

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Dari kebutuhan yang sifatnya mendasar seperti untuk kebutuhan rumah tangga hingga untuk kebutuhan komersial, hampir semuanya membutuhkan energi listrik. Tetapi saat ini, ketersediaan sumber energi listrik tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia. Terjadinya pemutusan sementara dan pembagian energi listrik secara bergilir merupakan dampak dari terbatasnya energi listrik yang dapat disalurkan oleh PLN.

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi listrik adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang ada, jumlahnya terbatas dan energi fosil ini juga merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui, jadi butuh jutaan tahun untuk menciptakannya. Karena kelangkaan tersebut, tentu saja akan berdampak terhadap segi ekonominya. Keterbatasan tersedianya sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik, telah mendorong penelitian dan pengembangan kearah penggunaan sumber energi alternatif, salah satunya adalah sumber energi matahari. Potensi dari sumber matahari dapat memberikan sumbangan yang besar, bila dapat dimanfaatkan secara optimal dengan mendesain suatu sistem pengubah energi yang dapat mensuplai kebutuhan energi. Penggunaan sumber energi matahari ini mempunyai beberapa keuntungan antara lain tersedianya sumber energi yang cuma-cuma, ramah lingkungan sehingga bebas polusi, dan tak terbatas. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian yang lebih detail untuk memahami sistem listrik yang berasal dari sumber energi yang dihasilkan berubah-ubah tergantung pada musim dan lingkungan. Hal ini akan sangat dirasakan pada daerah dimana intensitas mataharinya berubah-ubah secara ekstrim. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem penyimpanan energi yaitu *accumulator* atau baterai. Energi matahari yang dihasilkan dari matahari dapat digunakan untuk *charging* daya ke *accumulator* untuk selanjutnya dari *accumulator* tersebut dapat digunakan untuk mencatu beban. Dengan latar belakang tersebut, penulis berupaya untuk mencari karakteristik pencatuan solar cell terhadap kapasitas sistem

penyimpanan energi baterai. Dan diharapkan penulisan skripsi ini akan sangat berguna bagi kepentingan umum.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan dari skripsi ini adalah untuk membandingkan besar tegangan, kuat arus yang dihasilkan dan kalor yang dapat diserap oleh modul berbahan tembaga akibat kaca hitam dan kaca putih dengan ketebalan 5 mm.

1.3. Pembatasan Masalah

Pada pembahasan disini agar lebih terarah sesuai dengan tujuan, maka pokok pembahasan perlu dibatasi oleh batasan-batasan sebagai berikut :

1. Merancang *solar cell* tenaga surya dengan tipe LCD (tipis) dengan luas kolektor 24,5 cm x 26 cm sebanyak 2 penampang.
2. Perancangan dan pengujian dilakukan di Universitas HKBP Nommensen Medan lokasi berada pada 3,3⁰ LU dan 98,4⁰ BB.
3. Pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan, kuat arus, temperatur kaca, energi surya serta efisiensi yang dihasilkan *LCD solar cell*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk menguji dan mengetahui besar tegangan, kuat arus serta energi matahari yang dihasilkan oleh modul *LCD Solar Cell* dari jam 08.00 WIB - 16.00 WIB selama 2 hari.
2. Untuk menyimpan arus serta tegangan yang dihasilkan kedalam *accumulator* atau baterai sampai penuh lalu dapat langsung dipergunakan untuk menghidupkan lampu, *charger handphone*, serta mampu mengoperasikan kipas angin.

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Survey hasil lapangan.
2. Studi Literatur, yakni berupa studi kepustakaan, kajian dari buku-buku, dan tulisan-tulisan yang terkait.

3. Diskusi, yakni berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing, dosen pembimbing yang disediakan oleh Jurusan Teknik Mesin UHN mengenai kekurangan-kekurangan di dalam tulisan tugas akhir ini.

1.6. Diagram Alir Perancangan



Gambar 1.1 Diagram Alir Perancangan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Dasar Konduksi

Konduksi adalah Transfer energi dari partikel yang memiliki energi lebih besar ke substansi dengan energi yang lebih rendah dan sebagai hasilnya terjadi interaksi antara partikel.

$$\text{Rumus Umum : } \mathbf{q = -k \cdot A \frac{dT}{dx}} \dots\dots\dots(\text{lit 1, Hal. 2})$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas (w).

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m²).

dT /dx = Gradien suhu pada penampang, atau laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x.

k = Konduktivitas thermal bahan (w/mK).

2.2. Konveksi

Konveksi adalah bentuk dari transfer energy diantara permukaan padat dan fluida yang bergerak dan terkandung efek kombinasi konduksi dan fluida bergerak.

$$\text{Rumus umum : } \mathbf{q = h \cdot A \cdot \Delta T} \dots\dots\dots(\text{lit 1, Hal. 11})$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi.

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (w/m² K).

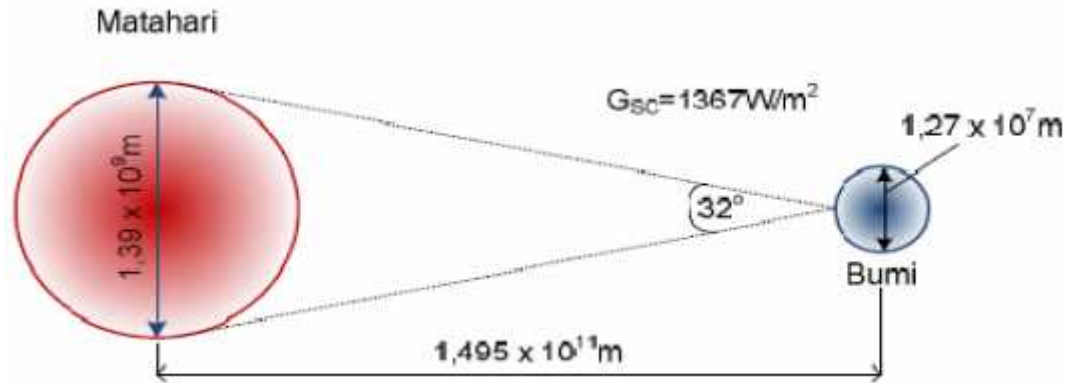
A = Luas penampang (m²).

T = Perubahan atau perbedaan suhu (°K).

2.3. 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 2.1 menampilkan hubungan antara matahari dan bumi. Pada gambar juga ditampilkan nilai konstanta matahari G_{SC} , yang merupakan daya radiasi rata-rata yang diterima bumi (diluar atmosfer) dari matahari pada arah tegak lurus permukaan.



Gambar 2.1 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. Perbedaan jarak ini hanya sekitar 3,3% dari jarak rata-rata. 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) :

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

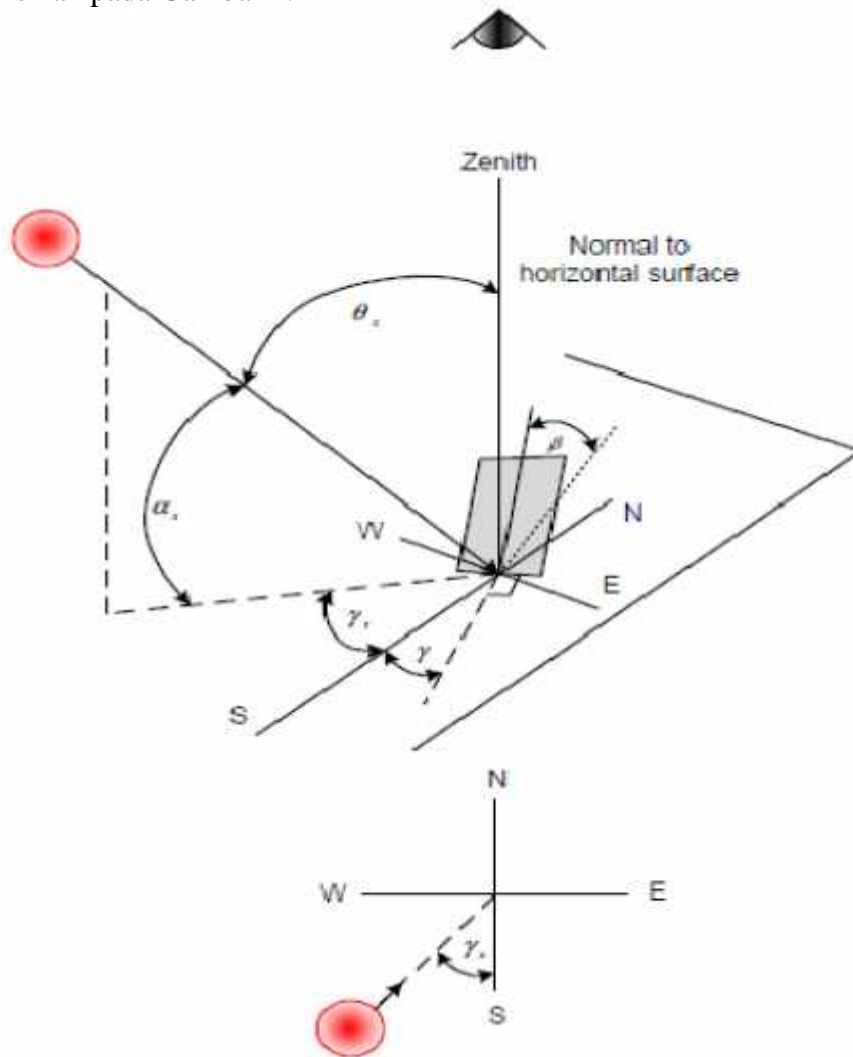
Sementara $G_{SC} = 1367 \text{ W/m}^2$ adalah konstanta surya. Untuk yang lebih teliti dapat digunakan persamaan yang diajukan oleh Spencer (1971) :

$$G_{on} = G_{SC} (1,00011 + 0,034221 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B) \quad (2)$$

Dimana B dirumuskan dengan :

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

Karena garis edar semu matahari di angkasa cukup kompleks, maka akan dikenal beberapa sudut untuk mendefenisikannya. Beberapa sudut akan didefenisikan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Sudut-sudut sinar dan Posisi matahari

Slope adalah sudut antara permukaan yang dianalisis dengan horizontal. Nilai $0 \leq \leq 90^0$. Sudut azimuth permukaan adalah sudut penyimpangan sinar pada bidang proyeksi dimana 0^0 pada selatan dan positif ke barat. Sudut penyinaran θ (*angle accident*) adalah sudut yang dibentuk sinar dan garis normal dari suatu permukaan. Sudut zenith θ_z adalah sudut yang dibentuk garis sinar terhadap garis zenith. Sudut ketinggian matahari α_s (*solar altitude angel*) adalah sudut antara sinar dengan permukaan. Sudut azimuth matahari γ_s adalah sudut antara proyeksi matahari terhadap selatan, ke timur adalah negatif dan ke barat adalah positif.

Sudut lain yang sering digunakan dalam menentukan jumlah radiasi yang dapat diterima oleh sebuah permukaan di bumi antara lain sudut deklinasi δ , yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya. Kemudian sudut jam ω adalah sudut pergeseran semu matahari dari garis siang. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam, ω berkurang 15^0 dan setiap bertambah 1 jam, ω 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) :

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (7)$$

Spencer (1971) mengajukan persamaan yang lebih teliti :

$$\delta = c_1 + c_2 \cos B + c_3 \sin B + c_4 \cos 2B + c_5 \sin 2B + c_6 \cos 3B + c_7 \sin 3B \quad (8)$$

Dimana: $C_1 = 0,006918$ $C_3 = 0,070257$ $C_5 = 0,000907$
 $C_2 = -0,399912$ $C_4 = -0,006758$ $C_6 = -0,002679$
 $C_7 = 0,00148$

Maka B dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan n adalah urutan hari pada suatu tahun. Berdasarkan bulan yang diketahui ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Urutan hari berdasarkan bulan

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	$334 + i$

Karena jarak matahari-bumi, persamaan waktu (E), dan sudut deklinasi bervariasi terus, maka sudut jatuhnya sinar pada suatu permukaan akan bervariasi. Persamaan yang diajukan oleh Beckman (1991) dapat digunakan menghitung besar sudut ini :

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \quad (9) \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

Atau

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (10)$$

Kedua persamaan ini berlaku umum, dimana semua sudut diperhitungkan. Ada beberapa kasus yang umum dipakai dalam perhitungan sudut penyinaran, misalnya jika suatu permukaan tepat diletakkan pada garis utara-selatan. Hal ini umum dilakukan saat menempatkan sebuah solar kolektor. Pada kasus ini sudut azimuth (lihat Gambar 2.2) akan bernilai nol $= 0$ atau $= 90$.

- Pada permukaan vertikal ($\beta = 90^\circ$), persamaan (9) menjadi :

$$\begin{aligned} \cos \theta &= -\sin \delta \cos \phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \quad (11) \end{aligned}$$

- Pada permukaan datar ($\beta = 0^\circ$), persamaan (9) menjadi :

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (12)$$

- Dan sudut azimuth matahari dihitung dengan persamaan berikut :

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \phi} \right) \right| \quad (13)$$

2.4. 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 :

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

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 dipermukaan luar atmosfer bumi sebagian akan diteruskan (ditransmisikan) sampai ke permukaan bumi. Pada kondisi langit cerah dapat dihitung dengan metode yang diajukan oleh Hottel (1976).

$$\tau_h = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{k}{\cos\theta_z}\right) \quad (2)$$

Dimana a_0 , a_1 dan k untuk standard atmosfer jika ada jarak pandang 23 km dan untuk ketinggian kurang dari 2,5 km adalah :

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

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

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

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 yang ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Faktor Koreksi Iklim

Iklim	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Midiatude summer	0,97	0,99	1,02
Subarctic summer	0,99	0,99	1,01
Midiatude winter	1,03	1,01	1,00

Radiasi pada langit cerah searah normal dapat dihitung dengan persamaan :

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

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

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

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

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

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 :

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

3. Estimasi radiasi perjam dari data harian

Fraksi satu jam radiasi dari radiasi harian rata-rata bulanan pada permukaan horizontal didefinisikan dengan persamaan :

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

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

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

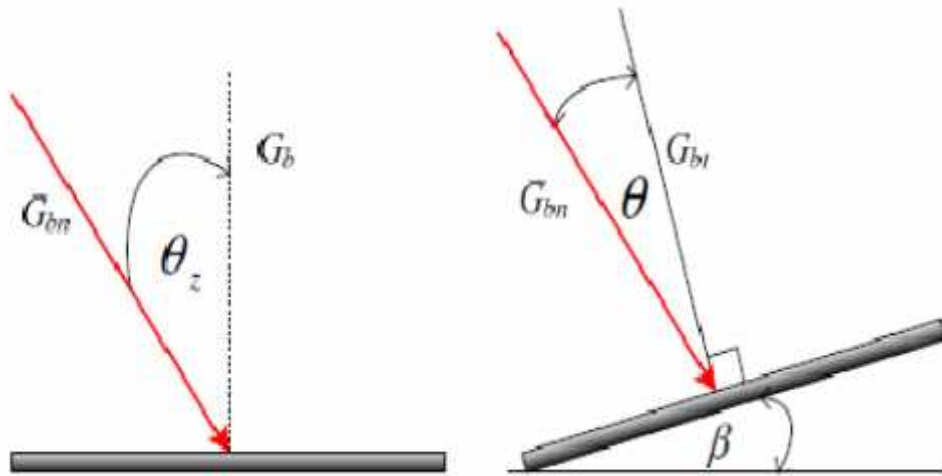
Koefisien a dan b diberikan dengan persamaan berikut :

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

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

Pada persamaan ini ω adalah sudut jam dalam derajat, tepat pertengahan jam yang ditanya. Dan ω_s adalah sudut jam matahari terbenam.

4. Radiasi pada permukaan yang dimiringkan



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

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

Jika dengan menggunakan persamaan ini, hasil yang didapat terlalu besar, maka sebaiknya digunakan perbandingan rata-rata yang dihitung dengan persamaan :

$$R_{b,ave} = \frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \cos \theta d\omega}{\int_{\omega_1}^{\omega_2} \cos \theta_z d\omega} = \frac{a}{b} \quad (14)$$

Dimana :

$$a = (\sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma) \times \frac{1}{180} (\omega_2 - \omega_1) \pi \\ + (\cos \delta \cos \phi \cos \beta + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma) \times (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \\ - (\cos \delta \sin \beta \sin \gamma) \times (\cos \omega_2 - \cos \omega_1)$$

dan

$$b = (\cos \phi \cos \delta) \times (\cos \omega_2 - \cos \omega_1) \\ + (\sin \phi \sin \delta) \times \frac{1}{180} (\omega_2 - \omega_1) \pi \quad (15)$$

Dan ω_2 dan ω_1 masing-masing adalah sudut matahari pada waktu yang ditanyakan.

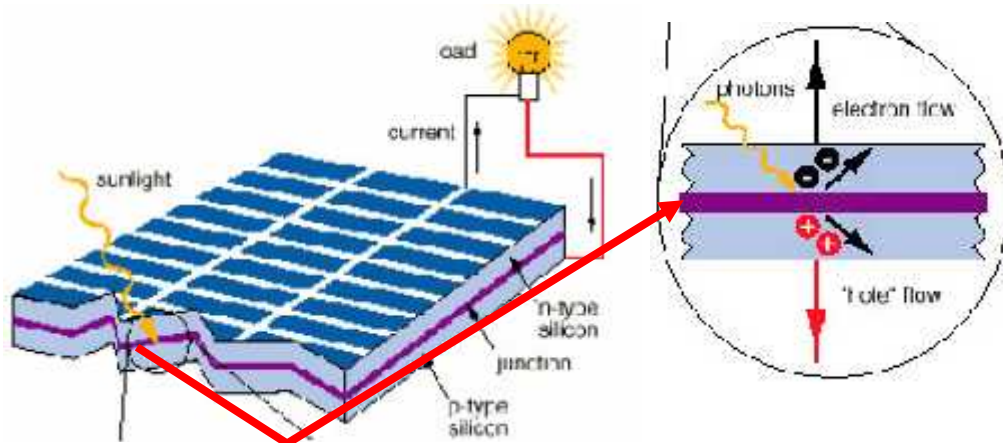
2.5. Sistem Pembangkit Listrik *Solar Cell*

Dalam cahaya matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, electron-elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric*. Sistem pembangkit listrik solar cell terdiri dari beberapa komponen antara lain :

1. Merancang solar cell sebanyak 2 penampang.
2. Menggunakan bahan tembaga dengan ketebalan 0,5 cm dan luas penampang 18 cm x 20 cm.
3. Menggunakan 2 buah kaca dengan ketebalan 0,5 cm dan luas penampang 24,5 cm x 26 cm.
4. Kabel (*wiring*), yang merupakan komponen standar sebagai penghubung tempat mengalirkan arus listrik.
5. Air garam digunakan untuk membantu pengoksidasian pada plat tembaga yang mengandung *oxide* dengan plat tembaga yang tidak mengandung *oxide*.

2.6. Konversi Energi pada *Solar Cell*

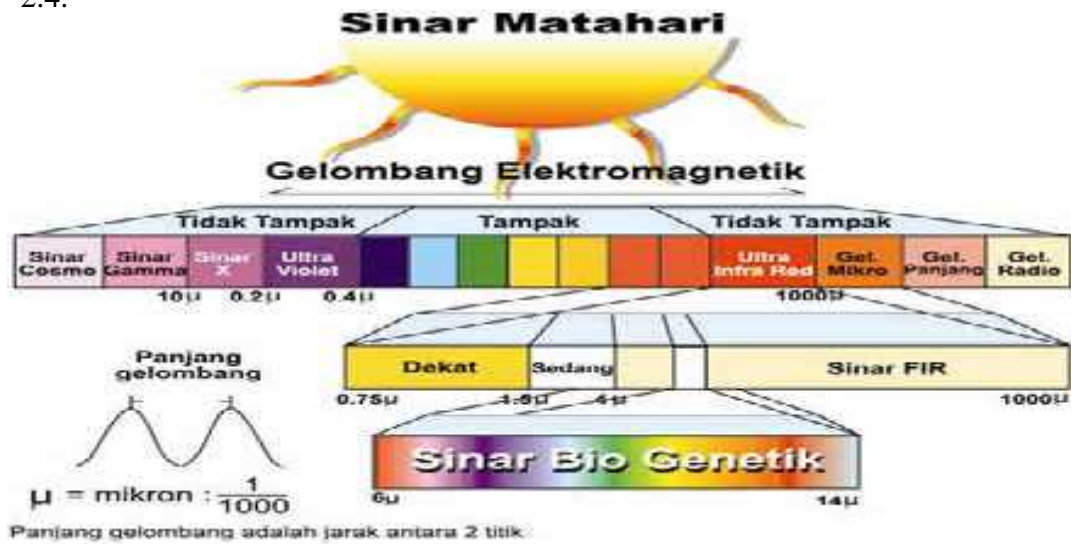
Secara sederhana solar cell terdiri dari persambungan bahan semi konduktor bertipe P dan tipe N (*P-N Junction semiconductor*) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran *electron* (aliran arus listrik).



Gambar 2.3. Struktur Lapisan Tipis Solar Cell Secara Umum

Bagian utama dari perubahan energi sinar matahari menjadi listrik adalah *absorber* (penyerap). Meskipun demikian, masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari *solar cell*.

Untuk bisa membuat agar foton yang diserap dapat sebanyak-banyaknya, maka *absorber* harus memiliki energi *band-gap* dengan *range* yang lebar, sehingga memungkinkan untuk bisa menyerap sinar matahari yang mempunyai energi sangat bermacam-macam. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik yang secara spectrum dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Spektrum Radiasi Matahari

Oleh karena itu, *absorber* disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin *solar radiation* yang berasal dari cahaya matahari. Salah satu bahan yang sedang banyak diteliti adalah *Copper* (Tembaga) yang dikenal merupakan salah satu dari *direct semiconductor*. Untuk mendapatkan daya yang cukup besar diperlukan banyak sel surya. Biasanya sel-sel surya itu sudah disusun sehingga berbentuk LCD (tipis) dengan luas kolektor 24,5 cm x 26 cm sebanyak 2 penampang.

Photovoltaic (PV) sebagai sumber daya listrik pertama kali digunakan di satelit. Kemudian dipikirkan pula PV sebagai sumber energi untuk mobil, sehingga ada mobil listrik surya. Sekarang, diluar negeri, PV sudah mulai digunakan sebagai atap atau dinding rumah. Bahkan Sanyo sudah membuat PV yang semi transparan sehingga dapat digunakan sebagai pengganti kaca jendela.

2.7. Sifat Fisik Tembaga

Pembuatan tembaga dilakukan dalam beberapa tahap. Tembaga terikat secara kimia di dalam bijih pada bahan yang disebut batu gang. Untuk mengumpulkan bijih-bijih itu biasanya dilakukan dengan membersihkannya dalam cairan berbuih. Dimana disitu ditiupkan udara. Ikatan tembaga dari bijih yang digiling sampai halus dicampur dengan air dan zat-zat kimia sehingga menjadi *pulp* (bubur) pada suatu bejana silinder.

Sifat Fisik Tembaga dapat dilihat dari tabel 2.3 :

1.	Nomor atom	29.
2.	Berat atom	63,546.
3.	Titik lebur	1,083 ⁰ C.
4.	Titik didih	2,567 ⁰ C.
5.	Kekuatan Tarik	Mendekati 19.000 psi.

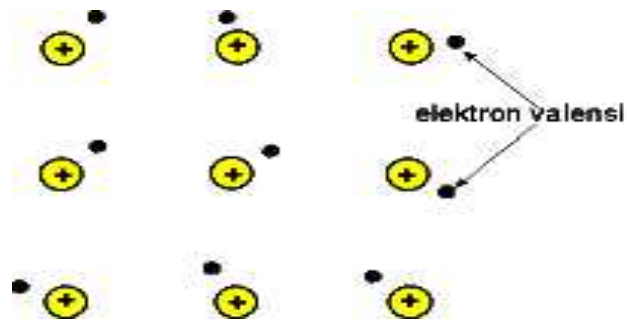
Tabel 2.3. Sifat Fisik Tembaga

➤ Semikonduktor dari Tembaga (Cu)

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Sebuah semikonduktor bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. Bahan semikonduktor yang sering digunakan adalah silicon, germanium dan gallium arsenide.

Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik, karena konduktansinya yang dapat berubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut pendonor elektron). Bahan-bahan logam seperti tembaga (Cu), besi (Fe), timah disebut sebagai konduktor yang baik sebab logam memiliki susunan atom yang sedemikian rupa, sehingga elektronnya dapat bergerak bebas. Sebenarnya atom tembaga dengan nama unsur kimia Cu memiliki inti 29 ion (+) dikelilingi oleh 29 elektron (-). Sebanyak 28 elektron menempati orbit-orbit bagian dalam membentuk inti yang disebut *nucleus*. Dibutuhkan energy

yang sangat besar untuk dapat melepaskan ikatan electron-electron ini. Satu buah elektron lagi yaitu yang ke-29, berada pada orbit paling luar. Orbit terluar ini disebut pita valensi dan elektron yang berada pada pita ini dinamakan elektron valensi. Karena hanya ada satu elektron dan jaraknya 'jauh' dari *nucleus*, ikatannya tidaklah terlalu kuat. Hanya dengan energi yang sedikit saja *electron* terluar ini mudah terlepas dari ikatannya. Atom tembaga (Cu) dapat dilihat pada Gambar 2.5. Ikatan Atom Tembaga (Cu).



Gambar 2.5. Ikatan Atom Tembaga (Cu)

➤ Larutan Air Garam

Larutan air garam adalah senyawa ionik yang terdiri dari ion positif (kation) dan ion negatif (anion), sehingga membentuk senyawa netral (tanpa bermuatan). Garam terbentuk dari hasil reaksi asam dan basa. Komponen kation dan anion ini dapat berupa senyawa anorganik seperti klorida (Cl^-), dan bisa juga berupa senyawa organik seperti asetat (CH_3COO^-) dan ion monoatomik seperti fluorida (F^-), serta ion poliatomik seperti sulfat (SO_4^{2-}). Natrium klorida (NaCl), bahan utama garam dapur adalah suatu garam.

Ada banyak macam-macam garam. Garam yang terhidrolisa dan membentuk ion hidroksida ketika dilarutkan dalam air maka dinamakan garam basa. Garam yang terhidrolisa dan membentuk ion hidronium di air disebut sebagai garam asam. Garam netral adalah garam yang bukan garam asam maupun garam basa. Larutan *Zwitterion* mempunyai sebuah anionik dan kationik ditengah dimolekul yang sama, tapi tidak disebut sebagai garam. Contohnya adalah asam amino, metabolit, peptida, dan protein.

Larutan garam dalam air (misalnya natrium klorida dalam air) merupakan larutan elektrolit, yaitu larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Cairan dalam tubuh makhluk hidup mengandung larutan garam, misalnya sitoplasma dan darah. Tapi, karena cairan dalam tubuh ini juga mengandung banyak ion-ion lainnya, maka tidak akan membentuk garam setelah airnya diuapkan.

2.8. Efek Temperatur

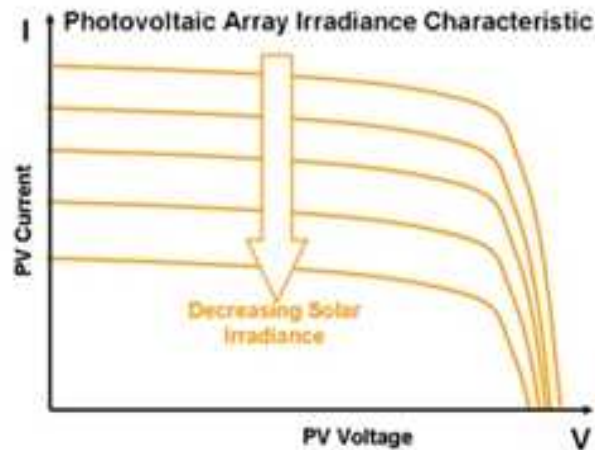
Bahan semikonduktor memiliki sifat sensitif terhadap temperatur, begitu juga *solar cell* dengan bahan *Copper* (Tembaga). Bertambahnya temperatur dapat mengurangi *band-gap*nya dari *solar cell*, sehingga akan berpengaruh terhadap beberapa parameter dari *solar cell*. Bertambahnya temperatur dapat dilihat sebagai peningkatan energi electron dari material. Sehingga untuk memutuskan ikatan membutuhkan energi yang lebih rendah dari kondisi normal. Pada model ikatan *band-gap* dengan bahan Tembaga (*Copper*), penurunan energi ikatan juga menurunkan *band-gap*. Oleh sebab itu, peningkatan suhu menurunkan *band-gap*.

Temperatur mempengaruhi persamaan karakteristik dengan dua cara, yaitu secara langsung melalui T pada bagian eksponensial dan secara tidak langsung, efeknya terjadi pada I_0 . Salah satu parameter *solar cell* yang dipengaruhi oleh temperatur adalah tegangan. Efek meningkatnya temperatur akan mengurangi secara linear nilai tegangan. Besarnya pengurangan ini secara terbalik sebanding terhadap V_C , dan sel dengan nilai V_C yang lebih tinggi, pengurangan nilai tegangannya akan lebih kecil ketika temperature naik. Berdasarkan salah satu sumber menyatakan bahwa temperatur yang tinggi dapat mengurangi efisiensi. Hal ini dikarenakan perubahan tegangan lebih besar daripada perubahan pada arus.

2.9. Efek Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari memiliki pengaruh yang penting baik pada arus, tegangan, dan efisiensi. Arus listrik secara langsung berhubungan dengan jumlah foton yang diserap oleh material dengan bahan Tembaga (*Copper*) dan kemudian sebanding dengan nilai intensitas cahaya, sedangkan tegangan hanya berubah sedikit ketika intensitas cahaya rendah. Intensitas cahaya matahari mungkin dapat

berbeda setiap hari, hal ini menyebabkan energi yang masuk ke *solar cell* juga akan berubah-ubah, bervariasi antara 0 sampai 1 kW/m². Berkurangnya intensitas cahaya menyebabkan arus yang melewati *solar cell* berkurang.



Gambar 2.6. Kurva Perubahan Intensitas Cahaya Matahari

2.10. Sejarah Solar Cell

Tenaga listrik dari cahaya matahari pertama kalinya 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 *elektrode* dengan berbagai macam cahaya.

Elektrode tersebut dibalut (*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 Bacquerel 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 Frits membuat Solar Cell pertama yang sesungguhnya yaitu suatu bahan *semiconductor* (selenium) dibalut 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 *photoelectric 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 *revolutioner*. 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.

[\(https://tenagamatahari.wordpress.com/beranda/sejarah-solar-cell/\)](https://tenagamatahari.wordpress.com/beranda/sejarah-solar-cell/)

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1. Lokasi Penelitian

Metode penelitian menggunakan metode eksperimental dengan membuat peralatan dan melakukan serangkaian pengujian serta pengambilan data-data terhadap *solar cell* pembangkit listrik tenaga surya dengan pengisian baterai sebagai alat untuk mengisi arus listrik. Penelitian ini dilakukan di **Universitas Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Metalurgi Fisik Mesin HKBP Nommensen Medan**.

3.2. Instalasi *Solar Cell* Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Instalasi *Solar Cell* pembangkit listrik tenaga surya terbuat dari Lempengan Tembaga (*Copper*) dengan ketebalan 0,5 cm dan luas kolektor 360 cm² dengan panjang 20 cm serta lebar 18 cm. Lalu dilapisi kaca *laminated* sebagai reflektornya dengan ketebalan 0,5 cm dan luas kaca 637 cm² dengan panjang 24,5 cm serta lebar 26 cm. Kemudian diisi air yang sudah bercampuran larutan garam dapur kedalam kolektor dengan ketingginya kira-kira 1 inchi dari atas lempeng agar terjadi listrik statis dalam lempengan kolektor tersebut.



Gambar 3.1. Gambar Instalasi *Solar Cell* Pembangkit Listrik Tenaga Surya

3.3. Alat dan Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam perancangan *solar cell* pembangkit listrik tenaga surya adalah :

1. Sebuah Lempengan Tembaga (*Copper*) dengan ketebalan 0,5 mm dan luas kolektor 360 cm² dengan panjang 20 cm serta lebar 18 cm.
2. Kaca *Laminated* warna hitam dan putih dengan ketebalan 0,5 cm dan luas kaca 637 cm² dengan panjang 24,5 cm serta lebar 26 cm.
3. Sepasang caput listrik buaya (hitam dan putih)
4. *Multitester*
5. Kompor listrik untuk membakar tembaga (Cu) menghasilkan *black-oxide*.
6. Garam Dapur sebanyak dua sendok makan
7. Lem silikon
8. Double-tip
9. Air panas
10. Amplas (kertas pasir) nomor 1000 mesh dan 1200 mesh
11. Asam *Hydrochloride* (HCl)
12. Alkohol 100%
13. Pisau *Cutter* / Gunting
14. Kabel (*wiring*)
15. *Termometer*
16. *Solar Power Meter* untuk mengukur radiasi matahari.
17. *Digital Anemometer* untuk mengukur kecepatan angin.

3.4. Prosedur Perancangan

Prosedur Perancangan yang akan kita lakukan dalam perancangan *solar cell* pembangkit listrik tenaga surya, sebagai berikut :

1. Langkah pertama yaitu memotong lempengan Tembaga (*Copper*) menjadi 2 bagian dengan ukuran 18 cm x 20 cm.
2. Gunakan kertas pasir untuk menghilangkan karat yang ada pada lempengan Tembaga (*Copper*) pertama.
3. Cuci tangan sehingga tidak ada minyak yang melekat pada lempengan tersebut.
4. Cuci lempengan Tembaga (*Copper*) dengan metode cleaning berguna untuk membersihkan lempengan dari minyak yaitu dengan cara merendam lempengan tembaga kedalam larutan Asam *Hydrochloride* (HCl) selama 5 detik kemudian dibersihkan dengan menggunakan Alkohol 100 % lalu dikeringkan.
5. Kemudian panggang lempengan Tembaga (*Copper*) yang bersih dan kering tersebut kedalam kompor listrik.
 - a. Untuk bahan *Copper* I : Temperatur pemanasan 350°C
Dilapisi dengan kaca putih
Waktu Pemanasan 55 menit
Waktu Penahanan 10 menit
 - b. Untuk bahan *Copper* II : Temperatur pemanasan 450°C
Dilapisi dengan kaca hitam
Waktu Pemanasan 65 menit
Waktu Penahanan 20 menit
6. Ketika lempengan Tembaga (*Copper*) mulai panas, maka akan terlihat perubahan warna pada lempengan tersebut yaitu oranye, ungu, dan merah akan menutupi permukaan lempengan.
7. Setelah dipanggang selama waktu yang ditentukan, matikan kompor listrik.
8. Biarkan lempengan tersebut dingin dengan pendinginan udara.

Jika didinginkan secara paksa, maka *black-oxide* akan lengket dengan lempengan. Ketika lempengan tersebut dingin, maka akan terjadi penyusutan dan *cupric-oxide* hitam juga akan berkurang.



Gambar 3.2. Lempengan Tembaga yang didinginkan dengan Pendinginan Udara yang mengalami *Black-Oxide*

9. Ketika lempengan tersebut mencapai suhu ruangan dengan waktu yang dibutuhkan selama 20 menit, maka seluruh kerak hitam akan hilang. Biarkan dan jangan menggosok lempengan tersebut, karena akan merusak dan menghilangkan *cupruous oxide merah* yang akan kita gunakan pada *solar cell*. Lalu disolder pada salah satu sudut dengan kabel tembaga, plat tersebut akan berfungsi sebagai sisi negatif pada caput buaya berwarna hitam.



(a. Temperatur 350⁰ C)



(b. Temperatur 450⁰ C)

Gambar 3.3. Lempengan Tembaga (*Copper*) yang mengalami *Black-Oxide* pada temperatur (a) 350⁰ C ; (b) 450⁰C

10. Langkah berikutnya, kita membuat lempengan positif dengan lempengan Tembaga (*Copper*) yang tidak dipanggang.
11. Gunakan kertas pasir untuk menghilangkan karat yang ada pada lempengan Tembaga (*Copper*) kedua.
12. Cuci lempengan Tembaga (*Copper*) yang kedua dengan larutan Asam *Hydrochloride* (HCl) selama 5 detik kemudian dibersihkan dengan menggunakan Alkohol 100 % lalu dikeringkan dengan tujuan untuk membersihkan lempengan dari minyak.
13. Lalu disolder kabel lempengan Tembaga (*Copper*) kedua pada salah satu sudut dengan kabel tembaga, plat tersebut akan berfungsi sebagai sisi positif pada caput buaya berwarna merah.
14. Kemudian rekatkan lempengan Tembaga (*Copper*) kedua pada Kaca *Laminated* dengan lem silikon yang banyak agar tidak terjadi kebocoran. Pastikan bahwa koneksi solder benar-benar tertutup dengan lem, atau berada di luar lem-an berbentuk, seperti pada gambar 3.4.



(a. Temperatur 350°C)



(b. Temperatur 450°C)

Gambar 3.4. Lempengan Tembaga (*Copper*) yang kedua untuk temperatur (a) 350°C ; (b) 450°C

15. Gambar 3.3 Lempengan Tembaga (*Copper*) yang mengalami *Black-Oxide* menunjukkan bahwa sisi depan ini yang akan menghadap sinar matahari. Sedangkan Gambar 3.4. Lempengan Tembaga (*Copper*) yang kedua menunjukkan bahwa sisi belakang ini yang tidak menghadap sinar matahari.
16. Selanjutnya, isi air garam kedalam ruang *Solar Cell* hampir ke bagian atas lempengan tembaga, sehingga air asin hampir tumpah keluar.
17. Kemudian menutup saluran dengan *double-tip* ke bagian atas kaca *laminated* sebagai penutup *solar-cell*.
18. *Solar-cell* langsung dapat di uji dengan *Multitester* untuk membaca kuat arus listrik dan tegangan listrik yang dihasilkan dari modul yang diuji seperti pada gambar 3.5 *Solar Cell* Pembangkit Listrik Tenaga Surya.



Gambar 3.5. *Solar Cell* Pembangkit Listrik Tenaga Surya

3.5. Peralatan Pengujian

Alat ukur yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. TERMOMETER

Termometer digunakan untuk mengukur suhu. Termometer juga dipakai untuk mengetahui berapa suhu pada kaca modul *LCD Solar Cell*.



Gambar 3.6. Termometer

2. ANEMOMETER

Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang banyak dipakai dalam bidang metrologi dan geofisika atau stasiun perkiraan cuaca. Nama alat ini berasal dari kata Yunani *anemos* yang berarti angin. Perancangan pertama dari alat ini adalah Leon Battista Alberti pada tahun 1450. Selain mengukur kecepatan angin, alat ini juga dapat mengukur besarnya tekanan angin.



Gambar 3.7. Anemometer

3. PLANIMETER

Planimeter alat dipakai untuk mengukur radiasi matahari dan berfungsi sebagai alat untuk mengukur intensitas energi surya. Energi surya sendiri merupakan energi yang di dapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui perangkat lain menjadi sumber daya energi dalam bentuk lain. Energi surya sendiri menjadi salah satu sumber daya energi selain air, uap, angin, biogas, batu bara dan minyak bumi. *Solar power meter* atau perangkat yang menguji tenaga surya. Dimana sumber tenaga matahari ini di konversi dari sinar matahari menjadi pemanas air. *Solar power meter* dapat di aplikasikan untuk berbagai kebutuhan terkait dengan aplikasi *solar cell* yang dimiliki seperti tingkat mengukur radiasi matahari untuk penelitian tenaga surya aplikasi, pada bidang fisika maupun laboratorium dan masih banyak yang lainnya.



Gambar 3.8. Planimeter

4. MULTITESTER

Multitester digunakan untuk mengukur tegangan arus listrik yang dihasilkan dari *solar cell* yang dirancang secara sederhana.



Gambar 3.9. Multitester

5. KOMPUTER

Komputer digunakan untuk menyimpan dan mengolah data yang telah didapat dari pengujian *solar cell*.



Gambar 3.10. Komputer