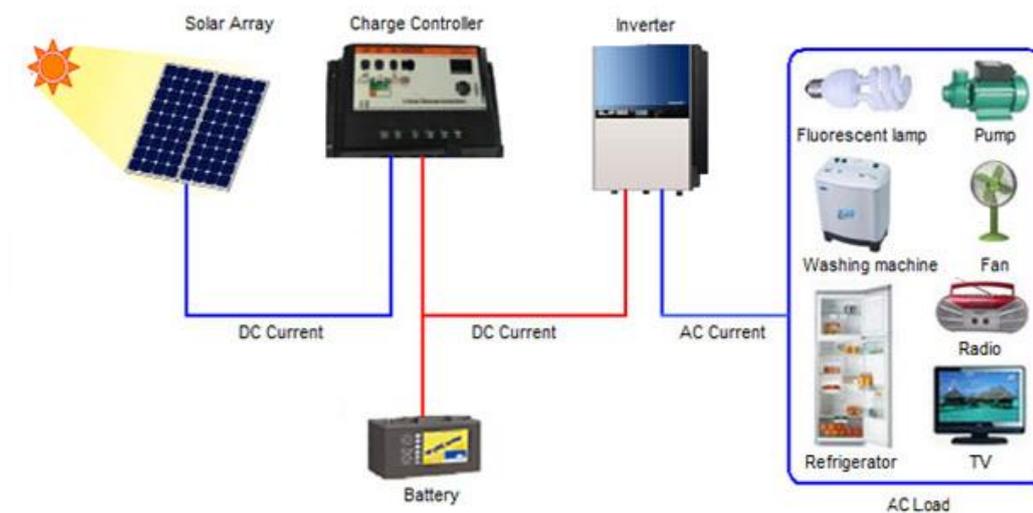
Penelitian dari Muhammad Rizali, membahas dengan judul densitas energi pada panel surya dengan variasi jumlah dan sudut reflektor. Berdasarkan dari hasil penelitian yang didapatkan bahwa Dari variabel sudut kemiringan reflektor didapatkan bahwa sudut yang optimal digunakan untuk mendapatkan daya keluaran yang terbesar adalah 70° . Densitas daya keluaran yang tertinggi didapatkan pada variabel 4 buah reflektor dengan kemiringan 70° , dengan densitas sebesar $1,04 \text{ W/m}^2$, akan tetapi lebih direkomendasikan penggunaan sistem panel surya dengan 2 buah reflektor berseberangan dengan sudut kemiringan 70° untuk keefisienan biaya dan penggunaan lahan/tempat, dengan densitas daya yang cukup tinggi juga, yaitu $0,9935 \text{ W/m}^2$.

Maka dalam penelitian ini penulis akan melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Pemasangan Reflektor Terhadap Performa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada *Home* Industri Batik Sri Sulastrri Bantul ”. Pada penelitian yang dilakukan ini penulis mengambil data dari Home Industri Batik Sri Sulastrri Bantuk Daerah Istimewa Yogyakarta dengan metode yang sudah diterapkan dan akan menganalisa tentang pengaruh pemasangan reflektor pada panel surya.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan suatu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan pancaran matahari dengan menyerap energi radiasi matahari yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Kinerja dari pembangkit ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor di antara yaitu faktor cuaca, faktor lingkungan, dan faktor intensitas matahari. Faktor tersebut sangat mempengaruhi hasil energi keluaran dari pembangkit listrik tenaga surya. Karena itulah pemasangan sel surya harus sangat diperhatikan, supaya bisa meminimalisir gangguan dari faktor-faktor yang ada.



Gambar 2.1 Sistem pembangkit tenaga surya

Pemanfaatan dari sumber energi matahari ini menggunakan pembangkit listrik tenaga surya menghasilkan listrik DC. Untuk dapat memanfaatkan listrik DC agar bisa digunakan untuk kebutuhan lainnya, harus dirubah terlebih dahulu menjadi listrik AC, yaitu dengan menghubungkannya ke *inverter* supaya listrik DC hasil dari panel surya bisa berubah menjadi listrik AC. PLTS akan terus bisa menghasilkan listrik selagi matahari masih bersinar walaupun dalam keadaan mendung sekalipun. PLTS juga bisa dipasang secara mandiri maupun di hybrid dengan pembangkit lain seperti pembangkit tenaga angin.

2.2.2 Sel Surya

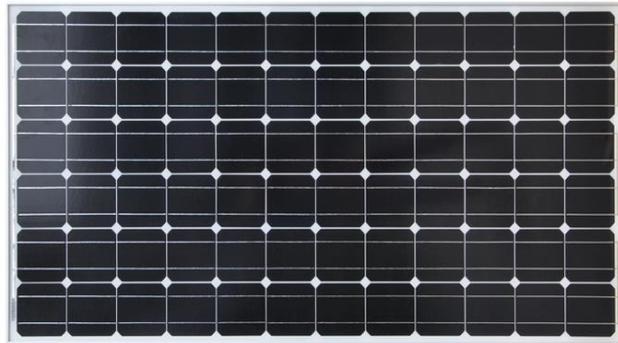
Sel surya merupakan energi terbarukan yang bersumber dari energi foton sinar matahari. Komponen elektroniknya dapat mengubah foton menjadi energi listrik dalam proses yang dinamakan sebagai efek fotovoltaiik. Besarnya energi foton bergantung pada panjang gelombang cahayanya, apabila cahaya yang memiliki energi cukup mengenai semikonduktor, maka elektron yang ada pada medium tersebut akan terlepas dari ikatan energinya dan akan berpindah, sehingga terjadilah aktivitas arus listrik. Lepasnya energi, akibat cahaya yang menyebabkan elektron berpindah inilah yang disebut sebagai efek fotovoltaiik.

Sampai saat ini sudah terdapat banyak jenis sel surya yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti. Secara kronologi sel surya dibagi menjadi tiga generasi, yaitu:

a. Generasi pertama

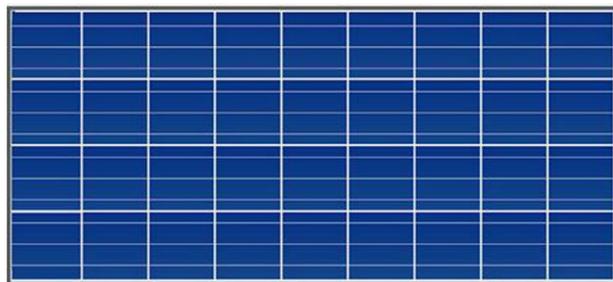
Merupakan sel surya fotovoltaiik yang paling awal digunakan dan masih mendominasi sampai sekarang dengan pangsa pasar mencapai 90%. Solar sel generasi pertama ini terbuat dari bahan material silikon yang kemudian diproses menjadi kristal dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi yang disebut juga dengan *crystalline silicon*. *Crystalline Silicon* terbagi menjadi dua jenis, yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*.

Sel surya jenis *Monocrystalline* memiliki bentuk kristal yang lebih teratur dan biasanya dipakai dalam industri, sel surya *Multicrystalline* dan *amorphous silicon* dengan menghasilkan efisiensi yang relatif tinggi. *Monocrystalline* memiliki nilai efisiensi yang tinggi berkisar antara 17%-20%. Secara fisik sel surya tipe *monocrystalline* mempunyai warna hitam dengan model teropong disetiap sudutnya dan mempunyai harga yang mahal. Selain itu juga sel surya ini kurang berfungsi dengan baik ketika kondisi langit berawan.



Gambar 2.2 Panel Surya Tipe *Monocrystalline*

Sel surya dengan tipe *polycrystalline* memiliki wujud fisik yang berwarna kebiruan. Efisiensi dari sel surya tipe ini juga terbilang lebih rendah dibandingkan dengan sel surya tipe *monocrystalline*. Akan tetapi sel surya tipe ini masih bisa menghasilkan energi listrik meskipun dalam keadaan berawan, dan untuk harganya pun relatif lebih murah dibandingkan dengan tipe *monocrystalline*. Jenis sel surya *polycrystalline* inilah yang banyak digunakan sebagai pembangkit tenaga surya terutama dengan skala kecil.



Gambar 2.3 Panel Surya Tipe *Polycrystalline*

b. Generasi kedua

Sel surya dengan lapisan tipis yang ketebalannya jauh lebih tipis dibandingkan dengan sel surya generasi pertama, yaitu hanya beberapa mikron saja. Lapisan tipis sel surya tipe ini dibuat dari bahan a-Si (*silicon amorphous*), CdTe (*cadmium telluride*), dan CIGS (*Copper Indium Gallium Selenide*). *Silicon amorphous* merupakan bentuk silikon yang lebih sederhana dari silikon kristal, CdTe dan CIGS merupakan alternatif material semikonduktor yang dapat mengkonversi energi *foton* matahari. Pangsa pasar dari sel surya generasi kedua ini hanya 9%.

Kelebihan dari sel surya lapisan tipis ini hanya terletak pada proses pembuatannya yang lebih sederhana dan harga yang lebih murah. Namun, sel surya jenis ini memiliki kekurangan efisiensi yang lebih rendah yaitu hanya sebesar 6-8%, dengan material yang beracun (*Cadmium*) dan langka (*Telluride*). Dengan karakteristik seperti di atas, sel surya lapisan tipis ini tidak cocok untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik, tetapi lebih cocok digunakan pada aplikasi yang murah dan tidak membutuhkan energi besar seperti kalkulator dan jam tangan.



Gambar 2.4 Panel Surya Tipe *Thin film*

c. Generasi Ketiga

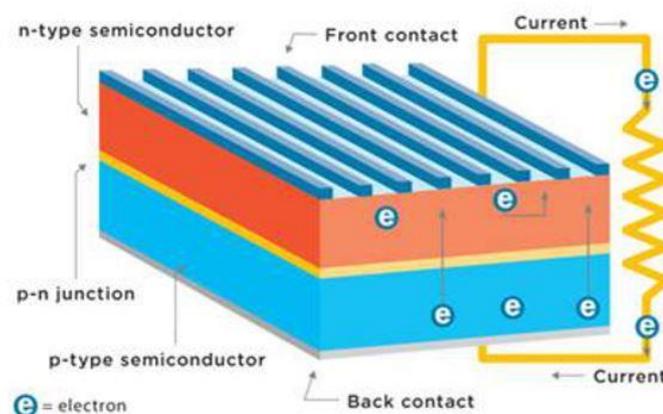
Merupakan generasi terakhir sel surya, dengan status saat ini masih dalam tahap uji coba. Para peneliti mulai mengembangkan sel surya generasi ketiga dengan harapan dapat mengkombinasikan performa sel surya dalam hal efisiensi dan mudah dalam proses pembuatannya, sehingga memiliki kualitas yang lebih baik dari generasi pertama dan lebih murah dari generasi kedua. Sel surya generasi ketiga ini juga menawarkan teknologi yang lebih tipis karena termasuk kategori *Thin film*. Ketiga jenis sel surya dari generasi ketiga yang saat ini banyak dikembangkan adalah jenis *Perovskite*, *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*, menggunakan pewarna sintesis), dan *Organic Photovoltaic (OPV)*, berbahan plastik). Dari ketiga sel surya tersebut, jenis *Perovskite* merupakan sel surya dengan efisiensi paling besar mencapai 22,1%.

2.2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Cahaya matahari yang bersifat seperti kumpulan partikel yang sangat kecil yang disebut juga sebagai energi *foton*, memiliki besar energi tergantung dari panjang gelombang yang dimilikinya, dimana jika cahaya yang mempunyai energi

yang cukup mengenai semikonduktor, elektron yang ada pada medium tersebut akan terlepas dari ikatan energinya dan bergerak/berpindah, sehingga terjadilah aktivitas arus listrik. Lepasnya ikatan energi yang terjadi akibat cahaya yang menyebabkan electron berpindah inilah yang kemudian disebut sebagai efek *fotovoltaik*. Agar menghasilkan elektron yang bebas tersebut maka dipilihlah bahan semikonduktor karena memiliki karakteristik band gap. Band gap sendiri ialah area rentang energi pada suatu medium yang tidak memiliki keberadaan electron. Band gap inilah yang dijadikan sebagai batu loncatan agar electron dapat berpindah.

Sel surya yang terdiri dari lapisan silicon tipe-n (*electron*) dan tipe-p (*Hole*) yang terbentuk dari lapisan silicon murni yang disebut semikonduktor *intrinsik*. Dalam semikonduktor tipe-n terdiri dari ikatan atom yang terdapat electron sebagai penyusun dasarnya, sedangkan semikonduktor tipe-p terdapat muatan positif yang berlebih didalam struktur atomnya. Ketika semikonduktor tipe-n dan tipe-p terhubung, maka electron yang berlebih akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke semikonduktor tipe-p yang kemudian membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n dan kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran electron menuju hole ini, maka terbentuklah medan listrik yang dimana ketika cahaya matahari mengenai susunan lapisan tipe-n dan tipe-p akan mendorong electron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negative dan hole akan bergerak menuju kontak positif.



Gambar 2.5 Cara Kerja Panel Surya

2.2.2.2 Efisiensi sel surya

Untuk mengetahui kinerja sel surya apakah sudah bekerja secara maksimal atau belum, serta mengetahui kualitas dari sel surya maka harus diperhatikan efisiensi dari sel surya. Efisiensi sel surya dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya: *Luas kolektor sel surya* (A_c), *Insolasi matahari* (I), dan *Daya kolektor* yang dimiliki oleh sel surya. Berikut perhitungan matematisnya:

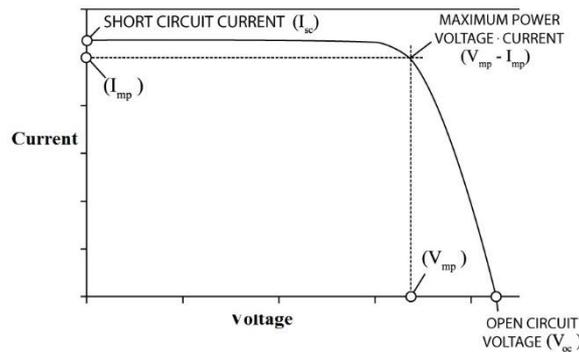
$$np = \frac{(IV)_{max}}{I * A_c} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana, np = Efisiensi fotofoltaik
 $(IV)_{max}$ = Daya kolektor maksimum (Watt)
 I = Insolasi matahari (W/m^2)
 A_c = Luas kolektor fotofoltaik (m^2)

Efisiensi dari sel surya sangat bergantung dengan nilai *Peak Sun Hour* (PSH). Dimana PSH ini sangat dipengaruhi oleh lingkungan, lamanya sinar matahari dan kecerahan suatu tempat.

2.2.2.3 Performa dari panel surya

Daya maksimum (Peak power) didapat ketika sel surya mencapai titik tertinggi antara tegangan yang dihasilkan (P_{mak}) dan arus yang dihasilkan (I_{mak}). Didalam sel surya juga terdapat *Arus short circuit* (I_{sc}) dan *Tegangan open circuit* (V_{oc}). Dimana dalam hal ini I_{sc} terjadi ketika tidak ada tegangan yang mengalir (tegangan mendekati nol), begitu juga dengan V_{oc} terjadi ketika tidak ada arus yang mengalir (arus mendekati nol). Karakteristik tersebut dapat dijelaskan melalui kurva arus terhadap tegangan (I-V) yang dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Sel Surya

Saat sel surya terpancar oleh cahaya matahari, kutub positif dan kutub negatif sel surya diukur dengan menggunakan *multimeter* untuk mengukur tegangan. Saat dilakukan pengukuran tidak dihubungkan ke beban, sehingga arus yang mengalir nol. Keadaan inilah yang kemudian dinamakan *open circuit voltage* (V_{oc}). Ketika sel surya diberi beban, maka sel surya akan mengisi baterai yang terhubung di antara kedua terminal, dan tegangan sel surya akan turun dari tegangan *open circuit* (V_{oc}).

Ketika menggunakan beban *parallel* maka arus yang mengalir justru akan bertambah besar sementara tegangan akan mengecil. Pada kedua terminal sel surya apabila dihubungkan secara langsung, maka akan menghasilkan tegangan nol. Dari hal tersebut, dapat diketahui arus maksimum dari sel surya dengan cara diukur menggunakan *amperemeter*, hal inilah yang dinamakan *short circuit current* (I_{sc}).

Untuk menghasilkan tegangan listrik pada sel surya, maka harus ada tegangan dan arus, dan untuk menghasilkan *Daya maksimum* maka arus dan tegangannya harus maksimum.

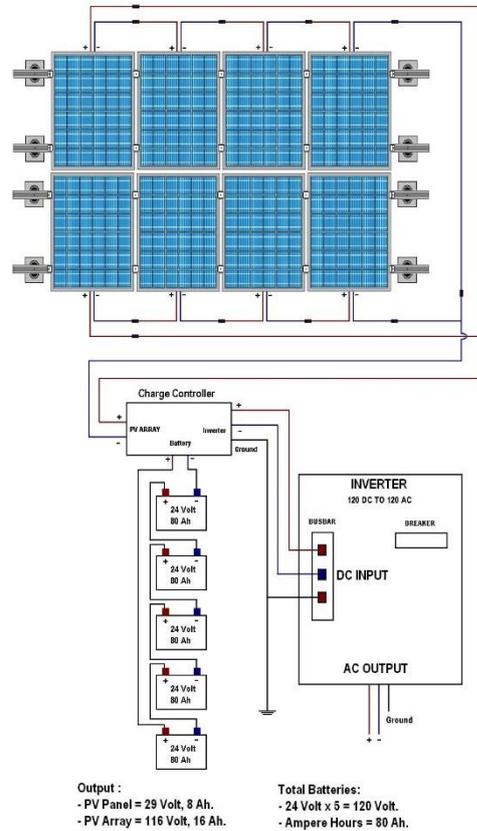
2.2.2.4 Sistem instalasi Sel Surya

Instalasi dalam sel surya terdiri dari dua system yaitu instalasi rangkaian seri dan instalasi rangkaian parallel.

a. Sel surya dengan instalasi seri

Instalasi rangkaian seri pada sel surya, yaitu kutub positif (+) panel surya pertama dihubungkan dengan kutub negatif (-) panel surya kedua, dan

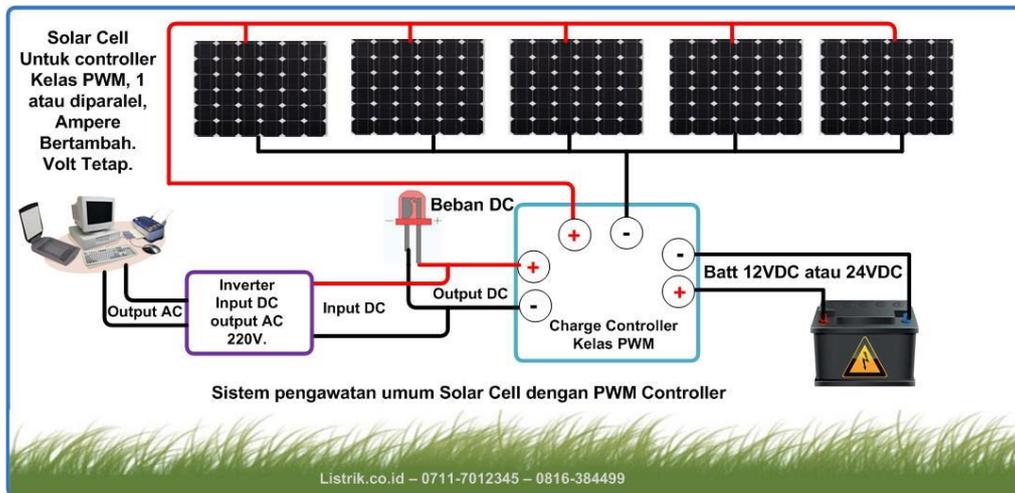
kutub positif (+) panel surya kedua dihubungkan dengan kutub negatif (-) panel surya ketiga begitu seterusnya.



Gambar 2.7 Panel Surya Dengan Instalasi Seri

b. Sel surya dengan instalasi parallel

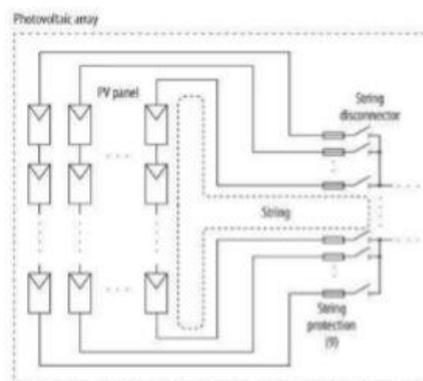
Instalasi parallel pada sel surya, yaitu kutub positif (+) sel surya pertama dihubungkan dengan kutub positif (+) sel surya kedua, begitu juga dengan kutub negatifnya. Kutub negatif (-) sel surya pertama dihubungkan dengan kutub negatif (-) sel surya kedua begitu seterusnya.



Gambar 2.8 Panel Surya Dengan Instalasi Paralel

Beberapa sel surya ada yang disusun secara seri supaya meningkatkan tegangan agar sesuai dengan spesifikasi *input* dari *charge controller*. Rangkaian dengan model ini dinamakan *PV string*.

PV string diparalel agar meningkatkan daya sesuai kebutuhan yang akan dipasang. Sebelum masuk ke *charge controller* sel surya akan diproteksi terlebih dahulu dalam panel yang dinamakan *combiner box*. Di dalam *combiner box* terdapat fuse yang akan memproteksi setiap string, *arrester* untuk memproteksi dari petir, *MCCB*, dan proteksi lainnya.



Gambar 2.9 PV array yang disusun secara paralel

2.2.2.5 Komponen-komponen pendukung PLTS

Pada system pembangkit tenaga surya juga terdapat komponen-komponen pendukung agar system kelistrikannya dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Setiap komponen pendukung yang ada pastinya mempunyai

fungsinya masing-masing, berikut beberapa komponen pendukung yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya:

1. *Solar Charge Controller (SCC)*

Solar charge controller (SCC) merupakan komponen elektronik dalam system PLTS yang berfungsi mengatur arus dari panel surya yang menuju ke baterai dan juga mengatur tegangan yang menuju ke baterai agar tegangan pada baterai tetap stabil agar tidak terjadi *over charging* atau *over voltage*.

Fungsi dari SCC yaitu saat tegangan pengisian baterai telah penuh, maka SCC akan menghentikan arus yang masuk kedalam baterai dan arus akan langsung disalurkan ke beban. Saat tegangan baterai hampir kosong (10% sisa tegangan baterai) maka SCC akan menghentikan pengambilan arus dari baterai oleh beban, sehingga menjaga kerusakan pada sel-sel baterai.

SCC terbagi menjadi 2 jenis yaitu:

a. *Pulse Wide Modulation (PWM)*

PWM pada SCC menggunakan lebar *pulse* dari *on* dan *off* elektrikan, sehingga akan terbentuk *sine wave electrical form*. PWM juga mampu melakukan penyesuaian dengan tegangan kerja baterai, sehingga apabila tegangan dari panel surya berada dibawah tegangan baterai, maka energi dari panel surya tidak akan mengisi ke baterai.



Gambar 2.10 Solar Charge Controller PWM

b. **Maximum Power Point Tracker (MPPT)**

MPPT pada tipe SCC ini mampu memaksimalkan pengisian baterai lebih besar, dikarenakan SCC jenis ini mempunyai kemampuan untuk mendeteksi daya yang sangat kecil yang dihasilkan dari panel surya.

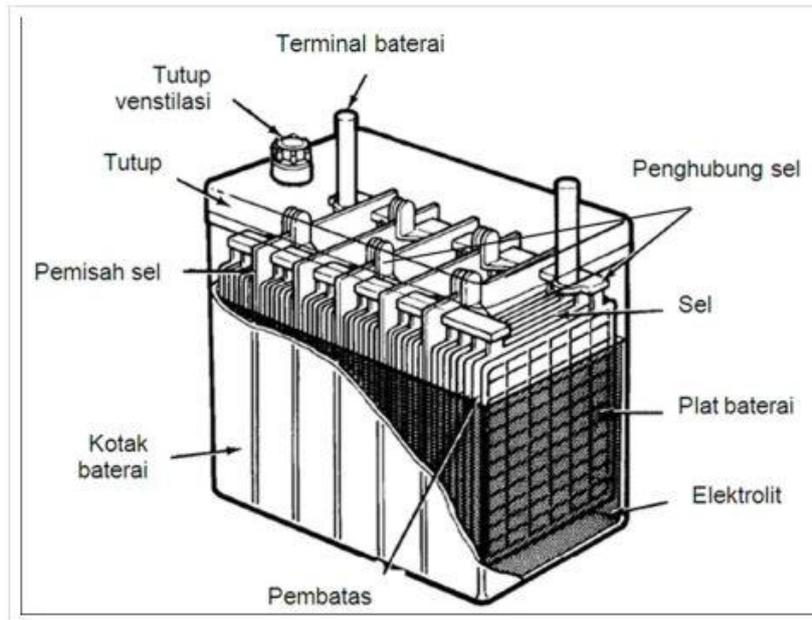


Gambar 2.11 Solar Charge Controller MPPT

Dari kedua jenis SCC yang sudah dijelaskan diatas, jenis SCC yang paling sering digunakan dalam pembangkit listrik tenaga surya adalah jenis SCC MPPT. Karena memiliki keunggulan yaitu mampu mendeteksi daya sekecil apapun yang dihasilkan oleh panel surya.

2. Baterai

Baterai atau accu (aki) merupakan suatu komponen listrik yang sering digunakan dalam penyimpanan energi listrik pada system PLTS. Baterai (aki) merupakan komponen elektrokimia yang mampu menghasilkan tegangan dan menyakurkannya ke rangkaian listrik. Sampai saat ini baterai (aki) merupakan sumber energi listrik yang digunakan dalam peralatan elektronik, kendaraan, maupun dalam pembangkit tenaga listrik.



Gambar 2.12 Baterai

Dalam penggunaannya, baterai dibagi menjadi 2 macam:

a. Baterai Primer (Baterai sekali pakai)

Baterai primer (Baterai sekali pakai) merupakan jenis baterai yang hanya bisa digunakan satu kali. Karena ketika digunakan material yang berasal dari salah satu elektroda akan larut dalam elektrolit dan tidak bisa dipakai kembali.

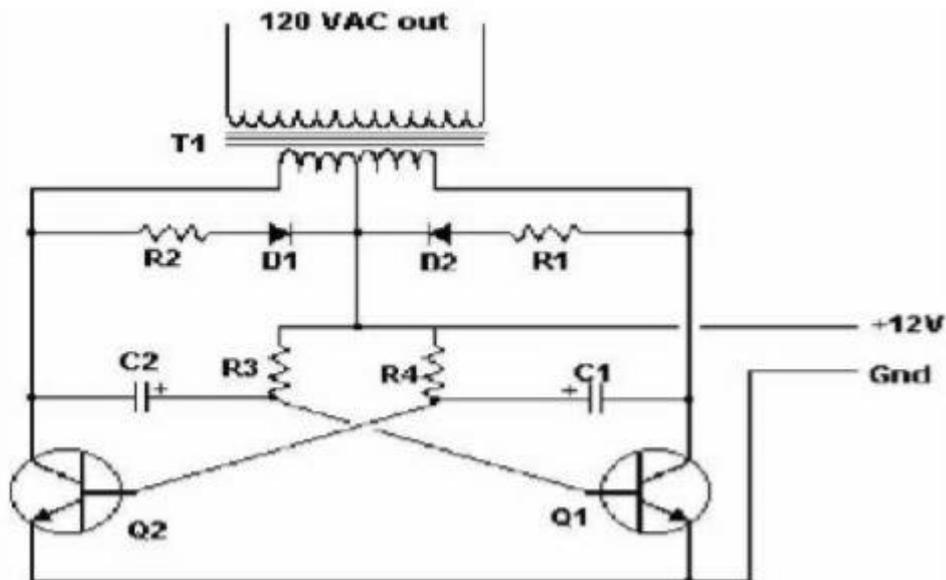
b. Baterai Sekunder (Baterai Isi Ulang)

Baterai sekunder (baterai isi ulang) merupakan jenis baterai yang berkebalikan dengan jenis baterai primer, dimana pada baterai sekunder ini dapat digunakan kembali atau diisi kembali ketika energi listrik yang ada pada baterai sudah hampir habis. Jenis baterai sekunder inilah yang banyak digunakan dalam penyimpanan energi pada system pembangkit listrik tenaga surya. Dikarenakan dapat terus di charge secara berulang-ulang oleh energi dari pembangkit listrik tenaga surya.

3. Inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengubah (mengkonversi) tegangan satu arah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter sendiri merupakan kebalikan dari converter yang mengubah

tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan satu arah (DC). Tegangan keluaran dari inverter inilah yang nantinya akan digunakan sebagai suplay untuk menyalakan beban AC pada system PLTS.



Gambar 2.13 Skematik Rangkaian Inverter

2.2.3 Radiasi Sinar Matahari

Radiasi sinar matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Spektrum radiasi matahari sendiri terdiri dari dua buah gelombang yaitu, sinar bergelombang pendek dan sinar bergelombang panjang. Contoh sinar gelombang pendek yaitu sinar x, sinar gamma, dan sinar ultra violet, sedangkan sinar gelombang panjang yaitu sinar infra merah. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi radiasi matahari, diantaranya:

1. Jarak matahari, yaitu dimana setiap perubahan jarak bumi dengan matahari akan menimbulkan perbedaan terhadap penerimaan energi matahari.
2. Intensitas radiasi matahari, yaitu besar kecilnya sudut datang dari sinar matahari yang menuju pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima akan berbanding lurus dengan besarnya sudut datang sinar. Sinar datang dengan sudut yang miring akan kurang memberikan energi pada permukaan bumi, disebabkan karena energi yang dipancarkan akan tersebar pada permukaan

yang luas dan juga sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus.

3. Panjang hari, yaitu jarak dan lamanya antara matahari terbit hingga matahari terbenam.
4. Pengaruh atmosfer, yaitu dimana sinar yang melalui atmosfer sebagian akan diadsorpsi oleh gas-gas, debu dan uap air, dan akan dipantulkan kembali, dipancarkan dan sisanya diteruskan ke permukaan bumi.

Radiasi matahari yang masuk ke bumi disebut dengan insolasi. Hampir 99 % energi radiasi matahari akan berada di daerah gelombang pendek, yaitu antara 0,15 μm dan 4,0 μm , sehingga radiasi matahari disebut juga dengan radiasi gelombang pendek. Radiasi matahari yang menuju ke permukaan bumi akan mengalami penyerapan (absorpsi), pemantulan, dan pemancaran kembali.

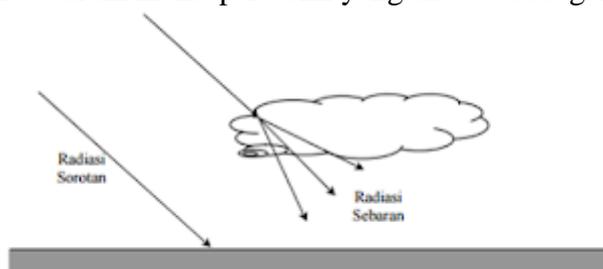
2.2.3.1 Radiasi Matahari Pada Permukaan Bumi

Radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi, terdiri dari tiga cara, diantaranya:

- a. Radiasi langsung (Beam/Direct Radiation) Adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang.
- b. Radiasi hambur (Diffuse Radiation) Adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan.
- c. Radiasi total (Global Radiation) Adalah penjumlahan radiasi langsung (direct radiation) dan radiasi hambur (diffuse radiation) dan bagian yang baur. Radiasi langsung datang dari arah matahari dan memberikan bayangan yang kuat pada benda. Sebaliknya radiasi baur yang tersebar dari atas awan tidak memiliki arah yang jelas tergantung pada keadaan awan dan hari tersebut (ketinggian matahari), baik daya pancar maupun perbandingan antara radiasi langsung dan baur.

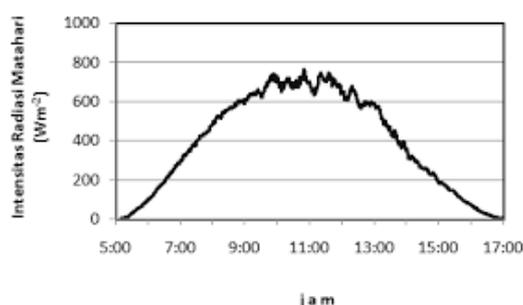
Radiasi matahari yang berada di luar atmosfer bumi sering disebut dengan konstanta radiasi matahari, yang nilainya adalah sebesar 1353 W/m² dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. *Ozon* pada atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang

pendek (ultraviolet), sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran.



Gambar 2.14 Radiasi matahari pada permukaan bumi

Besarnya radiasi harian yang diterima pada permukaan bumi ditunjukkan grafik pada gambar 2.15 dapat dilihat bahwa pada pagi hari dan sore hari intensitas radiasi matahari yang sampai pada permukaan bumi kecil. Hal ini dikarenakan arah sinar datang matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi, sehingga sinar matahari mengalami difusi oleh atmosfer bumi.



Gambar 2.15 Grafik Radiasi Matahari

2.2.3.2 Keunggulan dan Kelemahan Pemanfaatan Energi Matahari

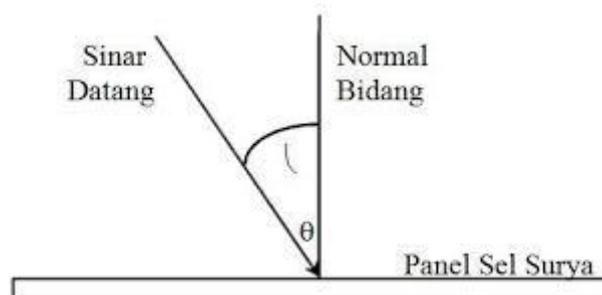
Energi matahari merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon yang berbahaya yang dapat menyebabkan perubahan iklim seperti pada bahan bakar fosil. Setiap watt energi yang dihasilkan oleh matahari itu akan sama dengan pengurangan energi dengan bahan bakar fosil. Lebih banyak energi matahari yang kita gunakan, maka akan semakin sedikit kita bergantung pada bahan bakar fosil. Yang berarti akan meningkatkan ketahanan dan

keamanan energi, karena akan mengurangi kebutuhan impor minyak dari pihak asing.

Dengan segala keunggulannya, ternyata dalam pemanfaatannya energi matahari masih memiliki beberapa kelemahan, diantaranya harga peralatan panel surya yang sangat mahal dan tidak sebanding dengan daya keluaran yang dihasilkan. Untuk itu sangat perlu dilakukan peningkatan efisiensi dari daya keluaran panel surya. Dalam penelitian kali ini, penulis akan mencoba meningkatkan efisiensi dari daya keluaran panel surya dengan membuat panel surya yang dapat bergerak dinamis mengikuti arah sinar matahari. Selain dengan membuatnya dapat bergerak bebas, penulis juga akan menambahkan reflektor pada sisi panel untuk memaksimalkan sinar matahari agar mengenai badan panel surya tersebut.

2.2.4 Pengaruh Sudut Datang terhadap Radiasi yang diterima

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari daya keluaran panel surya, perlu diperhatikan sudut dan arah panel tersebut, maupun reflektornya. Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (angle of incidence) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



Gambar 2.16 Arah Sinar Datang Membentuk Sudut Terhadap Nominal Bidang

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut θ seperti gambar 2.16 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor $\cos \theta$.

$$I_r = I_{r_0} \cos \theta \dots\dots\dots$$

(2.2)

Dimana : I_r : Radiasi yang diserap panel
 I_{r_0} : Radiasi yang mengenai panel
 $\cos \theta$: Sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel

2.2.5 Energi dan Daya

Daya listrik yang dihasilkan dari sel surya merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.2, sedangkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan selama titik pengujian ditunjukkan pada persamaan 2.3, berikut persamaannya:

$$P = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots$$

(2.3)

Dimana : P : Daya
 V_{oc} : Tegangan (Volt)
 I_{sc} : Arus (Ampere)
 FF : Fill Factory

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \dots\dots\dots$$

(2.4)

Sedangkan untuk menentukan daya rata-rata yang dapat dibangkitkan panel surya dapat digunakan persamaan 2.4 dibawah ini.

$$\text{Prerata} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : Prerata : daya rata-rata (Watt)
 P_1 : pengukuran ke-dua
 P_2 : pengukuran ke-tiga
 P_n : pengukuran ke-n
 n : banyaknya pengukuran

Untuk mengetahui besarnya persentase peningkatan daya output yang terjadi, dapat dilakukan perbandingan daya output sesuai dengan persamaan di bawah ini :

$$\%Pout_2 = \left[\frac{Pout_2 - Pout_1}{Pout_1} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

$\%Pout_2$ = Persentase peningkatan $Pout_2$ terhadap $Pout_1$

$Pout_1$ = Daya output pada panel surya pertama

$Pout_2$ = Daya output pada panel surya kedua

Penelitian ini akan dilakukan dalam 2 tahapan.

Tahapan Pertama

Sudut deklinasi matahari berpengaruh pada perhitungan sudut reflektor di panel surya. Hal ini dikarenakan sudut deklinasi matahari yang menyebabkan matahari tidak selalu terbit pada timur absolut (0^0). Besar sudut selisih antara inti bumi dan inti matahari ini dinamakan sudut deklinasi yang dapat dicari dengan persamaan :

$$d = 23.5 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

d = besar sudut deklinasi

n = hari dalam tahun, contoh : 1 januari n = 1 ; 31 desember n= 365 ; 15 febuari n = 46 (jumlah hari dalam bulan januari = 31 hari dan jumlah hari pada 15 februari = 15 hari, jadi n = 31+15 = 46).

Penempatan reflektor sebisa mungkin berada pada sudut maksimum dimana tidak muncul bayangan reflektor di sepanjang hari/sepanjang tahun. Dengan mengasumsikan bahwa orientasi panel surya netral (tilt angle panel surya 0^0), maka sudut optimal penempatan reflektor 2 sisi (φ) adalah:

$$\varphi = 90^0 - d_{max} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana d_{max} = sudut deklinasi maksimum

Setelah perhitungan sudut optimal, maka dilakukan pengaplikasian sudut optimal tersebut terhadap reflektor pada panel surya.

Tahapan Kedua

Pada tahapan ketiga dilakukan pengukuran di ruang terbuka yang memiliki akses matahari langsung, yang juga membandingkan daya output beban panel surya dalam kondisi standar dan panel surya dengan penambahan reflektor dengan sudut optimal yang telah didapat dari tahapan 1.

Data-data yang akan diukur pada tahap pertama ini adalah:

- a. Besar tegangan (V) dan arus (I) beban pada panel surya kondisi standar dan panel surya yang telah diberi reflektor cermin datar.
- b. Intensitas radiasi matahari

