

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama .dalam waktu yang akan datang kebutuhan listrik akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan baik dari jumlah penduduk ,jumlah investasi dan perkembangan teknologi . pembangkitan listrik tenaga surya adalah salah satu pengembangan teknologi yang memanfaatkan energi matahari yang tanpa menimbulkan adanya emisi karbon dan juga merupakan sumber energi alternatif yang tidak terbatas dan terbarukan. Universitas HKBP Nommensen medan merupakan salah satu Lembaga Pendidikan yang menggunakan pembangkit listrik tenaga surya yang berkapasitas 618 KWP melalui bentuk kolaborasi antara universitas HKBP Nommensen Medan dan PT.Wijaya Karya Industri energi (persero) dengan PT. Surya Utama Nuansa (Sun Energi) adalah salah satu implementasi energi listrik terbarukan di area kampus.

Proses pembangkit energi listrik oleh panel surya akan disalurkan dari pusat pembangkit hingga sampai ke konsumen yang terdiri dari proses sistematis. daya yang dihasilkan panel surya sangat tergantung dari sinar matahari yang dipancarkan sehingga diperlukan analisis untuk mengetahui daya pembangkit listrik tenaga surya yang dihasilkan di Unniversitas HKBP Nommensen khususnya di Gedung L yang cukup banyak menggunakan energi listrik agar lebih efisien dalam menggunakannya, sehingga menjadi bagian penulis untuk menganalisa daya yang Dihasilkan solar cell dan inverter yang terpasang /terpakai digedung L UHN .

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan pada penulisan ini adalah:

1. Berapa daya input yang dapat dihasilkan panel surya di Gedung L Universitas HKBP Nommensen ?
2. Berapa daya yang dikeluarkan inverter pada Gedung L?
3. Apa yang mempengaruhi daya yang dihasilkan panel surya?

1.3. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Mengetahui daya input pada panel surya di Gedung L Universitas HKBP Nommensen Medan.
2. Mengetahui daya keluaran inverter PLTS di Gedung L
3. Mengetahui hal yang mempengaruhi daya yang dihasilkan PLTS

1.4. Metodologi Penulisan

Untuk menyelesaikan skripsi ini, penulis mengumpulkan data serta keterangan-keterangan berupa informasi yang dapat dijadikan bahan untuk penyusunan skripsi ini. Pada penulisan skripsi ini, penulis mengumpulkan data dengan dua cara yaitu:

1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

Penelitian Kepustakaan merupakan metode pengumpulan data berdasarkan buku-buku yang berkaitan dengan judul skripsi ini dan sumber data tertulis lainnya, yang berhubungan dengan pokok bahasan skripsi ini dan dijadikan sebagai dasar perbandingan antara data yang penulis dapatkan di lapangan.

2. Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Penelitian yang dilakukan untuk memperoleh data dari informasi yang dibutuhkan bersumber dari observasi lapangan yang diteliti dengan mengadakan penelitian melalui wawancara langsung dengan pihak-pihak PLTS HKBP Nommensen Medan

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan kertas karya ini secara sistematis dapat diuraikan sebagai berikut:

Bab I : Membahas mengenai latar belakang, Batasan masalah, Rumusan masalah, Manfaat penulisan, Tujuan penulisan, Metode penulisan dan sistematika penulisan

Bab II : Membahas mengenai tinjauan Pustaka yang berisi keuntungan dan kerugian PLTS, komponen PLTS, jenis-jenis PLTS karakteristik

PLTS, efisiensi PLTS, proses konversi solar cell, dan jenis-jenis solar cell.

Bab III : Membahas mengenai penelitian, tempat dan waktu, bahan dan peralatan, variable yang diamati.

Bab IV : Membahas mengenai hasil analisis yang berisi analisis data.

Bab V : Kesimpulan dan saran

Daftar Pustaka

BAB II LANDASAN

TEORI

2.1 Keuntungan dan kerugian PLTS

Sistem fotovoltaik atau pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Pembangkit listrik berbasis energi terbarukan ini merupakan salah satu solusi yang direkomendasikan untuk listrik di daerah pedesaan terpencil dimana sinar matahari melimpah dan bahan bakar sulit didapatkan dan relative mahal.

2.1.1 Keuntungan menggunakan sistem PLTS

- 1 sumber energi yang melimpah dan tanpa biaya.
- 2 Karena energi berasal dari matahari, sumber energi ini tidak akan pernah habis, selama ada sinar matahari, PLTS tetap bisa menghasilkan listrik.
- 3 Sumber energi tersedia di tempat dan tidak perlu diangkut
- 4 Biaya pengoperasian dan pemeliharaan sistem PLTS yang relative kecil
- 5 Tidak perlu pemeliharaan yang sering dan dapat dilakukan oleh operator setempat yang terlatih
- 6 Ramah lingkungan, tidak ada emisi gas dan limbah cair atau padat yang berbahaya

2.1.2 Kelemahan menggunakan PLTS

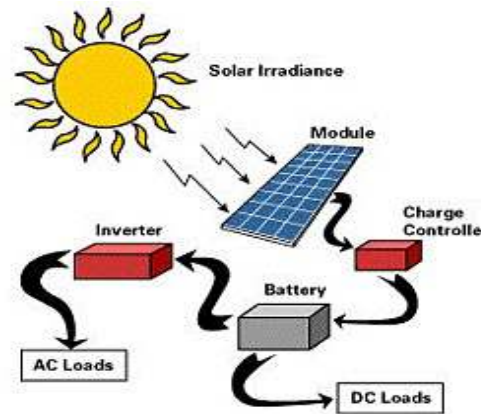
1. Besarnya biaya pembangunan PLTS

Karena disebabkan harga untuk tiap komponen relative mahal, semakin besar daya yang ingin dibangkitkan, semakin banyak komponen yang dibutuhkan mengakibatkan semakin banyak biaya yang diperlukan.

2. Daya yang dihasilkan berkurang Ketika mendung / bergantung pada cuaca
Efisiensi PLTS sangat bergantung pada kondisi cuaca
3. Tidak bisa digunakan 24 jam

2.2 Komponen system PLTS

Dalam teknologi pembangkit listrik tenaga surya diperlukan beberapa komponen penting untuk menghasilkan listrik. secara umum komponen PLTS dapat dilihat dari gambar 2.1.



Gambar 2.1. Komponen PLTS

Komponen PLTS adalah antara lain :

1. Solar cell
2. Inverter
3. Charge controller
4. Baterai

2.2.1. Panel surya

Dalam teknologi pembangkit listrik tenaga surya diperlukan beberapa Panel surya atau sel surya adalah alat yang digunakan untuk menyerap dan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. didalam sinar matahari terkandung energi dalam bentuk foton. ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, maka elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. peristiwa ini disebut sebagai peristiwa fotovoltaic atau fotoelectric. kenapa energi matahari dapat dikonversikan pada energi listrik oleh panel surya? sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silicon. Silikon ini terdiri dari dua jenis lapisan sensitive yaitu lapisan positif (tipe-p) dan lapisan negative (tipe-n). panel surya terbagi menjadi dua jenis yaitu: (1) tipe polikristalin dan (2) tipe monokristalin.

Sel surya juga adalah bagian terkecil dan dasar dari system fotovoltaic (PLTS). Sel sel ini memiliki ukuran bervariasi mulai dari sekitar 0,5-4 inci

Tabel 2.1 Ukuran Sel Surya yang Tersedia di Pasaran

NO.	Ukuran Nominal	Dimensi (MM)	Diagonal (MM+1)	Diameter Mono (inch)
1	103	103±0,5	146	5
2	125	125±0,5	177	6
3	150	150±0,5	212	-

2.2.2 Solar Charge Controller

SSC adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya ke dalam baterai (Aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu, tv, dan lain-lain. Dengan adanya solar charge controller maka energi listrik yang telah dihasilkan oleh sel surya akan otomatis diisikan pada aki dan menjaga aki agar tetap dalam kondisi baik. Kemudian dari SCC juga energi dari sel surya dapat digunakan langsung. Agar sistem dapat beroperasi dengan baik dan memiliki masa pakai yang lama, baterai harus diisi dengan benar dan berada dalam kondisi pengisian daya tinggi selama beberapa bulan, energi yang masuk ke baterai pada siang hari (energi matahari) harus sebanding dengan energi yang dikeluarkan oleh baterai pada malam hari (dipakai beban). System PV off-grid apapun harus dilakukan atau dikelola dengan memperhatikan baterai tidak rusak oleh proses karena pemakaian yang berlebihan dan baterai tidak rusak melalui pengisian berlebih dari modul.

Tahapan pengisian umum yang terjadi adalah :

1. **Bulk charge.**

Selama tahap pengisian yang berlangsung hingga 80% kondisi pengisian daya, semua daya dari modul surya disuplai langsung ke baterai.

2. **Absorption charge.**

Muatan secara bertahap dikurangi (diserap) hingga baterai mencapai tingkat pengisian 100%.

3. **Float charge.**

Ketika kondisi baterai sudah penuh, tahap float tercapai dan hanya cukup daya yang disuplai untuk mempertahankan muatan penuh baterai .

4. **Equalization charge.**

Tahap ini hanya digunakan oleh beberapa jenis controller. pengisian dengan daya daya tinggi yang bertujuan untuk menyamakan tegangan diseluruh sel baterai.

Ada empat kategori umum dari SCC yang bekerja berdasarkan metode yang digunakan untuk mengatur charge dari modul surya ke baterai yaitu:

- 1) **Controller tipe - seri.** bekerja mengandalkan sakelar elektronik (relay) dalam rangkain antar modul surya dan baterai ,relay ini berfungsi untuk mematikan suplai listrik dari modul ketika baterai mencapai tegangan optimum yang di setting . controller ini paling sederhana dan murah, controller jenis ini tidak terlalu umum dalam system PLTS modern.
- 2) **Controller tipe-shunt.** bekerja secara paralel antara array surya dan baterai.controller ini bekerja bertahap mengurangi muatan dari modul ke baterai saat baterai mencapai muatan optimal,tanpa hubungan arus pendek yang berbahaya melalui modul (hampir sama dengan tipe series).secara umum pengontrol tipe shunt juga murah ,cukup sederhana dalam desain dan sangat cocok untuk system PV off-grid skala kecil.
- 3) **Controller PWM.** Controller ini mengirimkan pulsa muatan ke baterai yang bervariasi tergantung pada kondisi pengisian.baterai dengan status pengisian rendah mendapatkan pulsa muatan tinggi atau pengisian secara kontinyu.saar baterai berisi penuh ,controller mengirimkan pulsa semakin kecil.baterai yang terisi penuh mendapatkan pulsa yang kecil.pengontrol mengukur kondisi pengisian daya dan menyesuaikan pulsa. Namun controller PWM dan MPPT umumnya menggunakan fitur controller tipe-seri atau shunt.
- 4) **Controller MPPT.**controller ini memanfaatkan komponen elektronika daya dalam rangkaian konversi DC ke DC untuk tracking titik daya maksimum MPPT sebagian besar digunakan dalam system PLTS skala

besar, dimana mendapatkan hasil maksimal dari array menghasilkan keuntungan yang signifikan untuk sebuah system.

2.2.3 Baterai

Baterai adalah alat yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik. jadi, pada saat sel surya mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik, maka energi tersebut kemudian disimpan pada baterai yang kemudian akan digunakan. secara garis besar, baterai atau aki dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksi. untuk aplikasi, maka baterai dibedakan lagi yaitu untuk engine starter (otomotif) dan deep cycle.

2.2.4 Inverter

Inverter adalah alat atau perangkat yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) dari sel surya dan baterai menjadi arus listrik bolak balik (AC) dengan tegangan 220 volt dan kemudian akan digunakan pada listrik komersial pada lampu dan televisi. alat ini diperlukan untuk PLTS karena menyangkut instalasi kabel yang banyak dan Panjang. apabila beban bukan untuk instalasi rumah, misalnya hanya untuk menghidupkan satu lampu atau alat dengan voltase 12 volt direct current (VDC) dan tidak menggunakan kabel yang Panjang seperti penerangan jalan umum inverter tidak diperlukan. apabila jumlah beban banyak dan kabel Panjang dan tetap menggunakan tegangan 12 volt DC tanpa menggunakan inverter maka akan terdapat rugi daya dan listrik yang hilang (losses).

Selain itu penggunaan inverter adalah penting karena akan mengubah arus yang berbeda (arus bolak-balik) menjadi arus yang sama pada PT. PLN. sehingga tidak perlu memodifikasi kembali instalasi yang ada di rumah. inverter terbaik dalam mengaplikasikan solar sel system adalah inverter pure sine wave, yang mempunyai bentuk gelombang sinus murni seperti listrik dari PT. PLN. bentuk gelombang ini merupakan bentuk paling ideal untuk peralatan elektronik pada umumnya sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan.

2.3 Jenis jenis PLTS

Pada umumnya 3 tipe desain PLTS, yaitu: 1) PLTS Off-grid, suatu system PLTS yang tidak terhubung dengan grid/berdiri sendiri,2) PLTS On Grid, suatu system PLTS yang dihubungkan pada grid/system eksisting dan 3) PLTS Hybrid,suatu system PLTS terintegrasi dengan satu atau beberapa pembangkit listrik dengan energi primer yang berbeda ,dengan pola operasi terpadu.

2.3.1 Sistem PLTS Off Grid

PLTS Off Grid disebut juga PLTS Stand Alone artinya system hanya disuplai oleh panel surya saja tanpa ada pembangkit jenis lain. Sistem tipe ini hanya tergantung pada matahari seutuhnya. Karena panel tidak mungkin mendapatkan sinar matahari terus menerus terutama malam hari,maka system ini membutuhkan media penyimpanan yaitu baterai.PLTS Off Grid umumnya dimaksudkan untuk melistriki daerah yang sangat terisolasi dimana sarana transportasi sangat sulit ,sehingga jika membangun PLTD ,akan timbul kesulitan untuk membawa BBM. Dalam merencanakan system PLTS Off Grid pada suatu daerah belum berlistrik.



Gambar 2.2 Sistem PLTS Off Grid

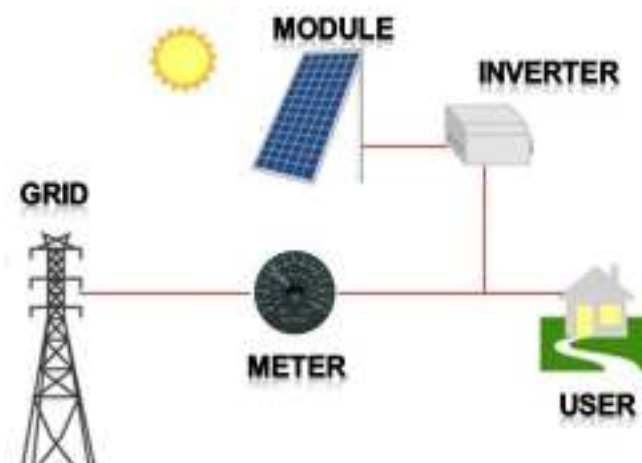
Secara umum **system Off-Grid** adalah system kelistrikan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik umum (PLN) atau dengan pembangkit lainnya misalnya PLTD .sifat nya berdiri sendiri mengandalkan baterai Ketika PLTS berada dalam kondisi tidak maksimal.dengan kata lain ,Ketika daya dari PLTS lebih dari beban,kelebihan tersebut daya disimpan dalam baterai dan apabila daya PLTS

kurang dari beban, kurang daya tersebut disuplai dari baterai. Terdapat 2 sistem konfigurasi yang umum ada dalam PLTS Off-grid yang berbasis DC coupling dan berbasis AC coupling. Artinya memiliki koneksi AC dan koneksi DC dua sistem ini menggunakan baterai namun penempatan inverter yang berbeda.

2.3.2 Sistem PLTS On-Grid

System PLTS jenis *On-Grid* atau terhubung dengan jaringan PLN. PLTS dimaksudkan untuk lokasi yang sudah berlistrik dan system dilokasi memiliki periode operasi siang hari. Disebut ON-Grid karena PLTS dihubungkan pada system eksisting. Tujuan dari pembangunan PLTS adalah untuk mengurangi konsumsi BBM. System PLTS *On-Grid* memiliki dua tipe instalasi, yang pertama *Grid-Connected AC system* tanpa baterai atau disebut juga system PLTS terhubung jaringan tanpa generator back-up dan yang kedua *Grid-Connected AC system* menggunakan baterai sebagai back-up. PLTS On-Grid disebut juga Grid-Tie Inverter. GTI sering digunakan untuk mengubah arus searah yang diproduksi oleh sumber energi yang dapat diperbaharui seperti solar panel atau turbin angin menjadi arus alternatif untuk menerangi rumah dan berbagai macam bisnis.

Tugas lain yang dilakukan GTI adalah proses metering. Metode metering ini akan memungkinkan untuk menyimpan energi dan mencatatnya.



Gambar 2.3. Sistem PLTS On-Grid

2.3.3 Sistem PLTS Hybrid

PLTS Hybrid adalah PLTS yang pengoperasiannya digabungkan dengan PLT yang sudah ada. Pada system ini PLTS diharapkan berkontribusi secara maksimal untuk menyuplai beban pada siang hari, pada umumnya system pembangkit yang banyak digunakan untuk system hibrida dengan PLTS adalah generator set (Genset), pembangkit listrik Microhidro, Bio energi, dan turbin tenaga angin. sistem ini merupakan salah satu alternatif system pembangkit yang dapat diaplikasikan pada daerah-daerah yang belum dijangkau oleh system pembangkit besar dan jauh dari distribusi jaringan PLN, dalam system hibrida, PLTS digunakan sebagai sumber atau pembangkit utama (primer) yang dikombinasikan dengan pembangkit lain sebagai sumber energi cadangannya (sekunder) misalnya genset atau PLTD. penggabungan dengan pembangkit listrik konvensional tujuannya adalah untuk meningkatkan keandalan system atau menambah jam operasi dan menurunkan biaya operasional seperti mengurangi konsumsi bahan bakar.

Inverter untuk PLTS hybrid harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC saat menyuplai beban dan sebaliknya dari AC ke DC saat mengisi baterai. Oleh karena itu inverter ini lebih populer disebut *bi-directional inverter*.



Gambar 2.4 Sistem PLTS hybrid

Kelebihan dari system hybrid ini adalah mesin backup atau genset dapat bekerja pada optimal beban dan menyuplai baterai hingga 80%, system hibrida tidak memerlukan switching AC power pada antara sumber energi yang berbeda

,dapat menggunakan berbagai jenis inverter .namun system hybrida memiliki kekurangan yaitu inverter pada PLTS jenis ini tidak dapat bekerja paralel dengan engine generator. Oleh karena itu inverternya harus didesain pada beban puncak,kemudian diperlukan battery bank dengan kapasitas besar,karena semua sumber energi dirubah ke DC.

2.4. Karakteristik PLTS

Sistem PLTS memiliki peran penting sebagai sumber salah satu energi yang ramah lingkungan. Sistem PLTS telah banyak digunakan di erbagai fasilitas publik, Langkah ini merupakan salah satu solusi untuk menekan biaya dan konsumsi energi yang konvensional.parameter karakteristik sistem PLTS dapat diketahui dengan memodelkan spesifikasi panel surya yang dipakai . karakteristik kerja PLTS diuji melalui karakteristik arus terhadap tegangan (I-V) meliputi arus hubung singkat (I_{sc}). Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan tegangan terhadap daya keluaran PLTS (P-V).

2.4.1 Rangkaian Ekivalen

Sel PV atau sel surya dapat dibuat rangkaian ekivalen.rangkaian ekivalen tersebut menunjukkan hubungan karakteristik sel surya dengan beberapa parameter dalam kurva arus terhadap tegangan I-V, arus hubung singkat (I_{sc}), rangkaian tegangan terbuka(V_{oc}) dan beberapa factor lain yang mempengaruhi karakteristik sel surya .

Rangkaian Ekivalen Sel Surya dapat ditunjukkan pada Gambar 2. 5. 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:

$$V_{oc} = V + IR_{sh}$$

$$I_d = I_D \left[e^{\frac{qV_{oc}}{A k T}} - 1 \right]$$

Dengan:

I_D = arus saturasi dioda

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

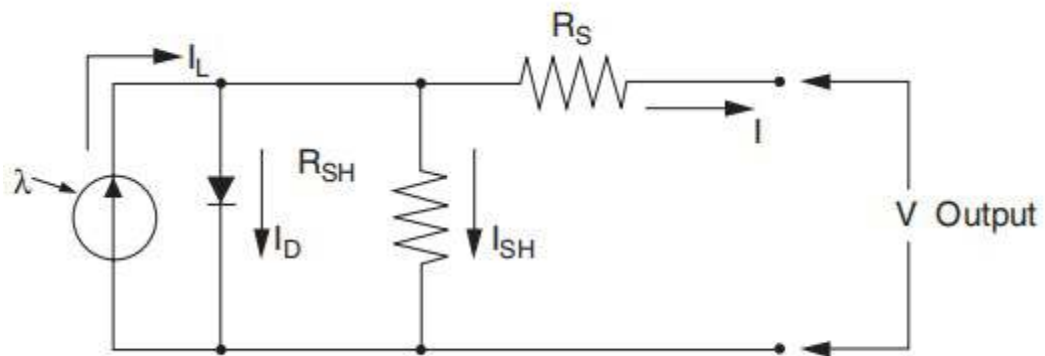
A = konstanta pemasangan kurva

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 :

$$I = I_L - I_D \left[e^{\frac{qV}{A k T}} - 1 \right] - \frac{V}{R_{sh}}$$



Gambar 2.5 Rangkaian Ekuivalen Sel Surya

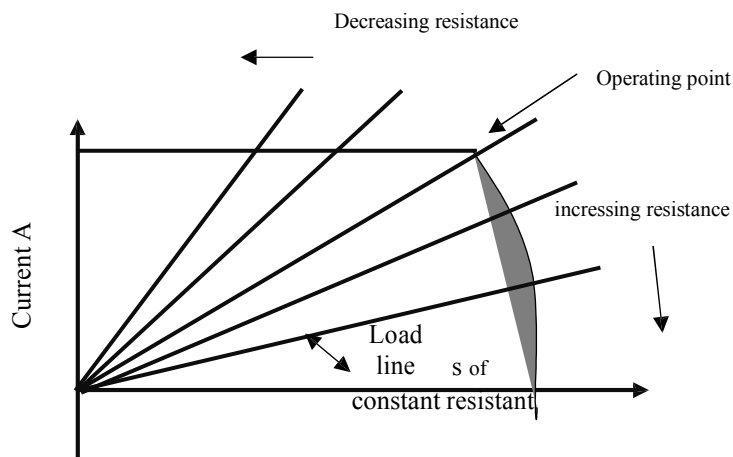
2.4.2 Kurva I-V dan P-V

Dua parameter terpenting yang banyak digunakan untuk menggambarkan kinerja listrik sel adalah tegangan rangkaian terbuka V_{oc} dan arus hubung singkat I_{sc} di bawah penerangan penuh. Arus hubung singkat diukur dengan menyingkat terminal keluaran dan mengukur arus terminal. Mengabaikan dioda kecil dan arus bocor tanah di bawah tegangan terminal nol, arus hubung singkat di bawah kondisi ini adalah arus foto I_L .

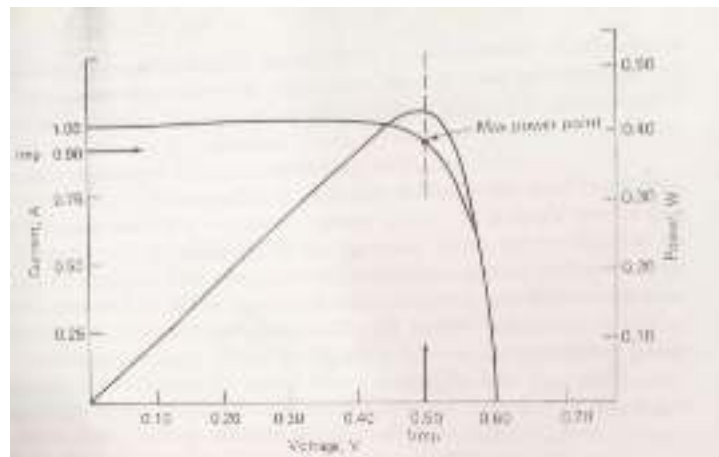
Foto Voltase maksimum dihasilkan di bawah tegangan rangkaian terbuka. dengan mengabaikan arus bocor tanah, Persamaan 2.3 dengan $I = 0$ memberikan tegangan rangkaian terbuka sebagai berikut:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \text{Log}_n\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right)$$

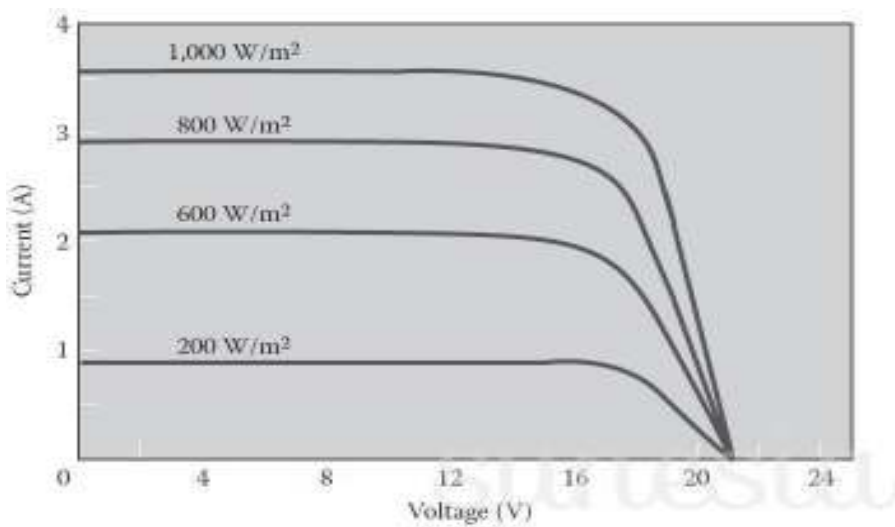
Istilah kT/q dinyatakan dalam tegangan (0,026 V pada 300 °K). Dalam fotosel praktis, arus foto beberapa kali lipat lebih besar dari arus saturasi terbalik. Oleh karena itu, tegangan rangkaian terbuka berkali-kali lipat nilai kT/q . Dalam kondisi penerangan konstan, I_L/I_0 merupakan fungsi yang cukup kuat dari suhu sel, dan sel surya biasanya menunjukkan koefisien suhu negatif dari tegangan rangkaian terbuka.



Gambar 2.6 Titik operasi beban sel surya kurva I-V

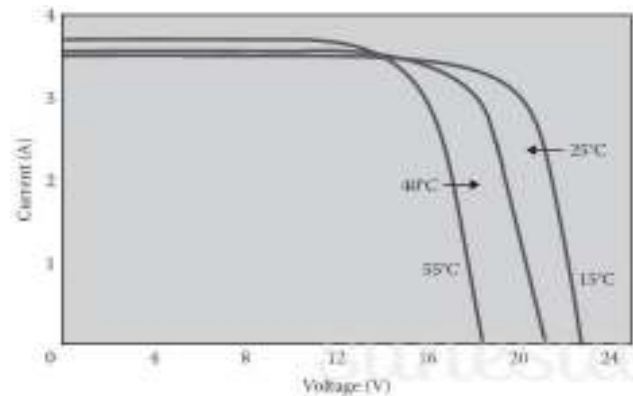


Gambar 2.7 Arus dan tegangan untuk daya maksimum untuk silicon



Gambar 2.8 Karakteristik hubungan I-V

standar kurva I-V suatu modul surya diproduksi dikondisi intensitas cahaya 1000 W/m² temperature 25°



Gambar 2.9 Karakteristik hubungan arus dan tegangan

Daya yang diproduksi sebuah modul surya sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari dan juga suhu modul surya. Semakin tingkat radiasi matahari yang terpapar dimodul surya, maka makin rendah arus yang diproduksi dan juga daya yang dihasilkan secara mendasar, nilai Voc tidak akan berubah walaupun instensitas irradiansi berubah ubah.

Temperature modul surya mempengaruhi daya yang dihasilkan melalui perubahan suatu nilai tegangan. ketika nilai temperature meningkat, maka tegangan modul surya malah menurun, sementara arus yang dihasilkan akan tetap konstan. secara rata-rata, tegangan pada modul monokristalin akan menurun sebesar 0,45%, polikristalin 0,5%, dan thin film 0,25% setiap terjadi kenaikan suhu 1% celcius diatas STC (standart Test Conditions) pada 25 °, 1000 W/m², air massa 1.5 dari ketentuan pada spesifikasi modul.

2.5 Efisiensi PLTS

2.5.1 Efisiensi Modul

Tabel 2.2 Efisiensi system konversi

Technology	Module Efficiency
Mono-crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

2.5.2 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi konversi dihitung sebagai rasio antara daya yang dihasilkan maksimal dan daya insiden. Pin nilai irradiansi 1000 w/m² untuk spektrum AM1.5 telah menjadi standar untuk mengukur efisiensi konversi sel surya

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{in} = P_{sc} \times A$$

Keterangan :

η = Efisiensi (100%)

P_o = energi keluar

P_{in} = energi masuk

Efisiensi panel surya sangat tergantung pada hal – hal sebagai berikut:

1. Suhu

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

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

Misalnya, untuk lokasi yang terletak di belahan bumi Utara, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke Selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di belahan bumi Selatan, maka panel surya diorientasikan ke Utara.

4 Sudut Kemiringan Panel Surya

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m². Menurut Mark Hankins (2010) cara praktis dalam pemasangan panel

surya adalah menghadapkannya ke khatulistiwa pada sudut yang sama ditambah 10° .

1. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan suhu pada permukaan sel surya sehingga suhunya dapat terjaga di kisaran 25°C .

2. Keadaan Atmosfer Bumi

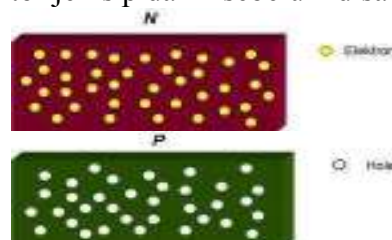
Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

2.6 Proses Konversi Solar Cell

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p = positif) karena kelebihan muatan positif.

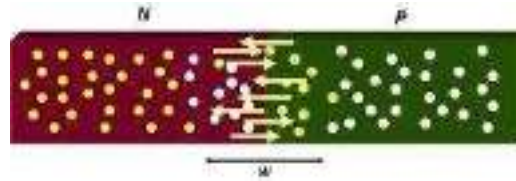
Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n. Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (*metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

- a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



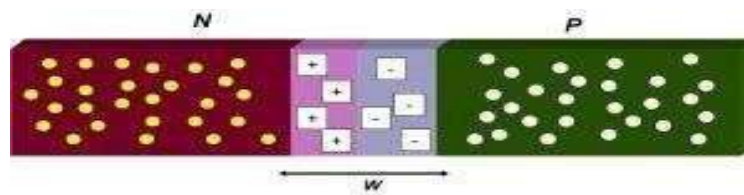
Gambar 2.10 Semikonduktor jenis p dan n Sebelum Disambung

Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.



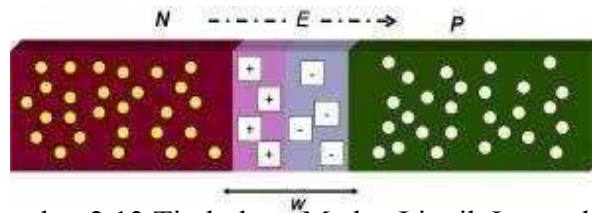
Gambar 2.11 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor

- b. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.



Gambar 2.12 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor

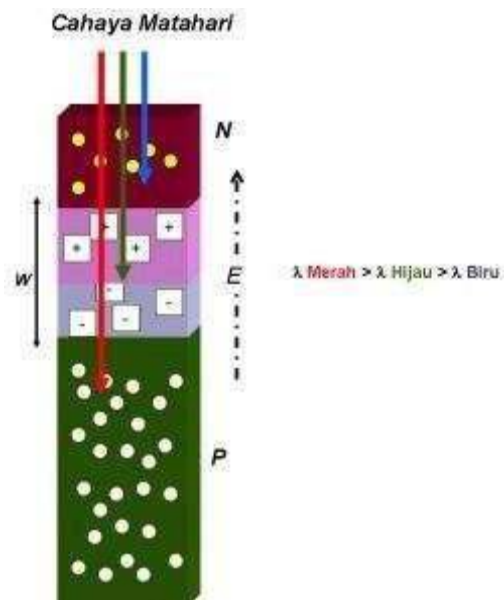
- c. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
- d. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda
- e. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi



Gambar 2.13 Timbulnya Medan Listrik Internal E

Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E.

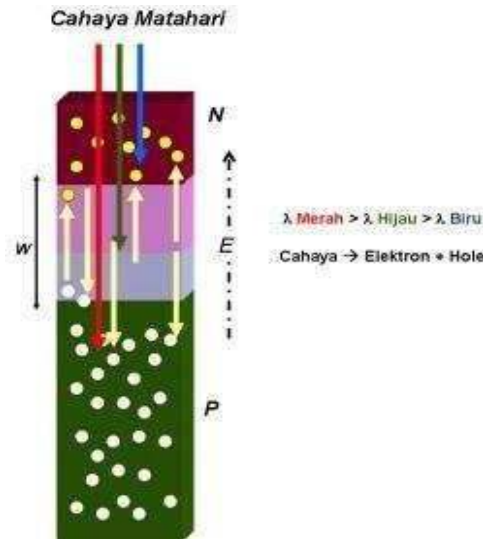
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



Gambar 2.14 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini

meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.

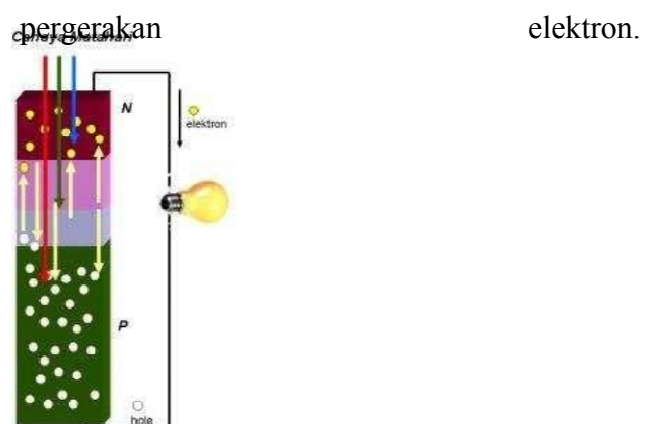


Gambar 2.15 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lamda” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat



Gambar 2.16 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor

Pada alat ini *solar cell* digunakan sebagai sumber energi pengganti listrik untuk mengisi ulang baterai sekunder (*charger*) yang digunakan untuk menghidupkan portal parkir otomatis. Dan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari *solar cell* pada saat pengisian baterai langsung digunakan rumus :

$$P=V.I$$

Keterangan : P = daya (dalam watt ,W)

V = ggl (dalam volt, V)

I = arus (dalam ampere)

2.7. Jenis jenis solar cell

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

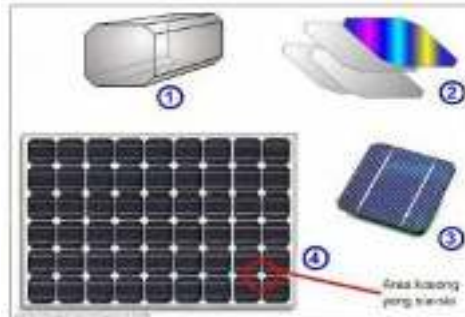
1. Monocrystalline

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 ha

rga 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.



Gambar 2. 17 Bagian-bagian batangan kristal silikon

Keterangan gambar:

1. Batangan kristal silikon murni

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

Sel-sel surya Monocrystalline juga dikenal sebagai sel-sel kristal tunggal. Monocrystalline sangat mudah diidentifikasi karena berwarna hitam pekat. Sel monocrystalline terbuat dari bentuk silikon yang sangat murni, membuatnya menjadi bahan paling efisien untuk konversi sinar matahari menjadi energi.

Selain itu, sel monocrystalline juga merupakan bentuk solar sel silikon yang paling hemat ruang. Selain itu juga keuntungan lainnya adalah menjadi sel yang bertahan paling lama dari semua sel surya berbasis silikon. Faktanya, banyak pabrikan akan menawarkan jaminan hingga 25 tahun untuk panel menggunakan monocrystalline-garansi yang bertahan setengah dari perkiraan umur sel itu sendiri.



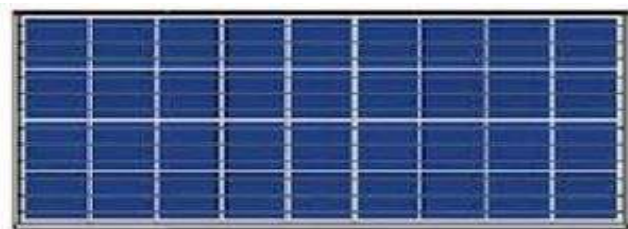
Gambar 2. 18 Silikon monocristaline

Namun, sementara sistem ini lebih unggul, mereka datang dengan harga yang cukup mahal. Sel monocrystalline adalah pilihan yang paling mahal dari semua jenis solar sel silikon, terutama karena sistem pemotongan empat sisi menghasilkan sejumlah besar limbah. Sel jenis polycrystalline hadir sebagai alternatif yang lebih murah.

Monocrystalline dan polycrystalline Keduanya terbuat dari silikon, tetapi memproduksi monocrystalline membutuhkan proses yang jauh lebih rumit. Monocrystalline dibuat menggunakan proses Czochralski, dinamakan sesuai dengan ilmuwan Polandia yang menemukan secara kebetulan setelah secara tidak sengaja mencelupkan pulpennya ke dalam proses silikon timah cair. Proses ini terdiri dari memutar kristal biji silikon padat sambil perlahan mengekstraknya dari kolam silikon cair. Proses ini menciptakan blok silikon murni yang terbuat dari hanya satu kristal (sesuai dengan namanya monocrystalline). Blok ini, atau ingot, kemudian dipotong menjadi persegi, menciptakan banyak silikon yang terbuang. Kuadrat silikon kemudian diiris menjadi wafer berwarna seragam dan dirangkai menjadi pola panel surya monokristalin yang khas.

2. Polycrystalline

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikonnya tidak semurni 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. 19 Silikon Polycrystalline

Panel surya pertama berdasarkan silikon polycrystalline yang juga dikenal sebagai polysilicon (p-Si) dan multi-kristal silikon (mc-Si), diperkenalkan ke pasar pada tahun 1981. Tidak seperti panel surya berbasis monocrystalline, panel surya polycrystalline tidak membutuhkan proses Czochralski. Silikon mentah dilebur dan dituangkan ke dalam cetakan persegi, yang didinginkan dan dipotong menjadi wafer persegi.

Sebagai perbandingan, membuat polycrystalline relatif lebih sederhana. Sebuah biji kristal silikon tunggal dan silikon cair dimasukkan ke dalam cetakan persegi dan dibiarkan beberapa saat. Silikon kemudian mendingin dengan rentang yang berbeda saat bagian luar mendingin lebih cepat. Pengaturan yang tidak merata menghasilkan banyak kristal yang berbeda (karena itu disebut polycrystalline) yang memberi penampilan panel gemerlap dan beraneka warna.

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. 20 Thin Film Solar Cell

Berdasarkan materialnya, sel surya thin film ini digolongkan menjadi:

a. *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%.

b. Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells

surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon, yaitu sekitar: 9% - 11%.¹⁸

c. 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.

BAB III

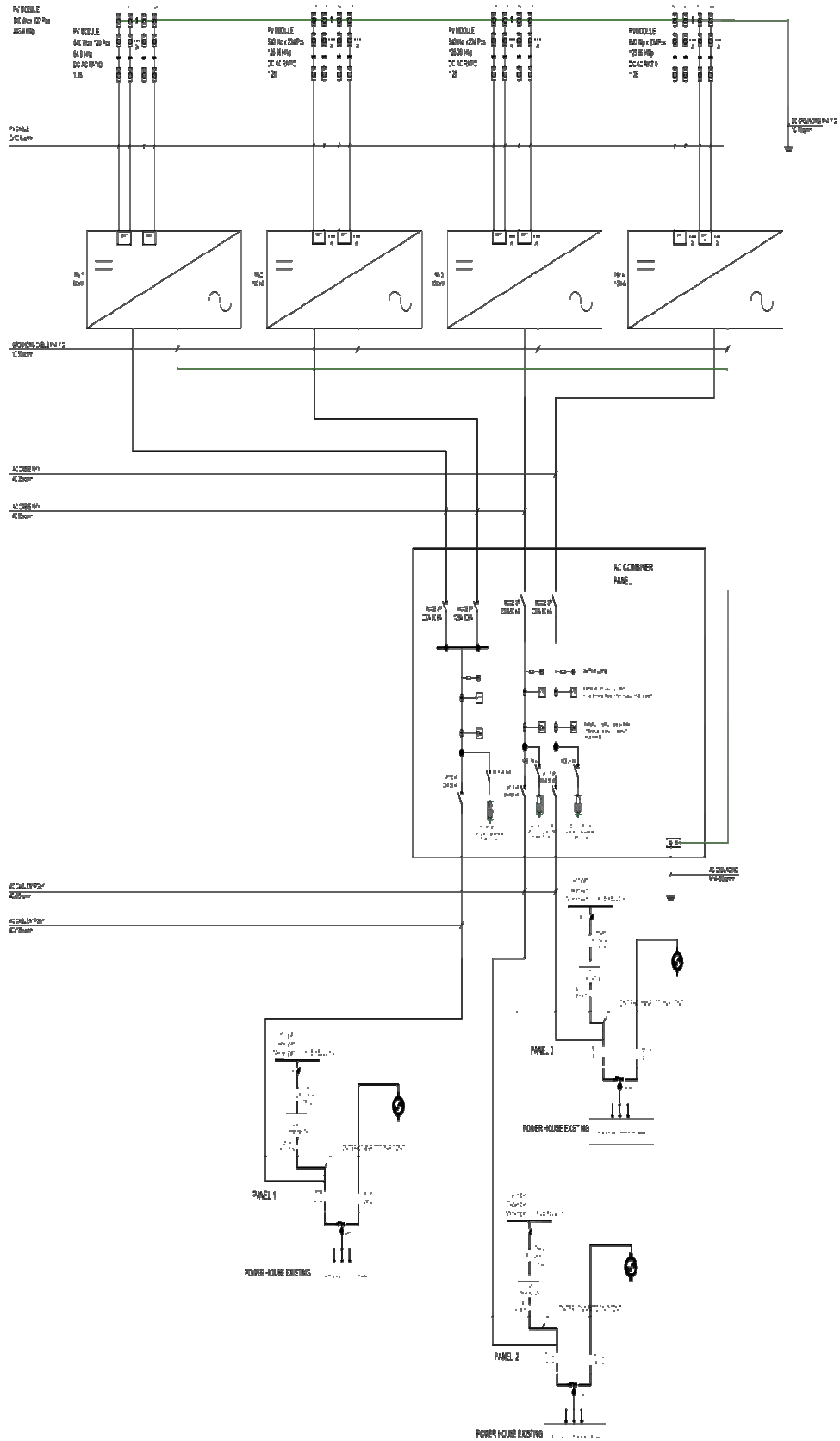
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan pada tanggal 22 Juli-26 Agustus 2022 di rooftop Gedung L PLTS Universitas HKBP Nommensen Medan.

3.2 PLTS Universitas HKBP Nommensen

PLTS Universitas HKBP Nommensen Medan dibangun pada tahun 2021 dengan total kapasitas 618,9 kilowatt peak (KWp) yang merupakan bentuk kolaborasi antara Universitas HKBP Nommensen Medan dan PT. Wijaya Karya industri energi dengan PT. Surya Utama Nuansa. Universitas HKBP Nommensen menggunakan sistem PLTS On-Grid dengan memasang panel surya di rooftop Gedung L, Gedung I dan Gedung fakultas kedokteran. Dan PLTS UHN Medan memiliki 4 inverter yang terhubung ke trafo Gedung I (Rektorat) trafo Gedung ekonomi dan hukum serta trafo Gedung L (Fakultas Teknik). Inverter 1 mencakup 120 panel surya dengan kapasitas 64,8 kWp, dan inverter 2 mencakup 234 panel surya dengan kapasitas 126,36 kWp dihubungkan secara seri ke trafo Gedung I yang berkapasitas 197 KVA. sehingga total yang terhubung dengan trafo rektorat adalah 181,16 kWp, sedangkan inverter 3 mencakup 234 panel surya dengan kapasitas 126,36 kWp dihubungkan ke trafo fakultas ekonomi dan hukum yang berkapasitas 197 KVA. inverter 4 mencakup 234 panel surya dengan kapasitas 126,36 kWp dihubungkan ke trafo Gedung L yang berkapasitas 197 KVA.



Gambar 3.1. Diagram PLTS On-Grid panel surya diatap Gedung L

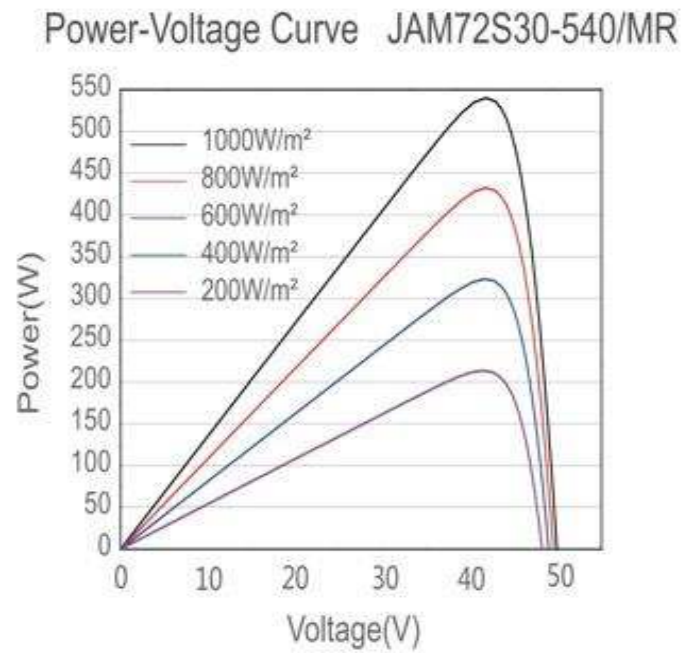
3.3 Spesifikasi panel surya

Adapun bahan-bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini system PLTS On Grid, panel surya merek JASOLAR jenis *Mono-crystalline* yang berkapasitas 540 Wp type JAM72S30-540/MR dibuat oleh Tiongkok.

Tabel 3.1. Spesifikasi Panel Surya JASOLAR <i>Mono-crystalline</i> 540 Wp yang Digunakan	
Spesifikasi	JASOLAR JAM72S30-540/MR
Pada saat <i>Standard Test Condition (STC)</i> dengan temperatur panel stabil 25°C; irradiance sebesar 1000 W/m ² dengan spektrum cahaya massa udara (Air Mass) AM 1.5 dan kecepatan angin 0 m/ s	
Nilai daya maksimum	540 W
Tegangan Short Circuit	49.60 V
Tegangan daya maksimum	41.64 V
Arus <i>Short Circuit</i>	13.86 A
Arus daya maksimum	12.97 A
Efisiensi modul	20.9%
Toleransi daya	0-5 W
Koefisien suhu dari arus short circuit	+0.045% / °C
Koefisien suhu dari tegangan short circuit	-0.275% / °C
Koefisien suhu dari daya maksimum	-0.35% / °C
Dimensi Panel Surya	2,279 m (P) 1,134 m (L) 35 mm (T)
Pada saat keadaan Normal Operating Cell Temperature (NOCT) dengan temperatur udara 20°C; irradiance sebesar 800 W/m ² dengan spektrum cahaya massa udara (Air Mass) AM 1.5 dan kecepatan angin 1 m/s	
Nilai daya maksimum	408 W
Tegangan Short Circuit	46.43 V
Tegangan daya maksimum	38.99 V
Arus <i>Short Circuit</i>	11.13 A
Arus daya maksimum	10.51 A
Tegangan sistem maksimum	1000 V/1500 V DC
Temperatur kerja	-40°C ~ 85°C
Dimensi Panel Surya	2,279 m (P) 1,134 m (L) 35 mm (T)

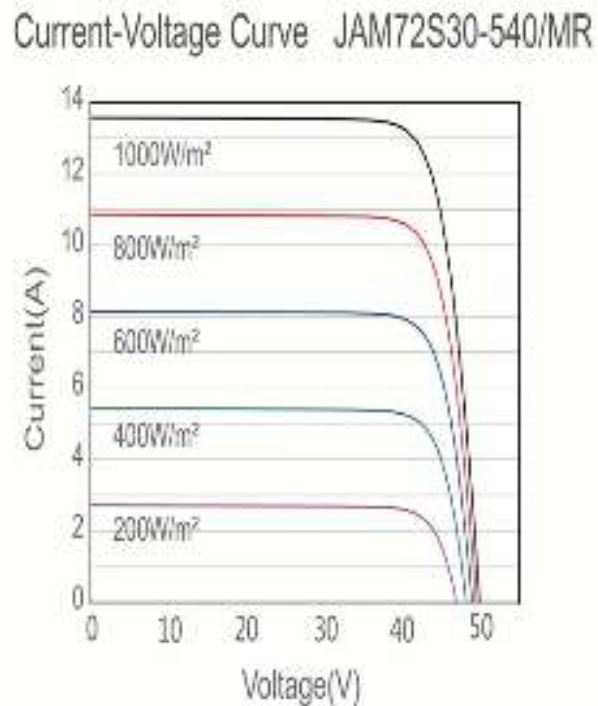
3.4 Karakteristik panel surya pada Gedung L

3.4.1 Power-voltage Curve to Solar Irradiance



Gambar 3.2 Karakteristik power-voltage curve irradiance

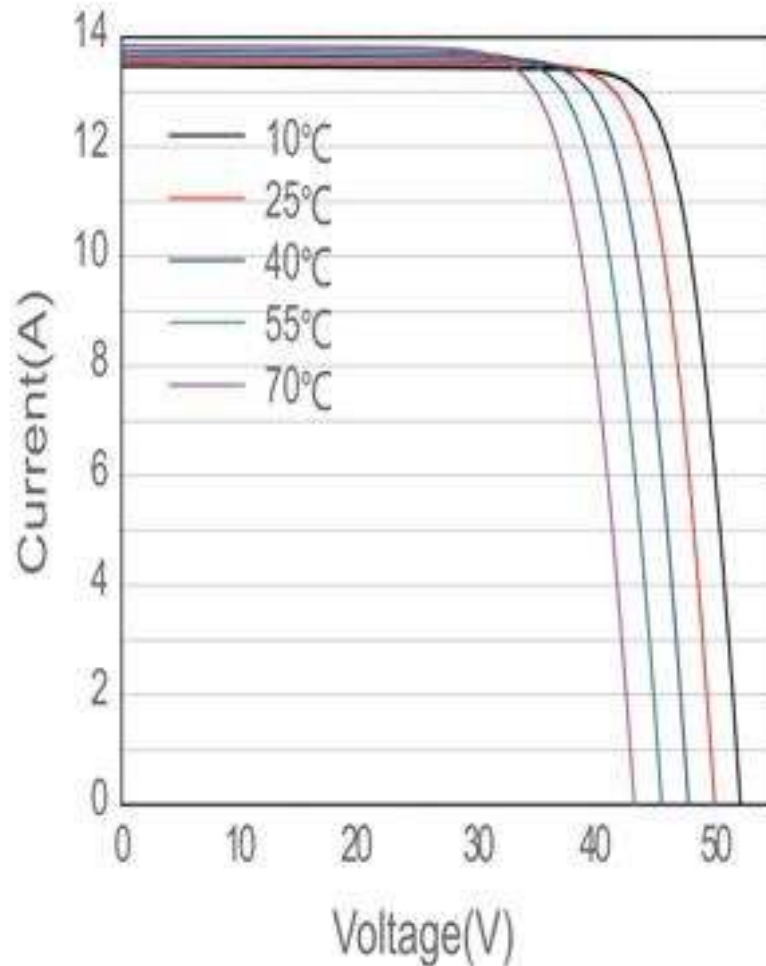
3.4.2 Current Voltage Curve Irradiance



Gambar 3.3 Karakteristik Current-Voltage Curve Irradiance

3.4.3 Current-Voltage Curve Temperature

Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Gambar 3.4 Current-Voltage Curve Temperature

3.5 Inverter

Inverter yang digunakan adalah inverter merek Huawei buatan Tiongkok yaitu SUN2000-20KTL-M0, SUN2000-60KTL-M0 dan SUN2000-100KTL-M1 pada powerhouse seperti yang ditunjukkan table berikut:

Tabel 3.2. Spesifikasi Inverter Huawei yang Digunakan.			
Spesifikasi	SUN2000-20KTL-M0	SUN2000-60KTL-M0	SUN2000-100KTL-M1
Efisiensi Maksimal	98.65%	98.9% (480 V) 98.7% (380 V/ 400 V)	98.8% (480V) 98.6% (380 V/ 400 V)
INPUT			

Tegangan input maksimum	1,080 V	1100 V	1100 V
Arus maksimum per MPPT	22 A	22 A	26 A
Arus <i>short circuit</i> maksimum per MPPT	30 A	30 A	40 A
Tegangan awal	200 V	200 V	200 V
Tegangan kerja MPPT	160 V ~ 950 V	200 V ~ 1,000 V	200 V ~ 1000 V
Tegangan Input Nominal	600 V	600 V (380 Vac /400 Vac) 720 V(480 Vac)	720V (480 Vac) 600V (400 Vac) 570V (380 Vac)
Jumlah input MPPT	2	6	10
Input maksimal per MPPT	2	2	2
OUTPUT			
Daya aktif AC nominal	20,000 W	60,000 W	100,000 W
Daya semu AC maksimum	22,000 VA	66,000 VA	110,000 VA
Daya aktif AC maksimum($\cos\phi=1$)	22,000 VA	66,000 W	110,000 W
Tegangan Output Nominal	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W + N + PE	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, 3W + N + PE; 3W + PE 277 V / 480 V, 3W + PE	480 V/ 400 V/ 380V, 3W+(N)+PE
Frekuensi	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz	50 Hz / 60 Hz
Arus output nominal	-	72.2 A (480 V) 86.7 A (400 V) 91.2 A (380 V)	120.3 A (480 V) 144.4 A (400 V) 152.0 A (380 V)
Arus output maksimum	33.5 A	100 A (380 V) 95.3 A (400 V) 79.4 A (480 V)	133.7 A (480 V) 160.4 A (400 V) 168.8 A (380 V)
Faktor Daya	0.8 Lagging 0.8 Leading	0.8 Lagging 0.8 Leading	0.8 Lagging 0.8 Leading
Distorsi Harmonik Total Maksimum	$\leq 3\%$	$< 3\%$	$< 3\%$
Temperatur kerja	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C

Dalam penelitian ini inverter yang digunakan digedung L adalah SUN2000-100KTL-M1.

3.6 Irradiance Meter

Untuk mengukur intensitas radiasi cahaya matahari (W/M^2) di gedung L digunakan solar power meter dengan tipe SM206-solar.dengan menempatkan alat ukur Irradiance meter langsung kepanel PV.maka sensor konduktif pada alat ukur

akan secara otomatis melakukan pembacaan intensitas radiasi cahaya matahari yang akan diserap panel surya.



Gambar 3.5 Irradiance meter