

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik merupakan energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Dari kebutuhan yang sifatnya mendasar seperti untuk kebutuhan rumah tangga hingga untuk kebutuhan komersial, hampir semuanya membutuhkan energi listrik. Tetapi saat ini, ketersediaan sumber energi listrik tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia. Terjadinya pemutusan sementara dan pembagian energi listrik secara bergilir merupakan dampak dari terbatasnya energi listrik yang dapat disalurkan oleh PLN.

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi listrik adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Hal ini dikarenakan energi fosil yang ada, jumlahnya terbatas dan energi fosil ini juga merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui, jadi butuh jutaan tahun untuk menciptakannya. Karena kelangkaan tersebut, tentu saja akan berdampak terhadap segi ekonominya. Keterbatasan tersedianya sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik, telah mendorong penelitian dan pengembangan kearah penggunaan sumber energi alternative, salah satunya adalah sumber energi matahari. Potensi dari sumber matahari dapat memberikan sumbangan yang besar, bila dapat dimanfaatkan secara optimal dengan mendesain suatu system pengubah energi yang dapat mensuplai kebutuhan energi. Penggunaan sumber energi matahari ini mempunyai beberapa keuntungan antara lain tersedianya sumber energi yang cuma cuma. ramah lingkungan sehingga bebas polusi, dan tak terbatas. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian yang lebih detail untuk memahami sistem listrik yang berasal dari sumber energi matahari ini. Khususnya pada system solar cell 260WP yang dimiliki Universitas HKBP Nommensen Medan.

Satu masalah yang muncul pada penggunaan energi matahari ini adalah energi yang dihasilkan berubah ubah tergantung pada musim dan lingkungan. Hal ini akan sangat dirasakan pada daerah daerah dimana intensitas mataharinya berubah ubah secara ekstrim. Oleh karena itu dibutuhkan suatu system penyimpanan energi yaitu accumulator atau baterai. Energi matahari yang

dihasilkan dari matahari dapat digunakan untuk mencharging daya ke accumulator untuk selanjutnya dari accumulator tersebut dapat digunakan untuk mencatu beban. Dengan latar belakang tersebut, penulis berupaya untuk menganalisis kerja system PLTS Universitas HKBP Nommensen Medan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini yaitu bagaimana cara kerja, seberapa besar pengaruh intensitas cahaya matahari untuk mendapatkan tegangan dan arus yang dihasilkan PLTS dan inverter, bagaimana penyimpanan pada baterai, serta mengapa pemasangan PLTS dipasang secara seri.

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar tegangan dan arus yang dihasilkan PLTS, dan seberapa besar pengaruh intensitas cahaya matahari untuk mendapatkan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh 2 PLTS 130WP seri pada Universitas HKBP Nommensen Medan.

## **1.4 Batasan Masalah**

Agar permasalahan yang ditinjau tidak meluas, maka peneliti memberi batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengukuran intensitas cahaya matahari.
2. Pengukuran besar tegangan output solar cell.
3. Pengukuran tegangan baterai.
4. Pengukuran tegangan yang dihasilkan inverter.
5. Pengukuran arus output inverter.

Adapun yang tidak dibahas penulis dalam tugas akhir ini diantaranya :

1. Teknologi Pembuatan Panel Surya Tidak Dibahas Dalam Tugas Akhir Ini
2. Tidak meneliti pengaruh bayangan, posisi panel, dan kotoran atau debu yang menutupi permukaan panel surya terhadap output dari panel surya tersebut.

## **1.5 Metodologi Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif yaitu dengan melakukan penelitian langsung ke lapangan, analisis data dan kesimpulan data sampai dengan penulisannya mempergunakan aspek pengukuran, perhitungan, rumus dan kepastian data numerik. Data hasil penelitian akan menggambarkan kerja dari PLTS di Universitas HKBP Nommensen Medan, kemudian data tersebut akan dievaluasi. Instrumen penelitian yang digunakan berupa data pengukuran intensitas radiansi matahari, arus yang dihasilkan oleh modul surya dan tegangan yang dihasilkan oleh modul surya.

#### 1. Studi Literatur.

Yaitu dengan mempelajari buku-buku referensi yang tersedia dari media cetak maupun internet dan juga ataupun catatan kuliah yang mendukung untuk penulisan tugas akhir ini.

#### 2. Pengambilan Data.

Adapun pengambilan data dilakukan dengan mengambil data-data solar cell dari Universitas HKBP Nommensen Medan.

### **1.6 Kontribusi Tugas Akhir**

Dari hasil perancangan yang telah dilakukan diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada :

1. Mahasiswa Teknik Elektro Universitas HKBP Nommensen.
2. Peneliti bidang pembangkit listrik terbarukan.
3. Dapat bermanfaat bagi penggunaan solar cell rumahan.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan sebagai berikut:

**BAB I : PENDAHULUAN**

Terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, maksud penelitian dan sistematika penulisan.

**BAB II : LADASAN TORI**

Membahas tentang teori dasar dari beberapa referensi yang mendukung serta mempunyai relevansi dengan penelitian ini.

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Berisikan metoda penelitian.

**BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Berisikan uraian analisis dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh.

**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang dilakukan.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### **Energi Terbarukan**

Energi alternatif terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis. Indonesia merupakan salah satu negara dengan kawasan yang memiliki banyak sumber energi alam yang dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk pembangkitan energi listrik.

Upaya-upaya eksplorasi untuk membangkitkan energi listrik sangat penting untuk dilakukan terutama dalam mengatasi krisis energi listrik yang sedang melanda negara kita. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pembangkitan energi listrik adalah menghasilkan energi yang cukup besar, biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Mengingat negara Indonesia berada pada garis khatulistiwa dengan pancaran sinar matahari yang cukup banyak sepanjang tahun, maka salah satu sumber energi yang bagus untuk dikembangkan adalah energi matahari. Pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit listrik telah banyak dilakukan dengan menggunakan panel surya.

Matahari adalah suatu bola dari awan gas dengan suhu yang sangat panas. Diameter bola matahari adalah  $1,39 \times 10^6$  km, sedangkan jauh rata-rata dengan bumi adalah  $15 \times 10^7$  km. Matahari berputar pada sumbunya dengan kecepatan sekali putar dalam empat minggu. Karena matahari terdiri dari kumpulan awan gas dan tidak solid maka bagian ekuatorialnya berputar sekali dalam 27 hari sedangkan kutub-kutubnya berputar sekali dalam 30 hari. Suhu efektif pada permukaan besarnya  $5760^\circ$  K. sedang pada inti temperaturnya dapat mencapai lebih kurang  $8 \times 10$  sampai dengan  $40 \times 10^\circ$  K. (Pudjanarsa Astu, Djati Nursubud Mesin Konversi Energi, edisi pertama, Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta 2006.)

Suatu teori yang akhir-akhir ini dapat diterima para ahli mengatakan bahwa radiasi gelombang elektromagnetik merupakan kombinasi dari gelombang elektrik

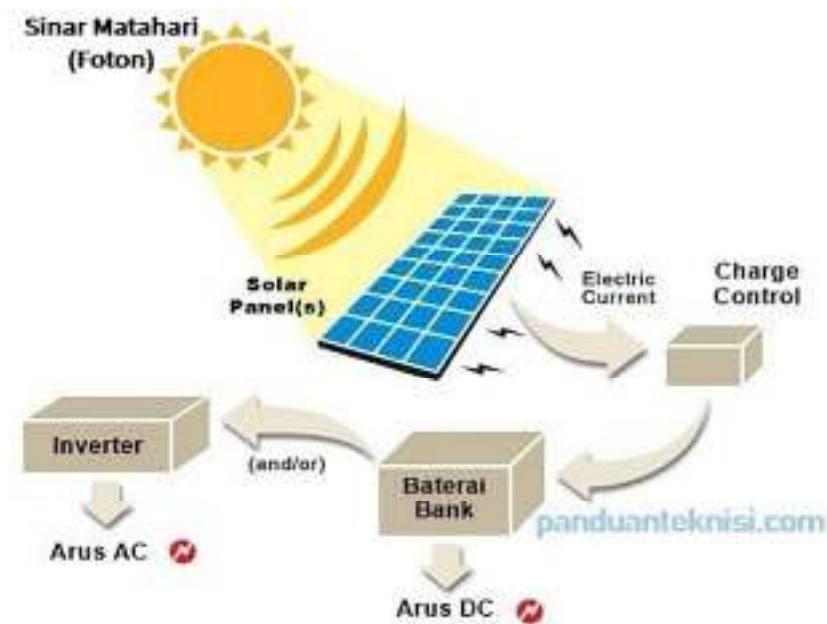
arus bolak-balik berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnet yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk foton. Gelombang energi yang memancar melalui ruangan angkasa memberikan pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Radiasi gelombang elektromagnetik dikelompokkan pada panjang gelombang yang memberikan rangsangan energi yang lebih besar dimana semakin pendek panjang gelombangnya semakin besar energinya. Radiasi yang dipancarkan melalui permukaan matahari mempunyai variasi panjang gelombang dari yang paling panjang (gelombang radiasi) sampai yang paling pendek (gelombang sinar X dan sinar gamma). Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang dapat diserap oleh bumi. Menurut pengukuran yang dilakukan oleh badan luar angkasa Amerika Serikat NASA (National Aeronautics and Space Administration) melalui misi ruang angkasanya pada tahun 1971, diperoleh data tentang besaran konstanta matahari yang harganya sama dengan  $1353 \text{ Watt/m}^2$ . Dari besaran tersebut 7,85% atau  $105,8 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan melalui sinar ultraviolet, 47,33% atau  $640,4 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan oleh sinar yang dapat dilihat oleh manusia dan 44,85% atau  $606,8 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan oleh sinar infra merah.

Pada dasarnya energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara  $1308 \text{ Watt/m}^2$  dan  $1398 \text{ Watt/m}^2$ . Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun, maka energi yang dapat diserap oleh bumi besarnya adalah  $751 \times 10 \text{ kW/-jam}$ . Sumber energi berjumlah besar dan kontinu terbesar yang tersedia bagi umat manusia adalah energi surya dan energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari.

### **Panel Surya**

Panel surya merupakan perangkat yang secara khusus diciptakan untuk menangkap sinar matahari dan mengkonversikannya secara langsung menjadi energi listrik. Panel surya dapat dianalogikan sebagai perangkat dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya ia

akan berfungsi seperti diode karena saat tidak ada cahaya matahari, tegangan baterai akan lebih besar dibandingkan tegangan panel surya. Tegangan pada baterai ini memungkinkan akan mengirimkan tegangan kembali ke panel surya, disinilah fungsi bloking diode untuk melindungi tegangan baterai habis, sedangkan ketika mendapatkan sinar matahari mereka akan menghasilkan tegangan yang akan mengisi baterai.



Gambar 2. 1 Sistem kerja PLTS

Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0.5-1 volt. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi. Inilah alasan kenapa kemudian sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dan 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Modul surya tersebut kemudian dapat digabungkan secara paralel atau ser untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu.

Seiring dengan perkembangan sains dan teknologi, saat ini beragam jenis teknologi panel surya pun terus berkembang. Seiring perkembangannya, struktur atau bagian bagian penyusun sel juga cenderung mengalami penyempurnaan

Struktur dari sel surya komersial yang menggunakan material silikon sebagai semikonduktor. Berikut ini adalah komponen panel surya dan fungsinya:

#### 1. Substrat

Ini adalah material yang menopang seluruh komponen panel surya. Material substrat harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena ia juga akan berfungsi sebagai kontak terminal positif panel surya. Umumnya material yang digunakan adalah metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk panel surya dye-sensitized (DSSC) dan panel surya organik, substrat ini juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya.

#### 2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari panel surya yang mempunyai lapisan tipis. Adapun fungsi dari material semikonduktor ini adalah untuk menyerap cahaya dan sinar matahari. Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk p-n junction. Selain substrat sebagai kontak positif, pada permukaan material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal transparan sebagai kontak negative.

#### 3. Lapisan antireflektif

Material anti-refleka adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimalkan cahaya yang dipantulkan kembali. Adapun fungsi dari lapisan antireflektif ini adalah untuk mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor.

#### 4. Enkapsulass

Enkapsulasi merupakan bagian yang berfungsi untuk melindungi modul surya dan hujan atau kotoran.

### **Rangkaian Ekvivalen Sel Surya**

Parameter sirkuit adalah sebagai berikut. Arus  $I$  pada terminal keluaran sama dengan arus yang dihasilkan cahaya  $I_L$ , dikurangi  $I_d$  arus dioda dan arus bocor shunt  $I_{sh}$ . Resistansi seri  $R_s$  mewakili resistansi internal terhadap aliran arus, dan tergantung pada kedalaman sambungan pn, pengotor, dan resistansi kontak. Resistansi shunt  $R_{sh}$  berbanding terbalik dengan arus bocor ke ground. Dalam sel



PV yang ideal,  $R_s = 0$ , dan  $R_{sh} = \infty$ . Dalam sel silikon 1 in.2 berkualitas tinggi yang khas,  $R_s$  bervariasi dari 0,05 hingga 0,10 dan  $R_{sh}$  dari 200 hingga 300 . Efisiensi konversi PV sensitif terhadap variasi kecil dalam  $R_s$ , tetapi tidak sensitif terhadap variasi dalam  $R_{sh}$ . Peningkatan kecil dalam  $R_s$  dapat menurunkan output PV secara signifikan. Dalam rangkaian ekuivalen, arus yang dikirim ke beban eksternal sama dengan arus  $I_L$  yang dihasilkan oleh penerangan, dikurangi  $I_d$  arus dioda dan arus bocor shunt  $I_{sh}$ . Tegangan rangkaian terbuka  $V_{oc}$  sel diperoleh ketika arus beban adalah nol, yaitu, ketika  $I = 0$ , dan diberikan sebagai berikut:

$$V_{oc} = V + IR_{sh} \quad (2.1)$$

$$I_d = I_D \left[ e^{\frac{qV_{oc}}{AKT}} - 1 \right] \quad (2.2)$$

Dengan:

$I_D$  = arus saturasi dioda

$Q$  = muatan elektron =  $1,6 \times 10^{-19}$  C

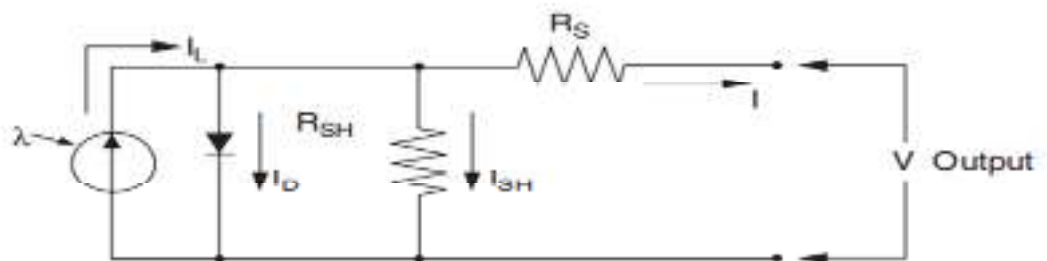
$A$  = konstanta pemasangan kurva

$k$  = Konstanta Boltzmann =  $1,38 \times 10^{-23}$  J/°K

$T$  = suhu pada skala mutlak °K

Oleh karena itu, arus beban dapat ditentukan dengan persamaan :

$$I = I_L - I_D \left[ e^{\frac{qV_{oc}}{AKT}} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (2.3)$$



Gambar 2. 2 Rangkaian ekuivalen sel surya

## Rangkaian Dan Struktur Dasar Serta Simbol Sel Surya

Seperti Baterai, sel surya juga dapat dirangkai secara seri maupun paralel. Pada umumnya, setiap sel surya menghasilkan tegangan sebesar  $0,45 \sim 0,5V$  dan arus listrik sebesar  $0,1A$  pada saat menerima sinar cahaya yang terang. Sama halnya dengan baterai, sel surya yang dirangkai secara seri akan meningkatkan tegangan (voltage) sedangkan sel surya yang dirangkai secara Paralel akan meningkatkan arus (current).

Terdapat perbedaan pada panel surya yang dirangkai seri dengan panel surya yang dirangkai paralel diantaranya:

### a. Panel Surya Seri

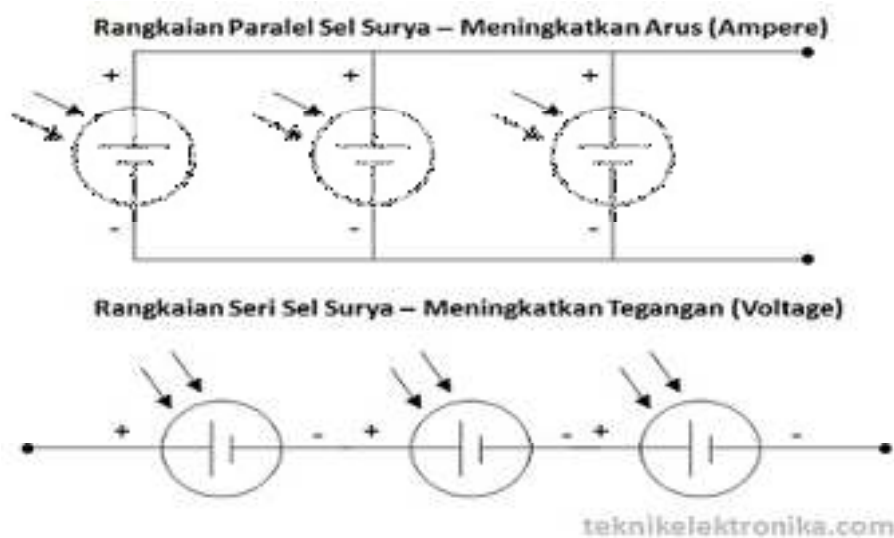
Panel surya seri adalah panel surya yang komponennya disusun secara sejajar hanya melalui satu jalur aliran listrik. Arus yang mengalir adalah sama besar pada masing-masing beban. Sedangkan tegangan bertambah sesuai jumlah tegangan yang keluar dari sumber listrik. Kelebihan panel surya seri yaitu Lebih hemat biaya karena tidak diperlukan banyak kabel tambahan, analisa kerusakan lebih cepat, lebih efisien dalam menghantarkan arus listrik, arus yang mengalir pada masing masing beban / komponen adalah sama. Sedangkan kekurangan panel surya seri yaitu Jika salah satu komponen atau beban di rangkaian mati maka keseluruhan rangaian akan mati total atau dengan kata lain arus listrik akan terhenti, hambatan /resistansi rangkaian seri itu sendiri menjadi lebih besar karena merupakan jumlah total hambatan beban yang ada, pada penggunaan lampu misalnya lampu listrik AC, lampu akan menyala tetapi tidak bersinar dengan terang yang sama karena adanya perbedaan tegangan.

### b. Panel Surya Paralel

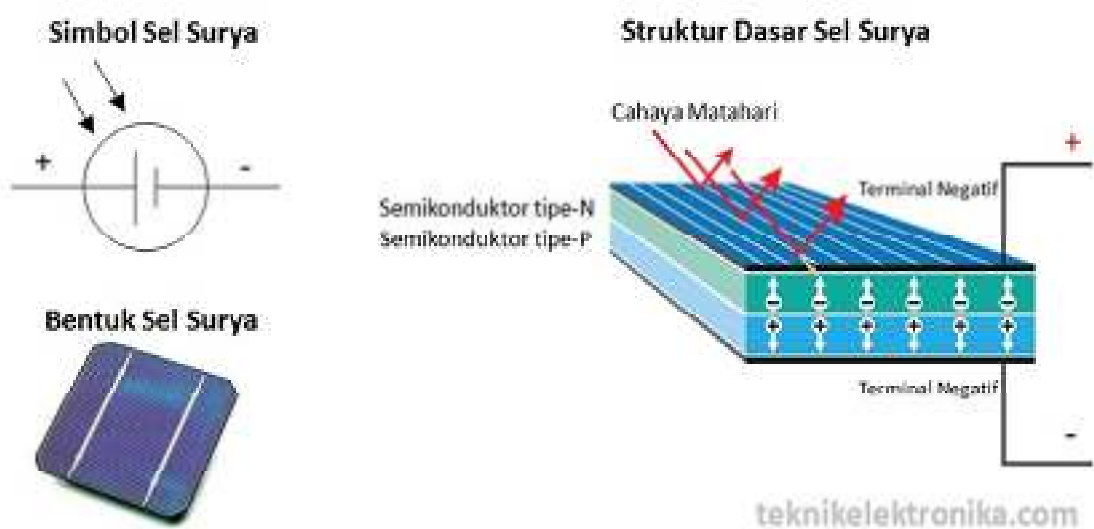
Panel surya parallel adalah panel surya yang komponennya disusun berderet dimana terdapat lebih dari satu jalur listrik (bercabang). Arus bertambah sesuai jumlah arus yang keluar dari sumber listrik. Tegangan yang mengalir adalah sama besar pada masing-masing beban. Kelebihan panel surya parallel yaitu Karena masing masing komponen terhubung ke sumber listrik maka jika ada salah satu komponen mati, komponen lain tidak akan terpengaruh, semua komponen satu sama lain tersusun paralel dengan sumber

listrik maka semuanya akan mendapat tegangan yang sama. Sedangkan kekurangannya yaitu kabel dan saklar yang digunakan menjadi cukup banyak tergantung jumlah beban yang ada, sehingga biaya untuk membangun rangkaian paralel lebih besar daripada seri, pada saat terjadi kesalahan pada rangkaian yang lebih kompleks, maka akan lebih sulit untuk menemukan penyebabnya. Karena semua beban dihubungkan secara paralel sehingga harus dicek di tiap komponen atau beban yang dihubungkan.

Berikut ini adalah rangkaian dan struktur dasar, bentuk dan simbol sel surya (Solar Cell).



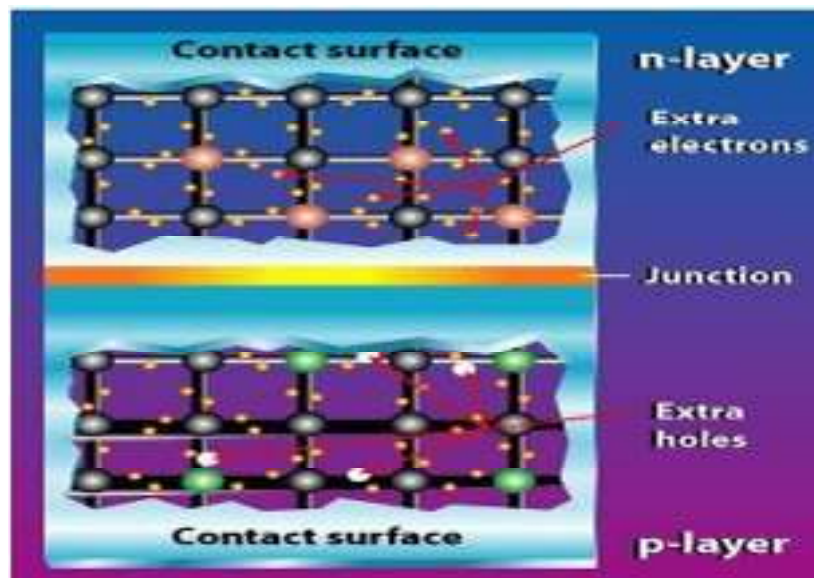
Gambar 2. 3 Rangkaian paralel dan rangkaian seri panel surya



Gambar 2. 4 Simbol, bentuk, dan struktur sel surya

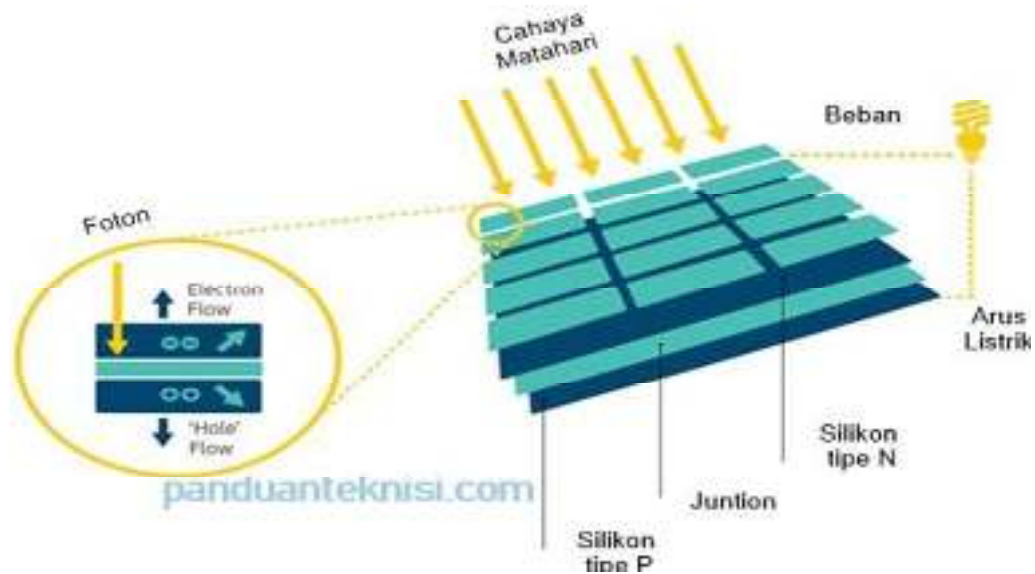
## Prinsip Kerja Sel Surya (Solar Cell)

Sinar Matahari ini terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan sebutan Foton. Pada saat terkena sinar matahari, foton yang merupakan partikel dari sinar matahari itu menghantam atom semikonduktor silikon sel surya sehingga memunculkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah serta bermuatan negatif (-) itu akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan elektron itu akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan itu dinamakan disebut "hole" dengan muatan positif (+). Daerah semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif serta bertindak yakni sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan sebutan Semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan untuk daerah semikonduktor dengan hole memiliki sifat positif serta bertindak sebagai penerima (Acceptor) elektron yang disebut dengan Semikonduktor tipe P (P-type).



Gambar 2. 5 P-Junction dan N-Junction

Di persimpangan daerah positif serta negatif (PN Junction), akan memunculkan energi yang mendorong elektron serta hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron tersebut akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan hole akan bergerak menjauhi daerah positif. Pada saat diberikan sebuah beban berupa lampu atau juga perangkat listrik lainnya di persimpangan positif serta negatif (PN Junction) ini, maka akan menimbulkan arus listrik.



Gambar 2. 6 kinerja solar Cell

### Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Solar Cell

Ada beberapa factor yang dapat mempengaruhi kinerja solar cell diantaranya sebagai berikut :

#### 1. Bahan pembuat solar panel

Solar panel terdiri dari sel surya yang dirangkai dalam bentuk seri dan paralel. Setiap panel surya memiliki rangkaian sel berbeda-beda, dari 36 hingga 72 dan lebih. Bahan pembuat sel surya pun bermacam-macam, seperti:

- Crystalline Si Cells; sebagai generasi pertama, sel surya ini menggunakan material crystalline silicon (C-Si) sebagai bahan dasar dan merupakan jenis panel yang paling banyak digunakan. Variasi Crystalline yang sering dijumpai adalah Monocrystalline, Polycrystalline/Multicrystalline, Ribbon silicon, dan Mono-like-multi silicon (MLM).
- Thin Film; Sel surya ini merupakan generasi kedua dan menggunakan material yang berbeda dengan crystalline. Thin film dapat membuat panel lebih ringan dan lebih baik dalam menangkap cahaya, namun efisiensi konversi energinya masih lebih kecil dibanding crystalline. Walaupun seiring dengan perkembangan teknologi, sel jenis ini telah mampu mencapai efisiensi hingga 28,8%. Beberapa jenis sel Thin Film yang diproduksi di dunia adalah Cadmium telluride (CdTe), Copper indium gallium selenide (CIGS), Amorphous silicon (a-Si), Tandem-cell using a-Si/ $\mu$ c-Si, Tandem-

cell using a-Si/pc-Si, Polycrystalline silicon on glass, dan Gallium arsenide (GaAs).

- Multijunction cells; sel surya ini menggunakan thin film sebagai material utama, yang dibentuk dalam beberapa (multiple) layer dan digabungkan menjadi satu. Sel jenis ini lebih banyak digunakan untuk aplikasi khusus, seperti satelit atau alat eksplorasi ruang angkasa.

## 2. Hambatan Listrik Beban

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh panel surya, tidak selamanya stabil. Hal ini dikarenakan produksi tegangan bergantung pada tingkat penyinaran radiasi matahari. Ketika dalam waktu ideal, 10.00 – 14.00 WIB, dan suhu serta pergerakan awan mendukung, maka kinerja solar panel dapat maksimal. Namun pada saat pagi hari atau matahari tertutup awan, tegangan solar panel akan menurun.

Oleh karena itu, turun naiknya tegangan ini harus menjadi perhatian. Idealnya setiap peralatan yang digunakan, seperti inverter, memiliki jarak batas kerja yang cukup tinggi. Misalnya inverter dapat bekerja pada jarak batas (range) 150 – 800 VDC.

## 3. Intensitas penyinaran matahari

Semakin besar intensitas penyinaran matahari, maka semakin tinggi kinerja solar panel. Secara umum, untuk memaksimalkan penyerapan penyinaran matahari di Indonesia, panel harus diletakkan dengan kaidah berikut:

- Jika lokasi pemasangan panel surya berada di bawah garis khatulistiwa, maka panel diarahkan condong  $15^\circ$  ke arah utara. Lokasi ini termasuk, Jawa, Madura, NTT, NTB, Sebagian Sumatera – Kalimantan – Sulawesi dan Papua.
- Jika lokasi pemasangan panel surya berada di atas garis khatulistiwa, maka panel diarahkan condong  $15^\circ$  ke arah selatan. Lokasi ini termasuk, Sebagian Sumatera – Kalimantan – Sulawesi dan Maluku.

## 4. Suhu temperatur solar panel

Tingkat suhu juga mempengaruhi kinerja solar panel. Idealnya solar panel berkeja pada temperatur standar  $25^\circ\text{C}$ . Seiring dengan meningkatnya

suhu, maka efisiensi kinerja solar panel juga menurun. Untuk rata-rata suhu di Indonesia sebesar  $25^{\circ} - 35^{\circ}\text{C}$ , panel surya mengalami degradasi efisiensi produksi hingga 10%. Untuk mengatasi hal ini, cara pemasangan solar panel harus diperhatikan. Berikan ruang yang cukup di bawah solar panel, sehingga aliran udara dapat menurunkan suhu solar panel pada saat suhu udara dalam puncak tertinggi.

#### 5. Bayangan (Shading)

Perhatikan posisi peletakan solar panel. Lokasi terbaik adalah lokasi yang tidak memiliki objek penghalang yang dapat menghasilkan bayangan pada solar panel terpasang. Terutama untuk penggunaan panel tipe polycrystalline, bayangan dapat mempengaruhi produksi daya keseluruhan yang dihasilkan solar panel. Untuk kinerja solar panel terbaik, pastikan sudut terjauh dari objek di sekitar lokasi pemasangan solar panel, tidak jatuh pada solar panel.

### **Jenis Jenis Panel Surya**

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar sel surya dibagi dalam tiga jenis, yaitu:

#### 1. Monocrystalline

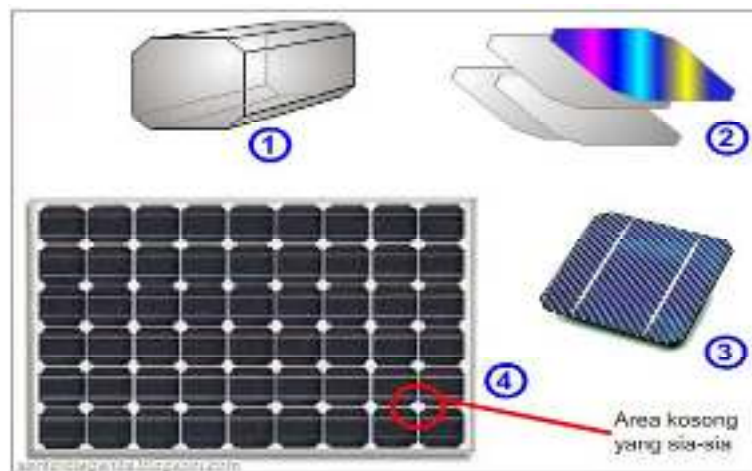
Jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis. Kira-kira hampir sama seperti pembuatan keripik singkong. Satu singkong diiris tipis-tipis, untuk menghasilkan kepingan-kepingan keripik yang siap digoreng. Itu singkong yang mudah diiris tipis-tipis, beda dengan kristal silikon murni yang membutuhkan teknologi khusus untuk mengirisnya menjadi kepingan-kepingan Kristal silikon yang tipis.

Dengan teknologi seperti ini, akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sehingga menjadi sel surya yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya, sekitar 15% - 20%. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain di pasaran.

Kelemahannya, sel surya jenis ini jika disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam atau bulat, tergantung dari bentuk

batangan kristal silikonnya, seperti terlihat pada gambar berikut. Keterangan gambar:

- Batangan kristal silikon murni
- Irisan kristal silikon yang sangat tipis
- Sebuah sel surya monocrystalline yang sudah jadi
- Sebuah panel surya monocrystalline yang berisi susunan sel surya monocrystalline. Nampak area kosong yang tidak tertutup karena bentuk sel surya jenis ini.



Gambar 2. 7 Solar cell monocrystalline

## 2. Polycrystalline

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16% .

Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia seperti susunan pada panel surya monocrystalline di atas. Proses pembuatannya lebih mudah dibanding monocrystalline, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini.





Gambar 2. 8 Solar cell polycrystalline

### 3. Thin Film Solar Cell (TFSC)

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic).



Gambar 2. 9 Thin film solar cell

Berdasarkan materialnya, sel surya thin film ini digolongkan menjadi:

1. Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells. Sel surya dengan bahan Amorphous Silicon ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut "stacking" (susun lapis), dimana beberapa lapis Amorphous Silicon ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%.
2. Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.  
Sel surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon, yaitu sekitar: 9% - 11%.
3. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.  
Dibandingkan kedua jenis sel surya thin film di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe. Teknologi produksi sel surya thin film ini masih baru, masih banyak kemungkinan di masa mendatang. Ongkos produksi yang murah serta bentuknya yang tipis, ringan dan fleksibel sehingga dapat dilekatkan pada berbagai bentuk permukaan, seperti kaca, dinding gedung dan genteng rumah

dan bahkan tidak menutup kemungkinan kelak dapat dilekatkan pada bahan seperti baju kaos.

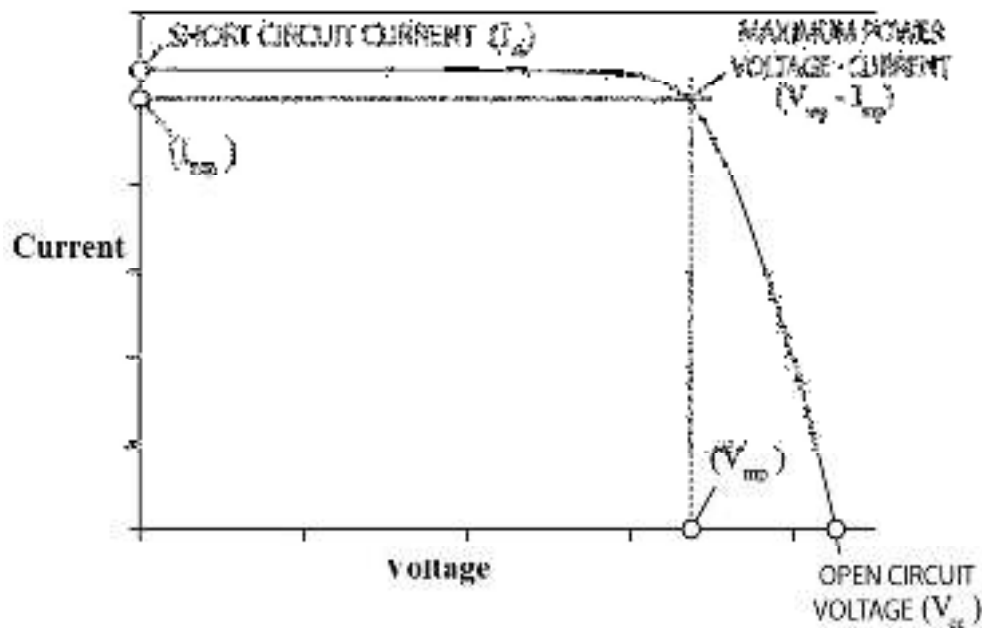
### **Karakteristik Sel Surya (Photovoltaic)**

Kapasitas daya dari sel atau modul surya dilambangkan dalam watt peak (Wp) dan diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu Standard Test Condition (STC). Standar ini mengacup ada intensitas radiasi sinar matahari sebesar  $1000 \text{ W/m}^2$  yang tegak lurus sel surya pada suhu  $25^\circ\text{C}$ . Modul photovoltaic memiliki hubungan antara arus dan tegangan. Pada saat tahanan variabel bernilai tak terhingga (open circuit) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ).

Pada keadaan yang lain, ketika tahanan variable bernilai nol (short circuit) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus short circuit ( $I_{sc}$ ). Jika tahanan variable memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga maka arus ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ ) akan diperoleh nilai yang bervariasi. Besar daya ( $P$ ) yang dihasilkan oleh sel surya setara dengan kuadrat besar tegangan ( $V$ ) yang dihasilkan dibagi dengan hambatan ( $R$ ) yang dilalui, yaitu

$$P = V^2/R \quad (2.4)$$

Total pengeluaran listrik (wattage) dari sel surya adalah sebanding dengan Voltase/tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. Sel surya dapat menghasilkan arus dari voltase yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai yang menghasilkan arus dari voltase yang relatif konstan. Karakteristik output dari sel surya dapat dilihat dari kurva performansi, disebut I-V curve. I-V curve menunjukkan hubungan antara arus dan voltase.



Gambar 2. 10 Kurva karakteristik arus terhadap tegangan

Voltase (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. Ketika sel dalam kondisi short circuit, arus short circuit ISC dihasilkan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan open-circuit. VOC. Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu fill factor (FF) dimana Fill Faktor adalah perbandingan antara kapasitas nyata panel surya dengan kapasitas teoritis panel surya tersebut atau faktor pengisi diperoleh dari daya maksimum dari panel surya , dengan persamaan:

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{oc}} \quad (2.5)$$

Dengan

$I_{maks}$  = arus ketika daya keluaran maksimum

$V_{maks}$  = voltase tegangan dengan daya keluaran maksimum

$I_{sc}$  = arus ketika rangkaian short

$V_{oc}$  = voltase tegangan ketika rangkaian terbuka

Daya maksimum dari sel surya dinyatakan dengan,

$$P_{\text{maks}} = V_{\text{mp}} \cdot I_{\text{mp}} = V_{\text{oc}} I_{\text{sc}} \cdot FF \quad (2.6)$$

Sehingga efisiensi daya dalam sel surya dirumuskan sebagai :

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (2.7)$$

### **Efisiensi pada panel surya**

Efisiensi pada panel surya merupakan ukuran keluaran daya listrik panel surya (dalam watt) dibandingkan dengan luas permukaannya. Umumnya, semakin tinggi efisiensi sebuah panel surya, semakin banyak daya yang bisa didapatkan dari panel surya tersebut.

Untuk mengetahui efisiensi panel surya yang digunakan, terlebih dahulu harus mengetahui berapa  $P_{\text{max}}$  (daya keluaran maksimal) yang terdapat pada produk yang akan digunakan. Untuk menemukan spesifikasi ini, cukup lihat di brosur atau stiker spesifikasi teknis yang ditempel pada bagian belakang panel surya.

$$P_{\text{max}} = V_{\text{mp}} \times I_{\text{mp}} \quad (2.8)$$

Setiap panel surya memiliki dimensi yang berbeda, sesuai dengan desain masing-masing pabrikan. Perbedaan ini dapat memiliki selisih mulai dari mm hingga cm, dapat diketahui dimensi ini pada brosur atau stiker yang terpasang di belakang panel surya. Semakin besar efisiensi pada panel surya, maka semakin tinggi produksi energi listrik yang dihasilkan. Semakin besar efisiensi sebuah panel surya, maka semakin efektif penggunaan ruang anda untuk pemasangan panel surya.

$$\text{Luas (m}^2\text{)} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \quad (2.9)$$

Setelah menemukan  $P_{\text{max}}$  (dalam watt) dan dimensi (dalam meter), maka satu koefisien yang harus ketahu adalah incident radiation flux dalam standard test conditions (STC). Incident radiation flux adalah jumlah sinar matahari yang diterima permukaan bumi dengan satuan  $\text{W/m}^2$ . Sedangkan STC adalah kondisi pengujian kinerja panel surya utama yang digunakan oleh kebanyakan produsen dan badan pengujian. STC merupakan standar industri untuk menunjukkan kinerja panel surya dengan ketentuan suhu sel  $25^\circ \text{C}$  dan radiasi  $1000 \text{ W / m}^2$  dengan spektrum massa 1,5 (AM1.5).

Hal ini sesuai dengan radiasi dan spektrum kejadian sinar matahari pada hari yang cerah pada kemiringan permukaan  $37^\circ$  yang menghadap matahari dengan sudut  $41,81^\circ$  di atas cakrawala. Kondisi ini kurang lebih mewakili matahari pada siang hari di dekat equinoxes, biasanya terjadi pada musim semi dan musim gugur di daratan Amerika Serikat, dengan permukaan sel yang mengarah langsung ke matahari. Namun, kondisi ini jarang ditemui di dunia nyata. Pengukuran kinerja berbasis STC, umum diterapkan dalam tes flash oleh seluruh produsen-produsen profesional industri panel surya. Setelah mengetahui incident radiation flux sebesar  $1000 \text{ W / m}^2$ , maka masukkan semua komponen perhitungan ke dalam rumus:

$$\eta_{\max} (\text{maximum efficiency}) = \frac{P_{\max} (\text{maximum power output})}{(E_{S,p}^{SW} (\text{incident radiation flux}) \cdot A_c (\text{area of collector}))} \quad (2.11)$$

## **Komponen – Komponen PLTS**

### **Panel Surya**

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atas Matahari atau "sol" karena Matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel fotovoltaik, photovoltaic dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik". Sel surya atau sel PV bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi Matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Secara sederhana, cara kerja panel solar adalah dengan menyerap cahaya matahari dan menampung energi yang dihasilkan ke dalam sebuah baterai. Dengan demikian, sistem bisa berjalan meskipun di sore hari, malam hari, atau ketika kondisi hujan. Selain itu, terdapat kabel yang terintegrasi dengan instalasi listrik di dalam rumah. Ketika ada konsumsi listrik dari barang elektronik, misalnya ketika menyalakan televisi, secara otomatis tenaga listriknya diambil dari baterai.



Gambar 2. 11 Panel surya

### **Charge Controller**

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller mengatur overcharging (kelebihan pengisian karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya/solar cell. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Beberapa fungsi detail dari solar charge controller adalah sebagai berikut:

1. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari overcharging, dan overvoltage.
2. Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak 'full discharge', dan overloading.
3. Monitoring temperatur baterai

Untuk membeli solar charge controller yang harus diperhatikan adalah:

- Voltage 12 Volt DC / 24 Volt DC
- Kemampuan (dalam arus searah) dari controller. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere, dsb.
- Full charge dan low voltage cut.



Gambar 2. 12 Solar charge controller

Charge controller, adalah komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga surya. Charge controller berfungsi untuk :

1. Charging mode : Mengisi bareai (kapan baterai diisi, menjadi pengisian kalua baterai penuh), dalam charging mode, umumnya baterai diisi dengan metode three stage charging:
  - a. Fase bulk : baterai akan di-charge sesuai dengan tengeran setu (bulk - antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya. Pada saat baterai sudah pada tengeran setup (bulk) dimulailah fase absorption.
  - b. Fase absorption : pada fase ini, tengeran baterai akan dijaga sesuai dengan tengeran bulk, sampai solar charge controller timer (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
  - c. Fase float : baterai akan dijaga pada tengeran float setting (umumnya 13.4 – 13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya pada stage ini.



2. Operation mode : Penggunaan baterai ke beban (pelayanan baterai ke beban diputuskan kalau baterai sudah mulai kosong “kosong”). Pada metode ini, baterai akan melayani beban. Apabila ada over-discharge ataupun over-load, maka baterai akan dilepaskan dari beban. Kedua komponen hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari sebuah baterai.

### **Baterai**

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energy Baterai listrik adalah alat yang terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal.

Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion didalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja. Meski sebutan baterai secara teknis adalah alat dengan beberapa sel, sel tunggal juga umumnya disebut baterai. Baterai untuk solar cell sendiri mempunyai dua tujuan penting dalam sistem fotovotaik; pertama adalah untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh array panel-panel surya, kedua adalah untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel- panel setiap kali daya itu melebihi beban.



Gambar 2. 13 Baterai

### **Inverter**

Inverter adalah sebuah alat yang mengubah listrik DC (Direct Current) dari baterai atau panel sel surya menjadi AC (Alternating Current). Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Tenaga Listrik (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (Alternating Current), misalnya untuk penerangan peralatan elektronik seperti komputer, peralatan komunikasi, TV, dll. Inverter dapat digunakan di rumah dan semua tempat yang memerlukan energi (listrik) cadangan untuk mengganti listrik PLN. Inverter digunakan ketika peralatan Anda memerlukan daya AC.

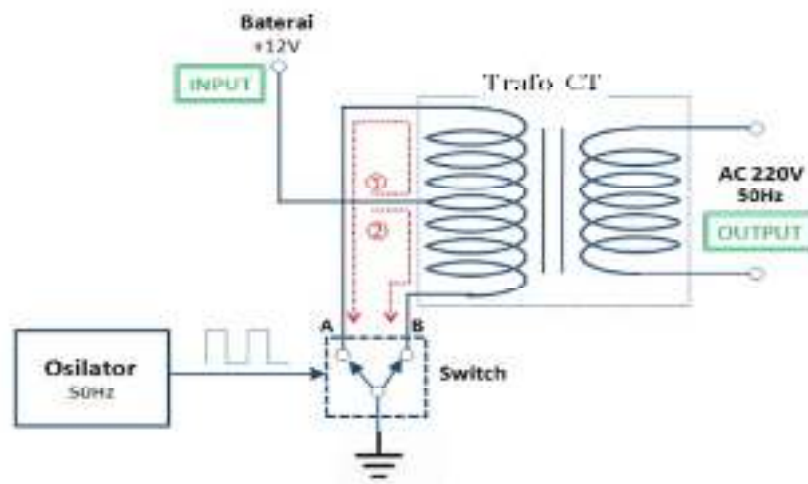
Inverter memotong dan membalikkan arus DC untuk membangkitkan gelombang segi empat yang nantinya disaring menjadi gelombang sinus yang disesuaikan dan menghapus harmonik yang tidak diinginkan. Sangat sedikit inverter yang menyediakan gelombang sinus yang murni sebagai output.



Gambar 2. 14 Inverter

Cara kerja inverter pada bagian primer transformator center tap (Trafo CT) yang digunakan dalam inverter, terminal CT trafo dihubungkan ke sumber tegangan rendah arus searah (contoh baterai 12V) sedangkan dua terminal lainnya dihubungkan melalui saklar (switch) dua arah ke ground rangkaian. Jika saklar terhubung pada titik A maka akan mengakibatkan arus listrik mengalir dari terminal positif baterai menuju terminal CT trafo yang kemudian akan mengalir ke titik A trafo hingga ground pada jalur 1 melalui saklar. Ketika saklar dipindahkan ke titik B, arus listrik yang mengalir pada jalur 1 akan terhenti dan arus akan mengalir pada jalur 2 dari terminal positif baterai ke terminal CT trafo yang kemudian akan mengalir ke titik B hingga ground melalui saklar titik B tersebut.

Perpindahan saklar ke titik A atau ke titik B (peralihan ON/OFF) dikendalikan oleh sebuah rangkaian osilator yang berfungsi sebagai pembangkit frekuensi 50 Hz yaitu untuk memindahkan arus listrik dari titik A ke titik B dan dari titik B ke titik A sebanyak 50 kali per detik. Dengan demikian listrik DC yang mengalir pada jalur 1 dan jalur 2 juga bergantian sebanyak 50 kali per detik sehingga ekuivalen dengan listrik AC yang memiliki frekuensi 50 Hz. Pada umumnya komponen utama yang digunakan sebagai saklar pada rangkaian saklar inverter adalah transistor ataupun MOSFET.

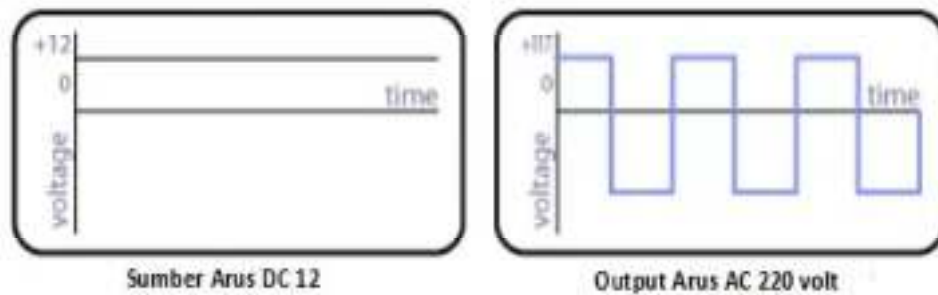


Gambar 2. 15 Cara kerja inverter

Listrik yang dihasilkan tersebut selanjutnya akan dialirkan melalui trafo pada bagian sekundernya berupa tegangan dengan taraf yang lebih tinggi seperti 110 volt hingga 240 volt. Tegangan output yang dihasilkan ini tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder trafo yang digunakan inverter atau disebut juga dengan rasio jumlah lilitan antara kumparan primer dan kumparan sekunder transformator pada inverter tersebut.

Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah Inverter Luminous Solar NXG 1500 merupakan inverter berjenis Battery Backup Solar Inverter dimana inverter ini memiliki kemampuan untuk melakukan charge dan discharge baterai dalam sebuah komponen yang sama. Secara fungsi, tidak ada perbedaan dengan dua tipe inverter diatas (merubah DC ke AC untuk mensuplai daya ke beban), namun jenis inverter ini sudah dilengkapi komponen charger yang berfungsi mencatu daya baterai dari panel surya. Cara kerjanya adalah panel surya menghasilkan listrik yang kemudian di regulasi oleh SCC untuk di alirkan ke baterai atau pengguna. Listrik dari baterai atau ke pengguna langsung dapat dimanfaatkan melalui fungsi inverter, yang merubah listrik DC menjadi AC. Jenis inverter ini banyak disebut sebagai smart inverter atau hybrid.

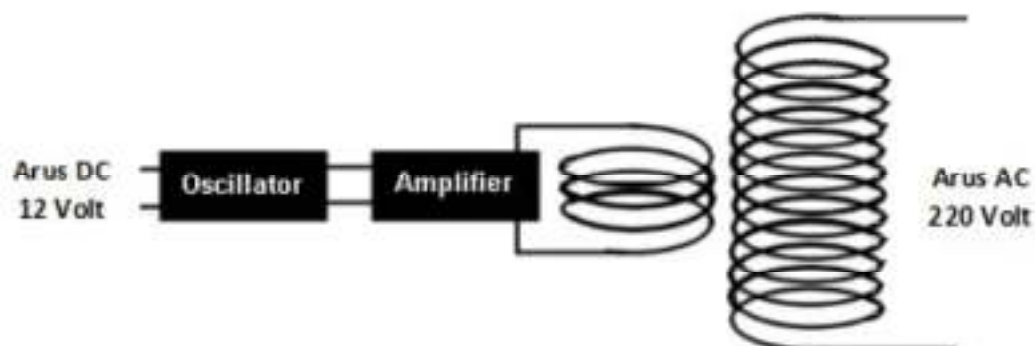
Daya yang bisa dicakup oleh inverter ini sekitar 1500W, tegangan inputnya 24V DC dan 220V AC sedangkan tegangan output 12V DC dan 220V AC.



Gambar 2. 16 Sumber tegangan DC 12V dan output tegangan AC 220V

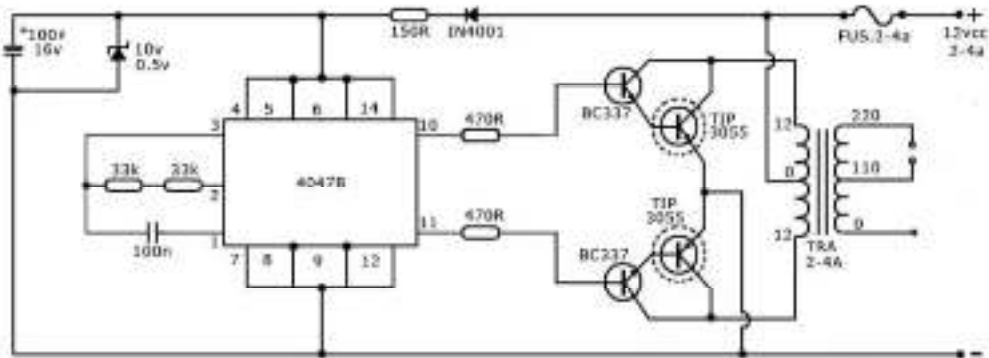
Jika kita memiliki sebuah baterai / aki yang salah satu kutub nya dihubungkan ke sebuah transformator pada kaki CT (center tap) dan secara cepat dan terus menerus saklar seperti pada gambar dipindahkan posisinya maka pada coil sekunder transformator akan timbul arus listrik berupa AC. Secara teori tegangan pada sekunder bisa diatur sedemikian rupa hanya dengan menambah jumlah lilitan kumparan trafo saja yang akan melipatgandakan tegangan yang dihasilkan.

Hal ini bisa terjadi karena ada induksi yang dihasilkan dari baterai. Untuk menghasilkan efek seperti saklar yang dipindah bolak balik adalah dengan menggunakan sebuah circuit/ rangkaian astable multivibrator (multivibrator tak stabil) dari sepasang transistor, atau lebih baik lagi dengan menggunakan MOSFET yang tentunya lebih efisien dalam hal daya, ilustrasi nya adalah dibawah ini multivibrator tak stabil digambarkan sebagai osilator dan diteruskan ke power amplifier:



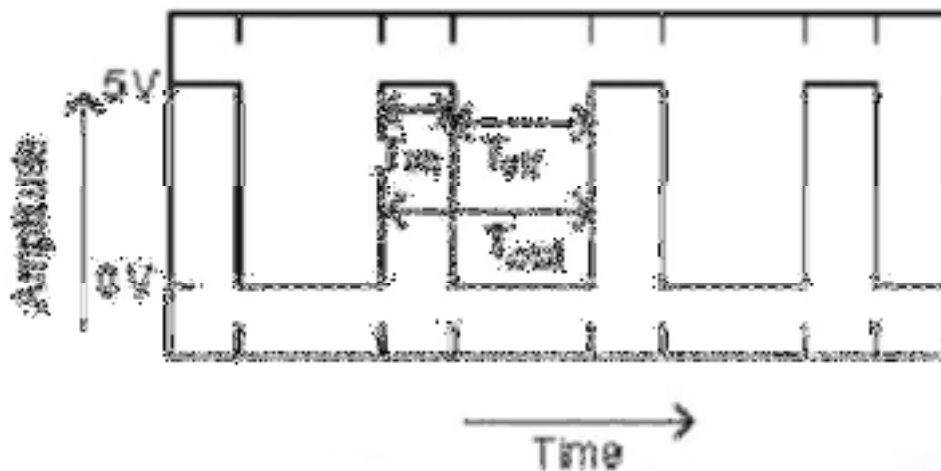
Gambar 2. 17 Ilustrasi multivibrator tak stabil

Dalam bentuk sederhananya dapat dilihat pada contoh dibawah ini.



Gambar 2. 18 Rangkaian inverter sederhana

Pulse Width Modulation (PWM) PWM merupakan sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara high dan low dimana pengontrolan durasi sinyal high dan low dapat diatur seperti yang diinginkan. Duty cycle merupakan prosentase periode sinyal high dan periode sinyal, prosentase duty cycle akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan. Modulasi lebar pulsa PWM diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja duty cycle gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi ini merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut.



Gambar 2. 19 Bentuk gelombang pulsa ( kotak )

Ton adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (high atau 1) dan Toff adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi

rendah (low atau 0).  $T_{total}$  adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara  $T_{on}$  dengan  $T_{off}$ , biasanya disebut dengan istilah periode satu gelombang.

$$\mathbf{T_{total} = T_{on} + T_{off}} \quad (2.12)$$

Siklus kerja atau duty cycle sebuah gelombang didefinisikan dengan persamaan berikut.

$$\mathbf{D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}}} \quad (2.13)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan duty cycle dan dapat dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$\mathbf{V_{out} = D \times V_{in} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in}} \quad (2.14)$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat Dan Waktu**

Penelitian dilakukan dalam jangka waktu 1 minggu. Pada penelitian terdapat kendala yakni dalam pembelian bahan, jadwal pegawai yang tidak penuh dikarenakan kondisi pandemi sehingga waktu penelitian menjadi lebih lama dari jadwal yang telah dibuat sebelumnya. Tempat penelitian di gedung L Universitas HKBP Nommensen Medan. Persiapan untuk melakukan penelitian ini meliputi :

1. Memahami dan mempelajari karakteristik dari panel surya
2. Studi literatur
3. Mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

#### **Bahan dan Peralatan**

Bahan dan peralatan utama yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### **3.1.1 Bahan**

1. Inverter Luminous Solar NXG 1500

Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah Inverter Luminous Solar NXG 1500 merupakan inverter berjenis Battery Backup Solar Inverter dimana inverter ini memiliki kemampuan untuk melakukan charge dan discharge baterai dalam sebuah komponen yang sama. Secara fungsi, tidak ada perbedaan dengan dua tipe inverter diatas (merubah DC ke AC untuk mensuplai daya ke beban), namun jenis inverter ini sudah dilengkapi komponen charger yang berfungsi mencatu daya baterai dari panel surya. Cara kerjanya adalah panel surya menghasilkan listrik yang kemudian di regulasi oleh SCC untuk di alirkan ke baterai atau pengguna. Listrik dari baterai atau ke pengguna langsung dapat dimanfaatkan melalui fungsi inverter, yang merubah listrik DC menjadi AC. Jenis inverter ini banyak disebut sebagai smart inverter atau hybrid.

Daya yang bisa dicakup oleh inverter ini sekitar 1500W, tegangan inputnya 24V DC dan 220V AC sedangkan tegangan output 12V DC dan 220V AC.





Gambar 3. 1 Inverter Luminous Solar NXG 1500

## 2. Panel Surya

Sistem PLTS yang terpasang dirangkai secara seri dimana 2 buah panel surya yang disusun secara sejajar hanya melalui satu jalur aliran listrik dan arus yang mengalir adalah sama besar pada masing-masing beban. Sedangkan tegangan bertambah sesuai jumlah tegangan yang keluar dari sumber listrik. Solar cell dipasang secara seri karena memiliki kelebihan diantaranya lebih hemat biaya karena tidak diperlukan banyak kabel tambahan, analisa kerusakan lebih cepat, lebih efisien dalam menghantarkan arus listrik, arus yang mengalir pada masing masing beban / komponen adalah sama. Maka dengan alasan tersebut panel surya dipasang secara seri.



Gambar 3. 2 Dua buah panel surya seri

Spesifikasi panel surya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1 Data modul solar cell

<b>SHARP SOLAR MODULE</b>	
<b>ND-130T1J</b>	
Power Tolerance	$\pm 5\% - 10\%$
Maximum Power (Pmax)	130W
Voltage at Pmax (Vmp)	17,4V
Current at Pmax (Imp)	7,48A
Open Circuit Voltage (Voc)	22W
Short Circuit Current (Isc)	8,09A
Maximum Sistem Voltage	600V
Over-Current Protection	15A
Size	150cm * 67cm
IRRADIANCE OF.	1000W/m <sup>2</sup>
Operating Temperature	25 <sup>0</sup> C
Standard Test Condition	AM1.5 SPECTRUM

### 3. Baterai JP 65-12G 12V 65Ah

Baterai yang digunakan yaitu 2 baterai JP 65-12G 12V 65Ah dan dirangkai secara paralel, untuk mengetahui berapa banyak energy yang disimpan maka perlu mengkonversi “Ah” dengan tegangan baterai “V” maka digunakan formulasi berikut.

$$P(\text{daya per jam Wh}) = I(\text{kuat arus per jam Ah}) \times V(\text{tegangan bateraiV}) \quad (3.1)$$

Jadi untuk perhitungan kapasitas baterai yang digunakan adalah sebagai berikut:

Dikarenakan 2 baterai dirangkai paralel maka tegangan baterai tetap sama tetapi arus akan meningkat. Oleh karena itu tegangan output baterai tetap 12V.

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 \quad (3.2)$$

$$= 65 + 65$$

$$= 130 \text{ Ah}$$

$$P = I \times V \quad (3.3)$$

$$= 130\text{Ah} \times 12 \text{ V}$$

$$= 1560 \text{ Wh}$$



Gambar 3. 3 Baterai JP 65-12G 12V 65Ah

### 4. Multimeter

Multimeter adalah alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur tiga jenis besaran listrik yaitu arus listrik, tegangan listrik, dan hambatan listrik. Sebutan lain untuk multimeter adalah AVO-meter. Multimeter yang dipakai juga dapat digunakan untuk mengukur suhu.



Gambar 3. 4 Multimeter

#### 5. Solarimeter

Untuk mengukur intensitas radiasi cahaya matahari disekitar tempat dilakukannya percobaan digunakan Solar power meter dengan tipe SM206-solar.



Gambar 3. 5 Solarimeter

#### 6. Beban

Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah lampu AC 220V dan lampu LED DC 12V.



Gambar 3. 6 Lampu pijar AC 220V



Gambar 3. 7 Lampu LED DC 220V

#### 7. Box Panel



Gambar 3. 8 Box panel

### 3.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut:

1. Tool Kit
2. Multimeter
3. Termometer
4. Lampu 100W AC 220V dan lampu 15W DC 15V
5. Solar Power Meter SM206-SOLAR ( alat pengukur intensitas radiasi cahaya matahari ).
6. Tespen.

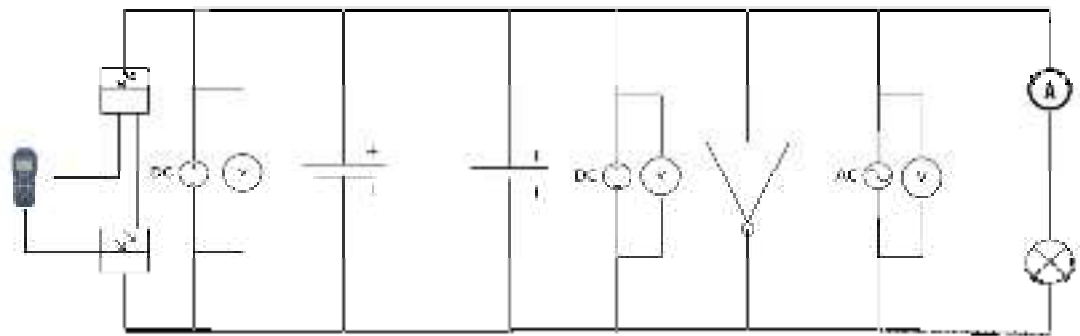
## Pengambilan Data

Pengujian panel sel surya berdasarkan intensitas tenaga surya yang di hasilkan antara lain :

1. Mengukur tegangan ouput dan tegangan baterai yang dihasilkan oleh panel surya.
2. Mengukur intensitas tenaga surya yang di hasilakan oleh panel sel surya
3. Mengukur suhu disekitar tempat pengujian panel sel surya
4. Mengukur arus beban panel sel surya


## Rangkaian Pengambilan Data PLTS


Dibawah ini merupakan gambar rangkaian percobaan yang dapat dilihat pada gambar 3.4





Gambar 3. 9 Rangkaian penelitian PLTS

Keterangan gambar :


 = solar power meter


 = baterai

 = panel surya

 = inverter

 = tegangan solar cell

 = tegangan baterai ( 12V )

 = tegangan keluaran inverter

- Ⓐ = Arus beban ( AC & DC )
- ⊗ = lampu / beban ( 100W AC & 15W DC )

### 3.1.3 Prosedur Penelitian

1. Persiapkan alat dan bahan
2. Lakukan pengukuran intensitas radiasi cahaya matahari ( Pin ) dengan menggunakan power solar meter yang diletakkan sejajar dengan panel surya.
3. Lakukan pengukuran tegangan output solar cell dan tegangan baterai dengan menggunakan voltmeter.
4. Sambungkan ke beban lampu AC 100W ukur tegangan output dan arus output inverter dengan menggunakan multimeter.
5. Sambungkan ke beban lampu DC 15W ukur tegangan output dan arus output inverter dengan menggunakan multimeter.
6. Lakukan pengukuran setiap 1 jam sekali mulai pukul 09.00 sampai 14.00
7. Kemudian hasil pengukuran dan percobaan ditabulasi.

### Pengambilan Data

Pengambilan Data akan dilaksanakan setelah mempersiapkan semua peralatan yang dibutuhkan, merangkai alat sesuai dengan rangkaian percobaan dan akan dilaksanakan berdasarkan langkah-langkah percobaan. Setelah percobaan dirangkai dan berfungsi dengan Baik dan benar maka data yang dibutuhkan dapat diambil dari skala yang muncul pada alat ukur.

**Flowchart**