



BAB II

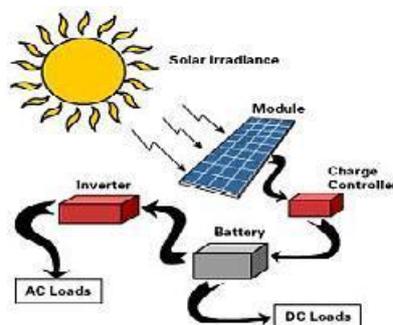
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)¹

Pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sangat diminati dan mulai dikembangkan diseluruh pelosok negeri dengan melakukan banyak sekali penelitian serta pengujian.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada dasarnya adalah pecatu daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun dengan hybrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain) baik dengan metode Desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode Sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel).

Pada siang hari modul surya/panel solar cell menerima cahaya matahari yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses photovoltaic. Energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dapat langsung disalurkan ke beban atau disimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban. Dan arus searah DC (direct current) yang dihasilkan dari modul surya yang telah tersimpan dalam baterai sebelum digunakan ke beban terlebih dahulu.



Gambar 2.1 Konsep Kerja Sell Surya

Sel surya atau photovoltaic adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek photovoltaic ini ditemukan oleh Becquerel pada

¹ Rusman, Rusman. "Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 Wp." *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 4.2 (2017).



tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis p- n junction dengan efisiensi 6%. Sekarang ini, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi lab dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15%.

2.2. Sel Surya²

Sel surya merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltaiic, oleh karenanya dinamakan juga sel fotovoltaiic (Photovoltaiic cell – disingkat PV)). Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Jika 36 keping sel surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16V. Tegangan ini cukup untuk digunakan mensuplai aki 12V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Panel Surya atau modul surya. Susunan sekitar 10 - 20 atau lebih Panel Surya akan dapat menghasilkan arus dan tegangan tinggi yang cukup untuk kebutuhan sehari hari.

Daya masuk (P_{in}) diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya menggunakan Persamaan (1).

$$P_{in} = I_r \times A \quad (1)$$

Dengan :

P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (W)

I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = Luas area permukaan sel surya (m²)

Daya keluaran (P_{out}) pada sel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan Persamaan (2).

² Purwoto, Bambang Hari, et al. "Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif." *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 18.1 (2018): 10-14.



$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2)$$

Dengan:

P_{out} = Daya keluaran (W)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

I_{sc} = Arus rangkaian pendek (Ampere),

FF = Faktor pengisi.

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar perkailan antara tegangan maksimum dengan arus maksimum di bagi dengan perkalian antara tegangan pada rangkaian terbuka dengan arus pada rangkaian terbuka dengan persamaan (3).

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3)$$

Dengan :

FF = Faktor pengisian

V_m = Tegangan maksimum (Volt)

I_m = Arus maksimum (Ampere)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

I_{sc} = Arus rangkaian pendek (Ampere)³

2.2.1. Jenis - Jenis Panel Surya

1. Monokristal (Mono-crystalline) Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari nya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

³ Daya, Panel Surya. "ANALISIS OUTPUT DAYA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN KAPASITAS 10WP, 20WP, DAN 30WP." *Jurnal Crankshaft* 4.2 (2021).



Gambar 2.2 Panel Surya Mono-crystalline

Sumber : <https://www.sanspower.com/harga-panel-surya-polycrystalline-dan-monocrystalline>

2. Polikristal (Poly-Crystalline) Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.



Gambar 2.3 Panel Surya Poly-crystalline

Sumber : <https://www.len.co.id/len-230p-polycrystalline/>

3. Thin Film Photovoltaic

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystalsilicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih



tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara.



Gambar 2.4 Panel Surya Thin Film Photovoltaic

Sumber : <https://utomodeck.com/building-integrated-photovoltaics>

2.3. Komponen Penyusun

2.3.1. Peltier

2.3.1.1. Modul Termoelektrik⁴

Modul termoelektrik komersial belum tersedia hingga tahun 1960, akan tetapi prinsip – prinsip fisika yang melandasi teknologi peltier sebenarnya sudah dimulai sejak tahun 1800an. Penemuan penting pertama mengenai termoelektrik terjadi pada tahun 1821, ketika ilmuwan Jerman bernama Thomas Seebeck menemukan bahwa arus listrik akan mengalir secara terus – menerus dalam suatu rangkaian tertutup (loop) yang terbuat dari material berbeda dengan syarat sambungan dari logam tersebut dijaga pada temperature yang berbeda, penemuan ini kemudian dikenal sebagai efek seebeck.

Jean Charles Peltier pada tahun 1934 terinspirasi oleh Thomas Seebeck dan kemudian melihat kebalikan dari fenomena tersebut, Jean mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian, kemudian terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan lainnya. Sambungan pelepasan dan penyerapan panas akan bertukar posisi ketika arah arus dibalik, penemuan Jean ini kemudian dikenal dengan nama efek peltier. Efek seebeck dan efek peltier kemudian menjadi dasar pengembangan termoelektrik.

⁴ Salsabiila, Firanda Permata, et al. "Konversi Energi Panas Surya menjadi Listrik menggunakan Peltier TEC 1-12706." *Seminar Nasional Teknik Mesin*. Vol. 9. No. 1. 2019.



2.3.1.2. Elemen Peltier⁵

Elemen peltier atau pendingin termoelektrik (thermoelectric cooler) adalah alat yang dapat menimbulkan perbedaan suhu antara kedua sisinya jika dialiri arus listrik searah pada kedua kutub materialnya, dalam hal ini semikonduktor.

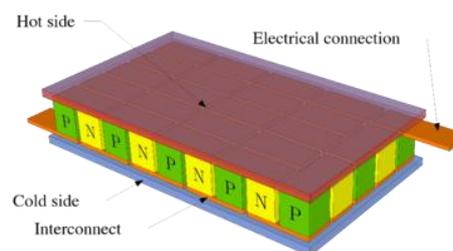


Gambar 2.5 Elemen Peltier

Sumber : <http://www.tajbd.com/scientific/842-thermoelectric-cooler-peltier>.

Elemen peltier tersusun atas serangkaian dua tipe semikonduktor (tipe yang dihubungkan secara seri. Pada setiap sambungan antara dua tipe semikonduktor tersebut dihubungkan dengan konduktor yang terbuat dari tembaga.

Interkoneksi konduktor tersebut diletakkan masing-masing di bagian atas dan di bagian bawah semikonduktor. Konduktor bagian atas ditujukan untuk membuang kalor dan konduktor bagian bawah ditujukan untuk menyerap kalor. Pada kedua bagian interkoneksi ditempelkan pelat yang terbuat dari keramik. Pelat ini bertujuan untuk memusatkan kalor yang berasal dari konduktor.



Gambar 2.6 Struktur Elemen Peltier

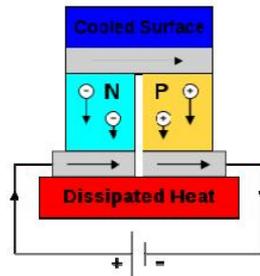
Sumber : https://id.wikipedia.org/wiki/Generator_termoelektrik

Elemen dialiri arus listrik dan menimbulkan perbedaan suhu pada kedua interkoneksi. Interkoneksi yang dialiri arus dari arah semikonduktor tipe-n ke tipe-p akan menyerap kalor atau dengan kata lain menjadi dingin. Sedangkan, interkoneksi

⁵ Umboh, Ronald, et al. "Perancangan alat pendinginan portable menggunakan elemen peltier." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 1.3 (2012).



yang dialiri arus dari arah semikonduktor tipe-p ke tipe-n akan membuang/mendisipasi kalor atau dengan kata lain menjadi panas. Interkoneksi antara semikonduktor pada elemen peltier terbuat dari konduktor yang menyebabkan arus dapat mengalir dalam kedua arah, berbeda dengan dioda yang interkoneksinya (depletion layer) hanya membuat arus mengalir dalam satu arah saja.



Gambar 2.7 Prinsip Kerja Elemen Peltier

Sumber : Umboh, Ronald, et al.

2.3.2. Baterai

Baterai adalah alat listrik kimiawi yang menyimpan energi dan mengeluarkan tenaganya dalam bentuk listrik. Salah satu alat untuk penyimpanan dan konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Sebuah baterai terdiri dari tiga element penting, yaitu

1. Batang karbon sebagai anode (kutub positif).
2. Seng (Zn) sebagai katode (kutub negative).
3. Pasta sebagai elektrolit.

Berdasarkan cara kerjanya baterai memiliki sel elektrokimia yang terbagi menjadi dua, yaitu Sel galvanis dan Sel elektrolisa. Sel galvanis disebut juga sel volta yang dapat merubah energi kimia menjadi energi listrik, sedangkan sel elektrolisa merubah energi listrik untuk menggerakkan reaksi kimia tak spontan. Dalam penggunaannya, baterai dibagi menjadi dua macam, dapat di isi ulang (rechargeable) dan tidak dapat di isi ulang. Jenis baterai yang tidak dapat di isi ulang disebut baterai primer dan yang bisa di isi ulang disebut baterai sekunder.⁶

Menurut (Sutrisno, dkk (2019)) Adapun jenis baterai yaitu sebagai berikut Valve Regulated Lead Acid (VRLA), Lead Acid, Ni-CD, Li-On, dan Li-Po. Febrianto, dkk (2019) Baterai Valve Regulated Lead Acid (VRLA) merupakan salah satu baterai

⁶ Jurnal, Redaksi Tim. "PENGISI BATERAI PORTABLE DENGAN MENGGUNAKAN SEL SURYA: Syarif Hidayat." *Energi & Kelistrikan* 7.2 (2015): 137-143.



yang sering digunakan untuk menyimpan energy listrik dari energi terbarukan. Keunggulan dari baterai VRLA salah satunya yaitu tidak memerlukan perawatan yang rutin dan memiliki lifetime yang lebih lama sehingga dapat menghemat dari segi ekonomis.



Gambar 2.8 Baterai

Sumber : Google

2.3.3. SCC (Solar Charge Controller)

Solar Charge Controller adalah salah satu komponen di dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, berfungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari Panel Surya maupun arus beban keluar / digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. Solar Charge Controller mengatur tegangan dan arus dari Panel Surya ke baterai. Sebagian besar Panel Surya 12 Volt menghasilkan tegangan keluaran sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada pengaturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Pada umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt (tergantung tipe baterai) untuk dapat terisi penuh.

Fungsi dan fitur Solar Charge Controller:

1. Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka controller akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah pengisian yang berlebihan. Dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersuplai dari Panel Surya akan langsung terdistribusi ke beban / peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.
2. Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka controller berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik.



Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai) , maka pemutusan arus beban dilakukan oleh controller. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel – sel baterai. Pada kebanyakan model controller, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses pengisian. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh controller, maka peralatan listrik / beban tidak dapat beroperasi. Pada controller tipe – tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem pembangkit listrik tenaga surya tersebut.



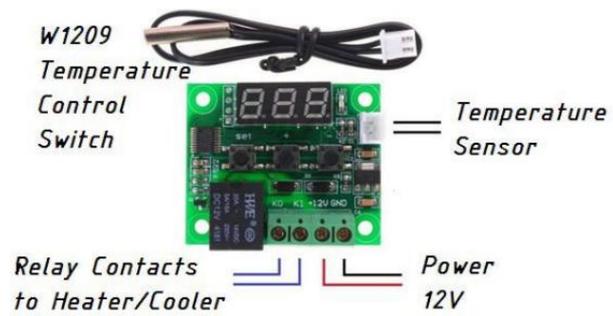
Gambar 2.9 Solar Charge Controller

Sumber : <https://energytheory.com/solar-charge-controller-settings/>

2.3.4. Temperature control thermostat switch W 1209⁷

Thermostat adalah komponen yang dapat mendeteksi suhu dari suatu sistem dapat dipertahankan mendekati set point yang diinginkan. Thermostat mempertahankan suhu mendekati set point dengan cara mendinginkan atau memanaskan suatu sistem tersebut dengan cara mematikan dan menghidupkan elemen pada sistem tersebut sehingga suhu dapat mencapai set point yang telah ditentukan. Thermostat dapat mengontrol pemanas atau pendingin, thermostat memiliki suatu komponen sensor yang digunakan untuk pengukuran suhu, sehingga hasil dari pengukuran sensor dapat digunakan untuk mengendalikan pemanasan atau pendingin suatu sistem tersebut. Pada kali ini digunakan Temperature control thermostat switch W 1209, menggunakan NTC temperatur sensor sebagai pengukur suhu pada modul tersebut.

⁷ Harefa, Elius IM. "Rancang bangun sistem pendingin permukaan panel surya secara otomatis untuk optimalisasi energi output."



Gambar 2.10 Thermostat Modul W1209

Sumber : Reski Septiana (2020)