

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

1. Tinjauan Pustaka

Sistem PJU *solar cell* telah beberapa kali dilakukan, namun dengan sistem dan hasil yang berbeda-beda pada setiap percobaan yang dilakukan. Berikut adalah beberapa percobaan yang telah dilakukan dari beberapa jurnal.

Rusman dengan judul "Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi *Solar cell* Dengan Kapasitas 50 Wp" sistem ini menggunakan komponen seperti berikut: *solar cell* sebagai perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik, *charge controller* untuk meng-atur lalu lintas listrik dari modul surya ke baterai, *baterai* untuk menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya, *inverter* untuk mengubah arus DC(searah) ke AC(bolak-balik). Hasil yang didapat :

Tabel 2.1 Hasil Variasi Beban terhadap Efisiensi Solar

No	Waktu	Vin	Iin	Vout	Vout
1	08.00	12	0,1	11	0,1
2	09.00	16	2,5	14	2,3
3	10.00	17	3,5	15	3,2
4	11.00	18	3,7	16	4,1
5	12.00	20	4,5	18	4,2
6	13.00	17	4,3	15	4,0
7	14.00	16	3,7	14	3,5
8	15.00	15	3,5	13	3,0
9	16.00	13	2,4	12	2,4
10	17.00	12	0,5	10	0,3

Pada percobaan diatas dapat disimpulkan beban sangat ber-pengaruh terhadap kinerja *solar cell* dengan luas permukaan 100 cm² akan menghasilkan sekitar 1,5 W dengan tegangan sekitar 0,5 V tegangan searah (0,5 V-DC) dan arus sekitar 2 A pada modul 50 WP efisiensi maksimum didapat sebesar efisiensi 98 % ini terlihat pada beban 3 watt.

Penelitian Budi Yuwono dengan judul “Optimalisasi Panel Sel Surya dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51” Dalam penelitian ini telah dibuat sistem pelacak panel sel surya. Kerja sistem ini adalah mengendalikan arah panel sel surya agar tegak lurus dengan arah datang sinar matahari. Inti dari alat ini adalah sebuah chip mikrokontroler AT89C51 yang merupakan keluarga MCS51 intel. Timermode 1 pada mikrokontroler AT89C51 mengatur putaran motor stepper untuk menggerakkan panel agar sesuai dengan arah pergerakan matahari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel sel surya menggunakan sistem pelacak menghasilkan energi keluaran lebih besar daripada panel sel surya diam. Peningkatan energi keluaran pada pengukuran I adalah sebesar 15,0% dan pada pengukuran II adalah sebesar 15,4%.

Penelitian Rudi Darussalam, Ahmad Rajani, Kusnadi, Tinton Dwi Atmaja dengan judul “Pengaturan Arah *Azimuth* dan Sudut *Tilt* Panel *Pothovoltaic* untuk Optimalisasi Radiasi Matahari” Optimal sudut *tilt* dan arah *azimuth* panel *photovoltaic* di Ciparay, Kabupaten Bandung berdasarkan hasil simulasi dan analisis dapat disimpulkan bahwa pengaturan arah azimuth dan sudut tilt dari bulan Oktober s.d. Februari adalah menghadap ke selatan dengan sudut *tilt* berkisar 5 - 10° karena pergerakan matahari masih berada di sebelah selatan bumi dan dari bulan Maret s.d. September adalah menghadap utara dengan sudut *tilt* berkisar 5 - 25° karena pergerakan matahari berada di sebelah utara bumi. Sedangkan untuk tipe *fixed panel photovoltaic* optimal arah *azimuth* panel menghadap ke arah utara dengan sudut tilt 10°.

2. Landasan Teori

2.2.1. Energi Terbarukan

Indonesia sesungguhnya memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah besar. Beberapa diantaranya telah diterapkan di tanah air, seperti: tenaga panas bumi, mikrohidro, tenaga surya, dan tenaga angin digunakan untuk membangkitkan listrik.

2.2.2. Cahaya Matahari(Surya)

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia menunjukkan bahwa radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran :

1. Kawasan barat Indonesia (KBI) = 4.5 kWh/m^2 .hari, variasi bulanan sekitar 10%
2. Kawasan timur Indonesia (KTI) = 5.1 kWh/m^2 .hari, variasi bulanan sekitar 9%
3. Rata-rata Indonesia = 4.8 kWh/m^2 .hari, variasi bulanan sekitar 9%.

Hal ini mengisyaratkan bahwa:

1. Radiasi surya tersedia hampir merata sepanjang tahun,
2. Kawasan timur Indonesia memiliki penyinaran yang lebih baik.

Energi surya dapat dimanfaatkan melalui tiga macam teknologi yaitu energi surya fotovoltaik, surya termal, dan CSP.

a. Surya Fotovoltaik

Energi surya atau lebih dikenal sebagai solar cell atau *photovoltaic cell*, merupakan sebuah perangkat semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n, yang mampu merubah langsung energi surya menjadi energi listrik.

b. Surya Termal

Sebagian besar dan secara komersial, pemanfaatan energi surya termal banyak digunakan untuk penyediaan air panas rumah tangga, khususnya rumah tangga perkotaan. Jumlah pemanas air tenaga surya (PATS) diperkirakan berjumlah 150.000 unit dengan total luasan kolektor sebesar 400,000 m². Secara non-komersial dan tradisional, energi surya termal banyak digunakan untuk keperluan pengeringan berbagai komoditas

c. Concentrated Solar Power (CSP)

Tenaga Surya Terkonsentrasi ini cara kerjanya yaitu: menggunakan cermin atau lensa untuk memusatkan area sinar matahari terluas ke area terkecil. Listrik dihasilkan ketika cahaya terkonsentrasi diubah menjadi panas, yang menggerakkan mesin panas (turbin uap yang terhubung ke generator)

2.2.3. Panel Surya

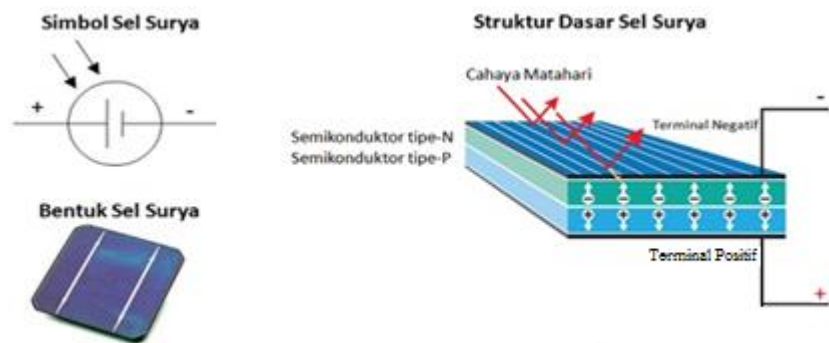
Panel surya adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Yang dimaksud dengan efek *Photovoltaic* adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, sel surya atau *solar cell* sering disebut juga dengan sel *photovoltaic (pv)*.

Arus listrik timbul karena adanya energi foton cahaya matahari. Sama seperti *dioda foto (photodiode)*, sel surya atau *solar cell* ini juga memiliki kaki positif dan kaki negatif yang terhubung ke rangkaian atau perangkat yang memerlukan sumber listrik. Pada dasarnya, sel surya merupakan dioda foto (*photodiode*) yang memiliki permukaan yang

sangat luas sehingga lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk dan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih kuat dari dioda foto pada umumnya. Contohnya, sebuah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu menghasilkan tegangan setinggi 0,5V dan Arus setinggi 0,1A saat terkena (*expose*) cahaya matahari.

a. Struktur Dasar dan Simbol Sel Surya (*Solar cell*)

Berikut ini adalah struktur dasar, bentuk dan simbol sel surya (*solar cell*).



Gambar 2.1 Simbol dan Struktur Sel Surya

b. Prinsip Kerja Sel Surya (*Solar cell*)

Sinar matahari terdiri dari partikel sangat kecil yang disebut dengan foton. ketika terkena sinar matahari, foton yang merupakan partikel sinar matahari tersebut menghantam atom semikonduktor silikon sel surya sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. elektron yang terpisah dan bermuatan negatif (-) tersebut akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan elektron tersebut akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan tersebut dinamakan dengan “hole” dengan muatan positif (+).

Daerah semikonduktor dengan elektron bebas ini bersifat negatif dan bertindak sebagai pendonor elektron, daerah semikonduktor ini disebut dengan semikonduktor tipe N (N-type). Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole* bersifat positif dan

bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron yang dinamakan dengan semikonduktor tipe p (p-type). Di persimpangan daerah positif dan negatif (*pn junction*), akan menimbulkan energi yang mendorong elektron dan *hole* untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi daerah positif. ketika diberikan sebuah beban berupa lampu maupun perangkat listrik lainnya di persimpangan positif dan negatif (*pn junction*) ini, maka akan menimbulkan arus listrik.

c. Rangkaian Seri dan Pararel Sel Surya (*Solar cell*)

Seperti baterai, sel surya juga dapat dirangkai secara seri maupun paralel. Pada umumnya, setiap sel surya menghasilkan tegangan sebesar 0,45 ~ 0,5v dan arus listrik sebesar 0,1a pada saat menerima sinar cahaya yang terang. Sama halnya dengan baterai, sel surya yang dirangkai secara seri akan meningkatkan tegangan (*voltage*) sedangkan sel surya yang dirangkai secara paralel akan meningkatkan arus (*current*).



Gambar 2.2 Rangkaian Pararel dan Seri Sel Surya

d. Jenis Panel Surya

Ada 8 jenis panel surya yang dijual dipasaran maupun dalam tahap penelitian :

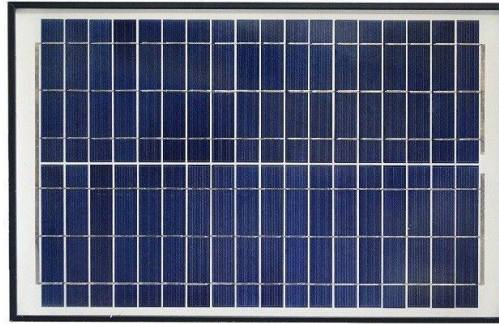
- 1) Jenis pertama, yaitu jenis yang terbaik dan yang terbanyak digunakan masyarakat saat ini, adalah jenis monokristalin. Panel ini memiliki tingkat efisiensi $\pm 20\%$. Panel surya jenis ini menggunakan sel surya jenis *crystalline* tunggal (*single-crystal-si*) dan memiliki efisiensi paling tinggi di kelas nya. Secara fisik, panel surya *monocrystalline* dapat diketahui dari warna sel hitam gelap dengan model terpotong pada setiap sudutnya. Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari nya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.3 Panel Surya Monokristalin

- 2) Jenis kedua adalah jenis polikristalin atau multi kristalin, yang terbuat dari kristal silikon dengan tingkat efisiensi $\pm 20\%$. Polikristalin merupakan panel surya / *solar cell* 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. Secara fisik panel surya multikristalin atau polikristalin warna sel cenderung biru berbentuk persegi.



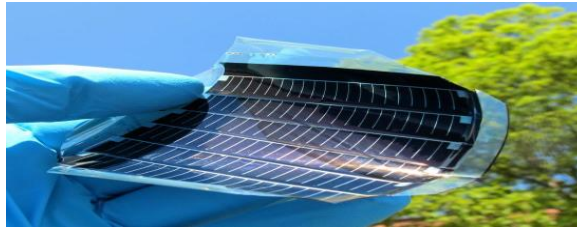
Gambar 2.4 Panel Surya Polikristalin

- 3) Jenis ketiga adalah silikon jenis *Thin film amorphous*, yang berbentuk film tipis. Efisiensinya sekitar $\pm 8,5\%$. Panel surya jenis ini banyak dipakai di mainan anak-anak, jam dan kalkulator.



Gambar 2.5 Panel Surya Silikon *Amorphous*

- 4) Jenis keempat adalah Cadmium telluride (CdTe) *photovoltaics* yaitu: lapisan semikonduktor tipis yang dirancang untuk menyerap dan mengubah sinar matahari menjadi listrik yang didasarkan pada cadmium telluride *PV*, memiliki biaya terendah dibandingkan panel surya konvensional yang terbuat dari silikon kristal, dan jejak karbon terkecil.



Gambar 2.6 Panel Surya CdTe

- 5) Jenis kelima adalah CIGS (*Copper Indium Gallium Selenide*) Solar Cell yaitu: Sel surya indium gallium selenide adalah sel surya film tipis yang digunakan untuk mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik. Ini diproduksi dengan menyimpan lapisan tipis tembaga, indium, galium dan selenide pada kaca atau plastik, bersama dengan elektroda di bagian depan dan belakang untuk mengumpulkan arus. Karena material memiliki koefisien penyerapan yang tinggi dan sangat menyerap sinar matahari, diperlukan film yang jauh lebih tipis daripada bahan semikonduktor lainnya.



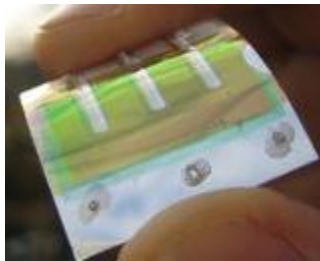
Gambar 2.7 CIGS Solar Cell

- 6) Jenis keenam adalah *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) yaitu: Sel surya yang peka terhadap zat warna termasuk dalam kategori sel surya tipis dan murah. Hal ini didasarkan semikonduktor yang terbentuk antara anoda peka-foto dan elektrolit, sistem foto elektrokimia. DSSC memiliki fitur yang menarik mudah cetak gulung konvensional, semi fleksibel, dan semi transparan akan tetapi tidak dapat diterapkan pada sistem berbasis kaca.



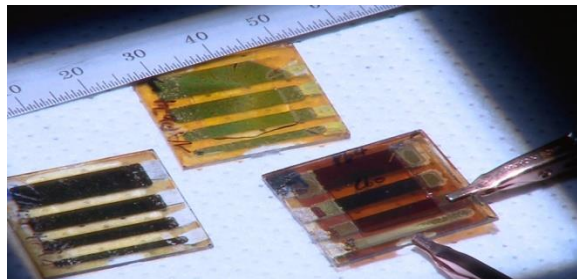
Gambar 2.8 Panel Surya DSSC

- 7) Jenis ketujuh adalah *Organic Solar Cell (OSC)* yaitu: Sel surya organik atau sel surya plastik adalah jenis fotovoltaik yang menggunakan elektronik organik, cabang elektronik yang berhubungan dengan polimer organik konduktif atau molekul organik kecil.



Gambar 2.9 Panel Surya OSC

- 8) Jenis kedelapan adalah *Perovskit* yaitu: Jenis sel surya yang mencakup senyawa terstruktur perovskit, paling umum berupa timah organik-anorganik hibrida atau bahan berbasis timah halida, sebagai lapisan aktif penerapan cahaya.



Gambar 2.10 Panel Surya Perovskit

2.2.4. *Solar Charge Controller*

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisikan ke baterai dan dari baterai ke beban, yang fungsinya untuk mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan tegangan dari *solar cell* atau panel surya. *solar cell* 12 Volt memiliki tegangan output 16 - 21 Volt yang umumnya di-charge pada tegangan 14 – 14,7 Volt. Tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *over-charging* dan ketidakstabilan tegangan. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari *solar cell* akan berhenti dan dideteksi melalui monitor level tegangan baterai. *Solar charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.



Gambar 2.11 *Solar Charge Controller*

a. Prinsip kerja *Solar Charge Controller*

Prinsip kerja *Solar Charge Controller* terbagi menjadi dua yaitu pada saat mode *charging* dan mode *opration*.

- 1) Mode *Charging*: pengisi baterai dan memutus pengisian jika baterai sudah mulai penuh. Dalam mode *charging*, umumnya baterai diisi dengan metoda *three stage charging*:
 - a) Fase *bulk* (jumlah besar) yaitu baterai akan diisi sesuai dengan tegangan *setup (bulk)*. antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya / *solar*

cell. Pada saat baterai sudah pada tegangan *setup* (*bulk*) dimulailah fase *absorption*.

b) Fase *absorption* (penyerapan) yaitu pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai sewaktu *solar charge controller* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.

c) Fase *float* (mengapung) yaitu baterai akan dijaga pada tegangan pengaturan *float*, beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya / *solar cell* pada tahap ini.

2) Mode *Operation* (Penggunaan): Penggunaan baterai ke beban, baterai ke beban akan diputus jika baterai sudah mulai kosong atau habis. Mode *Operation Solar Charge Controller*, Pada mode ini apabila ada *over-discharge* atau *over-load*, maka baterai akan dilepaskan dari beban, hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.

2.2.5. Baterai (*Battery/Accumulator*)

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*, baterai juga berperan sebagai penyimpan listrik dan sekaligus sebagai

penstabil tegangan dan arus listrik kendaraan. Baterai juga bisa disebut sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik (*reversible*) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses perubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewatkan arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam akumulator(batetari).

Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik didalam akumulator dan disimpan didalamnya. 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. Type baterai yang paling sesuai di gunakan yaitu baterai VRLA GELL yang sering disebut dengan istilah akki kering. Baterai ini tertutup (*sealed*), karena sifatnya tertutup maka uap yang keluar dari baterai sangatlah sedikit (terjadi rekomindasi) sehingga tidak perlu menambah cairan/elektrolit selama masa pemakaian baterai tersebut



Gambar 2.12 Baterai VRLA GELL

2.2.6. HPL (*High Power LED*)

Light Emitting Diode atau sering disingkat dengan LED adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. LED merupakan keluarga Dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna-warna cahaya yang dipancarkan oleh LED tergantung pada jenis bahan semikonduktor yang dipergunakannya.

High Power LED (HPL) memproduksi intensitas cahaya lampu yang lebih kuat, atau bisa disebut yang paling kuat di antara semua jenis lampu LED. Namun, lampu LED satu ini memiliki potensi untuk lebih cepat panas dibandingkan LED lain. Untuk itu, dalam memasang *High Power LED* (HPL) ini, kita perlu memperkirakan lokasi yang tepat, yakni area yang terbuat dari bahan penyerap panas, sehingga lampu LED ini bisa menjadi dingin selama proses konveksi. Jangan sampai lampu ini mengalami *over heating* karena akan mengakibatkan komponennya terbakar. Pada LED biasanya diberi *heatsink* agar menyerap dan membuang panas berlebih untuk memperpanjang umur LED. Beberapa LED jenis ini sering disebut *solid state lights* karena elektroluminesennya digerakkan oleh material yang kecil namun solid.

HPL saat ini sudah populer digunakan sebagai pengganti lampu *fluorescent* atau *incandescent* sebab lampu ini sudah terbukti lebih hemat energi. Meskipun harga lampu ini tergolong mahal, namun konsumsi energinya cenderung irit dan lebih tahan lama. HPL LED juga sangat baik untuk dilakukan *dimming* (pengaturan terang dan redup).



Gambar 2.13 *High Power LED*

a. Prinsip Kerja LED

LED merupakan keluarga dari dioda yang terbuat dari Semikonduktor. Cara kerjanya pun hampir sama dengan Dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub positif (P) dan kutub negatif (N). LED hanya akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (bias *forward*) dari Anoda menuju ke Katoda.

LED terdiri dari sebuah chip semikonduktor yang di *doping* sehingga menciptakan *junction* P dan N. Yang dimaksud dengan proses doping dalam semikonduktor adalah proses untuk menambahkan ketidakmurnian (*impurity*) pada semikonduktor yang murni sehingga menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Ketika LED dialiri tegangan maju atau bias *forward* yaitu dari anoda (P) menuju ke katoda (K), kelebihan elektron pada N-Type material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan *hole* (lubang) yaitu wilayah yang bermuatan positif (P-Type material). Saat elektron berjumpa dengan hole akan melepaskan foton dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna). Pada *High Power Led* telah dituliskan terminal positif dan negatifnya, sehingga mempermudah pengguna saat merangkai. Tegangan kerja untuk HPL tergantung pada warna dan daya yang dibutuhkan.