

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.

Intensitas radiasi matahari sebagai sumber energy dalam penerapan sel surya, sehingga daya dan efisiensi keluarannya sangat bergantung pada perubahan radiasi. Parameter yang sangat dipengaruhi oleh radiasi adalah arus keluaran sel surya sedangkan pengaruhnya terhadap nilai tegangan cukup kecil. Radiasi

bukanlah satu-satunya parameter yang memiliki pengaruh terhadap kurva karakteristik Arus dan Tegangan namun perubahan temperatur Panel surya juga memiliki pengaruh signifikan. Adapun pengaruh temperature efisiensi keluaran Panel surya yang cukup signifikan yaitu nilai Tegangan sedangkan untuk Arus kecil sehingga dapat dinyatakan antara pengaruh radiasi dengan temperature terhadap daya dan efisiensi keluaran Panel surya berbanding terbalik. Dengan latar belakang tersebut, penulis berupaya untuk menganalisis perubahan efisiensi akibat perubahan temperature Panel surya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang menjadi rumusan masalah dalam tulisan ini adalah bagaimana dampak dari naik turunnya temperatur suatu Panel surya saat sedang aktif atau bekerja mempengaruhi efisiensi Panel surya. Maka dari itu dilakukan pengamatan serta pengukuran kemudian dilakukan perhitungan efisiensi Panel surya tersebut.

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui perubahan efisiensi akibat perubahan temperatur Panel surya.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Pemantauan dan pengukuran Panel surya, meliputi; intensitas cahaya, temperatur, tegangan, dan arus.
2. Perhitungan efisiensi Panel surya.
3. Tidak membahas Solar Charger Control (SCC), Inverter, Baterai, dan jenis sistem PLTS secara mendalam.

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat penulisan tugas akhir ini:

1. Memberikan sedikit pengetahuan tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).
2. Memberikan sedikit pengetahuan tentang perubahan efisiensi akibat perubahan temperatur Panel surya.
3. Untuk melengkapi syarat penyelesaian program studi Strata Satu (S1) pada program studi Teknik Elektro Universitas HKBP Nommensen Medan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat untuk mempermudah memahami dan sistematika yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

2. BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang dasar teori dari perangkat yang digunakan.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Berisikan metoda penelitian.

4. BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang uraian analisis dan pembahasan hasil yang diperoleh.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (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 di mana sinar mataharinya melimpah dan bahan bakar sulit didapat dan relatif mahal. Alasan utama menggunakan teknologi fotovoltaik ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber energi yang melimpah dan tanpa biaya
2. Sumber energi tersedia di tempat dan tidak perlu diangkut
3. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan sistem PLTS yang relatif kecil
4. Tidak perlu pemeliharaan yang sering dan dapat dilakukan oleh operator setempat yang terlatih
5. Ramah lingkungan, tidak ada emisi gas dan limbah cair atau padat yang berbahaya

Sistem PLTS terdiri dari modul fotovoltaik, *solar charge controller* atau inverter jaringan, baterai, inverter baterai, dan beberapa komponen pendukung lainnya. Ada beberapa jenis sistem PLTS, baik untuk sistem yang tersambung ke jaringan listrik PLN (*on-grid*) maupun sistem PLTS yang berdiri sendiri atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (*off-grid*). Meskipun sistem PLTS tersebar (SHS, *solar home system*) lebih umum digunakan karena relatif murah dan desainnya yang sederhana, saat ini PLTS terpusat dan PLTS hibrida (PLTS yang dikombinasikan dengan sumber energi lain seperti angin atau diesel) juga banyak diterapkan, yang bertujuan untuk mendapatkan daya dan penggunaan energi yang lebih tinggi serta mencapai keberlanjutan sistem yang lebih baik melalui

kepemilikan secara kolektif (komunal). PLTS tersebar dapat menjadi pilihan ketika persebaran rumah penduduk yang berjauhan satu sama lain.

Dibandingkan teknologi energi terbarukan lainnya, seperti pembangkit listrik tenaga air (hidro), sistem PLTS relatif baru di Indonesia. Pemerintah pertama kali mengimplementasikan sistem PLTS tersebar untuk listrik pedesaan pada tahun 1987. Seiring berjalannya waktu, penerapan sistem PLTS di Indonesia telah berkembang dari sistem tersebar ke sistem komunal atau terpusat. Terlepas dari kenyataan bahwa Indonesia telah menjajaki teknologi PLTS sejak tahun 1970-an, keahlian tentang sistem fotovoltaik masih dalam tahap awal. Hal ini disebabkan oleh kurangnya ketersediaan tenaga ahli, teknisi terampil, dan perusahaan rekayasa yang kompeten untuk merancang, membangun, dan memelihara sistem. Sementara itu, rantai pasokan suku cadang sistem PLTS yang lebih baik sangat diperlukan untuk menjamin keberlanjutan sistem ini di Indonesia terutama di daerah pedesaan. Sangat disadari, butuh waktu yang cukup lama untuk membangun penyedia layanan teknis dan suku cadang di daerah pedesaan. Meskipun demikian, dengan tetap konsisten menjaga kualitas sistem, kemungkinan rusaknya sistem akan berkurang dan umur pakai sistem akan lebih panjang.

3.1.1 Komponen Sistem PLTS

Dalam teknologi pembangkit listrik tenaga surya diperlukan beberapa komponen penting untuk menghasilkan listrik yakni salah satunya panel surya. Panel surya adalah alat yang digunakan untuk menyerap dan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Di dalam sinar matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton 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 silikon. Silikon ini terdiri dari dua jenis lapisan sensitif yaitu lapisan positif (tipe-P) dan lapisan negatif (Tipe-N). Panel surya terbagi menjadi dua jenis yaitu: (1) tipe Polikristalin dan (2) tipe Monokristalin.

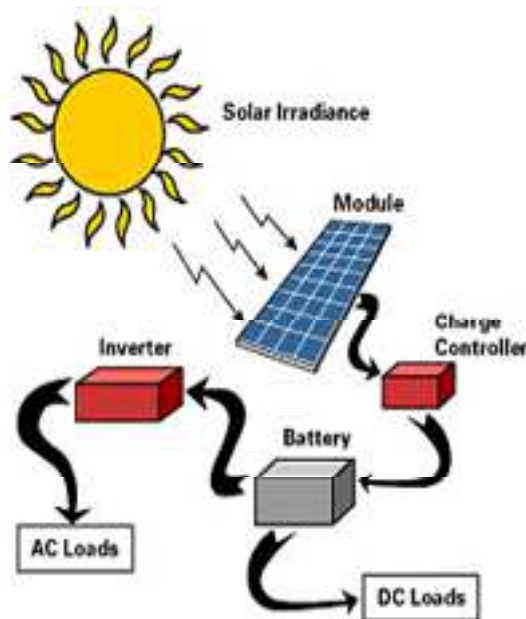
Komponen kedua yang sangat penting adalah Solar Charge Controller (SCC). SCC adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya ke dalam baterai (Aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu, TV dan lain-lain. Dengan adanya solar charge controller maka energi listrik yang telah dihasilkan oleh sel surya akan otomatis akan diisikan pada aki dan menjaga aki agar tetap dalam kondisi baik. Kemudian dari SCC juga energi dari sel surya dapat digunakan langsung.

Komponen ketiga adalah baterai. Baterai adalah alat untuk menyimpan muatan listrik. Jadi, pada saat sel surya mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik, maka energi listrik 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.

Komponen keempat adalah Inverter. Inverter adalah alat/perangkat yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (direct current/DC) dari sel surya dan baterai menjadi arus listrik bolak-balik (alternating current/AC) dengan tegangan 220 Volt yang kemudian akan digunakan pada listrik komersial seperti lampu dan televisi. Alat ini diperlukan untuk PLTSurya 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 sistem adalah Inverter Pure Sine Wave, yang mempunyai bentuk gelombang sineus murni seperti listrik dari PT.PLN.

Bentuk gelombang ini merupakan bentuk paling ideal untuk peralatan elektronik pada umumnya sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan.

Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal. Secara teknologi, industri fotovoltaic (PV) di Indonesia baru mampu melakukan pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel suryanya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS. Harga yang masih tinggi menjadi isu penting dalam perkembangan industri sel surya. Berbagai teknologi pembuatan sel surya terus diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi sel surya agar mampu bersaing dengan sumber energi lain. Secara Umum komponen PLTS dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Komponen Sistem PLTS

2.1.2 Energi Surya

Sel surya adalah seperangkat modul untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam

sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan sel surya adalah sebuah elemen semi konduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek photovoltaic. Sel surya mulai populer akhir-akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu global warming. Energi yang dihasilkan juga sangat murah karena sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis. Energi baru dan yang terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (sel fotovoltaik) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lainnya. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m² / hari. Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem. Dalam merencanakan pembangunan PLTS terlebih dahulu diperhitungkan beban dari PLTS sehingga kita dapat menghitung kapasitas listrik tenaga surya yang akan dibangun. Berikut contoh perhitungan sederhana kebutuhan daya yang digunakan, kapasitas panel dan banyaknya panel yang digunakan dan kebutuhan baterai dengan daya menyimpannya.

Rumus daya Listrik : Daya Listrik = Tegangan x Arus, Atau Watt = Volt x Ampere

2.1.3 Prinsip Kerja PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya konsepnya sederhana, yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak

terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan 5 dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising, selain itu gas yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (green house gas) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita. Sistem sel surya yang dapat digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (charge controller), dan aki (baterai) 12 volt yang maintenance fee. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dari kapasitas yang diperlukan. Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt. Bila tegangan turun sampai 10.8 volt berarti sisa tegangan pada aki 2.2 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik bila tegangan aki itu mencapai 12 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian aki, sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dipasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit sendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri. Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi lurus menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari, agar dapat terserap secara maksimum sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya. Bahan sel surya sendiri terdiri dari kaca pelindung dan material adhesive transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan kemudian material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran silikon) untuk menghasilkan medan

listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik. Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semi-konduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan magnetlistrik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot.

2.2 Sel Surya

Bahan yang paling umum digunakan untuk sel surya adalah silikon yang tersedia berlimpah di bumi. Teknologi produksi silikon kristal tingkat semikonduktor sangat dipahami karena ini digunakan dalam pembuatan komponen elektronik termasuk dioda, transistor, sirkuit terpadu, dan microchip. Manufaktur proses modul PV silikon terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Produksi polisilikon
2. Produksi *single crystal ingots*
3. Memotong ingot menjadi wafer
4. Produksi sel dan
5. Perakitan modul.

Berdasarkan teknologi produksi wafer silikon, sel silikon kristal diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama:

1. Monokristalin disebut sebagai kristal tunggal: sel-sel ini berbentuk bundar
2. Polikristalin, disebut multi-kristal; dan
3. Pita pertumbuhan EFG pita silikon dan lembaran silikon.

Pita silikon multikristalin dan pita sel EFG ini tidak berbentuk lingkaran dan tidak melibatkan pemborosan ruang dalam pembentukan modul. Klasifikasi lain berdasarkan keadaan dan kualitas bahan silikon melibatkan tiga jenis sel surya yang telah diproduksi dan dipasarkan:

1. Sel surya silikon monokristalin;
2. Sel surya silikon polikristalin; dan
3. Sel surya silikon amorf / sel film tipis.

Selanjutnya, lusinan material PV dan teknologi proses telah diusulkan dan diuji untuk perbaikan efisiensi dan pengurangan biaya sel surya. Sel surya film tipis yang didasarkan pada Si amorf (a-Si), Cu (InGa), Se₂ (CIG S) dan CdTe dan nano / mikro / poli-Si telah menerima perhatian serius karena potensi besar potensial mereka untuk pengurangan biaya dan peningkatan kualitas dan sekarang menerima kenaikan berat di pasar. Efisiensi sel laboratorium adalah 25,6% untuk teknologi berbasis monokristalin dan 20,8% untuk teknologi multi-kristal wafer. Laboratorium efisiensi tertinggi dalam teknologi serat tipis adalah 21% CdTe dan 20,5% untuk CIGS.

Sel surya (Fraunh menawarkan ISE: 2016). Sel yang paling umum digunakan dalam aplikasi terestrial seperti yang disebutkan di atas adalah sel silikon. Teknologi PV berbasis silikon wafer adalah sekitar 93% dan teknologi film tipis sekitar 7% dari total produksi tahunan pada 2015. Pangsa teknologi multi-kristal sekarang 69% dari total produksi tahunan.

Silikon mungkin tidak dapat memenuhi sasaran biaya jangka panjang, karena termodinamika secara fundamental membatasi efisiensi konversi hingga 31% atau 41% tergantung pada konsentrasi sinar matahari yang masuk. Ini dikenal sebagai batas efisiensi Shockley-Quetsser.

Pewarna sel dan *photovoltaics* organik juga maju dan menjanjikan teknologi murah yang terjangkau. *Photovoltaics* generasi berikutnya dan sel surya nanoarsitektur dapat memungkinkan beberapa konsep desain sel surya canggih untuk dieksploitasi (misalnya pita menengah dan beberapa pintu keluar pada

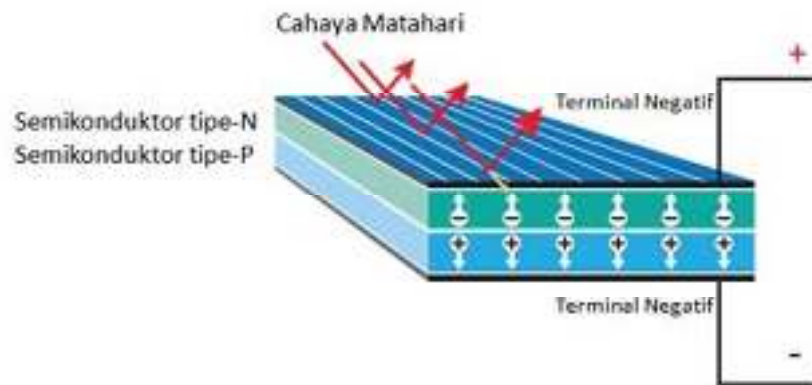
perangkat, perangkat konversi pembawa panas dan atas / bawah, dll.) Dan diprediksi merupakan pendekatan efisiensi tinggi yang sangat tinggi untuk konversi energi surya. Namun, hambatan teoritis dan praktis yang substansial dalam implementasinya dalam perangkat yang berguna untuk perspektif komersial masih harus dihilangkan. Teori dan eksperimen yang diarahkan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang fenomena di atom / molekuler / nano - dan mesoscale yang terlibat dalam pengembangan sel surya efisiensi tinggi / hemat biaya baru / generasi baru sedang diteliti.

Sel-sel dihubungkan secara seri / paralel untuk membentuk modul yang digunakan sebagai generator *photovoltaic*. Tergantung pada persyaratan beban, modul-modul ini terhubung ke form array. Generator *photovoltaic* bersifat modular dan dapat diatur dengan cepat dan mudah sebagai array kecil dan bertambah besar seiring meningkatnya permintaan daya. Jadi, pembangkit *photovoltaic* surya secara unik cocok untuk daerah terpencil dan daerah perbukitan karena sinar matahari termasuk radiasi yang menyebar adalah sumber yang didistribusikan dan melibatkan pemanfaatan cum pembuatan situs. Untuk daerah-daerah seperti itu, pengangkutan bahan bakar dan peletakan saluran transmisi menjadi proposisi yang tidak ekonomis dan tidak dapat diandalkan. Situasi seperti itu lazim di daerah terpencil dan daerah perbukitan dengan populasi yang tersebar di mana sinar matahari berlimpah sepanjang tahun.

2.2.1 Semikonduktor Tipe p dan Tipe n

Apabila kristal silikon ditambahkan unsur golongan kelima seperti arsen, atom-atom akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas itu berasal dari kelebihan elektron dari arsen terhadap lingkungan sekitarnya yaitu silikon. Semikonduktor jenis ini disebut jenis semikonduktor tipe n. Sebaliknya, apabila kristal silikon ditambah oleh unsur golongan ketiga, misal boron maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan silikon mengakibatkan adanya hole yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut yang namanya adalah semikonduktor tipe p. Tambahan tersebut mengakibatkan semikonduktor lebih banyak menghasilkan

pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada jenis semikonduktor tipe p maupun jenis semikonduktor tipe n seperti terlihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2 Semikonduktor Tipe P dan Tipe N

2.2.2 Sambungan P-N

Saat material semikonduktor tipe-p dan tipe-n dihubungkan akan terjadi difusi hole dari tipe-p menuju tipe-n dan terjadi difusi elektron dari tipe-n menuju ke tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negatif pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatann pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi yang akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus drift, yaitu arus yang dihasilkan karena munculnya medan listrik. Akan tetapi, arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut. Elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Munculnya medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada solar sel sambungan p-n yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar elektron dapat mengalir karena kehadiran medan listrik tersebut. Ketika junction disinari, foton yang memiliki energi lebih dari lebar pita energi elektron tersebut akan mengakibatkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini

dapat bergerak dalam material sehingga mengakibatkan pasangan elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal solar sel, maka elektron dari area n akan kembali ke area p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir seperti terlihat pada Gambar 2. 3.



Gambar 2.3 Sambungan P-N

2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Sel Surya

Rangkaian Ekuivalen Sel Surya dapat ditunjukkan pada Gambar 2. 4. 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:

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

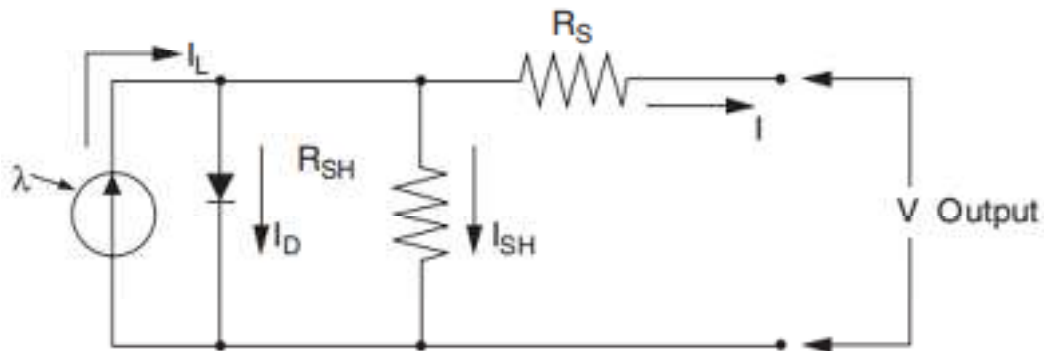
$$I_d = I_D [e^{\frac{qV_{oc}}{AKT}} - 1] \quad (2.2)$$

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. 4 Rangkaian ekivalen Sel Surya

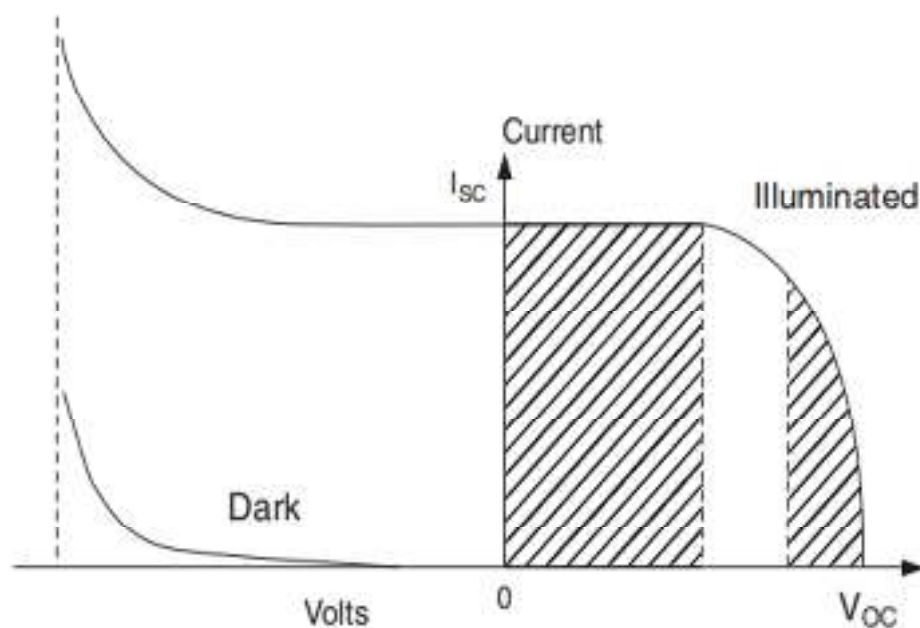
2.2.3.1 kurva I-V dan P-V

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 .

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

$$V_{oc} = \frac{AKT}{Q} \text{Log}_{nt}\left(\frac{I_L}{I_D} + 1\right) \quad (2.4)$$

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_D merupakan fungsi yang cukup kuat dari suhu sel, dan sel surya biasanya menunjukkan koefisien suhu negatif dari tegangan rangkaian terbuka.

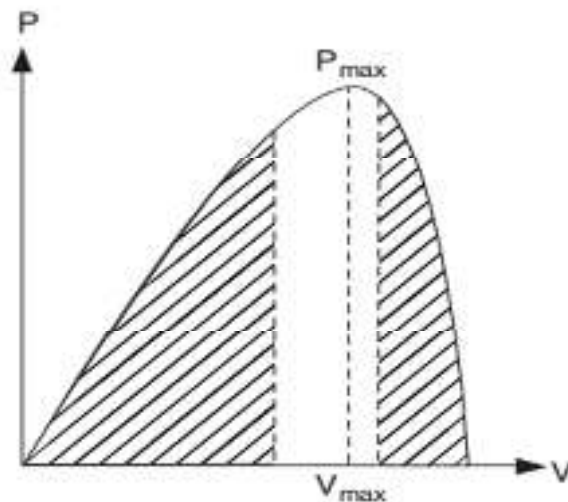


Gambar 2. 5 Karakteristik I-V modul PV di bawah sinar matahari dan dalam gelap.

Karakteristik kelistrikan sel PV umumnya diwakili oleh kurva arus vs. tegangan (I-V). Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik IV modul PV dalam dua kondisi, di bawah sinar matahari dan dalam gelap. Pada kuadran pertama, kiri atas kurva I-V pada tegangan nol disebut arus hubung singkat. Ini adalah arus yang akan kita ukur dengan terminal keluaran korsleting (tegangan nol). Bagian kanan bawah kurva pada arus nol disebut tegangan rangkaian terbuka. Ini adalah tegangan yang akan kita ukur dengan terminal keluaran terbuka (arus nol). Di wilayah yang diarsir kiri, sel bekerja sebagai sumber arus konstan, menghasilkan tegangan yang sesuai dengan resistansi beban. Di daerah yang diarsir di sebelah

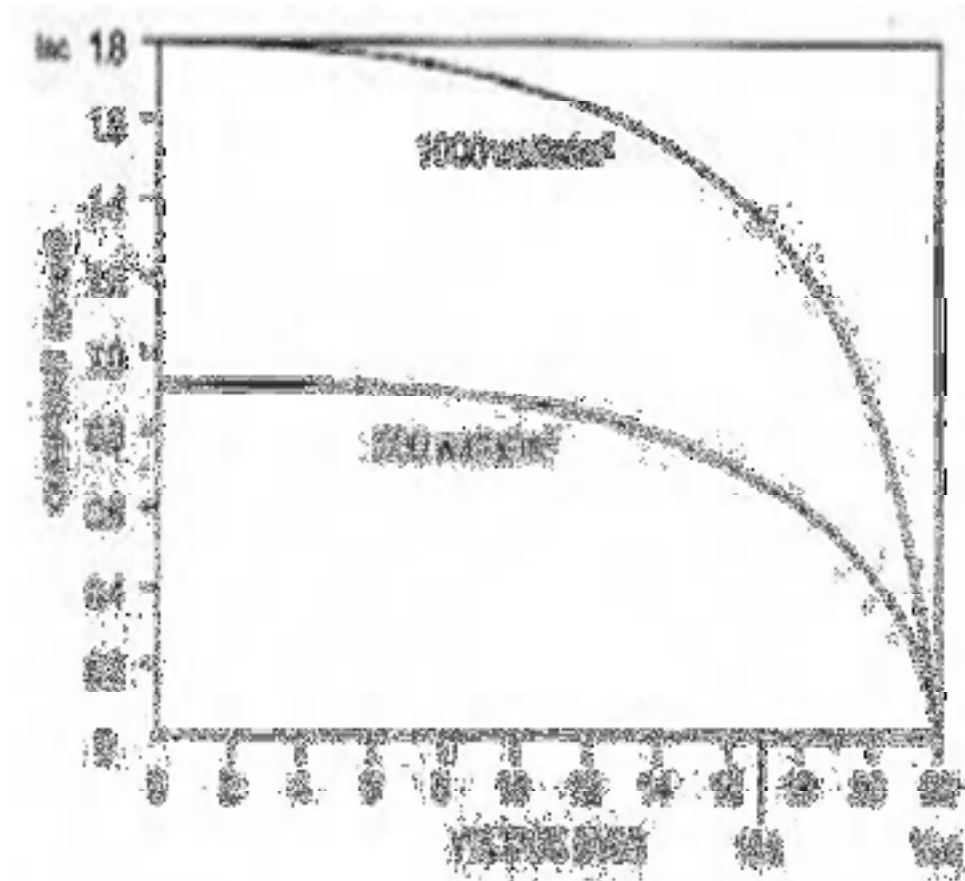
kanan, arus turun dengan cepat dengan kenaikan tegangan yang kecil. Di wilayah ini, sel bekerja seperti sumber tegangan konstan dengan resistansi internal. Di suatu tempat di tengah dua daerah yang diarsir, kurva memiliki titik lutut.

Jika tegangan diterapkan secara eksternal dalam arah sebaliknya, misalnya, selama transien gangguan sistem, arus sel tetap datar, dan daya diserap oleh sel dengan tegangan negatif dan arus positif. Namun, di luar tegangan negatif tertentu, sambungan rusak seperti pada dioda, dan arus naik ke nilai yang tinggi. Dalam gelap, arus adalah nol untuk setiap tegangan hingga tegangan tembus, yang sama seperti dalam kondisi menyala.



Gambar 2. 6 Kurva P-V Sel Surya

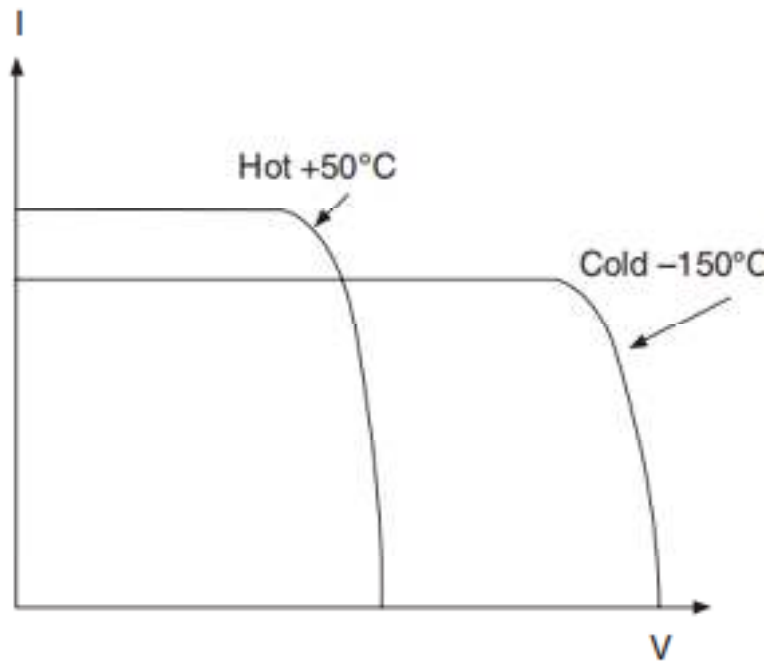
Output daya panel adalah produk dari output tegangan dan arus. Pada Gambar 2.6, daya diplot terhadap tegangan. Perhatikan bahwa sel tidak menghasilkan daya pada tegangan nol atau arus nol, dan menghasilkan daya maksimum pada tegangan yang sesuai dengan titik lutut kurva IV. Inilah sebabnya mengapa rangkaian daya PV selalu dirancang untuk beroperasi dekat dengan titik lutut dengan sedikit kemiringan di sisi kiri. Sirkuit PV dimodelkan kira-kira sebagai sumber arus konstan dalam analisis listrik sistem.



Gambar 2. 7 Kurva I-V Sel Surya

Gambar 2.7 adalah karakteristik IV panel 22-W pada dua intensitas penerangan matahari, 1000 W/m² dan 500 W/m². Kurva ini berada di AM1.5 (massa udara 1,5). AM0 (massa udara nol) mewakili kondisi luar angkasa (vakum), di mana radiasi matahari adalah 1350 W/m². AM1 mewakili kondisi normal matahari dalam atmosfer bumi yang bersih dan tidak tercemar pada siang hari yang kering. Dengan demikian, AM1 mewakili kondisi ideal di udara murni ketika sinar matahari mengalami hambatan paling kecil untuk mencapai bumi. AM1.5 mewakili kualitas udara rata-rata dengan kelembaban rata-rata dan polusi pada kemiringan rata-rata. Oleh karena itu, AM1.5 diambil sebagai nilai referensi untuk desain PV terestrial. Di ketinggian utara dengan matahari pada 15 ° dari cakrawala, indeks AM bisa setinggi 4 ketika sinar matahari memiliki hambatan yang tinggi untuk menembus sebelum mencapai permukaan bumi.

2.2.3.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Sel Surya



Gambar2. 8 Kurva Pengaruh Temperatur terhadap I-V

Dengan meningkatnya suhu, arus hubung singkat sel meningkat, sedangkan tegangan hubung terbuka menurun seperti terlihat pada Gambar 2. 9. Pengaruh suhu pada daya PV dievaluasi secara kuantitatif dengan memeriksa efek pada arus dan tegangan secara terpisah. Misalkan I_o dan V_o adalah arus hubung singkat dan tegangan hubung terbuka pada suhu referensi T , dan α dan β adalah koefisien suhu masing-masing. Jika suhu operasi dinaikkan sebesar ΔT , maka arus dan tegangan baru diberikan sebagai berikut:

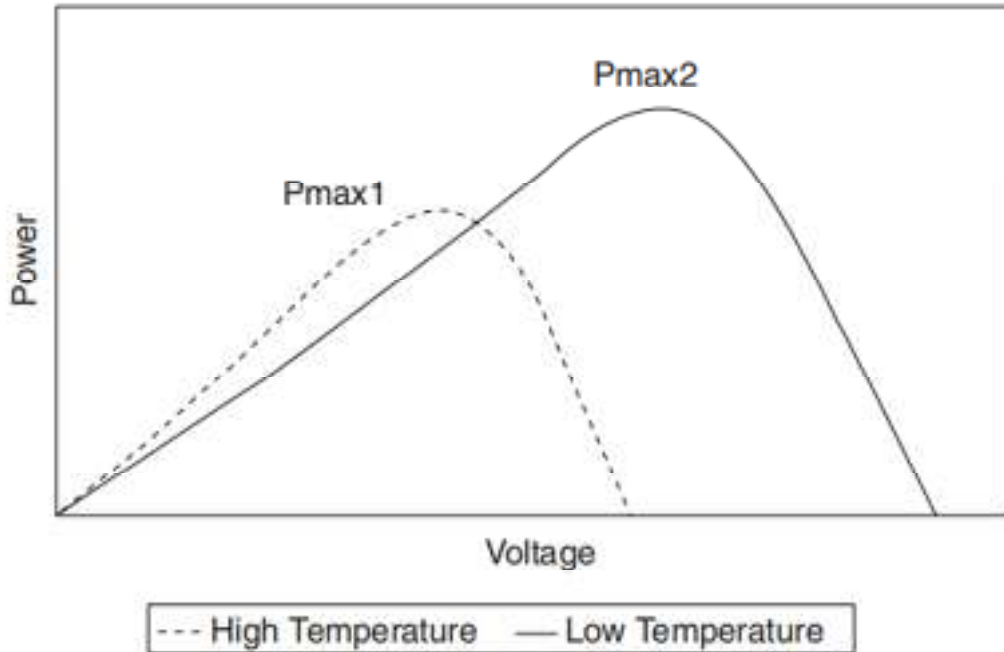
$$I_{sc} = I_o(1 + \alpha \Delta T) \text{ dan } V_{oc} = V_o(1 - \beta \Delta T) \quad (2.5)$$

Karena arus operasi dan tegangan berubah kira-kira dalam proporsi yang sama dengan arus hubung singkat dan tegangan hubung terbuka, maka dayanya adalah sebagai berikut:

$$P = VI = I_o(1 + \alpha \Delta T)V_o(1 - \beta \Delta T) \quad (2.6)$$

Persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi seperti berikut:

$$P = P_0[1 + (\alpha - \beta) \Delta T] \quad (2.7)$$

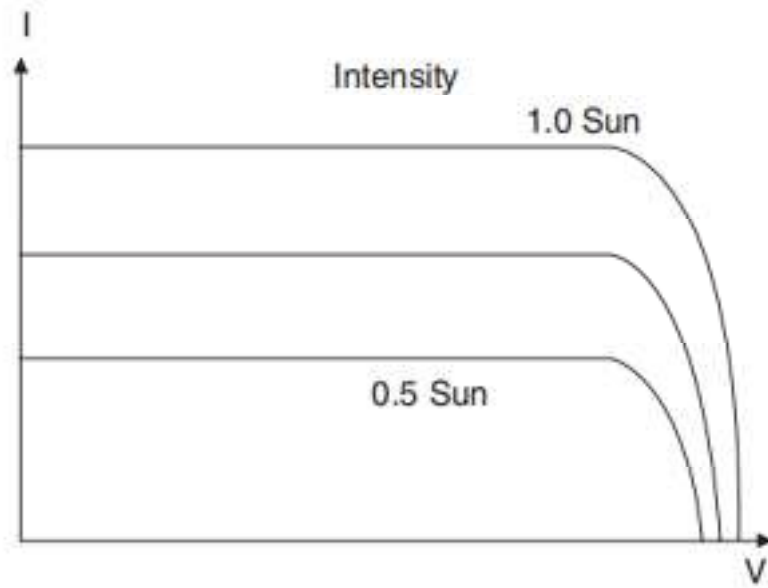


Gambar2. 9 Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap P-V

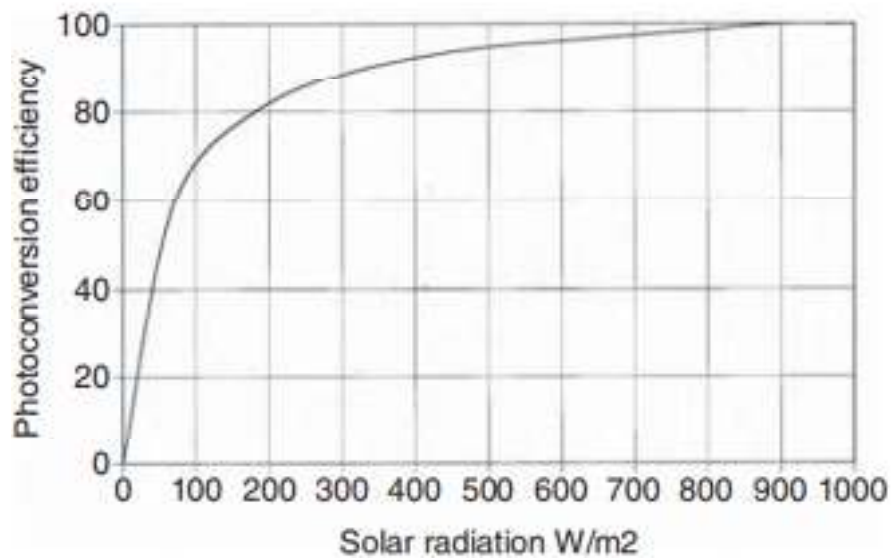
2.2.3.3 Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Sel Surya

Besarnya arus foto maksimum di bawah matahari yang cerah penuh (1,0 matahari). Pada hari yang mendung, arus foto berkurang sebanding dengan intensitas matahari. Pada intensitas matahari yang lebih rendah, karakteristik I-V bergeser ke bawah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Oleh karena itu, pada hari berawan, arus hubung singkat berkurang secara signifikan. Pengurangan tegangan rangkaian terbuka, bagaimanapun, adalah kecil.

Efisiensi fotokonversi sel tidak sensitif terhadap radiasi matahari dalam rentang kerja praktis. Sebagai contoh, Gambar 9.11 menunjukkan bahwa efisiensi praktis sama pada 500 W/m² dan 1000 W/m². Ini berarti bahwa efisiensi konversi adalah sama pada hari yang cerah dan pada hari yang mendung. Kami mendapatkan output daya yang lebih rendah pada hari berawan hanya karena energi matahari yang lebih rendah menimpa sel.



Gambar 2. 10 Kurva Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Sel Surya



Gambar 2. 11 Kurva Efisiensi Solar Sela terhadap Radiasi Cahaya Matahari

2.2.3 Efisiensi

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.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.8)$$

$$P_o = V_m \times I_m \quad (2.9)$$

Dimana :

η = efisiensi (%)

P_{out} = energi keluar (W)

P_{in} = energi masuk (W)

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

1. Suhu/ temperatur

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.

4. Orientasi Panel Surya

Misalnya, untuk lokasi yang terletak dibelahan 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.

5. 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/m^2 . Menurut Mark Hankins (2010) cara praktis dalam pemasangan panel surya adalah menghadapkannya ke khatulistiwa pada sudut yang sama ditambah 10° .

6. Kecepatan angin bertiup

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

7. Keadaan Atmosfir 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.

2.2.4 Jenis- jenis Sel Surya

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

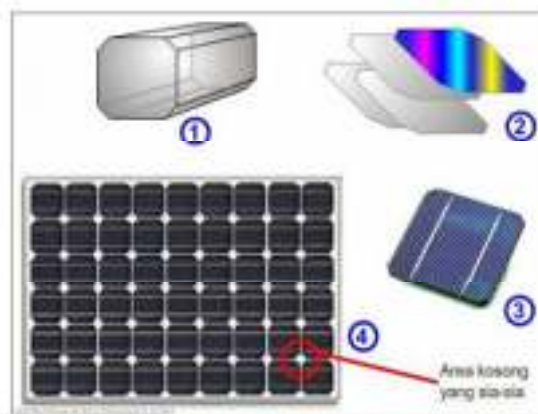
1. Monocrystalline

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.



Gambar 2. 12 Bagian-bagian batangan kristal silikon

Keterangan gambar:

1. Batangan kristal silikon murni
2. Irisan kristal silikon yang sangat tipis
3. Sebuah sel surya monocrystalline yang sudah jadi
4. 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.



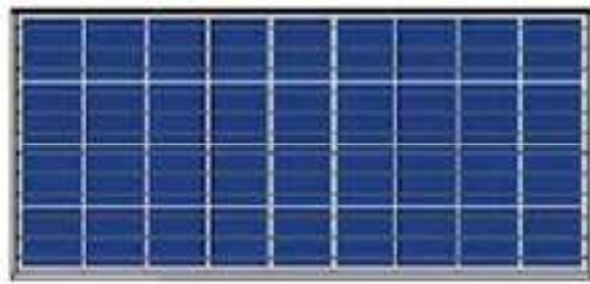
Gambar 2. 13 Silikon monocristaline

Namun, sementara sistem ini lebih unggul, mereka datang dengan harga yang cukup mahal. Sel monocrystalline seperti pada Gambar 2. 13 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

Polycrystalline seperti pada gambar 2. 14, 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 di banding monocrystalline, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini.



Gambar 2. 14 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*) seperti pada Gambar 2. 15.



Gambar 2. 15 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*

Sel 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 bentuknyayang 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 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di halaman Laboratorium Teknik Tenaga Listrik Gedung L Lt. 1 Universitas HKBP Nommensen Medan Jl. Sutomo No. 4A, Medan Timur pada hari jumat 20 agustus 2021. Lokasi tersebut dipilih karena sebagian besar alat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari laboratorium tersebut.

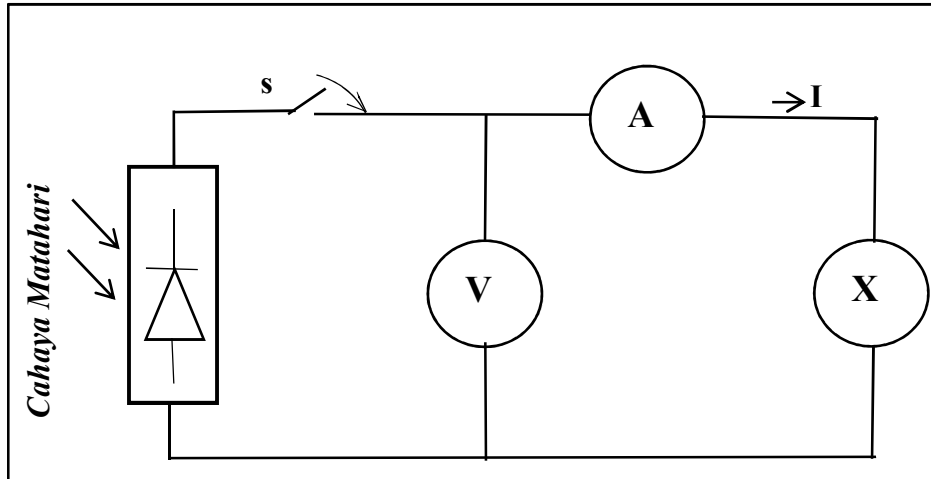
3.2 Alat yang dibutuhkan

Untuk melaksanakan percobaan ini dibutuhkan peralatan sebagai berikut:

1. Panel percobaan
2. Panel PLTS
3. Solarimeter
4. Termometer
5. Voltmeter DC
6. Amperemeter DC
7. Lampu LED DC
8. Kabel

3.3 Rangkaian Percobaan

Rangkaian yang digunakan untuk percobaan ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Rangkaian Percobaan

1. Panel Surya

Panel Surya, adalah komponen terpenting dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Solar panel mengkonversikan tenaga matahari menjadi listrik. Solar Panel terdiri dari sejumlah Sel silikon (disebut juga solar cells PV) yang disinari matahari/ surya, yang menghasilkan photon yang membangkitkan arus listrik. Energi Listrik yang dihasilkan akan digunakan memenuhi kebutuhan beban.



Gambar 3. 2 Panel Surya SP 20 (S Series) 20 W

Dalam percobaan ini digunakan panel surya jenis polycrystal seperti pada Gambar 3. 2, merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengocoran.

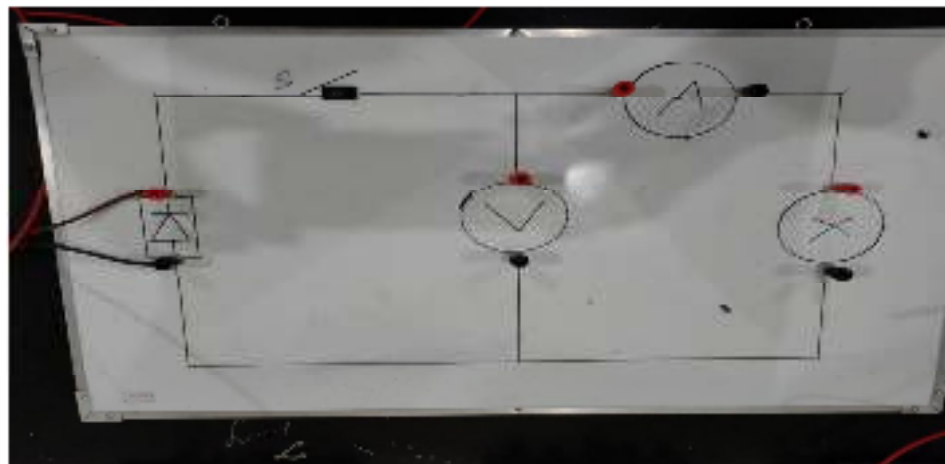
Spesifikasi Panel yang digunakan dalam percobaan dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel Surya

Solar Module	
Modul type	SP-20
Rated max Power (Pmax)	20W
Current at Pmax (Imp)	1. 15A
Voltage at Pmax (Vmp)	17. 4V
Short-circuit current (Isc)	1. 23A
Open circuit voltage (Voc)	22. 4V
Dimension (mm)	350x490x25
Number of celss	36
Max. system voltage	700V
Temperature range	- 45- +80 ⁰ C

2. Panel Percobaan

Untuk mempermudah Proses penelitian dan memperkecil kemungkinan kesalahan penyambungan kabel serta kesalahan lainnya maka dibuat panel percobaan seperti gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 3 Panel Percobaan

3. Saklar

Dalam rangkaian percobaan ini digunakan saklar yang berfungsi untuk memutus dan menyambung daya seperti terlihat pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Saklar

4. Voltmeter DC

Untuk mengukur tegangan dalam rangkaian percobaan digunakan Voltmeter DC. Voltmeter disambungkan secara paralel pada rangkaian percobaan, seperti terlihat pada Gambar 3.1 dengan simbol V dan satuannya volt.



Gambar 3. 5 Voltmeter DC

5. Amperemeter DC

Untuk mengukur arus listrik yang mengalir pada rangkaian digunakan Amperemeter DC. Amperemeter dipasang dengan menyambungkannya pada rangkaian secara seri dengan beban, seperti terlihat pada Gambar 3.6 dengan simbol A dengan satuan amper.



Gambar 3. 6 Amperemeter DC

6. Beban

Dalam rangkaian percobaan ini beban yang digunakan adalah lampu LED (*Led Emitting Diode*) DC seperti terlihat pada Gambar 3. 7. Dalam percobaan ini digunakan dua lampu 12V dengan daya 9W dan 15W. Dapat dilihat pada Gambar 3.1 dimana beban disimbolkan dengan X.



Gambar 3. 7 Lampu LED (*Led Emitting Diode*)

7. Termometer

Untuk mengukur perubahan suhu/temperatur Panel Surya digunakan alat ukur termometer seperti terlihat pada Gambar 3. 8.



Gambar 3. 8 Thermometer

8. Solarimeter

Untuk mengukur intensitas radiasi cahaya matahari disekitar tempat dilakukannya percobaan digunakan Solar power meter dengan tipe SM206-solarseperti Gambar 3. 9 berikut.



Gambar 3. 9 solar power meter

9. Kabel

Untuk menghubungkan komponen-komponen rangkaian percobaan digunakan kabel, seperti terlihat pada gambar 3.1 dimana setiap komponen terhubung dengan garis dalam hal ini menggunakan kabel yang dimaksud.

3.4 Prosedur Percobaan

Percobaan ini dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Membuat rangkaian seperti Gambar 3.1.
2. Panel surya dijemur dibawah sinar matahari langsung.
3. Mengukur Intensitas radiasi Cahaya matahari.
4. Mengukur temperatur/suhu.
5. Mengukur tegangan.
6. Mengukur arus.
7. Menulis data hasil percobaan dalam setiap rentang waktu yang telah ditentukan.

3.5 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.

