



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi.

Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi Matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara. Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar.

Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksplotasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan.

Semikonduktor adalah suatu bahan yang dapat dibuat menghantar atau tidak menghantar, tergantung pada pengaturan yang dilakukan. Umumnya terbuat dari Silicon atau Germanium yang di-doping dengan menambahkan atau mengurangi electron. Dengan menambahkan electron maka semikonduktor akan bersifat negative (-). Sebaliknya dengan mengurangi electron maka semikonduktor bersifat positif (+). Pemberian doping dimaksudkan untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen, yang diharapkan akan dapat menghantarkan listrik. Energy yang diperlukan untuk memutus sebuah



ikatan kovalen adalah sebesar 1,1 eV untuk silicon dan 0,7 eV untuk germanium. Pada temperature ruang (300K), sejumlah electron mempunyai energy yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi electron bebas. Besarnya energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari pita valensi ke pita konduksi ini disebut energy terlarang (energy gap). Jika sebuah ikatan kovalen terputus, maka akan terjadi kekosongan lubang (hole). Pada daerah dimana terjadi kekosongan akan terdapat kelebihan muatan positif, dan daerah yang ditempati electron bebas mempunyai kelebihan muatan negative. Kedua muatan inilah yang memberikan kontribusi adanya aliran listrik pada semikonduktor murni. Jika elektron valensi dari ikatan kovalen yang lain mengisi lubang tersebut maka akan terjadi lubang baru di tempat yang lain dan seolah-olah sebuah muatan positif bergerak dari lubang yang lama ke lubang baru. Silikon lebih banyak digunakan daripada Germanium karena sifatnya yang lebih stabil pada suhu tinggi. Silikon adalah material dengan struktur pita energi tidak langsung (indirect bandgap), dimana nilai minimum dari pita konduksi dan nilai maksimum dari pita valensi tidak bertemu pada satu harga momentum yang sama. Ini berarti agar terjadi eksitasi dan rekombinasi dari pembawa muatan diperlukan perubahan yang besar pada nilai momentumnya atau dapat dikatakan dibutuhkan bantuan sebuah partikel dengan momentum yang cukup untuk mengkonservasi momentum pada semua proses transisi. Dengan kata lain, silikon sulit memancarkan cahaya. Sifat ini menyebabkan silikon tidak layak digunakan sebagai piranti fotonik/optoelektronik. Terdapat 2 tipe semikonduktor, yaitu:

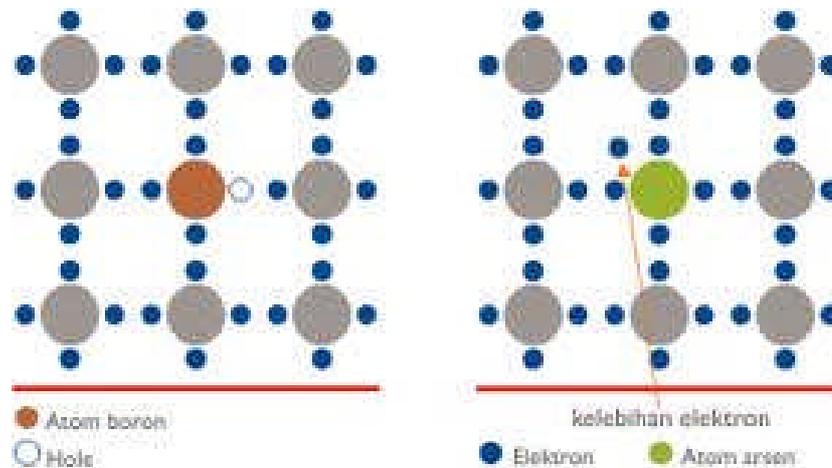
- *Semikonduktor tipe - p*

Semiconductor ini dibuat dengan penambahan bahan (Ga : gallium; In : phosphorous; B: boron) Memiliki tiga valence electron intrinsic semiconductor. Melalui empat lapisan luar electron yang dimilikinya, bila kedua jenis material ini bertemu satu dengan lainnya, maka atom silicon dari kedua jenis atom tidak ini tidak bisa berbagi electron, sehingga arus listrik dapat mengalir dengan mudah dimana lowongan ini disebut hole. Tipe semiconductor ini biasa disebut dengan P (positive) karena diasumsikan muatan listriknya adalah positif karena elektronnya

lebih sedikit. Saat mendapat tegangan, electron mengisi sisi hole kemudian hole tersebut secara terus menerus bergerak menurun. Arus listriknya mengalir melalui hole yang ada di dalam semiconductor tipe P ini.

- *Semikonduktor tipe – n*

Semiconductor ini dibuat dengan menambahkan material (P: phosphorus; As: arsenic; Sb: antimony) memiliki 5 lapisan luar electron dalam intrinsic semiconductor. Bila lima valensi element ini ditambahkan untuk mengikat dengan silicon, maka satu electron tetap bertahan sebagai kelebihan di dalam octet, sehingga daya hantar electron tersebut bisa baik melalui gerak bebas elektron yang tertinggal. Semiconductor ini disebut dengan tipe N (negatif) karena arus listriknya diasumsikan adalah negatif. Arus listrik ini mengalir melalui semiconductor tipe N (penghantar : elektron).

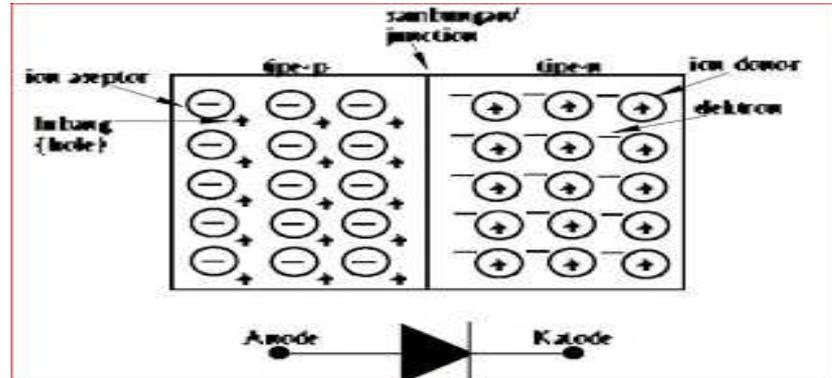


Gambar 2.1 Semikonduktor tipe-p (kiri), Semikonduktor tipe- n (kanan)

- *P-N Junction (persimpangan antara P-N)*

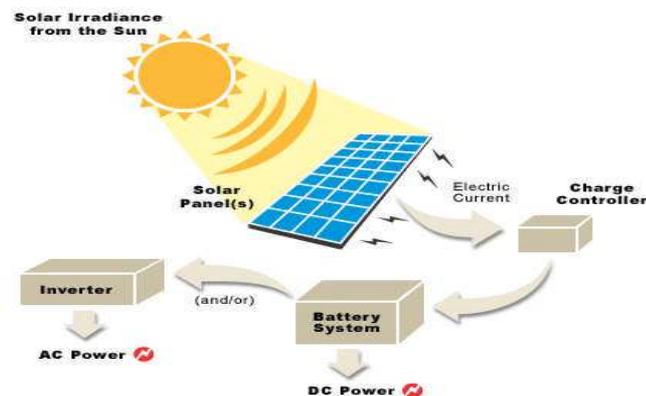
Bila semiconductor tipe P dan N secara kimiawi dibatasi satu dengan lainnya, maka dibuat persamaan dimana tidak ada carrier (penghantar) seperti hole dan electron bebas ditahan bersama di bagian sempit dari permukaan persimpangan (junction). Permukaan junction ini disebut dengan depletion layer, dan semiconductor yang dipisah disebut dengan PN junction semiconductor atau diode. Maka muatan listrik yang ada dari perbedaan polaritas satu sama lainnya,

menghasilkan sedikit potensial listrik, disebut dengan electric potential barrier.



Gambar 2.2 P-N Junction

Proses konversi energi matahari menjadi energi listrik, ketika cahaya bersentuhan dengan solar cell akan diserap oleh bahan semikonduktor dengan tipe p dan n ($p-n$ junction semiconductor), sehingga akan terjadi pelepasan elektron. Perubahan sigma gaya-gaya pada bahan terjadi apabila elektron bergerak menuju bahan semikonduktor pada lapisan yang berbeda maka akan terjadi perpindahan electron dari pita konduksi ke pita valensi. Gaya tolakan antar bahan semikonduktor akan menyebabkan aliran medan listrik. Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih. Sekarang telah dikembangkan teknologi pemanfaatan sumber energi alternatif untuk menghasilkan listrik, salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS merupakan sistem pembangkit yang tergolong mudah, murah, ramah lingkungan dan terbarukan. Pada sistem pembangkit ini, terjadi suatu proses penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh modul solar cells atau Photovoltaic, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 di bawah ini.





Gambar 2.3 Konfigurasi PLTS

Pada siang hari panel surya menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses fotovoltaik. Listrik yang dihasilkan oleh panel dapat langsung disalurkan ke beban ataupun disimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban. Pada malam hari, dimana panel surya tidak menghasilkan listrik, beban sepenuhnya dicatu oleh baterai. Demikian pula apabila hari mendung, dimana panel surya menghasilkan listrik lebih rendah dibandingkan pada saat matahari cerah. Panel surya dengan kapasitas tertentu dapat menghasilkan jumlah listrik yang berbeda-beda apabila ditempatkan pada daerah yang berlainan.

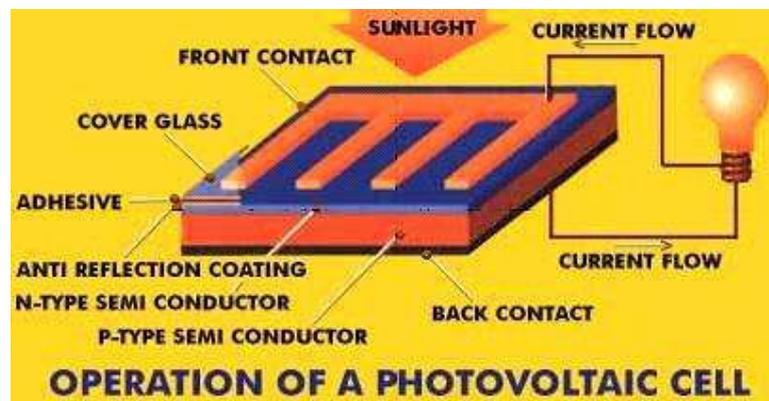
1.2 Photovoltaic

Istilah “tenaga surya” mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. Dua tipe dasar tenaga matahari adalah “photovoltaic” dan “sinar matahari” melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, partikel bermuatan negative yang membentuk dasar listrik.

Bahan semi konduktor yang paling umum dipakai dalam sel photovoltaic adalah silikon, sebuah elemen yang umum ditemukan di pasir. Semua sel photovoltaic mempunyai paling tidak dua lapisan semi konduktor seperti itu, satu bermuatan positif dan satu bermuatan negatif. Ketika cahaya bersinar pada semi konduktor, lading listrik menyeberang sambungan diantara dua lapisan menyebabkan listrik mengalir, membangkitkan arus DC dengan menggunakan kristal silicon (Si) yang tipis. Sebuah kristal silindris Si diperoleh dengan cara memanaskan Si itu dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau yang disebut juga dengan sel surya (fotovoltaik). Sel-sel silikon itu dipasang dengan posisi sejajar (seri) dalam sebuah panel yang terbuat dari aluminium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik.

Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel itu diberi sambungan listrik. Bila sel-sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus atau tenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel itu.

Pada dasarnya sel surya fotovoltaik merupakan suatu dioda semikonduktor yang berkerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaik. Dalam proses itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 volt tergantung intensitas cahaya dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Sementara itu intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt, tapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek fotovoltaik baru mencapai 25%, maka produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 Watt/m². Cara kerja photovoltaic diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Photovoltaic

Sistem photovoltaic tidak membutuhkan cahaya matahari yang terang untuk beroperasi. Sistem ini juga membangkitkan listrik di saat hari mendung, dengan energi keluar yang sebanding ke berat jenis awan. Berdasarkan pantulan sinar matahari dari awan, hari-hari mendung dapat menghasilkan angka energi yang lebih tinggi dibandingkan saat langit biru sedang yang benar-benar cerah.

Saat ini, Photovoltaic juga digunakan untuk menyediakan listrik di wilayah yang tidak terdapat jaringan pembangkit tenaga listrik. Penggunaan sel



photovoltaic sebagai desain utama oleh para arsitek semakin meningkat. Sel photovoltaic juga dapat digunakan untuk menyediakan tenaga maksimum ke gedung pada saat hari di musim panas ketika sistem AC membutuhkan energi yang besar, hal itu membantu mengurangi beban maksimum elektrik. Baik dalam skala besar maupun skala kecil photovoltaic dapat mengantarkan tenaga ke jaringan listrik, atau dapat disimpan dalam selnya.

1.3 Solar Cell / Panel Surya

Panel surya adalah alat yang merubah sinar matahari menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif dan positif didalam cell modul tersebut karena perbedaan electron. Hasil dari aliran elektron-elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi *battery* / aki sesuai tegangan dan ampere yang diperlukan. Panel surya merupakan salah satu sumber energi yang ramah lingkungan yang sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, karena tidak ada polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi, dan lagi sumber energinya banyak tersedia di alam, yaitu sinar matahari, terlebih di negeri tropis semacam Indonesia yang menerima sinar matahari sepanjang tahun. Membuat solar cell menjadi alternatif sumber energi masa depan yang sangat menjanjikan. Solar cell juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis mengingat tidak membutuhkan transmisi karena dapat dipasang secara modular disetiap lokasi yang membutuhkan.



Gambar 2.5 Solar Cell / Panel Surya

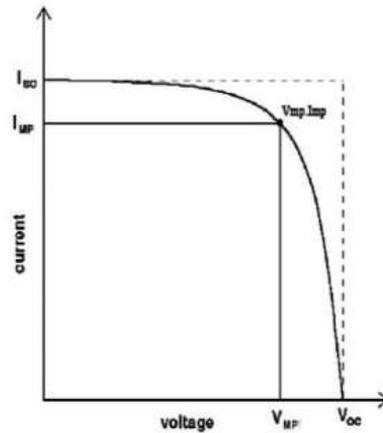
Gambar 2.5. menjelaskan konversi sinar matahari menjadi energi listrik dalam sel surya melibatkan tiga proses utama, yaitu : penyerapan sinar matahari dalam bahan semikonduktor, pergerakan muatan-muatan positif dan negatif secara bersama dan dalam skala yang besar dari satu sisi sel ke sisi sel yang lain, kemudian menciptakan tegangan listrik di dalam sel surya. Keuntungan menggunakan listrik dengan menggunakan solar cell/panel surya :

- Merupakan energi terbarukan yang tidak pernah habis
- Menghemat listrik dalam jangka panjang
- Pemanasan global
- Bersih dan ramah lingkungan
- Praktis tidak memerlukan perawatan
- Umur panel surya yang panjang
- Tidak tergantung dengan PLN
- Sangat cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia

1.3.1 Karakteristik panel surya

Panel surya menerima penyinaran matahari dalam satu hari sangat bervariasi. Hal ini dikarenakan sinar matahari memiliki intensitas yang besar ketika siang hari dibandingkan dengan pagi hari. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan, dilakukanlah pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) pada panel surya. Untuk mengukur arus maksimum, maka kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum. Dengan menggunakan amper meter akan didapatkan sebuah arus maksimum yang dinamakan *short circuit current* atau (I_{sc}). Pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul sel surya dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* atau (V_{oc}). Hasil pengukuran arus (I) dan tegangan (V) ini dapat digambarkan dalam sebuah grafik yang disebut kurva I-V seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Pada kurva I-V terdapat hal-

hal yang sangat penting yaitu:



Gambar 2.6 Kurva I-V Panel Surya

A. Maximum Power Point (V_{mp} dan I_{mp})

Maximum Power Point (V_{mp} dan I_{mp}) Pada kurva I-V, adalah titik operasi dimana maksimum pengeluaran atau output yang dihasilkan oleh solar cell panel saat kondisi operasional. Dengan kata lain, V_{mp} dan I_{mp} dapat diukur pada saat solar cell panel diberi beban dan radiasi. Output berkurang sebagaimana voltase menurun. Arus dan daya output dari kebanyakan modul solar cell panel menurun sebagaimana tegangan / voltase meningkat melebihi V_{mp} dan I_{mp}.

B. Open Circuit Voltage (V_{oc})

Open Circuit Voltage V_{oc}, adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus.

$$= -1 \left(\dots + 1 \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

k = konstanta boltzmann (1.30x10⁻¹⁶erg)

q = konstanta muatan elektron (1.602x10⁻¹⁹ C)

T = suhu dalam Kelvin

I_s = Arus saturasi



C. Short Circuit Current (*I_{sc}*)

Short Circuit Current (*I_{sc}*), adalah maksimum arus keluaran dari panel sel surya yang dapat dikeluarkan di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung singkat. Untuk mengetahui Arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$= (\quad + \quad) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- G = tingkat generasi
- L_n* = panjang difusi elektron
- L_p* = panjang difusi hole

D. Fiil Factor (*FF*)

Fiil Factor merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya. Besarnya *FF* dapat dihitung dengan rumus :

$$= \text{—————} \dots \dots \dots (2.3)$$

Pada kurva *I-V* terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi solar cell panel, yaitu:

a. Resistansi Beban

Tegangan baterai adalah tegangan operasi dari solar cell panel, apabila baterai dihubungkan langsung dengan solar cell panel. Effisiensi paling tinggi adalah saat solar cell beroperasi mendekati pada maximum power point.

b. Intensitas Cahaya Matahari

Semakin besar intensitas cahaya matahari secara proposional akan menghasilkan arus yang besar.

c. Shading / Teduh / Bayangan

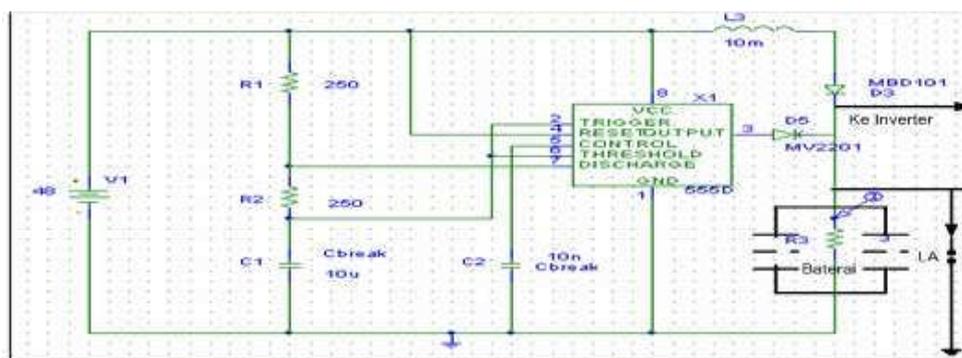
Shading adalah satu atau lebih sel silikon dari solar cell panel dimana yang tertutup dari sinar matahari.

shading akan mengurangi pengeluaran daya dari solar cell panel. Beberapa jenis solar cell panel module sangat terpengaruh oleh shading dibandingkan yang lain.

1.4 Regulator

Regulator DC pada prinsipnya merupakan sebuah rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan keluaran dari sebuah catu daya pada suatu nilai yang konstan. Regulator menempati posisi yang strategis dari suatu beban listrik karena ia harus mampu menghasilkan dan mempertahankan tegangan output yang relative konstan walaupun terjadi banyak fluktuasi tegangan pada saluran inputnya.

Regulator adalah komponen di dalam sistem PLTS berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*Current Regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel surya maupun arus beban keluar / digunakan. Sebagian besar panel surya 12 Volt menghasilkan tegangan keluar (V-Out) sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada peraturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Yang umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian (*Charge*) sekitar 13,2 -13,4 volt (Tegantung Tipe Baterai) untuk dapat terisi penuh.



Gambar 2.7. Rangkaian Regulator

Gambar 2.7. menjelaskan tentang regulator mengatur overcharging (kelebihan pengisian - karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltage dari solar module. Kelebihan voltage dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Charge



yang menunjukkan bahwa voltase di baterai sudah hampir habis dan perlu untuk proses charging. Dalam kondisi ini, meskipun sisa voltase di baterai masih ada, namun karena pengambilan arus listrik dari baterai telah diputus oleh controller, maka peralatan listrik / beban tidak dapat beroperasi.

3. Pada controller tipe – tipe tertentu yang fungsi indikatornya cukup komplit, berbagai macam kejadian yang terjadi pada sistem PLTS dapat terdeteksi dengan baik. Selain terdapat susunan lampu – lampu yang masing – masing lampu berbeda warna dengan frekuensi kedipan lampu yang berbeda juga untuk tiap kejadian, controller tipe ini juga dapat terhubung dengan perangkat komputer untuk keperluan kemudahan kontrol, pengecekan dan perbaikan khususnya dalam jarak jauh.

Dalam charging mode, umumnya baterai diisi dengan metoda three stage charging:

1. Fase bulk: baterai akan di isi 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 charge 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 / solar cell pada stage ini.

Rumus menentukan regulator ada dua :

1. Berdasarkan beban yang ingin dibackup + voltage yang digunakan. beban 200watt dan voltage panel surya yang digunakan adalah 12V. Maka regulator yang digunakan adalah :



- Voltase nominal = 12V, alat pengontrol juga harus 12V
- Ukuran alat pengontrol/ regulator = $200 \cdot 12 = 16,7$
- Dengan pertimbangan faktor efisiensi 25 %, $16,7 \cdot 1,25 = 20,82$

Jadi alat pengontrol yang harus dipakai adalah regulator yang ukurannya tidak dibawah 21A.

2. Berdasarkan I_{sc} / short circuit current yang nilainya dikalikan jumlah panel surya. Dan untuk menentukan regulator berdasarkan I_{sc} ini maka sebaiknya dibaca terlebih dahulu contoh pada panel surya terdapat spesifikasi sebagai berikut :

$$= 110$$

$$V_m = 16,7 \text{ VDC}$$

$$I_m = 6,6 \text{ A}$$

$$V_{oc} = 20,7 \text{ A}$$

$$I_{sc} = 7,5 \text{ A}$$

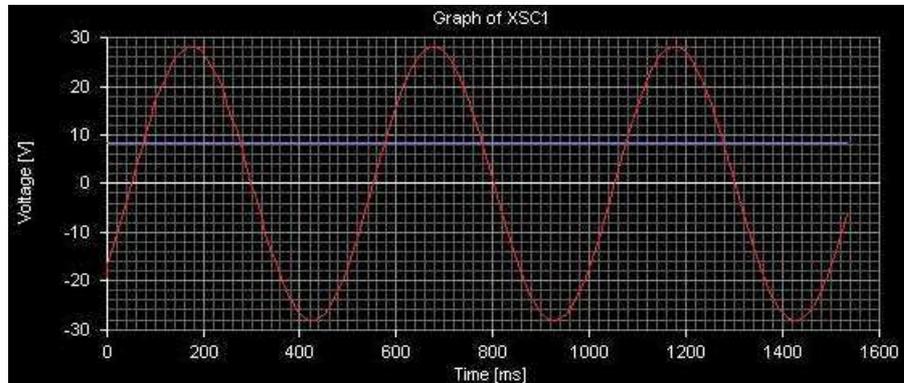
Dan sebagai percontohan menggunakan 4 panel surya maka sebelumnya adalah yang harus diperhatikan adalah angka I_{sc} (*short circuit current*), nilainya dikalikan dengan jumlah panel surya, hasilnya merupakan nilai berapa nilai minimal dari regulator yang dibutuhkan

$$= 4 \quad (7,5 \text{ A}) \cdot 4 = 30 \text{ A}$$

2.4.2 Karakteristik regulator

Tegangan keluaran regulator dikontrol dengan mengumpankan setiap perubahan tegangan yang terjadi, baik penambahan maupun penurunan, bila terjadi kecenderungan penurunan tegangan, misalnya karena arus beban yang besar, maka akan timbul tegangan error yang akan meminta op amp agar kembali menyesuaikan/menaikkan tegangan outputnya sehingga penurunan tidak terjadi. Regulator menempati posisi yang strategis dari suatu beban listrik karena ia harus mampu menghasilkan dan mempertahankan tegangan output yang relative

konstan walaupun terjadi banyak fluktuasi tegangan pada saluran inputnya.



Gambar 2.8. Karakteristik Regulator

Gambar 2.8. menjelaskan garis yang berwarna merah merupakan V_{in} dari solar cell. Sedangkan garis yang berwarna biru merupakan V_{out} dari keluaran regulator yang menuju ke baterai. Jadi setiap tegangan dari panel surya yang masuk ke baterai baik tegangan itu kecil maupun besar akan distabilkan oleh regulator. Agar tegangan yang masuk ke baterai menjadi konstan.

2.5 Baterai

Sistem penyimpanan energi yang biasa dipakai untuk penyimpanan energi keluaran solar cell adalah baterai. Baterai ini digunakan karena solar cell memiliki karakteristik daya keluaran yang tidak stabil, berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya yang jatuh pada permukaannya, sedangkan beban umumnya memerlukan supply daya yang stabil, dan apabila daya masukannya berubah-ubah maka dapat merusak beban-beban tersebut.

Rumus perhitungan kapasitas baterai :

$$h = \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

Ah = satuan dalam baterai

ET = total pemakaian energi/hari

Vs = tegangan sumber

Baterai digunakan di sistem PLTS sangat berguna untuk menyimpan arus/energi yang dihasilkan dari Solar Cell/Panel pada waktu siang hari dan dapat digunakan ke beban yang dibutuhkan selanjutnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.9 Baterai

1.5.1 Metode charging

Terdapat bermacam-macam metode charging yang bisa digunakan untuk rangkaian charging. Metode tersebut berbeda dalam cara pemberian energi listrik dari catu daya ke *accumulator* atau baterai. Metode-metode tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Constant Voltage

Pada dasarnya adalah berupa DC *power supply* biasa. Terdiri dari transformator step down dengan rangkaian penyearah untuk memberikan tegangan DC yang digunakan untuk mengisi batteray. Metode seperti ini sering digunakan pada pengisi daya pada aki mobil murah. Selain itu, baterai Lithium-Ion juga menggunakan metode *constant voltage* walaupun sering ditambahkan rangkaian yang kompleks untuk melindungi baterai dan penggunaanya.

b. Constant Current

Metode *constant current* memvariasikan nilai tegangan sehingga didapatkan besarnya arus yang konstan. Metode ini biasanya digunakan untuk mengisi daya pada nikel-cadmium dan nikel-metal hibrida atau biasa



disebut baterai.

c. Taper Current

Metode *taper current* mengisi daya baterai dari sumber tegangan konstan. Arus akan berkurang seiring dengan terbentuknya GGL (Gaya Gerak Listrik pada tegangan sel. Ada bahaya serius yaitu kerusakan sel jika pengisian dilakukan berlebihan. Untuk menghindari hal ini, laju pengisian dan durasi pengisian diberi batasan. Metode ini hanya cocok untuk baterai SLA.

d. Pulsed Charged

Metode ini bekerja dengan mengirimkan arus listrik berbentuk pulsa pada baterai. Tingkat pengisian (berdasarkan rata-rata arus) dapat tepat dikendalikan dengan memvariasikan lebarpulsa, biasanya sekitar satu detik. Selama proses pengisian, terdapat jeda kosong kira-kira sebesar 20 sampai 30 milidetik. Jeda ini diberikan untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia pada baterai untuk menstabilkan elektroda. Waktu jeda tersebut juga dapat menghindarkan proses pengisian dari efekefek yang tidak diinginkan seperti timbulnya gelembung gas, timbulnya kristal dan passivasi.

e. Burp Charging

Metode ini merupakan kebalikan dari metode *pulsed charged*. Pengisian terjadi dengan menggunakan pulsa negatif pada baterai.

f. Trickle Charge

Metode ini dirancang untuk mengimbangi debit daripada baterai. Tingkat pengisian disesuaikan dengan frekuensi debit baterai yang akan diisi. Metode ini tidak cocok untuk beberapa jenis baterai yang rentan akan kerusakan akibat pengisian yang berlebihan, misalnya NiMh dan Lithium.

1.5.2 Penentuan charging battery dengan arus besar (*fast charging*)



Pengisian cepat adalah pengisian dengan arus yang sangat besar. Besar pengisian tidak boleh melebihi 50% dari kapasitas baterai, dengan demikian untuk baterai 50 AH, besar arus pengisian tidak boleh melebihi 25 A. Prosedur pengisian cepat sebenarnya sama dengan pengisian normal, yang berbeda adalah besar arus pengisian yang diatur sangat besar. Selain itu juga faktor resiko yang jauh lebih besar, sehingga harus dilakukan dengan ekstra hati-hati. Saat pengisian normal sumbat baterai tidak dilepas tidak menimbulkan masalah yang serius sebab temperature pengisian relative rendah sehingga uap elektrolit sangat kecil, berbedah dengan pengisian cepat dimana arus yang besar menyebabkan temperature elektrolit sangat tinggi sehingga penguapan sangat besar, bila sumbat tidak dilepas kotak baterai dapat melengkung akibat tekanan gas dalam sel baterai yang tidak mampu keluar akibat lubang ventilasi kurang. Pengisian dengan arus besar harus dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$(\quad) = \frac{(\quad)}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan waktu pengisian = 0.5 – 1 Jam

Pada prinsipnya *fast charging* memberikan daya listrik yang besar untuk disimpan di dalam baterai, tetapi tidak melebihi dari kemampuan baterai tersebut. Ada tiga besaran yang harus diperhatikan untuk melakukan pengisian dengan metode *fast charging* yaitu tegangan (V), arus pengisian (I), dan temperature (T) pada saat pengisian. Metode pengisian baterai dengan *fast charging* dapat memperbaiki cara kerja baterai, meningkatkan daya guna dan juga dapat memperpanjang umur aki karena baterai selalu melewati langkah-langkah yang aman bagi baterai dan tidak akan melewati batas *over charge*.

Pengisian baterai yang lebih dari satu buah dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. Rangkaian Paralel 2 Baterai

- Buka sumbat baterai tempatkan sumbat pada wadah khusus agar tidak tercecer. Pelepasan sumbat ini dengan tujuan untuk sirkulasi uap yang dihasilkan elektrolit saat pengisian, dan menghindari tekanan pada sel



baterai akibat gas yang dihasilkan.

- Hubungkan kabel positif baterai 1 dengan terminal positif baterai 2 kemudian hubungkan dengan klem positif battery charger. Demikian pula untuk terminal negatif. Hati-hati jangan sampai terbalik, bila terbalik akan timbul percikan api, bila dipaksa baterai akan rusak, pada battery charger model tertentu dilengkapi dengan indicator, dimana bila pemasangan terbalik akan muncul bunyi peringatan.
 - Hubungkan battery charger dengan sumber listrik 220 V.
 - Pilih selector tegangan sesuai dengan tegangan baterai, misal baterai 12 V maka selector digerakan kearah 12 V.
 - Hidupkan battery charger, dan setel besar arus sesuai dengan kapasitas baterai.
 - Besar arus merupakan jumlah arus yang dibutuhkan untuk baterai 1 dan baterai 2. misalnya untuk mengisi dua baterai 50 AH dibutuhkan arus pengisian sebesar $10\% \times (2 \times 50) = 10 \text{ A.}$, mengisi baterai 50 AH dan 40 AH maka diperlukan arus sebesar $10\% \times (40+50) = 9 \text{ A.}$
 - Setel waktu yang diperlukan untuk pengisian (untuk battery charging yang dilengkapi timer), bila tidak dilengkapi maka catat waktu mulai proses pengisian. Waktu yang diperlukan sesuai dari hasil pengukuran berat jenis elektrolit masing-masing baterai.
 - Bila pengisian sudah selesai, maka mematikan battery charger,
 - Lepas klem battery charger pada terminal baterai, lakukan terminal negatif dahulu, klem jangan dilepas saat battery charge masih hidup, sebab akan terjadi percikan api pada terminal saat dilepas dan menimbulkan ledakan pada baterai akibat uap baterai terbakar. Uap baterai adalah gas hydrogen yang mudah terbakar dan mudah meledak.
2. Rangkaian Seri 2 Baterai
- Buka sumbat bateri tempatkan sumbat pada wadah kusus agar tidak tercecer. Pelepasan sumbat ini dengan tujuan untuk sirkulasi uap yang



dihasilkan elektrolit saat pengisian, dan menghindari tekanan pada sel baterai akibat gas yang dihasilkan.

- Hubungkan kabel positif baterai 1 dengan terminal positif baterai 2 kemudian hubungkan dengan klem positif battery charger. Demikian pula untuk terminal negatif. Hati-hati jangan sampai terbalik, bila terbalik akan timbul percikan api, bila dipaksa baterai akan rusak, pada baterai charger model tertentu dilengkapi dengan indikator, dimana bila pemasangan terbalik akan muncul bunyi peringatan.
- Hubungkan battery charger dengan sumber listrik 220 V
- Pilih selector tegangan sesuai dengan total tegangan baterai, misal 2 baterai 12 V dirangkai seri maka tegangan menjadi 24 V maka selector digerakan kearah 24 V.
- Hidupkan battery charger, dan setel besar arus sesuai dengan kapasitas baterai yang paling kecil. Misalkan besar untuk mengisi dua baterai 50 AH dibutuhkan arus pengisian sebesar $10\% \times 50 = 5 \text{ A}$., mengisi baterai 50 AH dan 40 AH maka diperlukan arus sebesar yang digunakan $10\% \times 40 \text{ AH} = 4 \text{ A}$.
- Setel waktu yang diperlukan untuk pengisian (untuk battery charging yang dilengkapi timer), bila tidak dilengkapi maka catat waktu mulai proses pengisian. Waktu yang diperlukan sesuai dari hasil pengukuran berat jenis elektrolit masing-masing baterai.
- Bila pengisian sudah selesai, maka mematikan battery charger,
- Lepas klem battery charger pada terminal baterai, lakukan terminal negatif dahulu, klem jangan dilepas saat battery charge masih hidup, sebab akan terjadi percikan api pada terminal saat dilepas dan menimbulkan ledakan pada baterai akibat uap baterai terbakar. Uap baterai adalah gas hydrogen yang mudah terbakar dan mudah meledak.

Kelebihan dan Kelemahan Metode Mengisi Baterai Seri dan Paralel.

Kelebihan pengisian dengan parallel adalah :



- ✓ Tegangan pengisian rendah yaitu 12 V, sehingga rancangan trafo yang digunakan lebih sederhana.
- ✓ Tetap aman meskipun kapasitas baterai tidak sama

Kelemahan:

- ✓ Tidak mampu menentukan dengan pasti berapa besar arus yang mengalir ke tiap baterai, sehingga sulit menentukan waktu pengisian yang tepat
- ✓ Arus listrik yang dialirkan merupakan arus total pengisian, sehingga arusnya yang mengalir cukup besar sehingga kabel maupun klem buaya untuk pengisian harus berukuran besar.

Kelebihan pengisian dengan seri adalah :

- ✓ Mampu menentukan dengan pasti berapa besar arus yang mengalir ke tiap baterai, sehingga dapat menentukan waktu pengisian dengan tepat.
- ✓ Arus listrik yang dialirkan besarnya sama untuk semua baterai, sehingga mudah ditentukan waktu pengisiannya.
- ✓ Besar arus pengisian normal berdasarkan kapasitas baterai yang paling kecil, sehingga arus pengisian kecil dan kabel maupun klem buaya yang digunakan untuk pengisian dapat dengan ukuran lebih kecil.

Kelemahan:

- ✓ Tegangan pengisian merupakan total tegangan baterai yang diisi, issal 4 baterai 12V, berarti tegangan pengisian sebesar 48 V.
- ✓ Tidak tepat digunakan untuk baterai yang kapasitasnya bervariasi, sebab harus mengikuti arus pengisian baterai yang kapasitas kecil, sehingga untuk baterai yang kapasitasnya besar tidak terisi penuh, dan bila mengikuti baterai kapasitas besar maka pada baterai yang kapasitasnya kecil akan mengalami over charging sehingga baterai cepat rusak. Dengan demikian metode ini kurang tepat untuk baterai dengan kapasitas yang jauh berbeda.

2.5.3 Penentuan charging battery dengan arus kecil (*slow charging*)



Pengisian normal adalah pengisian dengan besar arus yang normal/ kecil, besar arus pengisian normal sebesar 10 % dari kapasitas baterai. Contoh baterai 50 AH maka besar arus pengisian $50 \times 10/100 = 5$ A. Lama pengisian tergantung hasil pengukuran berat jenis elektrolit baterai, karena dari berat jenis dapat diketahui berkurangnya kapasitas baterai. Waktu pengisian sesungguhnya adalah 1,2 -1,5 kali dari hasil perhitungan. Pengisian dengan arus kecil harus dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$(\quad) = \text{—————} \quad 1,2 - 1,5 \dots \dots \dots (2.8)$$

Pada umumnya, jenis slow charger ini tidak memiliki deteksi *full charge*, sehingga tidak ada perpindahan ke pengisian ke arus kecil. Slow charging menguntungkan dari sisi ketahanan baterai namun bisa merugikan dari sisi penghematan waktu.

Contoh: Hasil pengukuran baterai dengan kapasitas 50 AH menunjukkan berat jenis 1,18 pada temperature 20 °C. (bila pengukuran dilakukan tidak pada suhu 20°C maka hasilnya harus disetarakan, karena elektrolit akan berkurang berat jenisnya sebanyak 0,0007 setiap kenaikan suhu 1°C). Dari data tersebut bila dibandingkan dengan grafik hubungan berat jenis dengan kapasitas diketahui bahwa pada saat itu energi yang hilang dan perlu perlu diisi sebesar 40 %. atau sebesar 40 % x 50 AH, yaitu sebesar 20 AH.

Dengan demikian besar arus:

$$10\% \quad = \frac{10}{100} \quad 50 = 5$$

Waktu pengisian:

$$\text{—————} = \frac{20}{5} = 4 \quad .$$

Waktu pengisian sesungguhnya adalah:

$$4 \quad 1,2 = 4,8 \quad \quad 4 \quad 1,5 = 6 \quad .$$



2.6 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya / solar cell menjadi AC. Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (Alternating Current).

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter:

1. Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
 2. Input DC 12 Volt atau 24 Volt.
 3. Sinewave ataupun square wave output AC.
 4. True sine wave inverter diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka true sine wave inverter adalah yang paling mahal diantara yang lainnya.
 5. Dalam perkembangannya di pasaran juga beredar modified sine wave inverter yang merupakan kombinasi antara square wave dan sine wave. Bentuk gelombangnya bila dilihat melalui oscilloscope berbentuk sinus dengan ada garis putus-putus di antara sumbu $y=0$ dan grafik sinusnya. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan modified sine wave inverter hanya saja kurang maksimal. Sedangkan pada square wave inverter beban-beban listrik yang menggunakan kumparan / motor tidak dapat bekerja sama sekali.
 6. Selain itu dikenal juga istilah Grid Tie Inverter yang merupakan special inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan, yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian diumpankan ke jaringan listrik yang sudah ada. Grid Tie Inverter juga dikenal sebagai synchronous inverter dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi
-



bila jaringan tenaga listriknya tidak tersedia.

7. Dengan adanya grid tie inverter kelebihan KWh yang diperoleh dari sistem PLTS ini bisa disalurkan kembali ke jaringan listrik PLN untuk dinikmati bersama dan sebagai penggantinya besarnya KWh yang disuplai harus dibayar PLN ke penyedia PLTS, tentunya dengan tarif yang telah disepakati sebelumnya. Sayangnya sampai sekarang ketentuan tarif semacam ini masih terus digodok seiring dengan aturan mengenai listrik swasta.
 8. Rugi-rugi / loss yang terjadi pada inverter biasanya berupa dissipasi daya dalam bentuk panas. Effisiensi tertinggi dipegang oleh grid tie inverter yang diclaim bisa mencapai 95-97% bila beban outputnya hampir mendekati rated bebannya. Sedangkan pada umumnya effisiensi inverter adalah berkisar 50-90% tergantung dari beban outputnya. Bila beban outputnya semakin mendekati beban kerja inverter yang tertera maka effisiensinya semakin besar, demikian pula sebaliknya. Modified sine wave inverter ataupun square wave inverter bila dipaksakan untuk beban-beban induktif maka effisiensinya akan jauh berkurang dibandingkan dengan true sine wave inverter. Perangkatnya akan menyedot daya 20% lebih besar dari yang seharusnya.
-