

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Peningkatan populasi dan pertumbuhan ekonomi memicu bertambahnya permintaan terhadap energi dunia. Dengan persediaan energi konvensional saat ini berarti terjadi penambahan pemakaian persediaan energi fosil dan meningkatnya emisi dari gas yang dapat membahayakan lingkungan. Jika hal ini terjadi terus menerus maka lingkungan dan masa depan kita akan terancam. Karena kita tahu bahwa sumber minyak dunia akan habis dan kita tidak mempunyai cara untuk mengisi ulang lagi sumber minyak tersebut. Dengan demikian perlu menemukan alternatif lain guna mendukung atau mempertahankan kebutuhan saat ini dan gaya hidup yang menggunakan energi yang dapat diperbaharui.

Dimuka bumi ini kita mengenal dua jenis sumber energi, yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui dan yang tidak dapat diperbaharui. Penggunaan energi secara nasional cenderung pada sumber energi berupa batubara, kayu bakar, geothermal, minyak bumi dan gas alam. Yang menjadi masalah yaitu, persediaan sumber energi tersebut tidak dapat diperbaharui. Jika dibiarkan dapat mengancam kelangsungan hidup manusia dimuka bumi ini.

Untuk mengatasi masalah tersebut maka diperlukan usaha – usaha untuk mencari sumber energi alternatif seperti energi air, tenaga surya, tenaga angin, energi matahari dan sel bahan bakar seperti penggunaan biomassa dan lain – lain.

Keunggulan dari energi matahari ini dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya adalah tidak bersifat polutif, berlimpah, bersifat terbarukan, tidak pernah habis dan dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun tidak langsung dan merupakan energi sepanjang masa. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan alat yang mampu menerima dan mengkonversikannya menjadi energi listrik. Salah satu alat tersebut adalah *sell surya* atau Potooltaik.

Ada beberapa sumber yang dapat diperbarui yang tersedia dimana dapat digunakan dalam skala besar untuk menghasilkan listrik di daerah terpencil dimana jaringan listrik tidak tersedia. Tipe yang termasuk dalam hal ini antara lain adalah sinar, angin, panas bumi, air, gelombang laut dan lain lain. Kombinasi dari dua atau lebih dari sumber ini dapat digunakan dan biasanya dikenal dengan *Hybrid system*.

Kemajuan teknologi menjadi sangat umum sekarang ini. Seperti tenaga *sell surya* adalah alat yang mengubah panas matahari langsung menjadi energi listrik dan keuntungannya adalah radiasi matahari dapat diperoleh setiap hari secara bebas. Penggunaan *sell surya* sangatlah luas, sebagai contoh penggunaan yang paling umum di kalkulator dan menggantikan atau membantu fungsi baterai. Selama tersedianya radiasi matahari, kalkulator dapat berfungsi. *Sell surya* yang lebih besar juga digunakan untuk menyediakan tenaga untuk lampu lalu lintas, telepon, lampu jalan, rumah, kapal, mobil elektrik tenaga surya yang dapat beroperasi tanpa minyak, sebagai pengering komoditi, pengering makanan dan lain-lain.

Permasalahan yang ada sekarang ini adalah bagaimana arus yang dihasilkan *sell surya* bisa menggerakkan kipas angin yang terpasang masih bersifat statis. Oleh karena itu, perlu dibuat suatu sistem yang dapat menyesuaikan pengeluaran arus yang dihasilkan *sell surya* ke kipas angin, dan bisa menggerakkan secara konstan.

## **1.2. Batasan Masalah**

Mengingat luas dan banyaknya hal – hal yang perlu di bahas dalam proses pembangkit tenaga listrik alternatif dengan menggunakan teknologi *sell surya (photovoltaic)*, maka penulis merumuskan permasalahan yang dibahas didalam penulisan tugas sarjana ini, yaitu dengan perancangan potovoltaik untuk mendistribusikan panas ke kotak pengering biji kopi, dengan kekuatan 4.5A – 6.00A pada kecepatan kipas sebesar 1,0 m/det.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian adalah :

1. Untuk mengetahui karakteristik Photovoltaic (PV) dengan output yang cocok atau sesuai guna menggerakkan kipas angin mengalirkan panas.
2. Untuk mendapatkan tipe kipas angin yang cocok untuk mengalirkan atau mendistribusikan panas untuk mengeringkan biji kopi.

#### **1.4. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

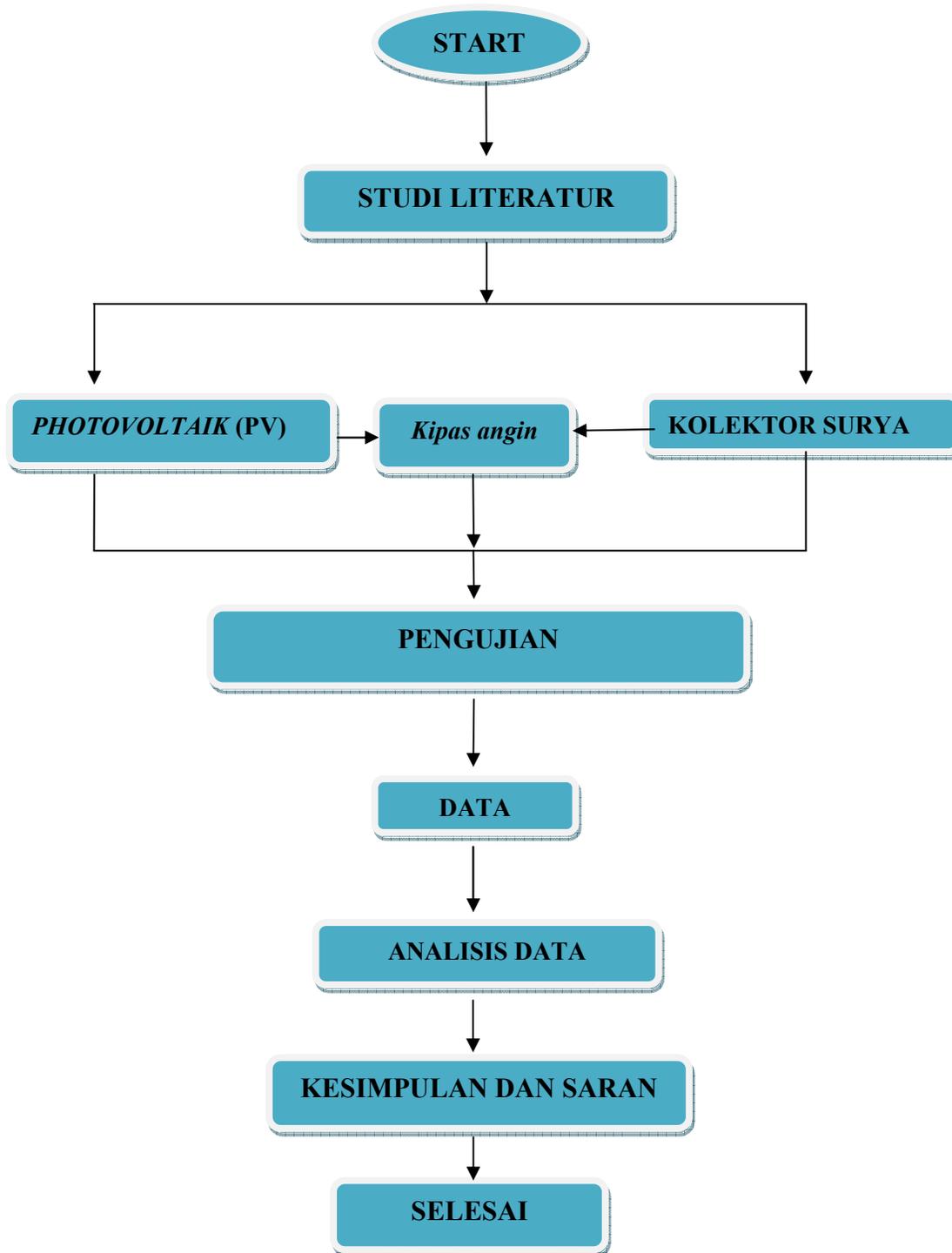
1. Survey lapangan
2. Menentukan lokasi penelitian
3. Studi literatur, yakni berupa studi kepustakaan, kajian dari buku – buku, jurnal terkait dan artikel terkait.
4. Diskusi, yakni berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing, dosen pembimbing yang disediakan oleh Program Studi Teknik Mesin UHN mengenai kekurangan-kekurangan di dalam tulisan tugas akhir ini.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengurangi penggunaan energi listrik dari bahan bakar fosil dan pada akhirnya mengurangi konsumsi bahan bakar minyak.
2. Memberi sumbangan yang berarti bagi perkembangan *teknologi energi* terbarukan, khususnya *photovoltaic*.
3. Ikut berpartisipasi dalam mengurangi efek pemanasan global dengan menggunakan sumber *energi* yang bersih dan gratis.
4. Mendapatkan % bobot kering biji kopi dengan kadar air 50% yang dikeringkan oleh panas matahari melalui kolektor surya dengan bantuan kipas untuk mengalirkan panas dengan penggerak *photovoltaic* .

## 1.6. Diagram Alir Pengujian



Gambar : 1.1.Diagram Alir Pengujian

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sejarah Solar Cell (*Potovoltaik*)

Tenaga listrik dari cahaya matahari pertama kali ditemukan oleh Alexandre – Edmund Becquerel seorang ahli fisika Perancis pada tahun 1839. Temuannya ini merupakan cikal bakal teknologi *solar cell*. Percobaannya dilakukan dengan menyinari 2 elektroda dengan berbagai macam cahaya.

Elektroda tersebut dilapisi (*coated*) dengan bahan yang sensitif terhadap cahaya, yaitu AgCl dan AgBr dan dilakukan pada kotak hitam yang dikelilingi dengan campuran asam. Dalam percobaannya ternyata tenaga listrik meningkat manakala intensitas cahaya meningkat. Selanjutnya penelitian dari Becquerel dilanjutkan oleh peneliti – peneliti lain. Tahun 1873, seorang Insinyur Inggris Willoughby Smith menemukan Selenium sebagai suatu elemen *photoconductivity*.

Kemudian tahun 1876, William Grylls dan Richard Evans Day membuktikan bahwa Selenium menghasilkan arus listrik apabila disinari dengan cahaya matahari. Hasil penemuan mereka menyatakan bahwa Selenium dapat mengubah tenaga matahari secara langsung menjadi listrik tanpa ada bagian bergerak atau panas. Sehingga disimpulkan bahwa solar cell sangat tidak efisien dan tidak dapat digunakan untuk menggerakkan peralatan listrik.

Tahun 1894 Charles Fritts membuat *Solar Cell* pertama yang sesungguhnya yaitu suatu bahan semiconductor (selenium) dilapisi dengan lapisan tipis emas. Tingkat efisiensi yang dicapai baru 1% sehingga belum juga dapat dipakai sebagai sumber energi, namun kemudian dipakai sebagai sensor cahaya.

Tahun 1905 Albert Einstein mempublikasikan tulisannya mengenai *photo electric effect*. Tulisannya ini mengungkapkan bahwa cahaya terdiri dari paket – paket atau “*quanta of energi*” yang sekarang ini lazim disebut “*photon*.”

Teorinya ini sangat sederhana tetapi revolusioner. Kemudian tahun 1916 pendapat Einstein mengenai *photoelectric effect* dibuktikan oleh percobaan Robert Andrew Millikan seorang ahli fisika berkebangsaan Amerika dan ia mendapatkan Nobel Prize untuk karya *photoelectric effect*. Tahun 1923 Albert Einstein akhirnya juga mendapatkan Nobel Prize untuk teorinya yang menerangkan *photoelectric effect* yang dipublikasikan 18 tahun sebelumnya. Hingga tahun 1980 an efisiensi dari hasil penelitian terhadap solar cell masih sangat rendah

sehingga belum dapat digunakan sebagai sumber daya listrik.

Tahun 1982, Hans Tholstrup seorang Australia mengendarai mobil bertenaga surya pertama untuk jarak 4000 km dalam waktu 20 hari dengan kecepatan maksimum 72 km/jam. Tahun 1985 *University of South Wales Australia* memecahkan rekor efisiensi *solar cell* mencapai 20% dibawah kondisi satu cahaya matahari.

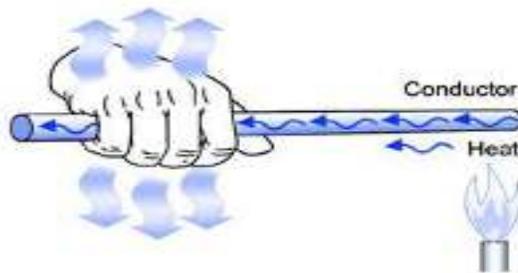
Tahun 2007 University of Delaware berhasil menemukan *solar cell technology* yang efisiensinya mencapai 42.8%. Hal ini merupakan rekor terbaru untuk “*thin film photovoltaicsolar cell*”. Perkembangan dalam riset *solar cell* telah mendorong komersialisasi dan produksi *solar cell* untuk penggunaannya sebagai sumber daya listrik.

## 2.2. Teori Dasar Konduksi

Panas mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan Hukum Fourier.

$$q = -kA \left( \frac{dT}{dx} \right) \text{W(watt)} \dots \dots \dots (\text{Lit 1, hal 2})$$

- Dimana :
- q = Laju perpindahan panas (watt)
  - k = Konduktivitas Termal ( W / (m.K)
  - A = Luas penampang yang terletak pada aliran panas ( m<sup>2</sup>)
  - dT/dx = Gradien temperatur dalam aliran panas (K/m)



Gambar : 2.1. Perpindahan panas konduksi

[\(http://excatadrisfisikawali9.blogspot.com/\)](http://excatadrisfisikawali9.blogspot.com/).

### 2.3. Konveksi

Udara yang mengalir di atas suatu permukaan logam pada sebuah alat pemanas udara surya, dipanasi secara konveksi yaitu konveksi paksa dan konveksi alamiah, apabila aliran udara disebabkan oleh blower maka ini disebut konveksi paksa dan apabila disebabkan oleh gradien massa jenis maka disebut konveksi alamiah. Pada umumnya laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan hukum persamaan pendinginan Newton sebagai berikut :

$$q = hA (T_w - T) \text{ watt} \dots\dots\dots (\text{Lit 1, hal 11})$$

Dimana :  $h$  = Koefisien konveksi ( W / m<sup>2</sup>. K-1 )

$A$  = Luas permukaan kolektor surya m<sup>2</sup>

$T_w$  = Temperatur dinding ( K )

$T$  = Temperatur fluida ( K )

$q$  = Laju perpindahan panas ( watt )

Untuk pemanas surya yang bekerja dalam bilangan Reynold antara 2000 sampai 10000, dan nilai bilangan Nusselt sebesar:

$$Nu = 0,00269 \cdot Re \dots\dots\dots (\text{Lit 1, hal 10})$$

Re yang dimaksud adalah bilangan *Reynold* yang biasanya berkisar antara 2000 sampai 10000 untuk aliran turbulen dan dibawah 2000 untuk aliran laminar. Bilangan *Reynold* dapat dirumuskan:

$$Re = \frac{V \cdot d_i \cdot \rho}{\mu} \dots\dots\dots (\text{Lit 1, hal 2})$$

Dimana :

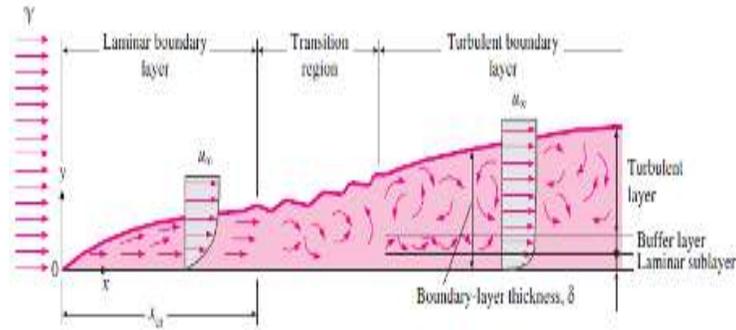
$Re$  = Bilangan *Reynold*

$V$  = Kecepatan Rata-Rata dari Fluida ( m/s )

$d_i$  = Diameter Pipa ( m )

$\rho$  = Massa Jenis ( kg/m<sup>3</sup> )

$\mu$  = Viskositas Dinamik ( kg/m.s )



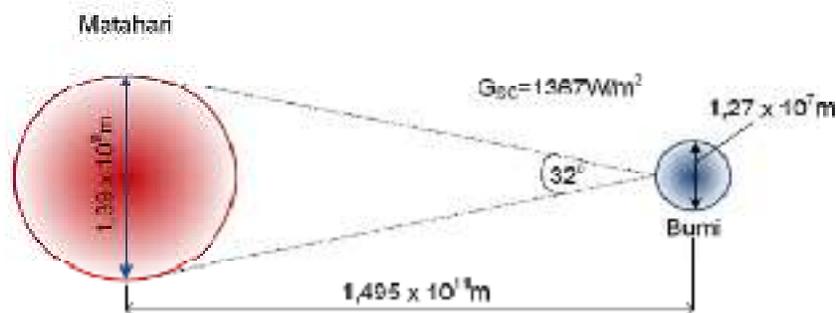
**Gambar: 2.2. Perpindahan panas konveksi plat datar**

<http://bloghasnan.blogspot.com/2012/04/memahami-sifat-sifat-dasar-aliran.html>

## 2.4. Radiasi Surya

Beberapa fakta tentang matahari (surya). Matahari mempunyai diameter  $1,39 \times 10^9$  m. Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk ellips dan matahari berada pada salah satu pusatnya. Jarak rata – rata matahari dari permukaan bumi adalah  $1,495 \times 10^{11}$  m. Waktu tempuh sinar matahari sampai ke permukaan bumi sekitar 8 menit 20 detik.

Gambar 2.3. menampilkan hubungan antara matahari dan bumi. Pada gambar ini juga ditampilkan nilai konstanta matahari  $G_{SC}$ .



**Gambar : 2. 6. Hubungan antara matahari dan bumi**

Karena lintasan bumi berbentuk ellips, maka jarak matahari dari bumi tidak tetap. Jarak terdekat  $1,47 \times 10^{11}$  m terjadi pada 3 Januari dan jarak terjauh  $1,52 \times 10^{11}$  m pada 4 July. akibat perbedaan jarak ini, maka radiasi dipermukaan diluar atmosfer akan berbeda setiap hari. Radiasi

ini biasanya disimbolkan dengan  $G_{on}$ , pada hari yang ke  $n$  dirumuskan oleh Duffie dan Beckmann (1991) :

$$G_{on} = G_{SC} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) [ W/m^2 ] \quad \dots\dots\dots (1)$$

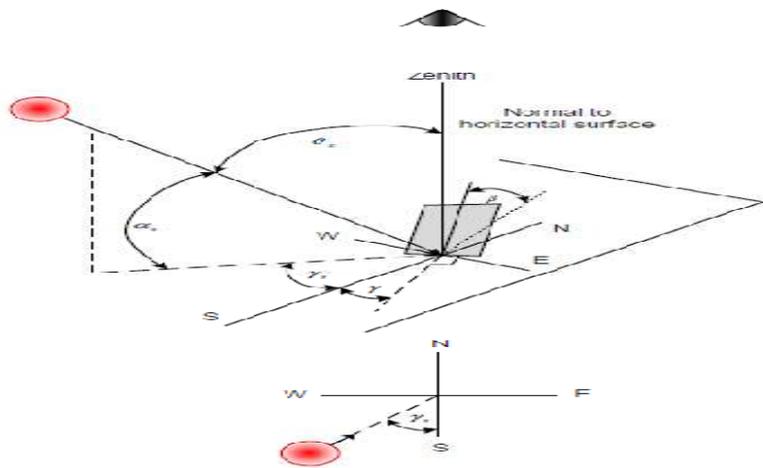
Sementara  $G_{SC} = 1367 W/m^2$  adalah konstanta surya. Untuk yang lebih teliti dapat digunakan persamaan yang diajukan oleh Spencer (1971):

$$G_{on} = G_{SC} ( 1,00011 + 0,034211 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin B ) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana  $B$  dirumuskan dengan:

$$B = ( n - 1 ) \frac{360}{365} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Karena garis edar semu matahari di angkasa cukup kompleks, maka akan dikenal beberapa sudut untuk mendefenisikannya. Beberapa sudut akan didefenisi kan pada Gambar 2.4.



**Gambar : 2.4. Sudut – sudut sinar dan Posisi matahari**

*Slope*  $\beta$  adalah sudut antara permukaan yang dianalisis dengan horizontal. Nilai  $0 \leq \beta \leq 90^0$ . Sudut zeinith permukaan  $\gamma$  adalah sudut penyimpangan sinar pada bidang proyeksi dimana  $0^0$  pada selatan dan positif ke barat. Sudut penyinaran  $\theta$  (*angle accident*) adalah sudut yang dibentuk sinar dan garis normal dari suatu permukaan. Sudut zenith  $\theta_z$  adalah sudut yang dibentuk garis sinar terhadap garis zenith. Sudut ketinggian matahari  $\alpha_s$  (*solar altitude angel*) adalah sudut antara sinar dengan permukaan. Sudut zainith matahari  $\gamma_s$  adalah sudut antara proyeksi matahari terhadap selatan ke timur adalah negatif dan kebarat adalah positif.

Sudut lain yang sering digunakan dalam menentukan jumlah radiasi yang dapat diterima oleh sebuah permukaan di bumi antara lain sudut deklinasi  $\delta$ , yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya. Kemudian sudut jam  $\omega$  adalah sudut pergeseran semu matahari dari garis siang. Perhitungan berdasarkan jam matahari ( $ST$ ), setiap berkurang 1 jam,  $\omega$  berkurang  $15^0$  dan setiap bertambah 1 jam,  $\omega$  bertambah  $15^0$ . Artinya tepat pukul 12.00 siang,  $\omega = 0$ , pukul 11.00 pagi  $\omega = -15^0$  dan pukul 14.00,  $\omega = 30^0$ .

Sudut deklinasi dapat dihitung dengan persamaan yang diajukan Cooper (1969) :

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{284+n}{365} \right)$$

Bulan	Nilai $n$ pada hari yang ke- $i$
January	$i$
February	$31 + i$
Maret	$59 + i$
April	$90 + i$
Mei	$120 + i$
Juni	$151 + i$
July	$181 + i$
Agustus	$212 + i$
September	$243 + i$
Oktober	$273 + i$
November	$304 + i$
Desember	$334 + i$

Tabel : 2.1. Urutan hari berdasarkan bulan

## 2.5. Potensi Energi Surya

Perhitungan – perhitungan potensi energi surya yang dapat diserap dalam kondisi langit cerah dan pada jam tertentu yang diinginkan sebagai berikut:

1. Estimasi radiasi harian rata – rata bulanan.

Jika energi radiasi harian  $H$  dirata – ratakan selama satu bulan  $H$ , maka dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana  $\bar{H}_0$  adalah energi radiasi harian yang dirata – ratakan selama sebulan terletak diluar atmosfer, dihitung dengan persamaan  $n$  jam penyinaran harian yang dirata – ratakan selama sebulan. Rata – rata bulanan jam penyinaran maksimum.

## 2. Estimasi radiasi langit cerah

Seperti yang sudah diketahui, radiasi matahari yang sampai di permukaan luar atmosfer bumi sebagian akan diteruskan ( ditransmisikan ) sampai ke permukaan bumi.

$$a_0 = r_0 a_0^* \quad (3a)$$

$$a_1 = r_1 a_1^* \quad (3b)$$

$$K = r_k K^* \quad (3c)$$

Dan konstanta  $a_0^*$ ,  $a_1^*$ ,  $k_0$  dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$a_0^* = 0,4237 - 0,00821 (6 - A)^2 \quad (4a)$$

$$a_1^* = 0,5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2 \quad (4b)$$

$$k^* = 0,2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2 \quad (4c)$$

Dimana  $A$  adalah ketinggian (*altitude*) dalam km dan  $r_0, r_1$  dan  $r_k$  adalah koreksi akibat iklim.

Sinar radiasi pada langit cerah searah normal dapat dihitung dengan persamaan :

$$G_{CB} = G_{on} \times \tau_b \quad (5)$$

Dimana  $G_{on}$  adalah radiasi matahari diluar dan sebelum masuk atmosfer, dihitung dengan persamaan (1) atau persamaan (2) dari Bab II. Sementara radiasi beam langit cerah searah horizontal dihitung dengan persamaan berikut :

$$G_{CB} = G_{on} \times \tau_b \times \cos \theta_z \quad (6)$$

Untuk satu jam lama penyinaran, energi radiasi langit cerah searah horizontal adalah :

$$I_{CB} = I_{on} \times \tau_b \times \cos \theta_z \quad (7)$$

Persamaan yang ditampilkan di atas hanya menyatakan radiasi beam. Sementara untuk menghitung radiasi total, radiasi difusi (yang disebarkan oleh atmosfer) juga harus diperkirakan.

Pada kondisi langit cerah radiasi difusi dihitung dengan persamaan :

$$\tau_d = \frac{G_d}{G_{on} \cos \theta_z} = 0,271 - 0,294 \tau_b \quad (8)$$

## 3. Estimasi radiasi perjam dari data harian

Fraksi satu jam radiasi dari radiasi harian rata – rata bulanan pada permukaan horizontal didefenisikan dengan persamaan :

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (9)$$

Persamaan menghitung  $r_t$  diajukan oleh Collares – Perreira dan Rabl (1979) :

$$r_t = \frac{\pi}{24} ( a + b \cos \omega ) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \dots \dots \dots ( 10 )$$

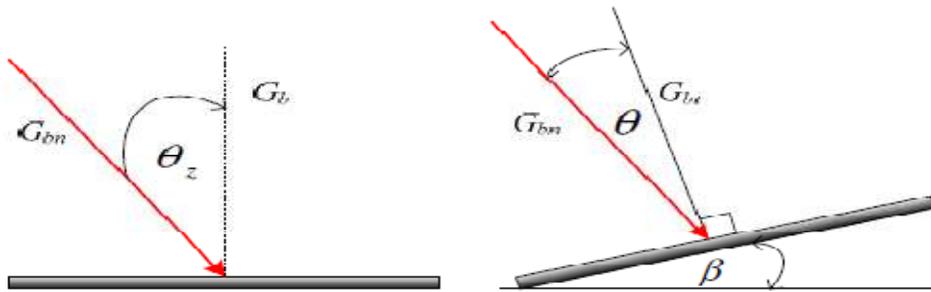
Koefisien  $a$  dan  $b$  diberikan dengan persamaan berikut :

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin ( \omega_s - 60 ) \dots \dots \dots ( 11 )$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \sin ( \omega_s - 60 ) \dots \dots \dots ( 12 )$$

Pada persamaan ini  $\omega$  adalah sudut jam dalam derajat, tepat pertengahan jam yang ditanya. Dan  $\omega_s$  adalah sudut jam matahari terbenam.

4. Radiasi pada permukaan yang dimiringkan



**Gambar : 2.5. Bentuk posisi permukaan untuk mendapat radiasi**

Pada suatu permukaan yang dimiringkan dengan sudut kemiringan  $\beta$ . Perbandingan radiasi pada kedua permukaan ini dapat dirumuskan dengan :

$$R_b = \frac{G_{bt}}{G_b} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \dots \dots \dots ( 13 )$$

## 2.6. Energi Terbarukan



**Gambar : 2.6. Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan**

<http://www.shnews.co/detile-12196-kontribusi-energi-terbarukan-baru-lima-persen.html>

Pasca isu kenaikan BBM yang membuat masyarakat Indonesia cemas, sebenarnya ada alternatif lain yang patut untuk kita coba untuk menggantikan sumber energi yang kita gunakan selama ini, yaitu sumber energi terbarukan.

Kita semua tahu, bahan bakar fosil adalah sumber daya yang terbatas. Akhirnya, dunia akan kehabisan bahan bakar fosil, atau akan menjadi terlalu mahal. Celakanya bahan bakar fosil juga menyebabkan polusi udara, air dan tanah, dan menghasilkan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global.

Sumber daya energi terbarukan, seperti angin, matahari dan tenaga air, menawarkan alternatif pengganti untuk bahan bakar fosil. Mereka menghasilkan sedikit atau bahkan tidak ada pencemaran atau gas rumah kaca. Dan kabar baiknya, sumber *energi* ini tidak akan pernah habis.

### *1. Energi surya (Solar Energy)*

Matahari adalah sumber kita yang paling kuat energi. 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.

## *2. Energi Angin*

Angin adalah gerakan udara yang terjadi ketika naik udara hangat dan udara dingin di bergegas untuk menggantinya. Energi angin telah digunakan selama berabad-abad untuk kapal layar dan kincir angin untuk menggiling gandum. Hari ini, energi angin ditangkap oleh turbin angin dan digunakan untuk menghasilkan listrik.

## *3. Hydropower*

Air yang mengalir ke hilir merupakan kekuatan. Air adalah sumber daya terbarukan, terus diisi oleh siklus global penguapan dan curah hujan. Panas matahari menyebabkan air di danau dan lautan menguap dan membentuk awan. Air kemudian jatuh kembali ke bumi sebagai hujan atau salju, dan mengalir ke sungai dan sungai yang mengalir kembali ke laut. Air yang mengalir dapat digunakan untuk memutar turbin yang mendorong proses mekanis untuk memutar generator. Energi air mengalir dapat digunakan untuk menghasilkan listrik.

## *4. Energi Biomassa*

Biomassa 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. Biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan sebagai bahan bakar untuk transportasi, atau untuk memproduksi produk yang tidak akan membutuhkan penggunaan bahan bakar fosil.

## *5. Hidrogen*

Hidrogen memiliki potensi yang luar biasa sebagai sumber bahan bakar dan energi, tetapi teknologi yang dibutuhkan untuk mewujudkan potensi ini masih dalam tahap awal. Hidrogen adalah elemen paling umum di Bumi. Air adalah dua-pertiganya hidrogen, tapi hidrogen di alam selalu ditemukan dalam kombinasi dengan unsur lainnya. Setelah dipisahkan dari unsur-unsur lain, hidrogen dapat digunakan untuk menggerakkan kendaraan, menggantikan gas alam untuk pemanasan dan memasak, dan untuk menghasilkan listrik.

## *6. Energi Panas Bumi*

Panas di dalam bumi menghasilkan uap dan air panas yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik dan menghasilkan listrik, atau untuk aplikasi lain seperti pemanasan rumah

dan pembangkit listrik untuk industri. Energi panas bumi dapat ditarik dari waduk bawah tanah dengan pengeboran, atau dari reservoir panas bumi yang terletak lebih dekat ke permukaan.

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.

### 7. Energi Samudera

Lautan menyediakan beberapa bentuk energi terbarukan, dan masing-masing didorong oleh kekuatan yang berbeda. Energi dari gelombang laut dan pasang surut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, dan energi termal laut-dari panas yang tersimpan dalam air laut-dapat juga diubah menjadi listrik. 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.

## 2.7. 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. sedang pada inti temperaturnya dapat mencapai lebih kurang  $8 \times 10^6$  sampai dengan  $40 \times 10^6$  K. **(Pudjanarsa Astu, Djati Nursuhud *Mesin Konversi Energi*, edisi pertama, Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta 2006).**

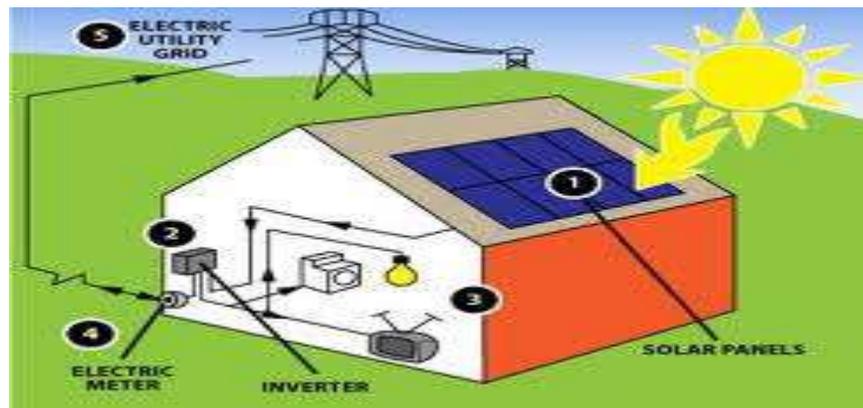
Suatu teori yang akhir-akhir ini dapat diterima para ahli mengatakan bahwa radiasi gelombang *elektromagnetik* merupakan kombinasi dari gelombang elektrik arus bolak-balik berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnet yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk foton. Gelombang energi 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  $1353 \text{ Watt/m}^2$ . Dari besaran tersebut 7,85% atau  $105,8 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan melalui sinar *ultraviolet*, 47,33% atau  $640,4 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan oleh sinar yang dapat dilihat oleh manusia dan 44,85% atau  $606,8 \text{ Watt/m}^2$  dipancarkan oleh sinar infra merah.

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  $1308 \text{ Watt/m}^2$  dan  $1398 \text{ Watt/m}^2$ . Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun, maka energi yang dapat diserap oleh bumi besarnya adalah  $751 \times 10 \text{ kW/-jam}$ .

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



Gambar : 2.7. Sketsa Pemanfaatan Energi Surya

<http://www.paklim.org/wp-content/uploads/downloads/2012/02/GIZ-OSRAM-Energy-Saving-learning-module-IDN-version.pdf>

## 2.8. Panel Surya



**Gambar : 2.8. Panel Surya**

Solar cell (panel surya) merupakan salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan 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. Menggunakan kombinasi dari papan surya (*photovoltaic panels*), pembangkit listrik tenaga angin, pembangkit listrik tenaga air, sistem penyimpanan energi, mesin untuk menghasilkan air, sistem energi cadangan dan produk-produk energi yang efisien.

Solar cell (panel surya) adalah alat yang merubah sinar matahari menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif dan positif didalam cell modul tersebut karena perbedaan elektron. Hasil dari aliran elektron-elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi battery / aki sesuai tegangan dan ampere yang diperlukan. Komponen inti dari sistem PLTS ini meliputi peralatan : Modul Solar Cell, Charger controller, Battery / Aki, Inverter DC to AC, Tracking system.

## 2.9. Jenis – Jenis Solar Panel atau Panel Surya

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



**Gambar : 2.9. Panel Surya Monocrystalline silicon (*mono-silicon atau single silicon*)**

Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15 – 20% . Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Panel surya monocrystaline memiliki harga yang paling mahal dibandingkan dengan panel surya lainnya.

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



**Gambar : 2.10. Panel Surya Polycrystalline silicon (*multicrystalline, multi-silicon, ribbon*)**

Pada pengujian ini menggunakan panel surya polycrystallin. 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 / 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.

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



**Gambar : 2.11. 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 solar panel yang kecil, seperti pada kalkulator atau lampu taman.

- 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 monokrystal & polykrystal. 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.

Solar cells panel, 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 solar cells panel (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya.

Sel silikon di dalam solar cells panel 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 sel surya (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum).

Solar cells panel module memiliki kapasitas output: Watt hour. Solar cell 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).

## **2.10. Karakteristik Cell 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/m<sup>2</sup> yang tegak lurus sel surya pada suhu 25°C Modul photovoltaic memiliki hubungan antara arus dan tegangan. Pada saat tahanan variable bernilai tak terhingga (open circuit) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan open circuit (Voc).

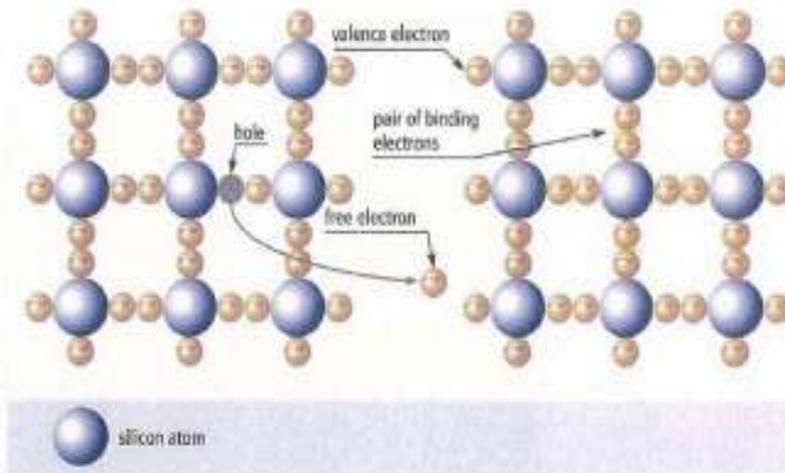
Pada keadaan yang lain, ketika tahanan variable bernilai nol (short circuit) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus short circuit (Isc). Jika tahanan variable memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga maka arus (I) dan tegangan (V) akan diperoleh

nilai yang bervariasi. Besar daya (P) yang dihasilkan oleh sel surya setara dengan kuadrat besar tegangan (V) yang dihasilkan dibagi dengan hambatan (R) yang dilalui, yaitu :

$$P = V^2/R \dots\dots\dots ( \text{Lit 2, hal 572} )$$

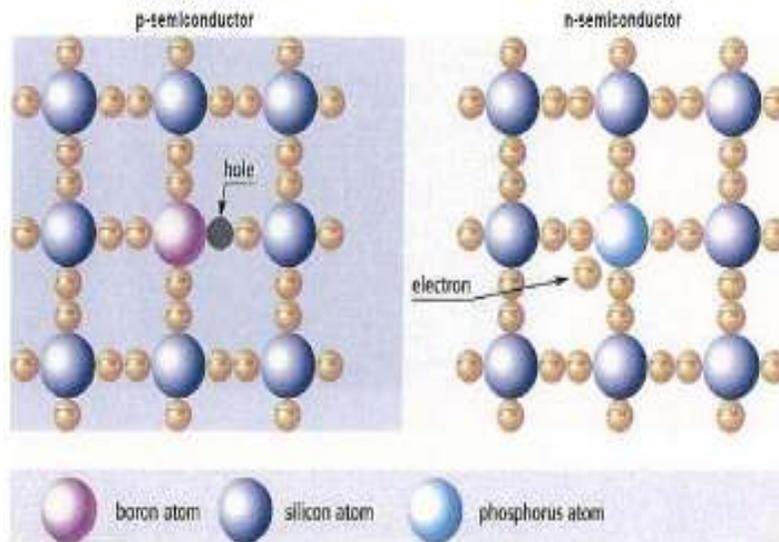
### 2.11. Prinsip Kerja Cell Surya (*Photovoltaic*)

Silikon kemurnian tinggi dengan kualitas Kristal yang tinggi pula, diperlukan untuk membuat sel surya. Atom – atom silicon tersebut membentuk suatu kisi kristal yang stabil. Tiap atom silicon memiliki empat ikatan electron (electron valensi) dikulit terluarnya. Untuk membentuk konfigurasi electron yang stabil didalam kisi kristal, dua electron dengan atom yang saling berdekatan membentuk suatu ikatan pasangan elektron. Dengan membentuk ikatan pasangan electron dengan empat atom yang berdekatan, silicon mencapai konfigurasi gas mulanya yang stabil dengan delapan elektron dikulit terluarnya. Suatu ikatan elektron bisa dipisahkan dengan pemberian cahaya atau panas. Elektron tersebut kemudian bebas bergerak dan menuju suatu rongga di dalam kisi kristalnya yang dikenal sebagai konduktivitas intrinsik.



**Gambar : 2.13. Struktur Kristal Silikon dan Konduktivitas Intrinsik**

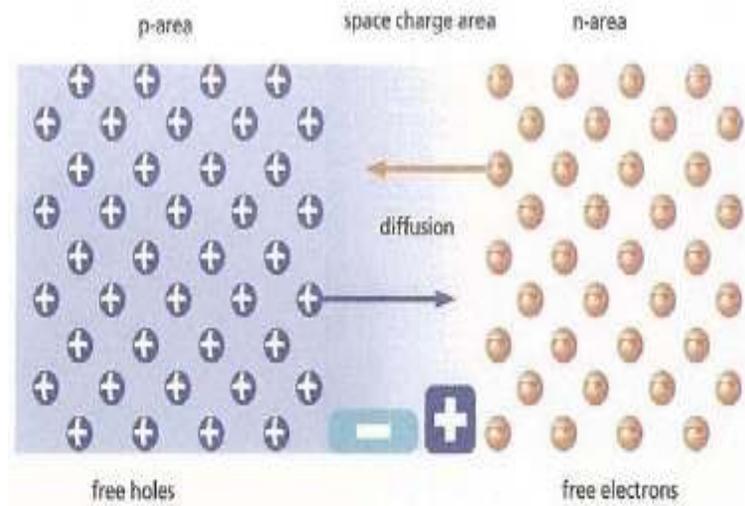
Konduktivitas intrinsik tidak bias digunakan dulu untuk menghasilkan listrik. Maka material silikon dapat digunakan untuk menghasilkan energi, pengotornya dengan bebas masuk kedalam kisi kristal. Hal ini disebut sebagai atom doping (*doping atoms*), lihat (Gambar 2.9). Atom-atom ini memiliki satu electron lebih banyak (fosfor) dan satu electron lebih sedikit (boron) dari pada silikon dikulit electron terluarnya. Sehingga, *doping atoms* menghasilkan atom pengotor (*impurity atom*) didalam kisi kristal.



**Gambar : 2.14. Konduksi Ekstrinsik pada Silikon - *doped* dan *p-doped***

Pada fosfor *doping* (*phos phorus doping, n-doped*), terdapat kelebihan elektron untuk setiap atom fosfor didalam kisi. Elektron ini dapat bergerak bebas didalam kristal dan dapat membawa muatan listrik. Pada *boron doping (p-doped)*, terdapat suatu rongga (ikatan elektron yang hilang) untuk setiap atom boron pada kisi. Elektron- elektron dari atom silikon yang berdekatan dapat mengisi rongga ini, membentuk sebuah rongga baru ditempat lain. Metode konduksi yang berdasarkan pada *doping atoms* ini dinamakan konduksi pengotor (*impurity conduction*) atau konduksi ekstrinsik. Pada material-*doped* atau *p-doped*, muatan-muatan bebas tidak memiliki arah yang ditentukan untuk pergerakannya.

Jika lapisan semi konduktor n dan p-doped secara bersamaan, akan membentuk suatu sambungan positif negatif (*p-njunction*). Pada sambungan ini, kelebihan electron dari semi konduktor n terdifusi ke dalam lapisan semi konduktor p. Hal ini akan membentuk sebuah daerah (*region*) dengan sedikit pembawa (*carrier*) muatan bebas (lihat Gambar 2.11). Daerah ini dikenal sebagai daerah muatan ruang (*space charge region*) yang secara positif mengisi muatan pada *doping atoms* yang tersisa didalam daerah transisi n dan secara negative mengisi muatan pada *doping atoms* yang tersisadi dalam daerah transisi p.

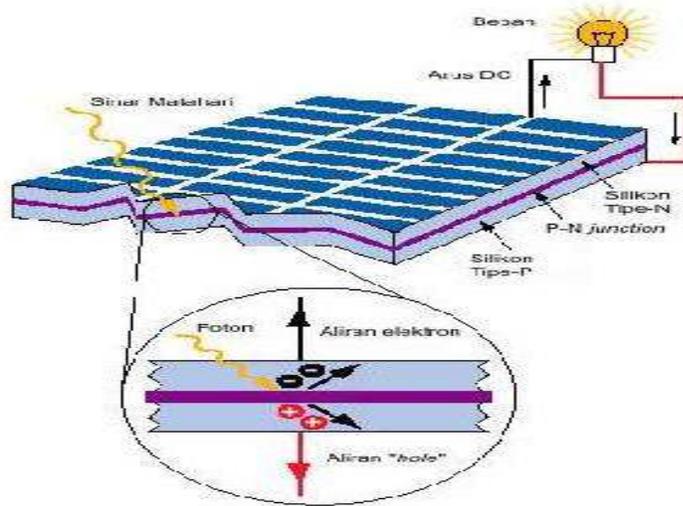


**Gambar : 2.15. Pembentukan Daerah Muatan Ruang pada Sambungan p-n melalui Difusi Elektron dan Lubang.**

Jika semi konduktor p-n (sel surya) sekarang diarahkan menghadap cahaya, maka foton akan diserap oleh elektron. Energi masukan ini akan memecah ikatan electron. Elektron yang terlepas akan tertarik melewati medan listrik, menjadi daerah n (*n-region*). Rongga yang terbentuk akan berpindah ke arah berlawanan menjadi daerah p. Proses ini secara keseluruhan disebut sebagai efek *photovoltaic*. Difusi pembawa muatan ke hubungan listrik akan menyebabkan timbulnya tegangan yang ada pada sel surya. Pada keadaan tak berbeban timbul tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*) pada sel surya. Jika rangkaian listriknya ditutup, arus akan mengalir.

Jika lapisan P dan lapisan N dihubungkan dengan beban, maka akan mengalir arus dari lapisan N menuju lapisan P (untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar (2.11)).

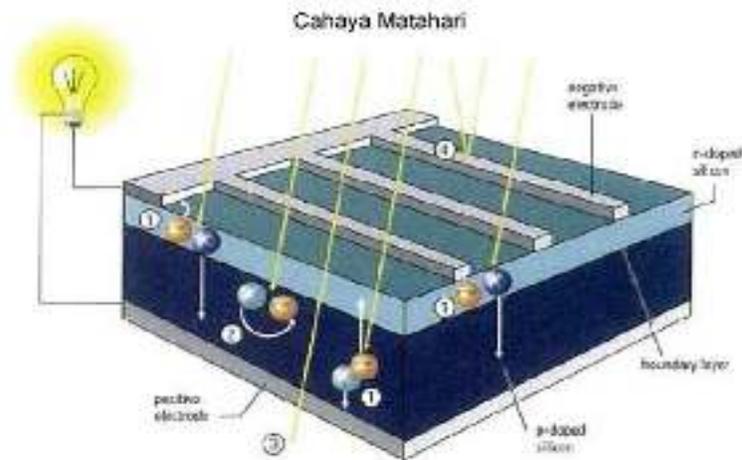
Beberapa elektron tidak mampu mencapai kontak dan akan menyatu ulang (*recombine*) pada ikatan electron bebas dengan atom yang kekurangan electron terluar (rongga). Panjang difusi dalam hal ini adalah jarak rata-rata elektron pada kisi kristalnya selama waktu hidupnya hingga menyatu dengan atom yang kehilangan electron serta terikat dengannya. Panjang difusi tergantung pada jumlah atom pengotornya didalam Kristal dan harus cukup besar sehingga cukup untuk sejumlah pembawa muatan mencapai kontak dengan Panjang difusi tergantung pada materialnya. Pada satu atom pengotor Kristal (*doping*) ke 10 milyar atom silicon jaraknya 0,5mm.



**Gambar : 2.16. Proses Pembangkit Energi Listrik Pada Sebuah *Photovoltaic***

## **2.12. Perancangan dan Pendayagunaan Sel Surya Silikon *Crystalline***

Sel surya silikon *crystalline* klasik, terdiri dari dua lapisan *doped silicon* yang berbeda. Lapisan yang menghadap cahaya matahari secara negative di-*dope* dengan fosfor dan lapisan di bawahnya secara positif di-*dope* dengan boron. Pada lapisan batasnya terjadi pemisahan muatan (elektron dan rongga), yang akan terjadi medan listrik jika terkena cahaya matahari. Agar dapat mengambil daya dari sel surya, kontak logam perlu dipaskan pada bagian depan dan belakang sel. Pada bagian belakang sel surya, lapisan kontak diseluruh permukaannya menggunakan material aluminium atau pasta perak. Pada bagian depan, dirancang agar membiarkan cahaya masuk sebanyak mungkin, biasanya menggunakan material silikon nitride atau titanium oksida sebagai lapisan anti pantul yang mengurangi pemantulan cahaya.



Notes:

1. charge separation;
2. recombination;
3. unused photon energi(e.g. transmission);
4. reflection and shading caused by front contacts.

**Gambar : 2.17. Desain dan Prinsip Kerja Sel Photovoltaic**

Seperti telah dijelaskan diatas, ketika cahaya mengenai sel surya pembawa muatan akan memisahkannya dan jika suatu beban dihubungkan maka arus akan mengalir. Kerugian terjadi pada sel surya akibat dari penyatuan ulang, pemantulan, dan bayangan yang disebabkan oleh kontak bagian depan. Disamping itu, adanya radiasi gelombang panjang dan pendek yang tidak dapat digunakan. Kerugian pada transmisi ditunjukkan pada Gambar 2.13. Bagian energy yang tidak digunakan kemudian diserap dan diubah menjadi panas. Masing-masing komponen yang hilang pada sel surya silicon *crystalline* ditunjukkan pada kesetimbangan energi berikut ini. Kesetimbangan energi pada sel surya *crystalline* 100% energi pancaran matahari :

- 3% pemantulan dan bayangan yang disebabkan oleh kontak bagian depan.
- 23% energi foton yang terlalu rendah pada radiasi panjang gelombang yang panjang.
- 32% energi foton yang terlalu tinggi pada radiasi panjang gelombang yang pendek
- 8,5% hilang akibat penyatuan ulang
- 20% perbedaan potensial pada sel, terutama pada daerah muatan ruang
- 0,5% tahanan seri (rugi secara ohm)
- 13% energi listrik yang dapat dimanfaatkan

### 2.13. Dasar Teori Sel Surya

Sel surya terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semi konduktor dengan kutub positif dan negatif. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 volt. Sel surya merupakan elemen aktif (Semi konduktor) yang memanfaatkan efek fotovoltaiik untuk merubah energi surya menjadi energi listrik.

Pada sel surya terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semi konduktor yang masing-masing diketahui sebagai semi konduktor jenis "P" (positif) dan semi konduktor jenis "N" (negatif).

Semi konduktor jenis-N dibuat dari kristal silikon dan terdapat juga sejumlah material lain ( umumnya posfor ) dalam batasan bahwa material tersebut dapat memberikan suatu kelebihan elektron bebas.

Elektron adalah partikel sub atom yang bermuatan negatif, sehingga silikon paduan dalam hal ini disebut sebagai semi konduktor jenis-N ( Negatif ). Semi konduktor jenis-P juga terbuat dari kristal silikon yang didalamnya terdapat sejumlah kecil materi lain (umumnya boron) yang mana menyebabkan material tersebut kekurangan satu elektron bebas. Kekurangan atau hilangnya elektron ini disebut lubang (*hole*). Karena tidak ada atau kurangnya elektron yang bermuatan listrik negatif maka silikon paduan dalam hal ini sebagai semi konduktor jenis-P ( Positif ).

## 2.14. Daya Dan Efisiensi

Sebelum mengetahui daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui energi yang diterima, dimana energi tersebut adalah perkalian intensitas radiasi yang diterima dengan luasan dengan persamaan :

$$E = I_r \times A$$

dimana :

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari (  $W/m^2$  )

$A$  = Luas permukaan (  $m^2$  )

Sedangkan untuk besarnya daya sesaat yaitu perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

dimana :

$P$  = Daya (Watt),

$V$  = Beda potensial (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

Radiasi surya yang mengenai sel fotovoltaik dengan menggunakan alat pyranometer adalah dalam satuan mV sehingga harus dikonversikan menjadi  $W/m^2$  , persamaan yang digunakan adalah :

$$I_r = \frac{I_r \text{ (mV)}}{21,13} \times 1000 \quad (W/m^2)$$

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari sinar matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

$$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \%$$

Sehingga efisiensi yang dihasilkan :

$$\eta_{\text{sesaat}} = \frac{P}{I_r \times A} \times 100 \%$$

dimana:

$\eta$  = Efisiensi (%)

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$P$  = Daya listrik (Watt)

$A$  = Luasan sel surya (m<sup>2</sup>)

Apabila pengguna menginginkan tegangan maupun arus yang lebih besar, maka panel solar cell dapat dirangkai secara seri atau paralel maupun kombinasi keduanya. Bila panel dirangkai seri maka tegangan yang naik tetapi bila dirangkai paralel maka arus yang naik.

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1. Lokasi Pengujian**

Lokasi penelitian pengujian solar cell (Potovoltaik) dari bulan 11 Februari – 11 Maret di lakukan di Laboratorium Energy Terbarukan Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

#### **3.2. Alat dan Bahan**

##### **3.2.1. Alat**

Alat yang digunakan saat percobaan adalah sebagai berikut:

##### **1. Kipas Angin**

Spesifikasi dari Kipas Angin Sebagai berikut :

$$V = 12 \text{ volt}$$

$$I = 0,25 \text{ A}$$



Gambar : 3.1. Kipas Angin

##### **2. Data Logger Kecepatan Aliran (Av)**

Udara panas yang dihasilkan kolektor surya akan dimasukkan/dialirkan ke kotak pengering dengan bantuan kipas atau konveksi paksa sehingga diharapkan kopi cepat kering. Alat untuk mengukur kecepatan aliran kipas yang digerakkan potovoltaik diukur dengan alat pengukur kecepatan alirang yang dihubungkan dengan laptop.



Gambar : 3.2. Data loger kecepatan aliran (Av)

### 3. Multitester Digital

Alat ini berfungsi sebagai alat ukur yang dipakai untuk mengukur tegangan listrik, arus listrik, dan tahanan (resistansi). sedangkan pada perkembangannya Multitester masih bisa digunakan untuk beberapa fungsi seperti mengukur temperatur, induktansi, frekuensi, dan sebagainya. Ada juga orang yang menyebut multimeter dengan sebutan AVO meter, yang maksudnya A (ampere), V(volt), dan O(ohm).



Gambar : 3.3. Multitester Digital

### 4. Agilent 3 a972 A

Alat ini dihubungkan dengan termocouple yang dipasang pada titik-titik yang akan diukur temperaturnya, setelah itu akan disimpan ke dalam alat ini, setelah itu dipindahkan ke komputer untuk dapat diolah datanya.



Gambar : 3.4. Agilent 3a 972 A

Dengan Spesifikasi :

- a. Daya 35 Watt
- b. Jumlah Saluran Termokopel 20 buah
- c. Tegangan 250 Volt
- d. Mempunyai 3 saluran utama
- e. Dapat memindai data hingga 250 saluran per detik
- f. Mempunyai 8 tombol panel dan sistem control
- g. Fungsional antara lain pembacaan suhu Termokopel,RTDdan Termistor, arus listrik AC

## 5. Hobo Microstation Data Logger

Alat ini di hubungkan ke data logger untuk kemudian dihubungkan ke komputer untuk diolah datanya. Terdapat beberapa alat ukur pada Hobo Microstation data logger yaitu :

- a. Pyranometer  
Alat ini digunakan untuk mengukur radiasi matahari pada suatu lokasi.
- b. Wind Velocity Sensor  
Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan angin
- c. Ambient Measurement apparatus  
Alat ini digunakan untuk mengukur temperature lingkungan sekitar.
- d. T and RH smart sensor  
Alat ini digunakan untuk mengukur kelembaban and temperature lingkungan sekitar.



Gambar : 3.5. Hobo Microstation Data Logger

Spesifikasi alat ini adalah :

- Skala pengoperasian : 20 °C -50 °C dengan baterai alkalin  
40 °C -70 °C dengan baterai lithium
- Input Processor : 3 buah sensor pintar *multi channel monitoring*
- Ukuran : 8,9 cm x 11,4 cm x 5,4 cm
- Berat : 0,36 Kg
- Memori : 512 Kb Penyimpanan data *nonvolatileflash*
- Interval Pengukuran : 1 detik – 18 jam (tergantung pengguna)
- Akurasi Waktu : 0 – 2 detik

## 6. Laptop

Digunakan untuk menyimpan dan mengolah data yang telah didapat dari pengujian solar cell.



Gambar : 3.6. Laptop

## 7. Sell Surya (Potovoltaik)

Potovoltaik 100WP dan 5.4 A



Gambar : 3.7. Potovoltaik

## 8. Kolektor Surya Plat Datar



Gambar : 3.8. Kolektor Surya Plat Datar



Gambar : 3.9. Kotak Pengering



Gambar : 3.10.Pipa Fleksibel Aluminium Foil

### 3.2.2. Bahan

Adapun beberapa bahan yang digunakan untuk pengujian yaitu :

#### 1. Biji Kopi

Varietas kopi yang dipakai, yaitu kopi arabika (*coffea arabica*) dari Doloksanggul. Kopi arabika merupakan tipe kopi tradisional yang berasal dari Etiopia dan sekarang telah dibudidayakan di berbagai belahan dunia. Pada percobaan ini, biji kopi digunakan sebagai bahan utama pengujian varietas Arabica Sidikalang dan Doloksanggul.



Gambar : 3.11. Kopi Arabika Sidikalang



Gambar : 3.12 Kopi Arabika Doloksanggul

### 3.3. Prosedur Pengambilan Data (Cara Kerja )

1. Lokasi pengujian di Lab Energi Terbarukan Universitas Sumatera Utara.
2. Perangkat pengujian di letakkan di lantai 5 gedung Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
3. Pada pengujian ini menggunakan 3 buah alat ukurtermokopel (Agilent) yang di letakkan sekitar kotak pengering dan Kolektor Surya untuk mengetahui besar panas yang ada dalam kotak pengering. Sementara untuk mengetahui besar radiasi dan kelembapan serta kuat angin digunakan HOB0.
5. Dua buah Multitester Digital dipasang diantar keluaran sell surya ( kabel yang ke kipas) dan control carger untuk mengukur tegangan
6. Untuk mengetahui kecepatan kipas dalam menggerakkan panas yang berasal dari kolektor surya di gunakan Software kecepatan Aliran yang terkoneksi ke Laptop
7. Pengambilan data pada alat ukur dilakukan 1 menit sekali, pengujian dimulai dari jam 09.00 – 17.00 WIB selama 33 jam atau 1 hari9 jam hingga kadar air kopi 50% dari sebelumnya 90% (basah atau buah labu dengan cangkang).

