

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

EBT atau Energi Baru Terbarukan adalah sumber energi yang ramah lingkungan dan dapat memperbaharui energi itu sendiri dalam waktu yang singkat. Beda dengan energi fosil yang membutuhkan waktu lama untuk memproduksi lagi energy tersebut. Energi baru terbarukan seperti: panas matahari, panas bumi, angin, air, biofuel, biomassa, biogass dan pasang surut air laut. Persoalan energi bukanlah masalah biasa. Energi merupakan komoditas strategis karena seluruh sistem dan dinamika kehidupan sekarang sangat bergantung pada ketersediaan energi. Untuk di Indonesia, potensi energi terbarukan sangat besar dikarenakan kondisi geografis Indonesia yang sangat mendukung, salah satunya energi surya. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar tetapi penggunaannya masih belum optimal. Sumber energi surya yang berasal dari matahari, membuat ketersediaannya dapat diperoleh secara gratis. Energi surya tidak menghasilkan polusi dan emisi gas sehingga dapat mengurangi pemanasan global. Belum lagi jenis pembangkit dari tenaga surya bersifat *scala-able* sehingga dapat dibangun di bus, perkantoran, daerah terpencil hingga skala sangat besar untuk keperluan grid.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah sistem pembangkit tenaga listrik yang mengubah energy elektromagnetik menjadi energi listrik melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (iradiasi) matahari yang masuk ke sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya. Karena listrik seringkali dibutuhkan sepanjang hari, maka kelebihan daya listrik yang dihasilkan pada siang hari disimpan di dalam baterai sehingga dapat digunakan kapanpun untuk berbagai alat listrik. Sel surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis dari bahan semi konduktor silicon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya.

Sistem fotovoltaik mirip dengan sistem pemanenan air hujan. Jumlah air yang terkumpul berbeda-beda tergantung cuaca, sehingga terkadang banyak air yang terkumpul, terkadang tidak sama sekali. Dalam sistem fotovoltaik, jumlah listrik yang dikumpulkan oleh sistem fotovoltaik bergantung pada cuaca. Pada hari yang cerah, banyak listrik akan dihasilkan, dan pada hari yang mendung, lebih sedikit listrik yang dihasilkan.

PLTS pada dasarnya adalah sejenis sumber tenaga, yang dapat dirancang untuk memenuhi skala kecil hingga besar secara mandiri atau melalui tenaga hibrida (digabungkan dengan sumber energi lain) melalui metode desentralisasi (rumah, generator) atau metode terpusat (didistribusikan oleh listrik) Permintaan listrik. Jaringan berkabel.

2.3 Solar Cell (*Photovoltaic*)

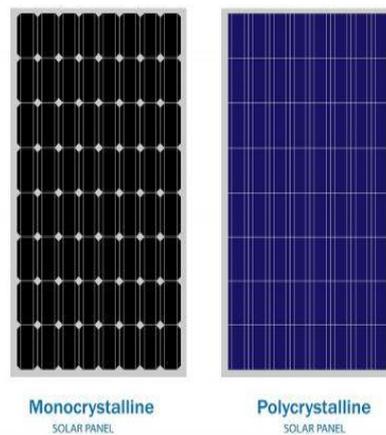
Fotovoltan atau *photovoltaic* berasal dari perkataan Yunani foto yang dimaksud “cahaya”, dan “*voltaic*”, bermaksud listrik. Voltan pula diambil sesuai nama ahli fisika Itali bernama Alessandro Volta. Istilah foto-voltan telah digunakan sejak 1849. Teknologi fotovoltan beroperasi tidak bising, tidak mengeluarkan bahan pencemar, bersih, mempunyai tingkat kepercayaan yang tinggi, ongkos pemeliharaan rendah, dan mempunyai jangkai pakai yang panjang, selama 20 hingga 30 tahun. Sel-sel surya yang digabungkan dan dijadikan satu panel atau modul. Modul-modul ini dapat disambung seperti baterai baik dalam bentuk seri atau paralel yang dikenal sebagai tata pengaturan surya, tergantung pada jumlah kuasa yang diperlukan. Tenaga yang diperlukan untuk membangun panel atau modul cukup tinggi.

Bagaimanapun, tenaga yang dikeluarkan oleh panel setelah beroperasi selama 4 tahun dapat menggantikan jumlah tenaga yang diperlukan untuk membangun panel tersebut. Jika diambil waktu pakai 25 tahun, maka setelah 4 tahun beroperasi, panel akan mengeluarkan tenaga hampir 20 tahun tanpa mengeluarkan ongkos membuatnya. Ini bermakna sel surya akan menjadi pengeluar tenaga net-sel surya menghasilkan lebih tenaga sepanjang masa sel pakai sel surya tersebut dibandingkan dengan tenaga yang diperlukan untuk

menghasilkan sel surya tersebut⁵. Sel surya fotovoltaik merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut merupakan suatu dioda semikonduktor yang bekerja menurut suatu proses khusus yang dinamakan proses tidak seimbang (*non-equilibrium process*) dan berlandaskan efek (*photovoltaic effect*).

Jenis sel surya fotovoltaik atau sel *photovoltaic* (PV) yang saat ini umum dipakai adalah tipe *silicon crystalline* dan sel surya *thin film*. Sel surya tipe *silicon crystalline* terdiri dari bahan semikonduktor seperti *mono-crystalline* dan *poly-crystalline*. Untuk sel surya tipe *thin film* terdiri dari *cadmium telluride* (CdTe), *Copper Indium Gallium Diselenide* (CIGS), and *amorphous thin-film silicon* (a-

Si, TF-Si) yang dapat mengubah efek *photovoltaic* pada irradiasi sinar matahari menjadi listrik. Ketika sel surya menyerap sinar matahari, akan terjadi perpindahan elektron bebas di sambungan negatif dan positif sel-selnya. Apabila sambungan positif dan negatif dari sel surya terhubung ke beban arus searah (rangkaiannya peralatan listrik 2 DC) maka arus akan mengalir kerangkaian beban DC.



Gambar 2. 1 solar cel

2.4 Prinsip Kerja Sel Surya⁹

Menggunakan lapisan tipis silikon murni (Si) atau bahan semikonduktor lainnya dapat mengubah energi matahari menjadi arus searah. Silikon merupakan bahan yang banyak digunakan karena merupakan unsur yang banyak ditemukan di alam. Silikon adalah semikonduktor yang sangat dikenal memiliki sifat logam dan non-logam. Untuk digunakan sebagai semikonduktor, silikon harus dimurnikan hingga kemurnian tinggi. Ketika nilai absolutnya nol, ikatan kovalen selesai dan lengkap. Saat suhu naik, atom akan mengalami keadaan getaran termal. Getaran dengan kenaikan suhu akan merusak beberapa ikatan kovalen. Bahan semikonduktor yang disimpan di bawah sinar matahari akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang disebut efek fotolistrik. Efek ini adalah elektron dilepaskan dari permukaan logam akibat tumbukan cahaya. Efek ini adalah proses fisik dasar dimana fotovoltaik mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sinar matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut foton yang memiliki banyak energi, yang besarnya bergantung pada panjang gelombang spektrum. Ketika foton-foton ini mengenai sel surya, cahayanya akan dipantulkan atau diserap, atau mungkin saja dipancarkan. Cahaya yang diserap akan menghasilkan listrik.

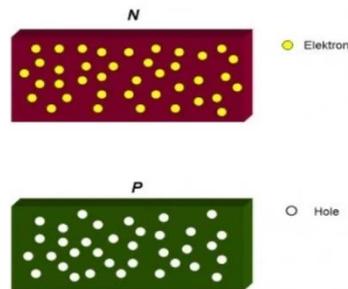
aat tumbukan itu terjadi, energi yang dibawa oleh foton disalurkan pada elektron yang terdapat pada atom sel surya. Energi yang didapat dari foton, membuat elektron memisahkan diri dari ikatan normalnya dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik. Pelepasan ikatan itu, mengakibatkan terbentuknya lubang atau "hole"

Karena bahan penyusun solar cell adalah semikonduktor yang terdiri dari dua jenis semikonduktor tipe-n dan tipe-p, maka proses perubahan sinar matahari menjadi energi listrik dimungkinkan. Semikonduktor tipe-n adalah semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan elektronnya adalah negative (n= negatif). Semikonduktor tipe p memiliki lubang berlebih, sehingga disebut p (p=positif) karena kelebihan muatan positif. Dengan

⁹ Prinsip kerja sel surya <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/> di akses pada tanggal 25 juni 2022

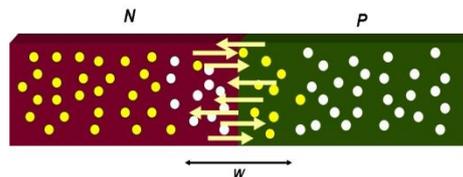
menambahkan elemen lain ke semikonduktor, bagaimana kita mengontrol jenis konduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n (sambungan metalurgi) yang dapat diilustrasikan seperti penjelasan berikut:

1. Keadaan semikonduktor jenis p-n sebelum disatukan.



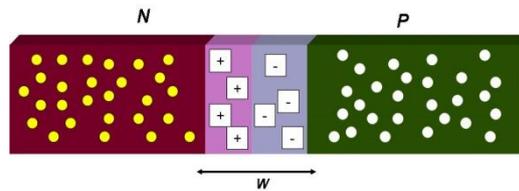
Gambar 2.2 Semikonduktor N dan P

2. Setelah kedua jenis semikonduktor ini dihubungkan bersama, elektron akan ditransfer dari semikonduktor n ke semikonduktor p, dan lubang akan ditransfer dari semikonduktor p ke semikonduktor n. Perpindahan elektron dan lubang ini hanya berjarak tertentu dari batas sambungan awal.



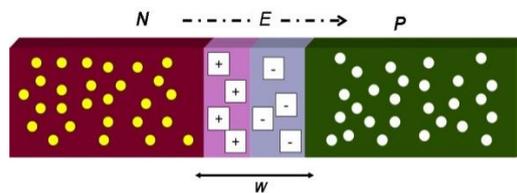
Gambar 2.3 Semikonduktor N dan P dihubungkan

3. Elektron dari semikonduktor n bergabung dengan lubang pada semikonduktor p, mengakibatkan penurunan jumlah lubang pada semikonduktor p. 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. 4 Semikonduktor N dan P bergabung

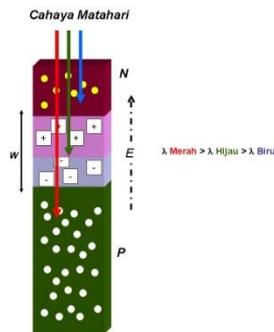
4. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi yang ditandai dengan huruf W. Pada daerah deplesi ini terdapat banyak kedaan terisi (hole+elektron)
5. Elektron dan lubang di daerah penipisan disebut pembawa muatan minoritas karena mereka ada di berbagai jenis semikonduktor. Karena perbedaan antara muatan positif dan negatif di zona penipisan, medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif dihasilkan, yang mencoba menarik lubang kembali ke semikonduktor p dan elektron kembali ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan lubang dan elektron di awal zona deplesi



Gambar 2. 5 Semikonduktor N dan P pindah berlawanan

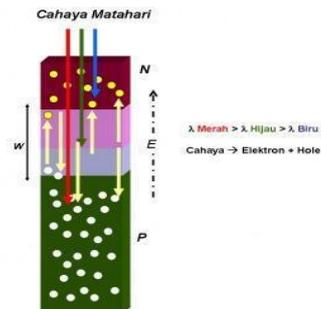
Adanya medan listrik menyebabkan sambungan p-n berada pada titik kesetimbangan, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E. Dengan kata lain, medan listrik E mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain. Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n terletak di lapisan atas dari sambungan p, menghadap ke

arah sinar matahari, dan jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga sinar matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus berlanjut. menyerap dan memasuki zona difusi dan semikonduktor p



Gambar 2. 6 Proses konversi cahaya matahari

Ketika sambungan semikonduktor terkena sinar matahari, elektron akan memperoleh energi dari sinar matahari dan lepas dari n semikonduktor, daerah penipisan dan semikonduktor. Pemisahan elektron ini meninggalkan lubang di area yang ditinggalkan elektron, yang disebut fotogenerasi lubang elektron, yaitu pasangan elektron dan lubang yang dibentuk oleh sinar matahari.⁹

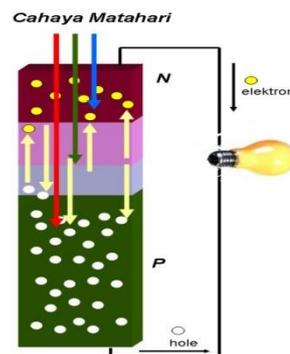


Gambar 2. 7 terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

Spektrum merah sinar matahari dengan panjang gelombang yang lebih panjang dapat menembus zona penipisan hingga diserap oleh semikonduktor p, yang pada akhirnya mengarah pada proses fotogenerasi. Spektrum biru, yang memiliki panjang gelombang lebih pendek, hanya diserap di n daerah

⁹ Prinsip kerja sel surya <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/> di akses pada tanggal 25 juni 2022

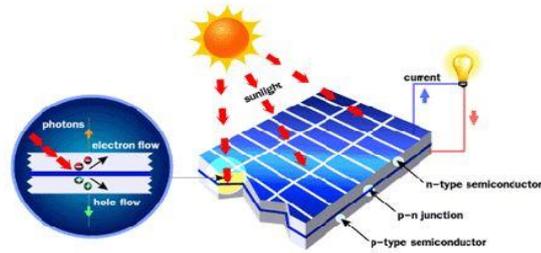
semikonduktor. Selain itu, karena sambungan p-n mengandung medan listrik E , elektron fotografis yang dihasilkan tertarik ke semikonduktor n, dan lubang tertarik ke semikonduktor p. Ketika rangkaian kabel dihubungkan ke dua komponen semikonduktor, electron akan mengalir melalui kabel tersebut. Jika Anda menghubungkan lampu kecil ke kabel, itu menyala karena aksi arus, yang disebabkan oleh pergerakan elektron.



Gambar 2. 8 N dan P mengandung medan listrik

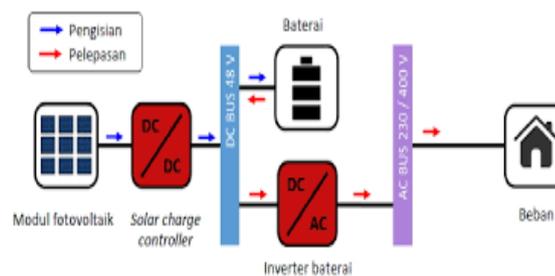
2.5 Efek Photovoltaic

Efek Photovoltaic merupakan fenomena fisika dimana energi cahaya datang, yang mengenai permukaan sel surya akan diubah menjadi energi listrik. Arus listrik dapat timbul, karena energi foton cahaya datang berhasil membebaskan elektron - elektron dalam sambungan semikonduktor tipe n dan tipe p untuk dapat mengalir. Pelat sel silikon dalam tugas ini merupakan panel surya yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Energi cahaya yang datang mengenai permukaan sel silikon diteruskan ke semikonduktor tipe n dan ke tipe p secara berturut - turut. Foton cahaya datang memberikan energi untuk elektron bergerak dari sambungan semikonduktor ke arah semikonduktor tipe n dan hole bergerak dari sambungan ke arah semikonduktor tipe p. Pergerakan elektron yang telah mendapat cukup energi dari foton datang akan menghasilkan arus listrik. Jika suatu beban, misalkan lampu, dihubungkan antara kedua jenis semikonduktor tersebut, maka arus pergerakan elektron akan menyalakan lampu tersebut. Dengan demikian, energi foton dari cahaya datang berhasil mengeksitasi elektron sehingga bebas untuk bergerak mengalirkan arus listrik.



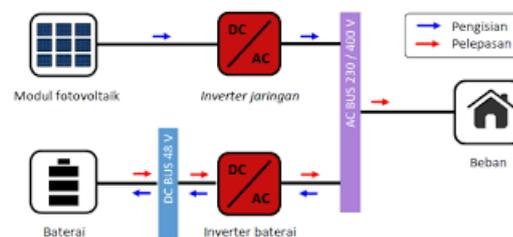
Gambar 2. 9 Efek photovoltaic

PLTS Fotovoltaik Terpusat secara umum ada 2 tipe konfigurasi yaitu konfigurasi DC coupling dan konfigurasi AC coupling. Coupling merujuk ketitik-titik koneksi. Sistem PLTS Fotovoltaik Terpusat terdiri dari dua sistem listrik yang berbeda, DC dan AC. Ketika sistem ini menggunakan baterai, ada dua poin dari koneksi yang dapat dibuat dari keluaran panel surya. Keluaran tersebut dapat dihubungkan ke sisi DC dari sistem listrik atau ke sisi AC. Aplikasi kedua sistem konfigurasi ini akan membedakan perangkat yang akan digunakan. Dalam sistem DC coupling, keluaran dari panel surya akan masuk ke solar charge controller kemudian masuk ke busbar DC yang kemudian akan mengisi baterai. Semua proses dalam arus listrik DC, baru kemudian melalui inverter/charger (bi-directional inverter) arus listrik DC diubah dalam bentuk arus listrik AC dan siap digunakan untuk perangkat yang membutuhkan arus listrik AC. Dalam sistem DC coupling, inverter/charger memiliki peran yang sangat penting karena menjadi jembatan semua sumber listrik yang akan mengisi baterai. Semua proses harus melalui inverter/charger. Dengan skema konfigurasi seperti terlihat pada gambar di



Gambar 2. 10 DC Coupling

Sementara itu dalam sistem AC coupling, keluaran dari panel surya akan masuk ke solar inverter. Keluaran dari solar inverter sudah dalam bentuk arus listrik AC dan masuk ke busbar AC. Dari busbar AC listrik yang dihasilkan sudah dapat langsung digunakan untuk perangkat yang membutuhkan arus listrik AC. Dengan skema konfigurasi seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 11 AC Coupling

Untuk sistem yang membutuhkan baterai, inverter/charger (bi-directional inverter) dihubungkan dengan busbar AC. Inverter/charger mengisi baterai dalam kondisi normal, sementara dalam kondisi ketika membutuhkan energi lebih karena energi dari panel surya tidak mencukupi, maka inverter/charger akan menjadi alat yang mengubah arus listrik DC dari baterai menjadi arus listrik AC untuk membantu kekurangan energi yang terjadi. Dalam sistem AC coupling, semua perangkat memiliki peran yang sama.

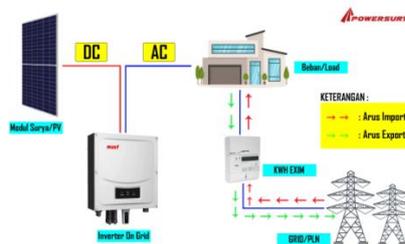
2. 6 Jenis – Jenis PLTS⁷

Pembangkit Listrik Tenaga Surya dapat berupa sistem pembangkit yang terhubung dengan jaringan atau dikenal juga dengan sebutan Grid-Connected System dan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan atau sering juga disebut dengan stand alone atau off grid System. Sistem pembangkit yang merupakan gabungan dari beberapa sumber pembangkit disebut Sistem Pembangkit Hibrid (Hybrid System).

⁷ Jenis jenis plts <https://www.mentarisolarled.com/blog/jenis-pembangkit-listrik-tenaga-surya-populer/> di akses pada tanggal 27 juni 2022

1. PLTS *ON-grid connected*

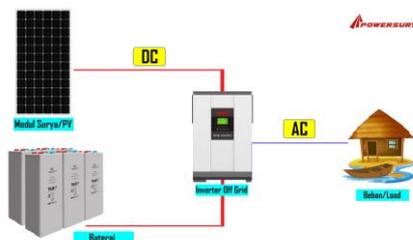
merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan sumber energi yang lain Koneksi ke jaringan listrik lokal memungkinkan setiap kelebihan daya yang dihasilkan akan dijual ke penyedia jaringan listrik Negara (PLN). Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu, sistem dengan penyimpanan menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik tanpa baterai Baterai pada PLTS *grid connected* berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu.



Gambar 2. 12 PLTS On- Gride

2. Sistem PLTS *Off Grid*

PLTS *Off grid* merupakan sistem yang tidak terhubung dengan jaringan berdiri sendiri dan independen Sistem ini biasanya merupakan sistem dengan pola pemasangan tersebar dan dengan kapasitas pembangkitan skala kecil Biasanya dilengkapi media penyimpanan tenaga berupa baterai yang terhubung melalui charge controller Diharapkan baterai mampu menjamin ketersediaan pasokan listrik untuk beban listrik saat kondisi cuaca mendung dan kondisi malam hari. Inverter dapat digunakan untuk menyediakan listrik berbentuk arus AC (alternating current)

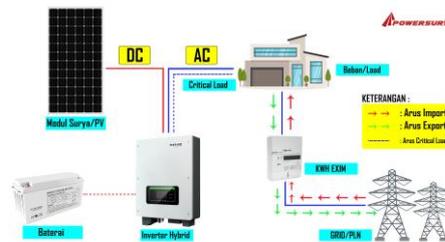


Gambar 2. 13 PLTS Off-Gride

3. Sistem PLTS Hibrid

Sistem Hibrida yaitu sistem yang melibatkan 2 atau lebih sistem pembangkit listrik, umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk Hibrida adalah PLN, genset, PLTS, Mikrohidro, dan tenaga angin. Tujuan dari Hybrid PV adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara

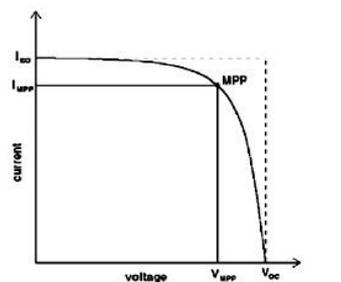
keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Baterai akan diisi oleh dua sumber, yakni PLTS pada siang hari, dan genset yang berasal dari daya berlebih pada saat genset mencatu peak load yakni ketika peak load mulai menurun (dan genset masih menyala)



Gambar 2. 14 PLTS Hibride

2.7 Karakteristik Sel Surya

Sel surya menghasilkan arus dan arus ini beragam besarnya tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut. Karakteristik awal suatu modul sel surya diukur diruangan tertutup agar mudah dilaksanakan dalam waktu singkat dan memungkinkan untuk di cek kembali.



Gambar 2. 15 Kurva Arus dan Tegangan

Ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “ sel surya hubung pendek “, “ arus rangkaian pendek ” atau I_{sc} (short circuit current) yang sebanding dengan irradiasi terhadap sel surya yang dapat diukur. Nilai I_{sc} naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah $25^{\circ}C$. Jika arus sel surya sama dengan nol maka sel surya tersebut digambarkan sebagai “rangkaiian terbuka“ dan tegangan sel surya kemudian menjadi “tegangan rangkaian terbuka“, V_{oc} (open circuit voltage). Ketergantungan V_{oc} terhadap irradiasi bersifat logaritmis, dan penurunan yang lebih cepat disertai peningkatan temperatur.

Pada kebanyakan sel surya peningkatan temperatur dari $25^{\circ}C$ mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%. Pengukuran karakteristik luaran suatu modul sel surya di luar ruangan memberi informasi yang lebih nyata dan lengkap mengenai kinerja modul sel surya namun membutuhkan waktu yang lama. Hal ini disebabkan perubahan-perubahan musim tahunan yang secara langsung mempengaruhi kinerja modul sel surya.

2.8 Modul Surya

Modul surya atau Photovoltaic Module merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (frame) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut array. PV modul yang terangkai seri dari sel-sel surya ditujukan untuk meningkatkan, atau dalam hal ini dapat dikatakan menggabungkan tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel.

2.9 Iradiasi Pada Modul Surya

Pengaruh iradiasi terhadap produksi energi listrik pada panel surya dapat dilihat pada gambar di bawah, yang memperlihatkan fungsi peristiwa iradiasi terhadap kurva karakteristik tegangan (V) dan arus (I). Ketika iradiasi menurun, arus yang dihasilkan oleh modul surya akan menurun dengan proporsional, sedangkan variasi dari tegangan tanpa beban sangatlah kecil. Sebagai suatu kenyataan, efisiensi dari konversi pada modul surya tidak terpengaruh oleh iradiasi yang bervariasi asalkan masih dalam batas standar operasi dari modul surya, yang berarti bahwa efisiensi konversi adalah sama untuk keduanya, dalam kondisi cerah begitu juga kondisi mendung, oleh karena itu kecilnya energi listrik yang dihasilkan modul surya saat langit dalam kondisi mendung dapat dijadikan acuan bukannya penurunan efisiensi melainkan penurunan produksi arus listrik karena iradiasi matahari yang rendah.

2.10 Sistem Penyangga

Pondasi adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk memikul beban bangunan, meneruskan dan membaginya secara merata ke atas lapisan tanah yang keras. Keseimbangan akan tercapai apabila pondasi menyalurkan beban dari bangunan ke lapisan tanah secara merata, sehingga bilapun pada suatu saat harus terjadi penurunan itu juga akan terjadi secara merata. Beban yang harus dipikul oleh pondasi terdiri dari beban mati, yaitu beban berat sendiri pondasi dan seluruh bangunannya, beban angin dan lain-lain. Disamping beban mati, juga dipikul beban hidup, seperti beban manusia (penghuni), perabotan dan lain-lain. Konstruksi pondasi harus dirancang dengan penuh perhitungan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Organisasi ruang bangunan
2. Kapasitas dan berat beban bagian-bagian bangunan
3. Struktur bangunan
4. Kondisi tanah (jenis dan kedalaman tanah keras)
5. Jenis bahan pondasi

6. Analisis hidrologis
7. Daya dukung tanah dan lain-lain.

2.11 Struktur Penyangga³

Solar modul dirakit menjadi *photovoltaic array* pada struktur penyangga (*mounting structure*). Di struktur penyangga ada beberapa jenis sistem hubungan pemasangan instalasi yaitu seri atau paralel. Struktur penyangga untuk pemasangan modul surya menjadi *array* di lapangan terbuka atau bangunan gedung. Struktur penyangga sebuah rak besar dipasang di atas tanah dimana solar modul dipasang di rak tersebut dan dibuatkan menjadi fotovoltaik *array*. Sebagai bangunan struktur penyangga *photovoltaic array*, berbagai macam struktur penyangga (*mounting*) telah dikembangkan seperti struktur penyangga miring, struktur penyangga datar yang terintegrasi dengan solar modul dan sesuai kapasitas solar modul yang digunakan. Penyangga modul fotovoltaik di tempatkannya pada rak (*frame*) berbasis dudukan support yang melekat pada tanah atau bangunan diatas gedung. Pondasi *ballasted mounts* seperti cor beton pada tanah atau baja dasar untuk bangunan gedung yang mengamankan peletakan solar modul dalam posisi mengarah irradiasi matahari.

Penyangga modul fotovoltaik harus dipasang dengan benar serta kokoh yang akan memberikan dukungan sistem struktural dari deretan susunan modul fotovoltaik sesuai kebutuhan daya wattpeaknya. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik untuk terhindar dari kerusakan hembusan angin dan diinduksi kilat serta bahaya cuaca potensial lainnya. Sebuah sistem penyangga modul fotovoltaik dapat dipergunakan untuk mengatur orientasi arah utara atau selatan dan elevasi sudut kemiringan dari sistem. Penyangga modul fotovoltaik untuk memaksimalkan kinerja energi dari modul fotovoltaik tersebut. Biasanya terbuat dari *stainless steel* atau aluminium. Sistem penyangga modul fotovoltaik dirancang untuk aplikasi pemasangan secara universal yaitu bingkai penyangga modul fotovoltaik miring yang dipasang diatas tanah atau atap bangunan gedung. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik harus baik dan mudah dipasang.

³ Rida, Mulyana. 2017. *Panduan Pengoprasian dan Pemeliharaan PLTS OFF-Gride*. Jakarta Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia

Penyangga modul fotovoltaik dibuat dari kualitas bahan bebas karat atau bahan dengan perlindungan terhadap korosi seperti baja galvanis penyangga modul fotovoltaik harus efektif melindungi kabel – kabel.

Solar modul dirakit menjadi *photovoltaic array* pada struktur penyangga (*mounting structure*). Di struktur penyangga ada beberapa jenis sistem hubungan pemasangan instalasi yaitu seri atau paralel. Struktur penyangga untuk pemasangan modul surya menjadi *array* di lapangan terbuka atau bangunan gedung. Struktur penyangga sebuah rak besar dipasang di atas tanah dimana solar modul dipasang di rak tersebut dan dibuatkan menjadi fotovoltaik *array*. Sebagai bangunan struktur penyangga fotovoltaik *array*, berbagai macam struktur penyangga (*mounting*) telah dikembangkan seperti struktur penyangga miring, struktur penyangga datar yang terintegrasi dengan solar modul dan sesuai kapasitas solar modul yang digunakan. Penyangga modul fotovoltaik ditempatkan pada rak (*frame*) berbasis dudukan support yang melekat pada tanah atau bangunan diatas gedung. Pondasi *ballasted mounts* seperti cor beton pada tanah atau baja dasar untuk bangunan gedung yang mengamankan peletakan solar modul dalam posisi mengarah irradiasi matahari.

Penyangga modul fotovoltaik harus dipasang dengan benar serta kokoh yang akan memberikan dukungan sistem struktural dari deretan susunan modul fotovoltaik sesuai kebutuhan daya *watt peaknya*. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik untuk terhindar dari kerusakan hembusan angin dan diinduksi kilat serta bahaya cuaca potensial lainnya. Sebuah sistem penyangga modul fotovoltaik dapat dipergunakan untuk mengatur orientasi arah utara atau selatan dan elevasi sudut kemiringan dari sistem. Penyangga modul fotovoltaik untuk memaksimalkan kinerja energi dari modul fotovoltaik tersebut. Biasanya terbuat dari *stainless steel* atau aluminium. Sistem penyangga modul fotovoltaik dirancang untuk aplikasi pemasangan secara universal yaitu bingkai penyangga modul fotovoltaik miring yang dipasang diatas tanah atau atap bangunan gedung atau pemasangan bingkai secara datar diatas tanah atau atap. Pemasangan penyangga modul fotovoltaik harus baik dan mudah dipasang.

Penyangga modul fotovoltaik dibuat dari kualitas bahan bebas karat atau bahan dengan perlindungan terhadap korosi seperti baja galvanis. Penyangga modul fotovoltaik harus efektif melindungi kabel – kabel. Seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Gambar 2. 16 Kerangka sel Surya

2.12 Penyangga Modul

1. Sistem penyangga tetap (*fixed mounting systems*)

Sistem pemasangan tetap (*fixed*) menjaga barisan dari modul surya pada sudut kemiringan yang tetap, menghadap pada suatu sudut tetap dari arah matahari yang telah ditentukan. Sudut kemiringan dan arah/orientasi pada umumnya disesuaikan berdasarkan lokasi PLTS terpasang. Sistem ini lebih sederhana, murah, dan lebih sedikit perawatan daripada sistem tracking.

2. Sistem pelacak (*tracking systems*)

Sistem pelacak adalah suatu peralatan atau sistem yang digunakan untuk mengarahkan panel surya atau pemantul cahaya terpusat terhadap matahari, sehingga dengan mengarahkan panel surya secara tepat pada posisi matahari, panel surya tersebut dapat memaksimalkan tegangan yang akan dihasilkannya. Dalam hal pemasangan penyangga modul menurut standar GSES ada beberapa hal yang mesti diperhitungkan, antara lain:

1. Bahannya cukup kuat untuk menahan array.
2. Luas area yang cukup, baik untuk pemasangan maupun perawatan.
3. Resiko pemasangan array pada penyangga.
4. Sudut kemiringan pemasangan

2.13 Inverter³

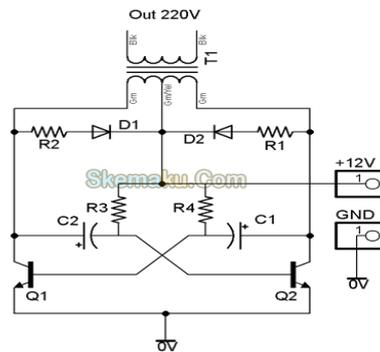
Inverter adalah peralatan elektronik yang berfungsi mengubah energi DC menjadi energi AC. Energi yang dihasilkan panel surya adalah arus DC, oleh karena itu pada sistem PLTS dibutuhkan inverter untuk mengubah energi dari panel dan baterai tersebut agar dapat menyuplai kebutuhan energi AC. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu, tergantung pada kebutuhan beban dan juga apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem yang menuju jaringan listrik atau sistem yang berdiri sendiri



Gambar 2. 17 inverter

Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Inverter dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa *step-up* transformator. Seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini, rangkaian dasar sederhana inverter.

³ Rida,Mulyana.2017.*Panduan Pengoprasian dan Pemeliharaan PLTS OFF-Gride*. Jakarta Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia



Gambar 2. 18 Rangkaian dasar sederhana inverter

1. *Square Wave*

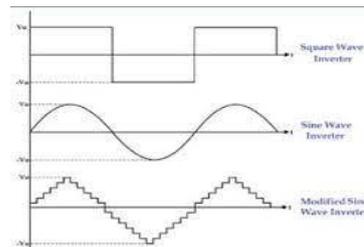
Inverter jenis ini adalah yang paling pertama dikembangkan. Oleh karena itu inverter ini pun sangat paling sederhana. Walaupun inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220V AC, namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja. Hal ini disebabkan karena karakteristik output inverter ini memiliki level total *harmonic distortion* yang tinggi.

2. *Modified Sine Wave*

Model ini disebut juga *Modified Square Wave* atau *Quasy Sine Wave* karena gelombangnya hampir sama dengan *square wave*, namun outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah dari positif ke negatif. Selain itu, model ini memiliki *harmonic distortion* yang lebih sedikit. Sehingga dapat digunakan juga untuk kebutuhan lainnya seperti TV dan komputer, namun tidak bisa digunakan untuk beban-beban yang lebih sensitif.

3. *Pure Sine Wave*

Gerlombang inverter model ini hampir menyerupai gelombang sinusoidal sempurna. Dengan total *harmonic distortion* kurang dari 3%, sehingga cocok untuk semua alat elektronik. Oleh sebab itu, inverter ini juga disebut *clean power supply*. Teknologi ini dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoidal



Gambar 2. 19 Bentuk gelombang inverter

2.14 Combiner Box Panel Listrik Surya

Instalasi Kotak Penggabung plts. Fungsi utama kotak penggabung atau (combiner box) adalah untuk menggabungkan string fotovoltaik modul agar mendapatkan arus keluaran larik fotovoltaik yang lebih tinggi.

Masing-masing String modul fotovoltaik dihubungkan pada busbar yang sama dan dilindungi secara elektrik maupun mekanis di dalam selungkup pelindung (enclosure). umumnya berisi perangkat proteksi arus lebih (overcurrent protection) string, perangkat proteksi tegangan surja (surge protection device), busbar atau terminal tambahan, sakelar pemutus arus dan batang pembumian (grounding bar). Keluaran gabungan dari kotak penggabung tersebut kemudian dihubungkan langsung ke solar charge controller pada sistem DC-coupling atau ke inverter jaringan pada sistem AC-coupling. Bagian-bagian yang ada di dalam kotak penggabung :

1. Perangkat *proteksi string* modul fotovoltaik digunakan untuk melindungi individual string modul fotovoltaik terhadap arus berlebih. Untuk tujuan ini biasanya digunakan sekering atau MCB.
2. Busbar adalah titik sambungan untuk beberapa *string* modul fotovoltaik. Perangkat ini membawa beberapa *string* ke konduktor yang sama. Busbar DC terbuat dari konduktor tembaga padat dan berlapis timah untuk perlindungan terhadap korosi.
3. Sakelar pemutus memungkinkan kotak penggabung terputus secara aman dari *solar charge controller* atau inverter jaringan saat pemeliharaan dilakukan.

4. Perangkat proteksi tegangan surya (*surge protection device*) digunakan sebagai pengaman terhadap tegangan surja akibat sambaran petir. Perangkat ini dihubungkan ke kutub positif bus DC, kutub negatif bus DC dan pembumian.
5. Selungkup pelindung (*enclosure*) merupakan rumah dari komponen listrik dengan fungsi untuk melindungi komponen dari paparan langsung terhadap lingkungan dan mencegah gangguan luar.
6. Batang pembumian (*grounding bar*) memberi sambungan pembumian untuk selungkup pelindung (jika kotak logam digunakan) dan untuk menyalurkan surja kepembumian dengan menggunakan perangkat proteksi tegangan surya.

2.15 Kabel¹⁰

Kabel PLTS (pembangkit Listrik tenaga Surya), Panduan Memilih Kabel Listrik Tenaga Surya. Penting untuk memilih kabel yang ukurannya sesuai untuk arus dan voltage dalam sistem energi surya. Kabel yang terlalu kecil akan menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan, serta kemungkinan panas berlebih yang dapat menyebabkan kebakaran.

Sama seperti air yang mengalir dalam pipa, semakin tebal kawatnya semakin mudah arus listrik yang lebih besar mengalir di dalamnya. Oleh karena itu, kabel pendek dengan luas penampang kawat besar memiliki hambatan listrik kecil yang akan menghasilkan penurunan tegangan yang kecil. Kabel panjang dengan luas penampang kecil memiliki resistansi besar yang menghasilkan penurunan tegangan besar di sepanjang kawat.

Penting untuk menggunakan ukuran kawat yang benar dalam suatu sistem. Kabel yang benar hanya dapat dipilih setelah Anda mengetahui arus dalam suatu sistem. Seperti halnya lebih mudah bagi air untuk mengalir melalui pipa yang lebih tebal, semakin tebal kawatnya – semakin mudah pula arus listrik besar mengalir melaluinya. Hal yang sama untuk selang dan kabel yang lebih pendek, mereka memiliki aliran yang lebih baik daripada selang dan kabel yang lebih lama,

¹⁰ <https://www.sanspower.com/cara-memilih-kabel-yang-baik-untuk-panel-solar-cell.html> diakses pada tanggal 30 juni 2022

dengan lebih banyak hambatan. Secara umum, ketebalan inti kabel ditunjukkan dalam mm². Ini menunjukkan area permukaan inti kabel. Ukuran kawat yang umum digunakan untuk instalasi PV surya adalah: 2.5 – 4 – 6 – 10 – 16 – 25 – 35 – 50 mm². Kadang-kadang unit pengukuran ukuran lain digunakan seperti AWG (*American Wire gauge*). Kategori kabel berikut ada.

2.16 GPRS (*General Packet radio Service*)

GPRS (singkatan bahasa Inggris :*General Packet Radio Service*) adalah suatu teknologi yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan data lebih cepat jika dibandingkan dengan penggunaan teknologi *Circuit Switch Data* atau CSD. Sering disebut pula dengan teknologi 2,5 Sistem GPRS dapat digunakan untuk transfer data (dalam bentuk paket data) yang berkaitan dengan e-mail, data gambar (MMS), dan penelusuran (*browsing*) internet. Layanan GPRS dipasang pada jenis ponsel tipe GSM dan IS-136, walaupun jaringan GPRS saat ini terpisah dari GSM

GPRS merupakan sistem transmisi berbasis paket untuk GSM yang menggunakan prinsip 'tunnelling'. Ia menawarkan laju data yang lebih tinggi. Laju datanya secara kasar sampai 160 kbps dibandingkan dengan 9,6kbps yang dapat disediakan oleh rangkaian tersakelar GSM. Kanal-kanal radio ganda dapat dialokasikan bagi seorang pengguna dan kanal yang sama dapat pula digunakan secara berbagi (*sharing*) di antara beberapa pengguna sehingga menjadi sangat efisien

2.17 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Sistem PLTS⁶

Dalam suatu sistem pembangkit, terkhusus pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pasti memiliki dampak yang baik atau keuntungan bagi kehidupan manusia maupun lingkungan. Terlepas dari itu, tidak menutup kemungkinan juga

memiliki dampak yang buruk atau kelemahan bagi kehidupan dan lingkungan sekitarnya. Berikut kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan system

⁶ Kelebihan dan Kekurangan plts <https://www.rumah.com/berita-properti/2016/5/126421/kekurangan-dan-kelebihan-memasang-panel-surya> diakses pada tanggal 25 juni 2022

pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) :

Kelebihan Penggunaan Sistem PLTS

1) Pembangkit yang ramah lingkungan

Sistem PLTS adalah sistem yang ramah lingkungan. Tidak seperti pembangkit lain, contohnya generator yang menyebabkan suara kebisingan yang dihasilkannya, kemudian tidak ada polusi ataupun limbah yang dihasilkan akibat penggunaan sistem PLTS.

2) Tidak membutuhkan bahan bakar dalam pengoperasiannya

PLTS tidak menggunakan bahan bakar seperti bahan bakar minyak dan sebagainya.

3) Sebagai sumber energi yang berkelanjutan

Sumber energi yang tak akan habis karena berasal dari sinar matahari, selama masih ada cahaya matahari maka sistem PLTS dapat terus beroperasi menghasilkan energi listrik.

4) Lokasi pemasangan yang fleksibel

Sistem PLTS dapat dibangun tanpa mengacu kepada kondisi topografi dari suatu lingkungan yang ingin dipasangkan PLTS. Sehingga pemasangan PLTS bersifat fleksibel.

Kekurangan Penggunaan Sistem PLTS

1) Harga komponen dan pemasangan relatif mahal

Semakin besar kapasitas PLTS yang ingin dibangun, maka semakin banyak biaya yang akan dibutuhkan untuk memasang suatu sistem PLTS tersebut. Karena membutuhkan banyak komponen.

2) Sistem tidak bekerja pada malam hari

Modul surya membutuhkan matahari untuk menghasilkan energi dan dapat bekerja. Tetapi pada rancangan sistem PLTS ini akan dibantu dengan suplai dari jaringan PLN pada malam hari.

3) Akan bergantung pada cuaca

Cuaca yang tidak mendukung atau berawan akan menurunkan kemampuan sistem

PLTS dalam beroperasi, sehingga efisiensi system sangat bergantung pada kondisi cuaca pada siang hari.

2.18 Faktor Yang Mempengaruhi Performa Solar Panel

Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi performa panel surya untuk menghasilkan daya. Beberapa faktor yang harus diperhatikan ketika pemilihan solar panel antara lain:

1. Bahan pembuatan panel surya

Bahan atau material pembuatan panel surya sangat berpengaruh dalam performa PLTS karena panel surya yang akan menangkap langsung cahaya matahari yang nantinya akan di konfersikan kedalam energi listrik. Material sel yang bagus adalah sel yang memiliki silikon yang persentase penyerapan nya lebih tinggi seperti bahan *monocrystalline*.

2. Hambatan Listrik

Baban Daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak stabil. Karena kestabilan daya yang dihasilkan tergantung dari radiasi matahari yang masuk dan diserap oleh panel surya. Waktu yang ideal panel surya menyarap radiasi matahari sekitar pukul 10.00 - 14.00 WIB. Oleh karena itu naik turunnya daya yang dihasilkan dapat mempengaruhi kinerja atau performa dari PLTS itu sendiri.

3. Iradiasi Radiasi cahaya

matahari adalah cahaya yang dipancarkan langsung dari matahari ke bumi, iradiasi salah satu faktor yang mempengaruhi performa dari PLTS karena cahaya matahari adalah sumber utama dari dari pembangkit tenaga surya, cahaya matahari akan di tangkap langsung oleh sel surya dan akan diuach menjadi energi listrik. Energi matahari yang menyinari bumi akan terjadi penyusutan akibat penyerapan oleh lapisan ozon, selain diserap oleh lapisan ozon, cahaya matahari akan menyusut karena adanya molekulmolekul yang menghambat intensitas cahaya matarahi yang masuk kebumi seperti debu, gas dan uap air.Radiasi yang masuk dan diterima oleh panel surya akan di konfersikan menjadi energi listrik

dengan satuan W/m².

4. Suhu atau Temperatur

Panel Surya Suhu dari panel surya juga mempengaruhi performa dari panel surya. Suhu ideal panel surya bekerja pada temperatur standar 25°C. Efisiensi performa 14 panel surya akan menurun akibat kenaikan atau meningkatnya suhu pada panel surya, panel surya akan mengalami penurunan efisiensi hingga 10%. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan cara memberi sedikit ruang pada bagian bawah panel ketika pemasangan agar aliran udara dapat membantu panel surya menurunkan suhunya ketika suhu udara dalam puncak tertinggi.

5. Bayangan (*Shading*)

Bayang atau shading dapat mempengaruhi dari kinerja panel surya ketika memproduksi energi listrik ketika bayangan menutupi atau mengenai sel surya. Karena ketika salah satu sel surya terkena bayangan maka satu string sel surya tidak dapat memproduksi energi listrik dan hal tersebut dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh PLTS. Sebelum membangun PLTS hal yang harus diperhatikan adalah lokasi pemasangan panel surya yang jauh dari hal yang dapat menghasilkan bayangan atau *shading* seperti pohon, gedung, awan dan debu. Hal-hal seperti itu yang dapat menutupi panel surya ketika penyerapan cahaya matahari

2.19 Efisiensi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini dapat direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V).

Ketika sel dalam kondisi short circuit, arus maksimum atau arus short circuit (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum. Disebut tegangan *open-circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP).

Efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{MAX}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{Cahaya}). Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya. Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (Input), dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas PV module dengan persamaan,

2.19.1 Efisiensi *Photovoltaic*

Efisiensi *Photovoltaic* merupakan sebuah perbandingan antara output listrik dari sel surya dengan energi berupa cahaya matahari. Energi matahari ini sering disebut iradiasi atau intensitas radiasi matahari berupa sinar dan gelombang yang dapat membuat *photovoltaic* dapat menghasilkan energi listrik. Efisiensi ini merupakan presentasi dari kinerja *photovoltaic* dalam menghasilkan energi listrik. Ada 2 (dua) perhitungan yang diperlukan untuk mengetahui efisiensi dari *photovoltaic*, yaitu :

$$P_{in} = E \times A \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

- P_{in} = Daya Input *Photovoltaic* (W)
- E = Iradiasi Matahari (W/m²)
- A = Luas Penampang *Photovoltaic* (m²)

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- P_{out} = Daya Output *Photovoltaic* (W)
- V_{out} = Tegangan keluaran PV (V)
- I_{out} = Arus keluaran PV (I)

Sehingga nilai efisiensi dari sebuah modul *Photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus :

$$\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

η = Efisiensi

P_{out} = Daya Output *Photovoltaic*

P_{in} = Daya Input *Photovoltaic*