



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ¹

Pembangkit listrik tenaga surya 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 dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising. Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita. Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian charge controller, dan aki 12 volt yang maintenance free.

Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungan seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt. Modul sel surya itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari. Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya itu merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt plus minus 10 persen. Bila tegangan turun sampai 10,8 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 itu terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama

¹ Andika Cahya Utama, Skripsi: "ANALISA DAYA OUTPUT PLTS MENGGUNAKAN CAHAYA MATAHARI LANGSUNG" (Medan : UMSU, 2019), 8



beberapa jam, tegangan aki itu akan naik. Bila tegangan aki itu mencapai 13,2 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian itu sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dalam keadaan jadi dipasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit tersendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap yang siap pakai.

Jadi, sistem sel surya dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri. Biasanya panel surya itu siletakkan dengan posisi statis menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari. Orbit yang ditempuh bumi berbentuk elip dengan matahari berada di salah satu titik fokusnya. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh

energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya. Untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optional untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya. Kontroler seperti ini dapat dibangun, misalnya, dengan menggunakan mikrokontroler.

Kontroler ini tidak sederhana, karena terdiri dari bagian perangkat keras dan bagian perangkat lunak. Biasanya, paket sistem sel surya yang lengkap belum termasuk kontroler untuk menggerakkan panel surya secara otomatis supaya sinar matahari jatuh tegak lurus. Karena itu, controller macam ini cukup mahal

2.2 Bagian-Bagian PLTS ²

2.2.1 Energi Matahari

Energi Matahari merupakan sumber energi utama untuk proses-proses yang terjadi di Bumi. Energi matahari sangat membantu berbagai proses fisis dan biologis di Bumi. Radiasi adalah suatu proses perambatan energi (panas) dalam

² Ibid, hal 10



bentuk gelombang elektromagnetik yang tanpa memerlukan zat perantara. Energi Matahari bisa sampai ke permukaan Bumi adalah dengan cara radiasi (pancaran), karena diantara Bumi dan Matahari terdapat ruang hampa (tidak ada zat perantara), sedangkan gelombang elektromagnetik adalah suatu bentuk gelombang yang dirambatkan dalam bentuk komponen medan listrik dan medan magnet, sehingga dapat merambat dengan kecepatan yang sangat tinggi dan tanpa memerlukan zat atau medium perantara

Sinar matahari yang berupa gelombang elektromagnetik pendek menuju atmosfer dianggap 100% sampai ke lapisan atmosfer. Tetapi radiasi ini tidak bisa di teruskan keseluruhannya karena ada pantulan yang terjadi dan besarnya pantulan 31%. Berarti radiasi yang dapat diteruskan ke daerah atmosfer hanya 69% dari jumlah ini akan diserap oleh udara keliling atmosfer sebesar 17,4% dan pantulan permukaan bumi sebesar 4,3% sehingga sampai ke permukaan bumi tinggal 47,326%. Sejumlah nilai yang diserap oleh permukaan bumi antara lain diserap :

- a. Laut :37,7 %
- b. Samudera : 14,3 %
- c. Kehidupan numi (tumbuh-tumbuhan , dll) : 0,1 %
- d. Panas bumi : 0,02 %
- e. Kehidupan manusia : 0,004 %
- f. Angin gelombang : 0,2 %

2.2.2 Sel Surya

Sel surya atau juga sering disebut fotovoltaik yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Sel surya biasanya sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi energy cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain dipergunakan untuk menghasilkan listrik, energy dari matahari juga bisa dimaksimalkan energy panasnya melalui sistem solar thermal. Pada umumnya satu keping sel surya mempunyai ketebalan 3 mm, tersusun atas kutub positif dan negative yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor. Prinsip kerja suatu sel surya adalah dengan memanfaatkan efek fotovoltaik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah secara langsung cahaya matahari menjadi suatu energy listrik. Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais



dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm².



Gambar 2. 1 Panel Surya

Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Efek fotovoltaiik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Alat ini digunakan secara individual sebagai alat pendeteksi cahaya pada kamera maupun digabung seri maupun paralel untuk memperoleh suatu harga tegangan listrik yang dikehendaki sebagai pusat penghasil tenaga listrik. Bahan dasar silicon ini terbuat dari silicon berkrystal tunggal, yaitu bahan yang sering digunakan untuk pembuatan jenis semikonduktor. Silicon dimurnikan hingga membentuk suatu unsur pembentuk atom sehingga dapat digunakan sebagai bahan sel surya. Dengan terbentuknya sifat atom pada



setiap sel dari sel surya tersebut maka terbentuk pula suatu elektromagnetik yang menyebabkan efek fotovoltaiic. Sel silicon dalam solar sel panel yang disinari matahari membuat proton bergerak menuju electron dan menghasilkan arus dengan tegangan listrik. Sebuah sel silicon menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel surya untuk menghasilkan 17 volt tegangan maksimum.

2.2.3 Controller dan inverter



Gambar 2. 2 Solar Cell Controller

Solar Charge Controller (SCC) atau Solar Charge Regulator (SCR) merupakan otak dari berjalan tidaknya PLTS. Adapun fungsinya mengatur pelepasan energy yang dilakukan panel surya dan melakukan fungsi control secara keseluruhan. Untuk sistem Off-Grid DC-Coupling Solar Charge Controller (SCC), atau Solar Charge Regulator (SCR), berfungsi membatasi arus listrik yang masuk maupun keluar dari baterai.

SCC/SCR mencegah pengisian daya (charging) yang berlebihan serta melindungi baterai dari tegangan berlebih. Selain itu, SCC/SCR juga mencegah baterai agar energi listrik yang tersimpan di dalamnya tidak terkuras (discharged) sampai habis. Beberapa tipe SCC/SCR dapat secara otomatis dan terkontrol



memutus tegangan suplai beban, untuk mencegah baterai dari kondisi deep discharge yang bisa memperpendek umur pakai baterai. Salah satu fitur pada SCC/SCR yang paling bermanfaat untuk charging adalah sistem MPPT (Maximum Power Point Tracker).

Berikut ini Hal – hal yang harus diperhatikan pada Charge Controller yaitu

Charging Mode

Mengisi baterai (kapan baterai diisi, menjaga pengisian kalau baterai penuh. Pada charging mode umumnya baterai diisi dengan metoda three stage charger :

1. Fase bulk: baterai akan di charge sesuai dengan tegangan setup bulk antara 14,4 – 14,6 volt dan arus diambil secara maksimum dari panel surya. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (bulk) dimulailah fase absorption.
2. Fase absorption: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai solar charger controller timer umumnya satu jam tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
3. Fase float : baterai akan dijaga pada tegangan float setting umumnya 13,4 – 13,7 volt. Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya pada stage ini.

Operation Mode

Penggunaan baterai ke beban pelayanan baterai ke beban diputus atau baterai sudah mulai kosong. Apabila penggunaan baterai berlebih ataupun over discharge . maka baterai akan dilepas dari beban . Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.

Untuk solar charger controller yang dilengkapi dengan sensor temperature baterai. tegangan charging disesuaikan dengan temperature



dari baterai dengan sensor ini didapatkan optimum dari charging dan juga optimum dari usia baterai. Apabila solar charger controller tidak memiliki sensor temperature baterai, maka tegangan charging perlu diatur, disesuaikan dengan temperature lingkungan dan jenis baterai.

Dengan adanya sistem ini, baterai lebih cepat terisi karena modul PV akan selalu beroperasi pada output Titik Daya Maksimal yang bervariasi sesuai dengan iradiasi matahari. Modul PV hanya berhenti menghasilkan daya maksimal ketika baterai sudah mendekati batas maksimum charging. Dengan menggunakan MPPT, keuntungan lainnya adalah sistem tegangan rangkaian seri modul PV tidak perlu sama dengan sistem tegangan baterai. Misal sistem tegangan baterai 24 Vdc, maka sistem tegangan modul PV bisa 36 Vdc atau lainnya. SCC/SCR 32 dapat berupa sebuah unit alat terpisah, atau dapat pula terintegrasi dengan unit DC AC inverter.

Inverter dapat menjadi satu kesatuan di sebuah produk controller maupun dapat menjadi sebuah produk yang terpisah. Fungsinya untuk memaksimalkan tegangan dari DC (searah) ke DC dan/atau merubah tegangan DC ke AC (bolak-balik).



Gambar 2. 3 Inverter



Di dalam konfigurasi sistem PLTS off-grid, terdapat beberapa jenis inverter,

yaitu:

- a. DC-AC Inverter—untuk sistem Off-grid DC-Coupling. Inverter daya DC-AC merupakan alat elektronik yang berfungsi mengubah sistem tegangan DC dari keluaran modul PV atau baterai menjadi sistem tegangan AC. Pengubah sistem tegangan ini penting, karena peralatan listrik secara umum memerlukan suplai tegangan AC.
- b. String Inverter—untuk sistem Off-grid AC-Coupling. PV String Inverter adalah unit alat yang berfungsi untuk merubah input tegangan DC langsung dari modul PV, menjadi output tegangan AC. Unit ini beroperasinya harus paralel dengan sumber tegangan AC lainnya, yaitu output dari string inverter di-interkoneksi-kan dengan sistem tegangan AC yang berasal dari pembangkit lainnya, seperti listrik diesel genset, atau (Bi-directional) Battery Inverter. Karena kemampuannya untuk beroperasi paralel pada tegangan AC, maka sistem PLTS ini memiliki keuntungan, yaitu bila kedepannya hendak diubah menjadi sistem on-grid tidak memerlukan perubahan yang berarti, karena tegangan dari grid PLN bisa langsung diinterkoneksi-kan pada jaringan AC-Coupling yang sudah ada. Dengan adanya tambahan daya listrik dari output String Inverter akan mengurangi beban bagi pembangkit lainnya, sehingga bila pembangkit tersebut berupa diesel genset, maka konsumsi BBM diesel akan lebih hemat.

String Inverter biasanya juga dilengkapi fitur MPPT, agar output daya sistem PLTS selalu pada posisi maksimal mengikuti iradiasi matahari. Akan tetapi untuk mencegah terjadinya kondisi reverse power pada diesel genset, yaitu saat konsumsi daya beban < daya output sistem PLTS, maka string inverter dikontrol outputnya sesuai kebutuhan beban. Akan tetapi bila dalam sistem PLTS ini juga terdapat Bidirectional Battery Inverter, maka kelebihan beban tersebut bisa digunakan untuk charging battery.



Baterai Inverter–untuk sistem Off-Grid AC-Coupling. Battery Inverter adalah unit peralatan yang digunakan untuk mengubah tegangan input DC dari baterai menjadi tegangan output AC pada saat proses discharge, dan sebaliknya untuk mengubah tegangan input AC dari grid menjadi teganganoutput DC pada saat proses charging. Karena sifatnya yang bisa bolak- balik ini, maka battery inverter pada sistem ini disebut juga sebagai Bidirectional Battery Inverter

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter, yaitu :

1. Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih inverter yangbeban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal
2. Input DC 12 V atau 24 V.
3. Sinewave ataupun square wave output AC.True sine wave inverter

Diperlukan terutama untuk beban-beban yangmasih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepatpanas. Oleh karena itu dari sisi harga maka true sine wave inverter adalahyang paling mahal diantara yang lainnya karena dialah yang palingmendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN. Sedangkan padasquare wave inverter beban-beban listrik yang menggunakan kumparan/motor tidak dapat bekerja sama sekali.

2.2.4 AKI / Baterai



Gambar 2. 4 Aki / Baterai

Baterai pada PLTS berfungsi untuk menyimpan arus listrik yang dihasilkan



oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk mengoperasikan beban. Beban dapat berupa lampu refrigerator atau peralatan elektronik dan peralatan lainnya yang membutuhkan listrik DC. Accumulator atau yang akrab disebut accu/aki adalah salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor. Selain berfungsi untuk menggerakkan motor starter, aki juga berperan sebagai penyimpan listrik dan sekaligus sebagai penstabil tegangan dan arus listrik kendaraan. Menurut Syam Hardi akumulator ini berasal dari bahasa asing yaitu:

accu (mulator) = baterai (Belanda), accumulator = storage battery (Inggris), akumulator = bleibatterie (Jerman). Pada umumnya semua bahasa-bahasa itu mempunyai satu arti yang dituju, yaitu “acumulate” atau accumulieren. Ini semua

berarti menimbun, mengumpulkan atau menyimpan. Menurut Daryanto akumulator adalah baterai yang merupakan suatu sumber aliran yang paling populer yang dapat digunakan dimana-mana untuk keperluan yang beraneka ragam.

Akumulator dapat diartikan sebagai selistrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik reversible dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses pengubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam akumulator. Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik di dalam akumulator dan disimpan di dalamnya. Sedangkan saat pengosongan, tenaga di dalam akumulator diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk mencatu energi dari suatu peralatan listrik. Dengan adanya proses tersebut akumulator sering dikenal dengan elemen primer dan sekunder. Untuk dapat melihat lebih jelas berikut adalah salah satu bentuk dari accumulator. Pada baterai jenis ini larutan elektrolit tidak dapat ditambahkan sehingga tidak diperlukan perawatan baterai secara khusus. Baterai tidak seratus persen efisien, beberapa energi hilang seperti panas dari reaksi kimia, selama charging dan discharging. Charging adalah saat energi listrik diberikan kepada baterai, Discharging adalah pada saat energi listrik diambil dari baterai. Satu cycle adalah charging dan discharging. Dalam sistem solar cell, satu hari dapat merupakan contoh satu cycle baterai (sepanjang hari charging, malam digunakan/ discharging



Pada umumnya baterai yang digunakan untuk pembangkit tenaga surya adalah baterai tembaga dan baterai nikel cadmium . Dalam pemasangan suatu pembangkit tenaga surya biaya untuk pengadaan baterai ini biasanya hampir 10% dari biaya totalnya.

Berikut ini jenis baterainya :

1. Aki deep-cycle jenis marine pada dasarnya digunakan untuk aplikasi yang kecil dan sederhana.
2. Aki deep-cycle jenis load acid adalah aki yang berkepingan internal yang tebal dan banyak digunakan oleh industri-industri berat.
3. Aki sealed Gel adalah aki deep-cycle yang tidak menguapkan gas ketika proses pengisian berlangsung . Aki ini cocok digunakan di dalam bangunan.
4. Aki absorbed glass mat (AGM) adalah aki anti bocor dan mempunyai kinerja yang sangat tinggi. Jenis aki ini boleh dikatakan adalah yang terbaik untuk diterapkan pada sistem surya industri-industri berat. misalnya: aki AGM terdapat didalam pesawat terbang, rumah sakit dan dan sebagainya.

Hal-hal yang harus diperhatikan pada peralatan aki/baterai tersebut adalah :

a) Kapasitas

Satuan kapasitas suatu baterai adalah Amper hours (Ah). Biasanya informasi ini terdapat pada label suatu baterai, misalnya suatu baterai dengan kapasitas 100 Ah terisi penuh dengan arus 1 Amper selama seratus (100) jam. Waktu pengisian ini ditandai kode K 100 atau c 100 , pada temperature 25^oC. Umumnya arus pengisian yang diizinkan maximum 1/10 dari kapasitasnya. Oleh karena itu waktu pengisian yang baik tidak kurang dari 10 jam dan dalam kenyataannya dengan waktu tersebut dengan pengisian baru mencapai 80%

b) Kepadatan Energi

Pada pemakaian tertentu (model pesawat, mobil surya dan sebagainya) kepadatan energi sangat penting. Nilainya terletak pada 30 Wh/kg untuk c/10 dan temperature 25^oC.

c) Penerimaan arus pengisian yang sangat kecil

Baterai harus dapat di isi dengan arus pengisian yang agak kecil (pada cuaca yang jelek sekalipun), sehingga tidak ada energi surya yang terbuang begitu saja.



d) Efisiensi Ah (Ah)

Baterai menyimpan dalam jumlah Amper-jam , dengan suatu efisiensi Ah (Ah) dibawah 100% (biasanya 90%). Efisiensi ini disebut juga dengan istilah “coulombscher”.

e) Efisiensi Wh (Wh)

Efisiensi Wh adalah perbandingan energi yang ada dan yang dapat dikeluarkan. efisiensi Wh selalu lebih rendah dari efisiensi Wh dan biasanya lebih kurang 80%. Hal-Hal yang perlu mendapatkan perhatian dalam memiliki suatu baterai adalah:

1. Tegangan yang dipersyaratkan.
2. Jadwal waktu pengoperasian.
3. Satu pengoperasian.
4. Arus di persyaratkan.
5. Kapasitas (Amper jam = Ah).

Secara umum cara kerja aki adalah dengan menciptakan reaksi kimia supaya bisa menghasilkan aliran elektron. Aliran inilah yang bisa menyalakan beban listrik. Reaksi kimia yang diciptakan membutuhkan komponen.

Nah, komponen-komponen inilah yang menjadi pembentuk aki. Baik itu komponen aki kering maupun basah secara umum sama yaitu sebagai berikut.

1. Kotak Aki

Bagian paling utama adalah kotak aki yang menjadi wadah semua komponen di dalamnya. Bentuknya sendiri kotak seperti plastik, tetapi menggunakan material khusus yang kuat dan juga keras.

2. Tutup Aki



Komponen aki selanjutnya adalah bagian tutup yang bisa dilihat dari kotak aki bagian atas. Pada aki basah, tutup ini bisa dibuka dan menjadi lubang untuk mengisi cairan elektrolit. Tutup ini berfungsi supaya cairan di dalamnya tidak tumpah keluar

3. Plat Logam Positif dan Negatif

Terdapat juga komponen aki berupa pelat logam yang fungsinya adalah untuk membuat aliran listrik dan mempengaruhi besar kecilnya arus listrik. Ada dua jenis pelat yang digunakan yaitu pelat positif dan negatif

4. Plat Separator

Ada juga jenis plat yang letaknya di antara plat positif dan negatif. Sesuai dengan namanya, plat ini diciptakan untuk memisahkan dua jenis plat tersebut. Karena jika kedua plat saling bersinggungan, bisa menimbulkan hubungan arus pendek

5. Cell Connector

Meskipun terpisah, namun setiap cell memiliki konduktor yang fungsinya adalah menghubungkan plat pada masing-masing cell. Konektor ini sendiri akan menghubungkan plat negatif dalam sebuah cell ke plat positif di cell lainnya.

6. Larutan Elektrolit

Perbedaan komponen aki juga terdapat pada jenis cairan elektrolit yang digunakan dan diisikan pada masing-masing cell. Khusus untuk aki basah, biasanya menggunakan cairan yang mirip dengan air sedangkan pada aki kering larutannya berbentuk gel

7. Terminal Aki

Disebut juga dengan kutub baterai yang letaknya ada di atas wadah dan dihubungkan ke rangkaian beban arus seperti lampu, starter listrik dan lainnya. Komponen ini juga memiliki terminal positif serta negatif.

2.3. Jenis Solar Cell ³

³ Ibid, hal 13



Jenis solar sel yang sering digunakan pada saat sekarang ini adalah sebagai berikut :

a. Polikristal (Poly-crystalline)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan Kristal acak. Type polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.

b. Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), effisiensinya akan turun drastic dalam cuaca berawan.

c. Amorphous Silikon

Amorphous silikon merupakan jenis sel surya yang memiliki tingkat efisiensi paling rendah sebesar 9-14% dengan harga yang paling murah (Narayana, 2010). Jenis ini juga biasanya digunakan pada alat-alat elektronik kecil berupa kalkulator dan jam tangan.

Berikut adalah tabel perbandingan beberapa jenis panel surya

Tabel 2.1 Perbandingan Jenis Sel Surya

Jenis	Efisiensi Perubahan Daya	Daya Tahan	Biaya
Mono	Sangat Baik	Sangat Baik	Baik
Poly	Baik	Sangat Baik	Sangat Baik
Amorphus	Cukup Baik	Cukup Baik	Baik



2.4 Prinsip Kerja Sel Surya⁴

Sel surya bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya.

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan Photon. Pada sel surya terdapat sambungan junction antara dua lapis tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing diketahui sebagai semikonduktor jenis P positif dan semikonduktor jenis N negative. Semikonduktor jenis N dibuat dari Kristal silicon dan terdapat juga sejumlah material lain (umumnya fosfor) dalam batasan batasan bahwa material tersebut dapat memberikan suatu kelebihan electron bebas.

Electron adalah partikel sub atom yang bermuatan negative, sehingga silicon paduan dalam hal ini disebut sebagai semikonduktor jenis N negative. Semikonduktor jenis P juga terbuat dari Kristal silicon yang didalamnya terdapat sejumlah kecil materi lain umumnya boron yang mana menyebabkan material tersebut kekurangan satu electron bebas. Kekurangan atau hilangnya electron ini disebut lubang hole, Karena tidak ada atau kurangnya electron yang bermuatan listrik negative maka silicon paduan dalam hal ini sebagai semikonduktor jenis P.

Daya listrik yang dihasilkan panel surya merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 1

$$P = VI \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : P = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

⁴ Ibid, hal 15



$I =$ Arus (Ampere)

Sedangkan nilai rata rata yang dihasilkan selama titik penelitian ditunjukkan pada persamaan 2.

$$\text{rata-rata} = \frac{1+2+\dots+n}{n} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Prata-rata = Daya rata-rata (Watt)

1 = Nilai pada titik penelitian ke satu

2 = Nilai pada titik penelitian ke dua

n = Nilai pada titik penelitian ke n

Dalam sistem dengan PV dengan beban R (Resitive Load) besar, sel beroperasi pada daerah kurva I-V, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan oven circuit. Jika dihubungkan dengan hambatan optimal R_{opt} berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimal dan arus maksimal.

1. Maximum Power Point Maximum Power Point (V_{mp} dan I_{mp}) pada kurva I-V adalah titik operasi yang menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel sel surya.

2. Fiil Faktor Fiil Faktor (FF) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya dengan data yang tertera pada panel surya :

$$ff = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

FF : Fiil Faktor

V_{mp} : Maks. Power Voltage (Volt)

I_{mp} : Maks. Power Current (Ampere)

VOC : Oven Circuit Voltage (Volt)



ISC : Short Circuit Current (*Ampere*)

3. Daya maksimum per modul surya adalah antara nilai Open Circuit Voltage Short Circuit Current (VOC) serta besar nilai Fill Faktor, dimana : $P_{maks} = V_{OC} \cdot I_{sc} \cdot FF$ (2.4)

Sedangkan untuk mengetahui daya masuk tergantung dari pada sinar matahari (intensitas cahaya) yang mengenai permukaan solar cell sebanding dengan banyak atau luas area modul, dimana :

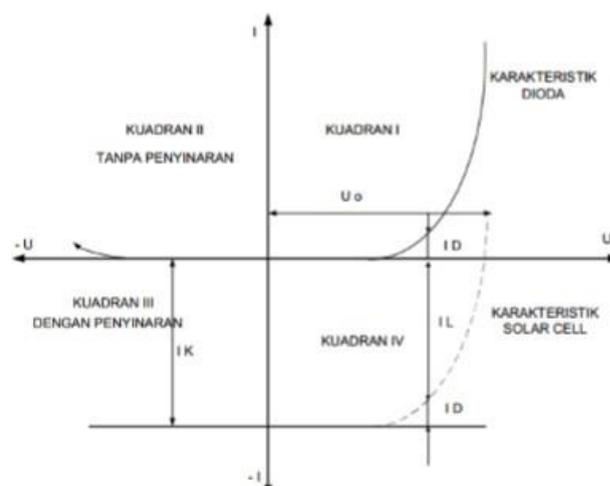
$P_{in} = \text{Intensitas Cahaya} \times \text{luas area modul sel surya}$(2.5)

Efisiensi

$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ (2.6)

2.5 Karakteristik Solar Cell ⁵

Sel surya tanpa pada keadaan penyinaran, mirip seperti permukaan penyearah setengah gelombang dioda. Ketika sel surya dapat sinar akan mengalir arus konstant yang arahnya berlawanan dengan arus dioda seperti gambar dibawah ini.



Gambar2. 5 Karakteristik Suatu Sel Surya Dan Dioda

⁵ Ibid, hal 16



Dari gambar diatas dilihat bahwa grafik sel surya tidak tergantung dari sifat sifat dioda.

Jika diselidiki pada kuadran IV akan ditemukan tiga titik penting yaitu :

- a. Tegangan beban nol diukur tanpa beban tanpa dipengaruhi penyinaran
- b. Arus terhubung singkat di ukur saat sel hubung singkat dan disini arus hubung singkat berbanding lurus dengan kuat penyinaran
- c. Titik daya maksium maximum Power point = MPP dari sel surya didapatkan dari hasil arus dan tegangan yang dibuat pada setiap titik

Dalam hal ini daya yang dihasilkan oleh suatu sel surya sama dengan nol. Pada suatu titik tertentu daya sel surya mencapai titik maksimum dan titik ini disebut titik MMP Maximum Power Point, yang pada praktek yang selalu diusahakan agar pemakaian berpatokan dari titik MMP

2.6 Parameter Sel Surya ⁶

Dalam masa operasi maksimal sel surya juga dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu diantaranya :

a. *Ambient air temperature* (suhu)

Photovoltaic dapat bekerja maksimal apabila suhunya masih berada pada batas normal yaitu sebesar 25 derajat celcius. Namun, apabila suhunya lebih besar dari suhu normal, maka akan menurunkan nilai tegangan yang diproduksi karena setiap kenaikan suhu sebesar 1 derajat celcius dari 25 derajat, maka akan mengurangi nilai tegangan berkisar 0,4 % dari keseluruhan energi yang diproduksi 8 atau akan menurun 2 kali lipat yang digunakan untuk menaikkan suhunya setiap 10 derajat celcius

b. Radiasi matahari

Radiasi matahari yang tertangkap di bumi dan berbagai lokasi bervariasi akan sangat tergantung terhadap kondisi spektrum cahaya matahari yang

⁶ Ibid, hal 38



tertangkap di bumi. Intensitas radiasi matahari akan sangat berpengaruh terhadap arus dan sedikit pada tegangan yaitu apabila nilai intensitas radiasi matahari yang diserap oleh photovoltaic semakin rendah, maka arusnya pun akan semakin rendah pula. Dengan hal tersebut dapat menentukan titik Maximum Power Point dalam kondisi yang berada pada titik yang semakin rendah juga.

c. Orientasi sel surya (*array*)

Orientasi sel surya sangatlah penting karena dari photovoltaic (*array*) yang dirangkai menghadap ke arah datangnya cahaya matahari secara optimal dapat membuat sel surya menghasilkan energi yang maksimal. Dan apabila bidang sel surya tidak dapat mempertahankan ketegak lurusannya dengan cahaya matahari, maka diperlukan penambahan luas pada bidang panel surya karena perlu diketahui bahwa bidang panel surya terhadap sinar matahari akan berubah setiap jamnya dalam sehari.

2.6 Struktur sel surya

Sesuai dengan perkembangan sains & teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula Jenis-jenis teknologi surya

a) Substrat/*Metal backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized DSSC dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti indium tin oxide ITO dan flourine doped tin oxide FTO



b) Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material Cu(In,Ga)(S,Se)_2 (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$ (CZTS) dan Cu_2O (*copper oxide*). Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya. Pengertian semikonduktor tipe-p, tipe-n, dan juga prinsip p-n junction dan selsurya akan dibahas dibagian “cara kerja sel surya”.

c) Kontak metal / *contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negative.

d) Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

e) Enkapsulasi / *cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

