

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan pokok di dalam kehidupan di dunia ini. Energi sendiri terbagi menjadi dua, yaitu Energi Terbarukan dan Energi Tak Terbarukan. Energi Terbarukan merupakan energi yang didapatkan dari sumber daya alam yang tidak terbatas dan tidak akan pernah habis meskipun digunakan secara terus-menerus. Sedangkan Energi Tak Terbarukan merupakan energi yang terbentuk dari fosil bumi berjuta-juta lamanya. Berbeda dengan Energi Terbarukan, Energi Tak Terbarukan jumlahnya sangatlah terbatas dan akan habis apabila digunakan terus-menerus.

Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tentang energi yang sangat cepat sekarang ini, memberi dampak dan manfaat yang besar dalam berbagai bidang kehidupan. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat dilihat dari semakin banyaknya alat yang diciptakan manusia dengan beragam model dan fungsi, salah satunya adalah panel surya (*solar cell*) yang digunakan sebagai pembangkit energi listrik alternatif dengan memanfaatkan energi sinar matahari. Panel surya atau (*solar cells*) sejak tahun 1970an telah mengubah cara pandang manusia terhadap energi, membuka dan memberi jalan baru bagi manusia untuk memperoleh energi alternatif.

Energi surya tidak bisa lepas dari kehidupan makhluk hidup, baik itu manusia, hewan, maupun tumbuhan. Untuk manusia, energi surya biasa dimanfaatkan untuk menjemur makanan ataupun pakaian. Selain itu, energi surya menjadi faktor penting

dalam proses fotosintesis tumbuhan yang akan menghasilkan oksigen, dimana oksigen tersebut sangat penting agar manusia maupun hewan dapat bertahan hidup.

Energi surya adalah energi yang sangat baik untuk dikembangkan di Indonesia ini. Hal tersebut dikarenakan Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di garis khatulistiwa. Keunggulan-keunggulan energi surya apabila dibandingkan dengan energi fosil adalah sebagai berikut:

1. Energi surya mudah didapatkan karena berasal dari matahari itu sendiri.
2. Ramah lingkungan.
3. Sesuai dengan kondisi geografis yang bermacam-macam
4. Pemasangan, pengoperasian, serta perawatannya tidak sulit.
5. Energi listrik yang didapatkan dari energi surya bisa disimpan dalam baterai.

Sel surya sebagai aplikasi teknologi sumber energi terbarukan memiliki kendala daya keluaran yang tidak cukup besar dan sangat tergantung oleh kondisi alam. Selain itu, posisi panel surya pun mempengaruhi daya masukan dari sinar matahari yang diserap oleh solar panel itu. Oleh karena itu, akan dikaji ulang sebuah panel surya untuk dilihat unjuk kerjanya pada posisi rata dengan permukaan tanah dan dengan 3 macam variasi sudut menghadap arah datang sinar matahari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disebutkan sebelumnya, maka diperoleh permasalahan sebagai berikut:

1. Meneliti hubungan antara suhu dan parameter yang berhubungan dengan efisiensi solar sel.

2. Meneliti sudut datang sinar matahari terhadap perubahan energi yang masuk dan diserap oleh panel surya.
3. Membandingkan efisiensi panel surya dengan berbagai macam variasi sudut kemiringan, yaitu 30° , 45° , 60° , dan 90° dari sumbu normal.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan panel surya kapasitas 10 WP (*Watt Peak*) dan pencatatan data dilakukan setiap satu jam dimulai dari pukul 10:30 sampai 14:30 dengan waktu satu sudut satu hari dengan menghadap ke arah matahari. Parameter yang diobservasi adalah pengukuran besaran tegangan dan arus setiap satu jam sekali yang dimonitor melalui wattmeter. Penelitian ini bergantung pada cuaca yang dapat menentukan seberapa maksimal daya serap panel surya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui apakah sudut kemiringan panel surya mempengaruhi daya serap
2. Menganalisis seberapa besar perbedaan daya yang dihasilkan panel surya dengan posisi sudut yang berbeda.

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini, penulis berharap bisa memberikan manfaat kepada penulis sendiri dengan didapatkannya ilmu pengetahuan tentang manfaat penggunaan panel surya sebagai energi terbarukan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan bisa memberikan manfaat kepada seluruh pengguna panel surya agar bisa memaksimalkan potensi dari panel surya yang digunakannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan



Gambar 2.1 Ilustrasi Instalasi Energi Terbarukan

Energi terbarukan atau *renewable energy* adalah energi yang berasal dari sumber daya alam dan tidak terbatas atau dapat diperbarui. Contoh energi terbarukan adalah energi surya dan energi angin yang dapat terus digunakan dan ada di sekeliling kita. Mereka menghasilkan sedikit atau bahkan tidak ada pencemaran atau gas rumah kaca. Berikut ini adalah contoh – contoh sumber energi terbarukan yang tidak akan pernah habis.

1. Energi surya (*Solar Energy*)

Energi surya atau energi matahari diperoleh dengan mengubah energi dari radiasi sinar matahari menjadi panas, listrik, atau air panas. Selain itu, sistem fotovoltaik (PV) dapat mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik melalui penggunaan Panel Surya. Kelebihan energi tenaga surya adalah tidak terbatas karena

bisa dipanen kapan saja selama ada sinar matahari. Penggunaan panel surya pada level rumah tangga juga bisa mengurangi biaya listrik.

Sinar matahari, atau energi surya, dapat digunakan untuk pemanasan rumah, pencahayaan dan pendinginan dan bangunan lainnya, pembangkit listrik, pemanas air, dan berbagai proses industri. Sebagian besar bentuk energi terbarukan berasal baik secara langsung atau tidak langsung dari matahari. Sebagai contoh, panas dari matahari menyebabkan angin bertiup, memberikan kontribusi terhadap pertumbuhan pohon dan tanaman lain yang digunakan untuk energi biomassa, dan memainkan peran penting dalam siklus penguapan dan curah hujan yang menjadi sumber energi air.

Pemanfaatan energi surya dibuat dengan merancang instalasi panel surya. Dimana instalasi ini akan mengubah energi surya menjadi listrik. Pemanfaatan energi matahari dengan panel surya ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan pemanfaatan energi lainnya baik itu energi terbarukan maupun tidak terbarukan. Berikut adalah kelebihan dari panel surya :

a. Sumber Energi Terbarukan

Kelebihan panel surya merupakan sumber energi terbarukan yang bersumber dari matahari. Cara kerja panel surya yaitu membiarkan foton atau partikel cahaya menjatuhkan electron bebas dari atom sehingga menghasilkan listrik.

b. Mengurangi Tagihan Listrik

Aplikasi panel surya di rumah dapat mengurangi tagihan listrik. Tetapi seberapa besar penghematan tersebut tergantung pada ukuran dan penggunaan listrik di rumah.

c. Penggunaan yang Beragam

Manfaat energi matahari bisa digunakan untuk berbagai tujuan. Dengan panel surya, anda bisa mengaplikasikannya untuk hunian yang belum terjangkau listrik sepenuhnya. Tidak hanya itu, manfaat panel surya juga dapat untuk menyuling air di daerah dengan persediaan air bersih yang terbatas. Bahkan kelebihan panel surya yaitu bisa digunakan saat mati listrik di rumah.

d. Biaya Maintenance yang Rendah

Kelebihan dan kekurangan panel surya tidak terlepas dari biaya. Salah satu kelebihan panel surya adalah biaya maintenance yang rendah. Bahkan, hampir tidak ada perawatan karena panel surya bertahan lebih dari 30 tahun. Anda hanya perlu merawatnya agar bersih dan mengganti inverter atau kabel kalau dibutuhkan.

e. Pengembangan Teknologi

Pengembangan teknologi berpotensi meningkatkan efektivitas panel surya dua hingga tiga kali lipat.

f. Ramah Lingkungan

Kelebihan panel surya tentunya ramah lingkungan. Tenaga surya bebas polusi dan tidak menyebabkan menyebabkan emisi gas rumah kaca setelah pemasangan. Energi yang dihasilkan oleh panel surya bersih, terbarukan dan nol emisi. Energi matahari tidak berkontribusi terhadap gas rumah kaca atau bahan bakar fosil, tidak seperti batu bara lainnya dan minyak.

g. Lebih Aman

Kelebihan panel surya yaitu lebih aman dibandingkan dengan arus listrik tradisional. Hasilnya, panel surya tetap aman untuk memanaskan air, pembangkit listrik rumah dan bangunan, bahkan mobil listrik.

h. Meningkatkan Nilai Properti

Kelebihan panel surya adalah meningkatkan nilai property. Rumah yang memiliki panel surya akan jauh lebih berharga. Ini karena satu rumah akan sangat bergantung pada jaringan listrik sedangkan rumah yang memasang panel surya menghasilkan energinya sendiri.

Selain kelebihan, panel surya juga memiliki kekurangan, yaitu:

a. Biaya Awal Mahal

Kekurangan panel surya adalah biaya awal pemasangan dan pembelian yang tergolong mahal. Panel surya mencakup inverter, baterai, kabel, dan pemasangannya.

b. Tergantung Cuaca

Penggunaan panel surya tergantung dari cuaca mengingat alat ini bergantung pada sinar matahari untuk mengumpulkan energi secara efektif. Solusinya adalah penggunaan baterai yang besar untuk penampungan saat cuaca sedang tidak mendukung. Tetapi seiring dengan perkembangan zaman maka panel surya juga dapat menghasilkan energi pada malam hari.

c. Membutuhkan Banyak Ruang

Pemasangan panel surya di rumah membutuhkan banyak ruang karena efisiensinya belum 100%. Semakin banyak listrik yang ingin dihasilkan maka

semakin banyak panel surya yang dibutuhkan. Dengan demikian, panel surya membutuhkan banyak ruangan di atap rumah untuk menampung jumlah yang anda inginkan. Tetapi alternatifnya adalah memasang beberapa panel di halaman yang masih terjangkau oleh sinar matahari.

d. Belum Maksimal

Menurut *Qualitative Reasoning Group* dan *Northwestern University*, sebagian besar panel surya di rumah-rumah penduduk hanya mengubah 14 persen dari energi yang tersedia menjadi listrik. Bahkan panel surya paling efisien saat ini hanya mengubah 22 persen energi yang tersedia menjadi tenaga.

e. Beresiko Merusak Atap

Anda bisa menggunakan panel surya untuk membantu menghasilkan listrik. Namun panel surya juga mungkin beresiko merusak atap dalam prosesnya. Pemasangan panel surya yang tidak tepat bisa meninggalkan lubang pada atap yang akan menyebabkan kebocoran. Hasilnya, itu bisa menyebabkan kerusakan signifikan baik pada eksterior atau interior rumah.

2. Energi Angin

Perbedaan temperatur di dua tempat yang berbeda menghasilkan tekanan udara yang berbeda, sehingga menghasilkan angin. Angin adalah gerakan materi (udara) dan telah diketahui sejak lama mampu menggerakkan turbin. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik. Energi yang tersedia dari angin adalah fungsi dari kecepatan angin; ketika kecepatan angin meningkat, maka energi keluarannya juga meningkat hingga ke batas maksimum energi yang mampu dihasilkan turbin tersebut. Wilayah dengan angin yang lebih kuat

dan konstan seperti lepas pantai dan dataran tinggi, biasanya diutamakan untuk dibangun "ladang angin".

3. *Hydropower*

Tenaga air (*hydropower*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Pada dasarnya, air di seluruh permukaan bumi ini bergerak (mengalir) membentuk siklus. Yaitu air menguap, kemudian terkondensasi menjadi awan. Air akan jatuh menjadi hujan setelah memiliki massa yang cukup. Air yang jatuh di dataran tinggi akan terakumulasi menjadi aliran sungai dan menuju ke laut.

Di laut juga terdapat gerakan air, yaitu gelombang pasang, ombak, dan arus laut. Gelombang pasang dipengaruhi oleh gravitasi bulan, sedangkan ombak disebabkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut dan arus laut disebabkan oleh perbedaan kerapatan (massa jenis air), suhu dan tekanan, serta rotasi bumi.

4. Energi *Biomass*

Energi tenaga biomassa atau bioenergi adalah bentuk energi yang berasal dari biomassa atau bahan organik, seperti tumbuhan dan organisme yang baru hidup. Pengolahan energi biomassa dapat diperoleh dari pembakaran biomassa, pemanfaatan metana, hingga dekomposisi alami bahan organik.

Biomass telah menjadi sumber energi penting sejak orang pertama mulai membakar kayu untuk memasak makanan dan menghangatkan diri melawan dinginnya musim dingin. Kayu masih merupakan sumber yang paling umum dari energi biomassa, tetapi sumber-sumber lain dari energi biomassa meliputi tanaman pangan, rumput dan tanaman lain, limbah pertanian dan kehutanan dan residu, komponen organik dari limbah kota dan industri, bahkan gas metana dari tempat

pembuangan sampah dipanen masyarakat. *Biomass* dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan sebagai bahan bakar untuk transportasi, atau untuk memproduksi produk yang tidak akan membutuhkan penggunaan bahan bakar fosil.

5. Energi Panas Bumi

Energi panas bumi memanfaatkan energi panas dari interior bumi. Panas diekstraksi dari *reservoir* panas bumi menggunakan sumur atau berbagai cara lainnya. Mengingat energi panas bumi dapat dibangun di bawah tanah, jejak karbon yang ditinggalkan sangat sedikit. Energi panas bumi juga dapat diperbarui sehingga tidak berisiko akan habis.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber energi panas bumi terbesar di dunia. Berdasarkan data Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia memiliki potensi energi panas bumi 27.000 MegaWatt yang tersebar di 253 lokasi atau mencapai 40 persen dari cadangan panas bumi dunia.

6. Energi Laut atau Samudera

Energi Laut atau Samudera adalah energi yang dapat dihasilkan dari konversi gaya mekanik, gaya potensial serta perbedaan temperatur air laut menjadi energi listrik. Lautan menyediakan beberapa bentuk energi terbarukan, dan masing-masing didorong oleh kekuatan yang berbeda. Meskipun pada masa sekarang, energi laut memerlukan teknologi yang mahal dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya, tapi laut tetap penting sebagai sumber energi potensial untuk masa depan.

2.2 Matahari

Matahari adalah suatu bola dari awan gas dengan suhu yang sangat panas. Diameter bola matahari adalah $1,39 \times 10^9$ km, sedangkan jauh rata-rata dengan bumi

adalah $1,5 \times 10^{11}$ km. Matahari berputar pada sumbunya dengan kecepatan sekali putar dalam empat minggu. Karena matahari terdiri dari kumpulan awan gas dan tidak solid maka bagian ekuatorialnya berputar sekali dalam 27 hari sedangkan kutub-kutubnya berputar sekali dalam 30 hari. Suhu efektif pada permukaan besarnya 5760 K. Sedangkan pada inti temperaturnya dapat mencapai lebih kurang 8×10^6 sampai dengan 40×10^6 K. **(Pudjanarsa Astu, Djati Nursuhud, *Mesin Konversi Energi*, edisi pertama, Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta 2006.)**

Suatu teori yang akhir-akhir ini dapat diterima para ahli mengatakan bahwa radiasi gelombang *elektromagnetik* merupakan kombinasi dari gelombang elektrik arus bolak-balik berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnet yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk foton. Gelombang energi yang memancar melalui ruangan angkasa memberikan pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Radiasi gelombang elektromagnetik dikelompokkan pada panjang gelombang yang memberikan rangsangan energi yang lebih besar dimana semakin pendek panjang gelombangnya semakin besar energinya. Radiasi yang dipancarkan melalui permukaan matahari mempunyai variasi panjang gelombang dari yang paling panjang (gelombang radiasi) sampai yang paling pendek (gelombang sinar X dan sinar gamma).

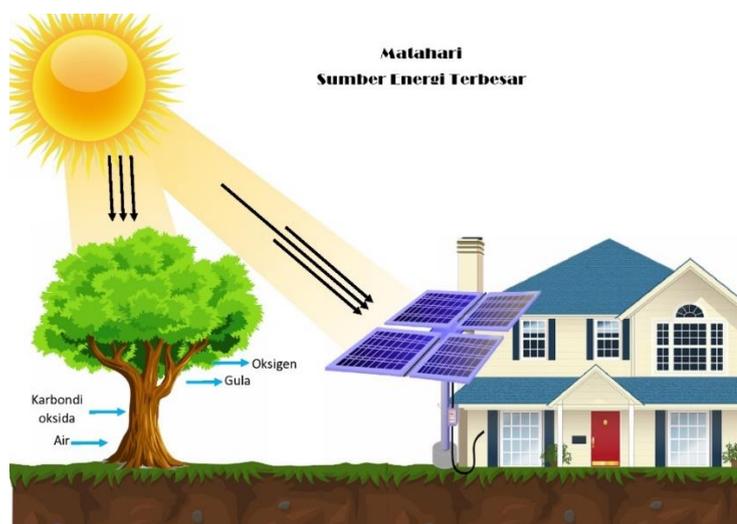
Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang dapat diserap oleh bumi. Menurut pengukuran yang dilakukan oleh badan luar angkasa Amerika Serikat NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) melalui misi ruang angkasanya pada tahun 1971, diperoleh data tentang besaran konstanta matahari yang harganya sama dengan 1353 Watt/m^2 .

Dari besaran tersebut 7,85% atau 105,8 Watt/m² dipancarkan melalui sinar *ultraviolet*, 47,33% atau 640.4 Watt/m² dipancarkan oleh sinar yang dapat dilihat oleh manusia dan 44,85% atau 606,8 Watt/m² dipancarkan oleh sinar infra merah.

Matahari memiliki peran penting bagi seluruh makhluk hidup di bumi khususnya manusia, karena energi yang diberikannya yaitu cahaya dan panas memberikan manfaat yang dapat mendukung kelangsungan hidup. Tanpa kehadiran matahari di sistem tata surya yang energinya sampai ke bumi melalui beberapa lapisan di ruang angkasa, mungkin tidak akan terjadi proses kehidupan flora dan fauna di planet ini. Sumber energi alternatif lainnya seperti energi angin, proses terjadinya juga bermula dari matahari. Pembakaran bahan bakar fosil merupakan proses pelepasan energi surya yang tersimpan di dalam tanaman jutaan tahun silam. Energi surya dengan jumlahnya yang sangat besar ketika sampai ke bumi energi yang dapat diterima hanya sedikit. Energi yang dikeluarkan matahari sangatlah besar setiap detiknya dan juga mengandung massa sehingga berat matahari akan berkurang ketika terjadi pelepasan energi.

Pada dasarnya energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara 1308 Watt/m² dan 1398 Watt/m². Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun, maka energi yang dapat diserap oleh bumi besarnya adalah 751 x 10 kW/-jam.

Sumber energi berjumlah besar dan kontinu terbesar yang tersedia bagi umat manusia adalah energi surya dan energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari.



Gambar 2.2 Sketsa Pemanfaatan Energi Surya

2.3 Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi Yang Diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel

Intensitas radiasi langsung atau sorotan per jam pada sudut masuk normal dari persamaan berikut ini,

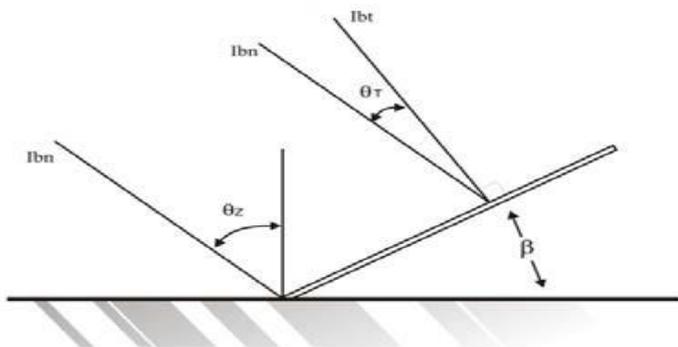
$$I_{bn} = \frac{I_b}{\cos \theta_z} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

I_{bn} = Radiasi sorotan matahari pada suatu permukaan horizontal

$\cos \theta_z$ = Sudut zenit.

I_b = Radiasi sorotan pada suatu permukaan horizontal



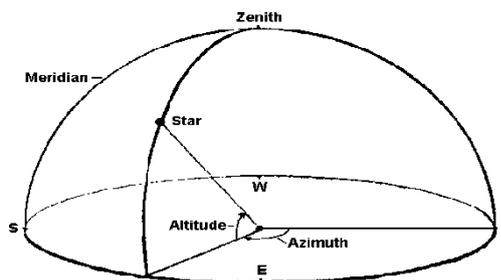
Gambar 2.3 Radiasi sorotan setiap jam pada permukaan miring dari pengukuran I_b

Dengan demikian, untuk suatu permukaan yang dimiringkan dengan sudut β terhadap bidang horisontal, intensitas dari komponen sorotan adalah,

$$I_{bT} = I_{bn} \cos \theta_T \dots\dots\dots (2)$$

Dimana θ_T disebut sudut masuk, dan didefinisikan sebagai sudut antara arah sorotan pada sudut masuk normal dan arah komponen tegak lurus (90°) pada permukaan bidang miring.

Besarnya jumlah radiasi matahari yang diterima oleh suatu tempat dipengaruhi oleh posisi sudut matahari yang masuk ke tempat tersebut. Dalam perencanaan suatu kolektor surya, posisi sudut matahari sangat perlu diketahui untuk memperoleh hasil yang maksimal sesuai dengan perancangan.



Gambar 2.4 Posisi Sudut Matahari

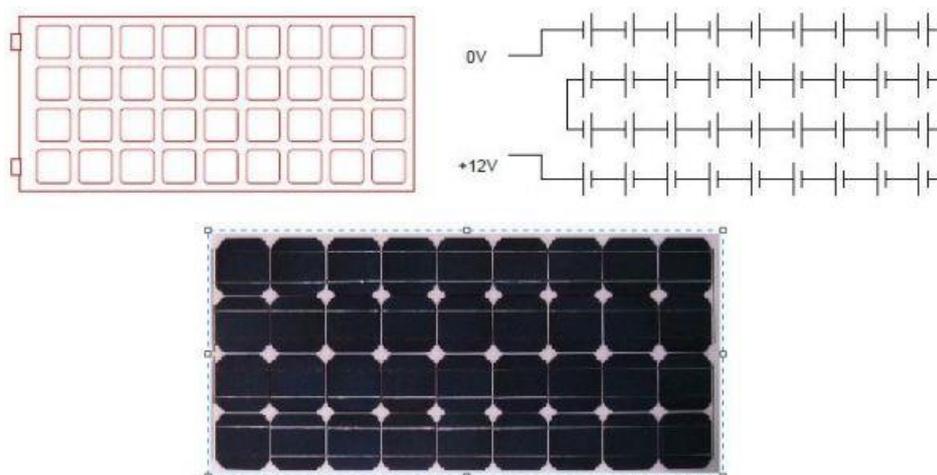
Sudut zenith θ_z adalah sudut yang dibentuk oleh garis vertikal ke arah zenith dengan garis ke arah titik pusat matahari. Sudut zenith menyatakan seberapa tinggi objek yang diamati (matahari). Sudut azimuth θ_A adalah sudut yang dibuat oleh garis bidang horizontal antara garis selatan dengan proyeksi garis normal pada bidang horizontal. Sudut azimuth positif jika normal adalah sebelah timur dari selatan dan negatif jika normal pada sebelah barat dan selatan. Sudut altitude adalah sudut yang dibuat oleh garis titik pusat matahari dengan garis proyeksinya pada bidang horizontal.

2.4 Panel Surya

Panel Surya atau juga sering disebut *photovoltaic* adalah perangkat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Panel Surya bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain dipergunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem *solar thermal*.

Panel Surya dapat dianalogikan sebagai alat 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 Panel Surya komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah Panel Surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 Panel Surya yang dirangkai seri untuk memperbesar total daya output, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar 2.4 dibawah menunjukkan ilustrasi dari modul surya.

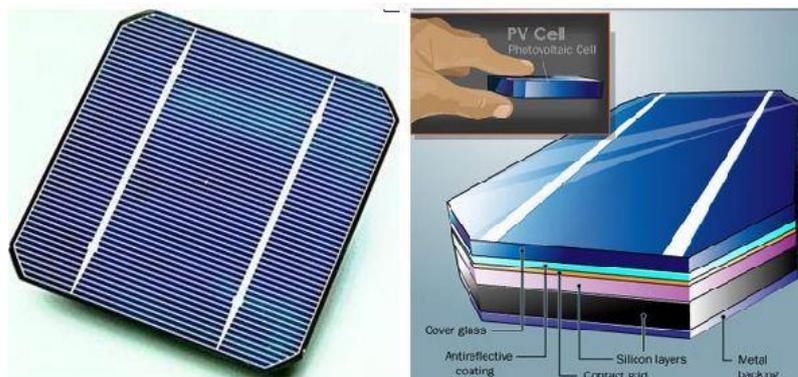


Gambar 2.5 Modul Surya dengan 28-36 Sel

2.4.1 Struktur Panel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains & teknologi, jenis-jenis teknologi Panel Surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut Panel Surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula. Dalam tulisan ini akan dibahas struktur dan cara kerja dari Panel Surya yang umum berada di pasaran saat ini yaitu Panel Surya berbasis material silikon

yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja Panel Surya generasi pertama (Panel Surya silikon) dan kedua (thin film/lapisan tipis).



Gambar 2.6 Struktur Panel Surya Komersial

Gambar tersebut menunjukkan ilustrasi Panel Surya dan juga bagian-bagiannya. Secara umum terdiri dari :

1. Substrat/Metal backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen Panel Surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif Panel Surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk Panel Surya *dye-sensitized* (DSSC) dan Panel 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).

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari Panel Surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk Panel Surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk Panel Surya lapisan tipis. Material

semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar di atas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk Panel 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, di samping material-material semikonduktor potensial lain yang sedang dalam penelitian intensif seperti $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$ (CZTS) dan Cu_2O (*copper oxide*).

3. Kontak metal / *contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, di atas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

4. Lapisan anti reflektif

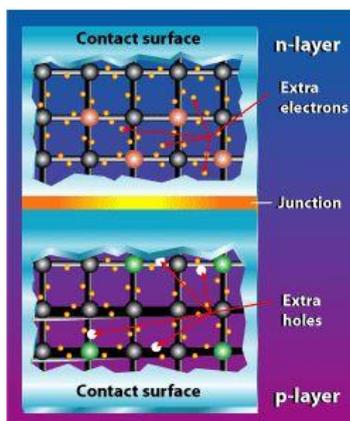
Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya Panel Surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan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

5. Enkapsulasi / *cover glass*

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

2.4.2 Cara Kerja Panel Surya

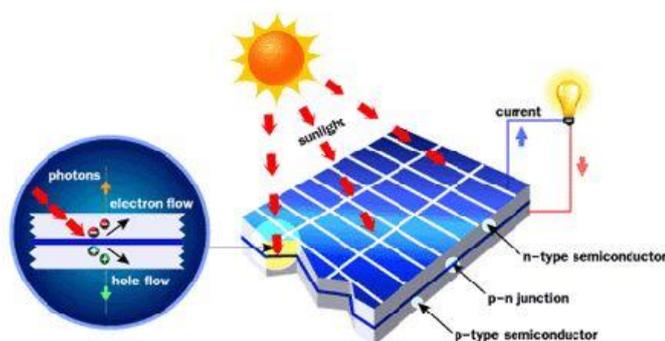
Panel Surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon *didoping* oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon *didoping* oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah menggambarkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 2.7 *Junction* Antara Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n

Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan *hole*) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p.

Akibat dari aliran elektron dan *hole* ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna *p-n junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar 2.7 dibawah.



Gambar 2.8 Ilustrasi Cara Kerja Panel Surya dengan prinsip *p-n Junction*

2.4.3. Jenis-Jenis Panel Surya

a. Panel Surya Monocrystalline silicon (*mono-silicon* atau *single silicon*)



Gambar 2.9 Panel Surya *Monocrystalline Silicon*

Jenis ini 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 di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

b. Panel Surya *Polycrystalline silicon (multicrystalline, multi-silicon, ribbon)*



Gambar 2.10 Panel Surya *Polycrystalline Silicon*

Panel ini memiliki level silikon yang lebih rendah dari panel *monocrystalline*. Maka panel ini sedikit lebih murah dan sedikit lebih rendah efisiensinya dari panel *monocrystalline*. Panel *Polycrystalline* merupakan panel surya / 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.

c. Panel Surya Amorphous/ *Thin Film (amorphous silicon, cadmium telluride, copper indium gallium diselenide)*

Disebut *Thin Film* karena panel ini sangat murah untuk dibuat. Teknologi Amorphous ini sering terdapat pada panel surya yang kecil, seperti pada kalkulator atau lampu taman.



Gambar 2.11 Panel Surya Amorphous/ Thin Film

d. Panel Surya *Thin Film Photovoltaic*



Gambar 2.12 Panel Surya *Thin Film Photovoltaic*

Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silicon 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* PV (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.

Panel surya, terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung)

energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan menambah panel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya.

Sel silikon di dalam panel surya yang disinari matahari/ surya, membuat photon bergerak menuju electron dan menghasilkan arus dan tegangan listrik. Sebuah sel silikon menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 Panel Surya (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum).

Modul panel surya memiliki kapasitas output: *watt hour*. *Panel surya 50 WP* 12 V, memberikan output daya sebesar 50 watt per hour dan tegangan adalah 12 Volt. Untuk perhitungan daya yang dihasilkan per hari adalah 50-Watt x 5 jam (maksimum peak intensitas matahari).

2.5 Karakteristik Panel Surya (*Photovoltaic*)

Kapasitas daya dari sel atau modul surya dilambangkan dalam *watt peak* (Wp) dan diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu *Standard Test Condition* (STC).

Standar ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar 1000 W/m² yang tegak lurus Panel Surya pada suhu 25°C. Modul *photovoltaic* memiliki hubungan antara arus dan tegangan.

2.5.1 Tegangan Open Circuit (Voc)

Voc adalah tegangan yang dibaca ketika tidak ada arus yang mengalir, yaitu, tegangan maksimum Panel Surya yang terjadi ketika arus hubung singkat adalah nol. Pada saat tahanan variabel bernilai tak terhingga (*open circuit*) maka arus bernilai

minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan *open circuit* (V_{oc}).

2.5.2 Arus Short Circuit (I_{sc})

I_{sc} adalah arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh modul Panel Surya. Nilai I_{sc} diperoleh dengan hubungan pendek elektroda positif dengan elektroda negatif dalam modul PV. Ketika tahanan variabel bernilai nol (short circuit) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus *short circuit* (I_{sc}). Jika tahanan variabel memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga maka arus (I) dan tegangan (V) akan diperoleh nilai yang bervariasi.

2.5.3 Efek Perubahan Intensitas Cahaya Matahari

Karena jumlah energi matahari yang diperoleh oleh Panel Surya (fotovoltaik) berkurang atau intensitas cahaya berkurang, demikian juga besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dari penurunan arus.

2.5.4 Efek Perubahan Temperatur Pada *Photovoltaic* (T_{sc})

Suhu juga memengaruhi kinerja sel dan efisiensi fotovoltaik, yang menghasilkan lebih banyak daya ketika Panel Surya dingin. Secara umum, ketika sel terpapar 1 kW/m^2 , suhu Panel Surya $30 \text{ }^\circ\text{C}$ lebih tinggi dari udara sekitar. Semakin tinggi suhu Panel Surya, semakin rendah tegangan sekitar $0,0023 \text{ V}/^\circ\text{C}$ untuk teknologi kristal silikon dan sekitar $0,0028 \text{ V}/^\circ\text{C}$ untuk teknologi film tipis. Tenaga listrik juga berkurang $0,5\% / ^\circ\text{C}$ dalam teknologi kristal silikon dan menjadi sekitar $0,3\% / ^\circ\text{C}$ dalam teknologi film tipis.

2.6 Efisiensi Panel Surya

Efisiensi Panel Surya adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan seberapa banyak listrik yang dihasilkan oleh panel surya.

Besar energi yang masuk pada Panel Surya adalah linear dengan besar intensitas radiasi matahari pada saat itu dan luas permukaan tangkap Panel Surya:

$$P_{in} = I_r \times A \quad \dots\dots\dots (3)$$

P_{in} = daya input (Watt)

I_r = intensitas irradiansi matahari (W/m^2)

A = Luas area modul surya (m^2)

Dalam panel surya terdapat salah satu besaran yang menjadi parameter unjuk kerja Panel Surya adalah faktor pengisian (fill faktor = FF). Fill faktor Panel Surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan Panel Surya terhadap perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} , menurut persamaan berikut:

$$FF = \frac{V_{pm} \times I_{pm}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

V_{pm} = tegangan pada titik kerja maksimum

I_{pm} = arus pada titik kerja maksimum

V_{oc} = tegangan rangkaian terbuka (*open circuit*)

I_{sc} = arus hubung singkat (*short circuit*)

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar harga FF (fill faktor) Panel Surya, maka unjuk kerja Panel Surya tersebut baik, dan akan mempunyai koefisien konversi energi yang semakin baik pula.

Daya output dinyatakan dengan persamaan

$$P_{out} = V \times I \times FF \quad \dots\dots\dots (5)$$

Efisiensi panel surya ini dinyatakan dalam persentase dan dapat dihitung dengan membandingkan daya keluaran panel surya dengan energi matahari yang diterima panel surya. Semakin tinggi efisiensi panel surya, semakin banyak listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya dengan jumlah energi matahari yang sama.

Sehingga efisiensi panel surya ialah

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

Ada beberapa Faktor – faktor yang mempengaruhi efisiensi panel surya. Tingkat radiasi matahari, kemurnian bahan baku, intensitas cahaya, dan kualitas konversi energi dapat mempengaruhi efisiensi panel surya. Radiasi matahari dan intensitas cahaya yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi panel surya. Suhu panel surya yang tinggi dapat menurunkan efisiensi panel surya.

Kemurnian bahan baku panel surya juga sangat penting, karena bahan baku yang kurang murni dapat mengurangi efisiensi panel surya. Kualitas konversi energi juga mempengaruhi efisiensi panel surya, sehingga pemilihan jenis panel surya yang memiliki kualitas konversi energi yang baik sangat penting.

2.7 Distribusi Energi Listrik dari Panel surya ke Baterai

Panel surya merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang tidak menghasilkan polusi sehingga ramah lingkungan, selain itu tidak menghasilkan suara yang bising, dan tahan lama. Seperti pada penjelasan sebelumnya bahwa panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang masuk pada permukaannya.

Yang terjadi adalah bahwa daya yang disuplai oleh panel surya ini berubah-ubah dan tidak stabil tergantung kondisi penyinaran saat itu, sehingga apabila panel surya ini dihubungkan secara langsung ke beban, maka dapat merusak beban tersebut. Solusinya adalah dengan menggunakan sistem penyimpanan energi yang menyimpan energi listrik tersebut untuk kemudian disambungkan ke beban, sehingga apabila kondisi penyinaran matahari dalam keadaan mendung, dari sistem penyimpanan energi tersebut masih dapat menyuplai beban secara stabil.

Sistem penyimpanan energi yang sering digunakan adalah baterai/accumulator. Panel surya yang memiliki nominal tegangan 12 V, biasanya dapat menghasilkan tegangan yang berubah dari 8 - 20 V, sedangkan baterai yang digunakan mempunyai tegangan nominal 12 V. Adanya perbedaan antara tegangan keluaran dari panel surya dan baterai tentu saja memiliki dampak, yaitu kerusakan pada baterai yang berakibat akan mengurangi lifetime dari baterai. Oleh karena dibutuhkan regulator tegangan yang mengubah tegangan panel surya tersebut ke 12 V. Regulator ini selain berfungsi sebagai regulator tegangan, juga harus mempunyai fungsi sebagai dioda proteksi, sehingga hanya melewatkan arus yang menuju baterai dan tidak ada arus balik ke panel surya. Apabila sore, dengan tidak adanya penyinaran dari matahari, tegangan dari panel surya bisa lebih kecil dari baterai yang memungkinkan adanya arus balik dari baterai ke panel surya, tapi dengan adanya dioda proteksi ini hal tersebut tidak terjadi. Regulator ini juga disebut sebagai *Charger*.