

BAB I

1.1. Latar Belakang

Energi adalah kebutuhan mendasar bagi manusia yang penggunaan dan harganya cenderung meningkat. Faktor-faktor tersebut menyebabkan perlunya untuk menggunakan sumber energi terbarukan yang dapat diperbarui dalam waktu singkat dan memiliki dampak lingkungan yang minimum. Salah satu sumber energi terbarukan yang berkembang pesat dan berlimpah jumlahnya adalah energi matahari. Bumi memperoleh 16×10^{18} Joule dari matahari setiap tahunnya, yang setara dengan 20.000 kali dari kebutuhan seluruh umat manusia di bumi. Indonesia merupakan sebuah negara yang terletak di khatulistiwa memperoleh energi matahari sebanyak 4,8-6,0 kWh/m² tiap tahunnya. Potensi energi matahari Indonesia adalah sebesar 207.898 MW, tetapi baru 78,5 MW yang digunakan, Energi yang berasal dari matahari dapat dikonversi menjadi listrik dalam beberapa cara, salah satu cara yang paling umum digunakan saat ini adalah fotovoltaik (PV).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara analisa kinerja sistem pembangkit tenaga listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis.
2. Bagaimana intensitas cahanya matahari yang diterima panel surya dengan Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis
3. Bagaimana daya dan tengagan yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis pada saat jam 08.00-17.00 Wib
4. Interval pengambilan data yaitu 15 menit sekali.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membahas desain pototype perangkat Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis
2. Menganalisa dan membandingkan daya serta luaran lainnya yang dihasilkan panel surya terhadap peletakan posisi panel surya.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui intensitas matahari, tegangan, arus, daya masuk, daya keluaran, temperature sekitar dan kecepatan angin sekitar yang dihasilkan dari solar cell 100 Wp yang di tambah kaca Reflektor dengan menggunakan auto tracker Double axis
2. Untuk mengetahui rata-rata intensitas matahari, tegangan, arus, daya masuk, daya keluaran, temperature sekitar dan kecepatan angin sekitar yang dihasilkan dari solar cell 100 Wp yang di tambah kaca Reflektor dengan menggunakan auto tracker Doublel axis.
3. Untuk mendapatkan hal-hal yang mempengaruhi fotovoltaik dari Alat.

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Survey lapangan dan menemukan lokasi penelitian.
2. Survey literature, yakni berupa studi kepustakaan, kajian dari buku – buku, jurnal terkait dan artikel terkait.
3. Konsultasi, metoda yang dilakukan untuk mendapatkan informasi tambahan yang mendukung desain Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis.
4. Analisa terstruktur, metoda yang dilakukan untuk mendesain Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis dan untuk menganalisa rancangan yang di buat.
5. Uji coba, metoda yang digunakan untuk menguji Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis.

1.6. Manfaat penelitian

Manfaat yang diperoleh dari perancangan Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai informasi awal penggunaan Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis dalam menghemat energy listrik dari beban bahan bakar fosil serta mengurangi konsumsi bahan bakar minyak terhadap perkembangan industri dan teknologi.
2. Memberikan informasi tentang daya tengagan listrik yang didapat dengan menggunakan Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis.
3. Membantu mengurangi pemanasan global dengan menggunakan sumber energi yang ramah lingkungan.
4. Mendapatkan daya dan tengagan listrik pada panel suya dengan menggunakan Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Fotovoltaik 100 Wp Berbasis Solar Tracker Double Axis.
5. Mendapatkan daya dan tegangan arus listrik yang dihasilkan akibat pengaruh penggunaan teknologi scanning reflektor.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

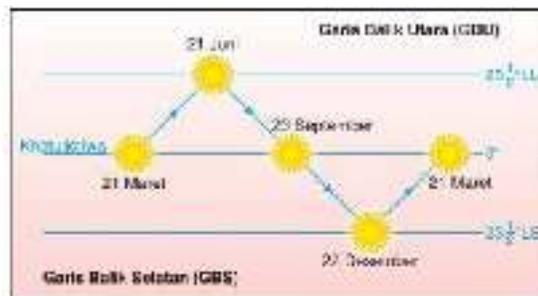
Penggunaan energi fosil semakin hari semakin meningkat, Salah satu konsumsi energi fosil digunakan sebagai pembangkitan tenaga listrik. Di sisi lain, ketersediaan energi fosil ini semakin hari semakin menipis. Selain itu energi fosil juga memiliki dampak lingkungan yang tidak baik. Melihat dampak negatif dari energi fosil, harus ada upaya untuk menggantikan energi konvensional ini menjadi energi baru terbarukan. Salah satunya adalah sel surya (sel surya). Secara astronomis Indonesia terletak pada 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 145° BT . Hal ini menempatkan Indonesia di kawasan tropis dan terlewati garis khatulistiwa sehingga tingkat iradiasi harian matahari rata-rata relatif tinggi yaitu sebesar $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$. dan berpotensi besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Namun sel surya sebagai unit PLTS ini bukanlah tanpa kendala. Daya keluaran sel surya sangat kecil dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis lain. Selain itu, sel surya juga sangat terpengaruh terhadap kondisi alam seperti kondisi awan, perubahan posisi matahari meliputi perubahan gerak semu harian serta gerak semu tahunan matahari.

Oleh karena itu dibutuhkan metode untuk meningkatkan daya keluaran sel surya. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah dengan penggunaan cermin pemantul sinar matahari (*reflector*). Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai pengaruh penggunaan *reflector* terhadap iradiasi, tegangan, arus serta daya keluaran sel surya. Selain itu, digunakan pula beban pengganti elektronik berupa *DC-DC converter* tipe *buck* . Dari hasil penelitian ini diharapkan adanya peningkatan daya keluaran sel surya dengan menggunakan *reflector* pada konfigurasi yang tepat.

Intensitas radiasi matahari merupakan banyaknya energi yang diterima bumi per satuan luas per satuan waktu (Wh/m^2) yang nilainya berubah – ubah tergantung pada beberapa faktor, seperti letak astronomis suatu tempat terutama garis lintang lokasi, gerak semu harian, tahunan matahari, dan keadaan atmosfer bumi.

Gerak semu harian matahari mempengaruhi pergantian siang dan malam sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap jamnya sedangkan gerak semu tahunan matahari mempengaruhi pergantian musim yang terjadi pada belahan bumi di dunia setiap tahun sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap bulan. Gerak semu tahunan matahari dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Gerak semu tahunan matahari

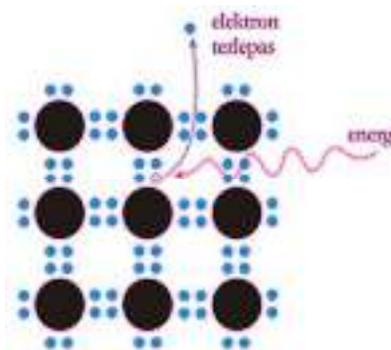
Radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

- a. Radiasi langsung (*direct radiation* atau *beam radiation*) yaitu intensitas radiasi matahari yang langsung diterima di permukaan bumi.
- b. Radiasi tersebar (*diffuse radiation*) yaitu radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi karena pantulan awan dan partikel di atmosfer bumi.
- c. Radiasi pantulan yaitu radiasi yang dipantulkan oleh permukaan yang

berdekatan, besarnya dipengaruhi oleh reflektansi permukaan yang berdekatan.

Sel surya merupakan teknologi pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor dengan lebar celah energi relatif kecil ($\pm 1\text{eV}$).

Energi dari cahaya matahari disebut juga sebagai foton. terlihat ketika foton diserap oleh material semikonduktor maka energi foton akan membentur elektron di dalam semikonduktor sehingga beberapa elektron ini akan mendapatkan energi yang cukup untuk meninggalkan pita valensi dan berpindah ke pita konduksi. Ketidakhadiran elektron pada pita valensi akibat perpindahan elektron ke pita konduksi tersebut akan menghasilkan ikatan kovalen yang tidak lengkap yang sering disebut *hole* atau lubang seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Proses pelepasan elektron pada silikon

Ikatan kovalen yang tidak lengkap yang berisi *hole* atau lubang akan membuat elektron valensi suatu atom relatif lebih mudah untuk meninggalkan ikatan kovalennya dan mengisi *hole* ini. Suatu elektron valensi yang meninggalkan ikatan kovalennya untuk mengisi *hole* akan membentuk *hole* pada ikatan kovalen yang ditinggalkan dan ikatan ini akan diisi oleh elektron dari atom lain yang berpindah untuk mengisi *hole* yang kosong dan membentuk *hole* lain sehingga pembentukan

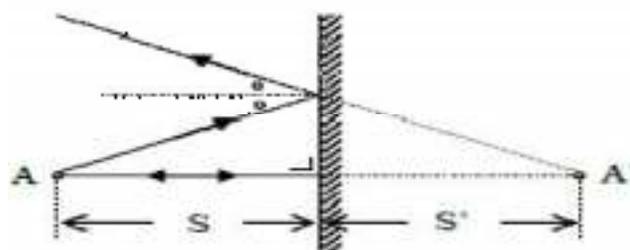
hole pada suatu atom akan berpindah berlawanan dengan gerak elektron. Pergerakan *hole* dari suatu titik merupakan proses pemindahan muatan negatif dalam arah yang berlawanan.

Hole pada suatu atom merupakan muatan positif yang besarnya sama dengan elektron sehingga arus dapat dihasilkan melalui dua hal yaitu pergerakan elektron bebas pada pita konduksi dan pergerakan elektron akibat pembentukan *hole* pada pita valensi. Pergerakan elektron dari kedua pita energi akan mengakibatkan timbulnya arus pada terminal sel suryayang terhubung dengan beban.

Pembentukan bayangan oleh cermin merupakan gejala yang dihasilkan oleh karena adanya pemantulan cahaya oleh cermin yang sudah tentu memenuhi hukum pemantulan, yaitu :

- a. Sudut datang sama dengan sudut pantul
- b. Sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada satu bidang datar.

Sebuah benda titik A yang berada di depan cermin datar memancarkan atau dilalui oleh sinar datang yang menuju ke cermin datar. Akibat adanya pemantulan cahaya oleh cermin datar maka terbentuk bayangan A' di belakang cermin datar. Lintasan sinar pada pembentukan bayangan itu dapat digambarkan seperti pada gambar 3



Gambar 2.3. Pembentukan bayangan benda titik oleh cermin datar

2.2. Pengertian Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu cara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energy surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek *fotoelektrik* (*Energi Sources: Solar Department Of Energi*).

Sell surya (*photovoltaic*) merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik. Energi matahari pada fakatnya menjadi suatu sumber energi yang paling menjanjikan dibandingkan dengan energi yang lainnya, satu-satunya alasan hal ini diungkapkan karena sampai saat ini sifat energi matahari berkelanjutan (*sustainable*) serta jumlahnya tidak terbatas (*Hans Tholstrup*).

Solar cell konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n *junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi yang akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus *drift*, yaitu arus yang dihasilkan karena munculnya medan listrik. Akan tetapi, arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut (*Ady Iswanto, 2008*).

2.3. Photovoltaic

Kata *photovoltaic* terdiri dari dua kata yaitu *photo* dan *volta*. *Photo* berarti cahaya (dari bahasa Yunani yaitu *phos,photos*: cahaya) dan *volta* (berasal dari nama Alessandro Volta seorang fisikawan Italia yang hidup antara tahun 1745-1827) yang berarti unit tegangan listrik.

Kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV. *Photovoltaic* adalah teknologi yang menghasilkan tenaga listrik DC (*directcurrent*) dari bahan semikonduktor ketika terpapar oleh foton. Selama cahaya menyinari *solar cell* (nama untuk individual elemen *photovoltaic*), maka akan menghasilkan tenaga listrik. Ketika tidak ada cahaya, energi listrik juga berhenti dihasilkan.

Sinar matahari memancarkan gelombang dengan panjang gelombang berbeda-beda dari 250 nm sampai dengan 2500 nm berupa *ultraviolet, infrared* sampai cahaya tampak. Tidak semua sinar langsung cahaya matahari pada atmosfer sampai ke permukaan bumi. Atmosfer melemahkan banyak bagian spektrum cahaya. Misalnya *x-ray* hampir semuanya diserap sebelum mencapai tanah. Beberapa persen radiasi *ultraviolet* juga disaring oleh atmosfer, beberapa dipantulkan kembali ke angkasa dan beberapa bagian lagi tersebar di atmosfer yang membuat langit terlihat biru.

2.3.1. Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja *Fotovoltaic*

Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar yaitu mencapai 3×10^{10} joule pertahun. Jumlah energi sebesar tersebut setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan menutup 0,1 % saja permukaan bumi dengan divais *solar cell* yang memiliki efisiensi 10 % sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini. Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang

tidak tampak memiliki 2 buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut *photon*. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905.

Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan kecepatan c dan panjang gelombang dirumuskan dengan persamaan :

$$E = h.f \dots\dots\dots (2.1), \text{ Literatur 2, hal. 96}$$

$$E = \frac{h.c}{\lambda} \dots\dots\dots (2.2), \text{ Literatur 2, hal. 96}$$

Keterangan :

E = Energi photon (eV)

h = Konstanta *plancks* ($6,62 \times 10^{-34}$ J/s)

c = Kecepatan cahaya dalam vakum ($2,998 \times 10^8$ M/s)

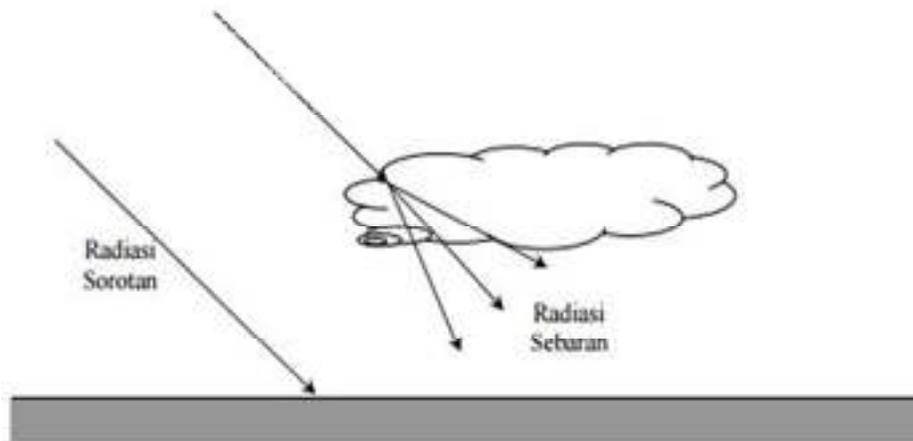
λ = Panjang gelombang (M) f = Frekuensi (Hz)

Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu. Dengan menggunakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe p dan n, cahaya yang datang akan mampu dirubah menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan output maksimal dari PV, ada beberapa faktor sangat mempengaruhi yaitu :

1. Radiasi Matahari

Radiasi matahari merupakan pancaran energi yang berasal dari proses *thermonuklir* yang terjadi di matahari, atau dapat dikatakan sumber utama untuk proses-proses fisika atmosfer yang menentukan keadaan cuaca dan iklim di atmosfer bumi. Radiasi surya memegang peranan penting dari berbagai sumber energi lain yang dimanfaatkan manusia. Energi dari

matahari tiba di bumi dalam bentuk radiasi elektromagnetik yang mirip dengan gelombang radio tetapi mempunyai kisaran frekuensi yang berbeda. Energi dari matahari tersebut dikenal di Indonesia sebagai energi surya. Energi surya diukur dengan kepadatan daya pada suatu permukaan daerah penerima dan dikatakan sebagai radiasi surya. Rata-rata nilai dari radiasi surya di luar atmosfer bumi adalah 1.353 W/m^2 , dinyatakan sebagai konstanta surya. Total energi yang sampai pada permukaan horizontal di bumi adalah konstanta surya dikurangi radiasi akibat penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai bumi dan nilai tersebut disebut sebagai radiasi surya global. Radiasi surya global terdiri dari radiasi yang langsung memancar dari matahari (*direct radiation*) dan radiasi sebaran yang dipancarkan oleh molekul gas, debu dan uap air di atmosfer (*diffuse radiation*).



Gambar 2.4 : Radiasi Langsung dan Radiasi Sebaran pada Permukaan Horizontal

Insolasi surya merupakan intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama 1 jam, dinyatakan dengan lambing I dan satuan W/m^2 . Nilai insolasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi surya pada kondisi cerah (*clear day*) akan

bertambah dari pagi, sejak terbit sampai siang hingga tercapainya kondisi puncak dan turun sampai matahari terbenam pada sore hari. Lama nya matahari bersinar cerah dalam 1 hari dinyatakan sebagai jam surya. Untuk Indonesia, jam surya adalah sekitar 4 – 5 jam per hari. Jumlah intensitas radiasi / insolasi surya yang diterima dalam 1 hari dinyatakan dengan satuan *kilowatt-hours/m* (*kwh/m*). Produksi energi surya pada suatu area dapat dihitung sebagai berikut

Energi surya yang dihasilkan (Watt) = Insolasi surya (W/m) x Luas area (m)

Cahaya dapat dikatakan sebagai suatu bagian yang mutlak dari kehidupan manusia. Untuk mendukung teknik pencahayaan buatan yang benar, perlu diketahui seberapa besar intensitas cahaya yang dibutuhkan pada suatu tempat. Iradiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa range panjang gelombang, mulai dari 300 nm sampai dengan 4 mikron. Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*). Kedua radiasi ini yang dipakai untuk mengukur besaran radiasi yang diterima sel surya.

2. Temperatur modul surya

Intensitas cahaya bukanlah satu-satunya parameter eksternal yang memiliki pengaruh penting pada kurva I-V, terdapat juga pengaruh temperatur. Temperatur memiliki peranan penting untuk memprediksi Karakteristik I-V. komponen semikonduktor seperti *diode* sensitif terhadap perubahan temperatur, begitu pula dengan sel surya. Secara umum, sebuah modul surya dapat normal (pada temperatur 25 °C). Temperatur memengaruhi persamaan karakteristik dengan 2 cara, yaitu secara langsung melalui T pada bagian eksponensial dan secara tidak langsung, efeknya terjadi pada I_0 . Salah satu parameter solar yang dipengaruhi oleh temperatur adalah tegangan *open circuit* (V_{oc}). Efek meningkatnya

temperatur akan mengurangi secara linear nilai tegangan *open circuit*. Besarnya pengurangan ini secara terbalik sebanding terhadap V_{oc} , dan sel dengan nilai V_{oc} yang lebih tinggi, pengurangan nilai tegangannya akan lebih kecil ketika temperatur naik. Arus yang dibangkitkan cahaya meningkat sedikit dengan meningkatnya temperatur, karena meningkatkan jumlah *carrier* yang dihasilkan secara termal dalam *cell*. Setiap kenaikan temperatur modul surya $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (dari $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) akan mengakibatkan berkurang sekitar $0,5\%$ pada total tenaga (daya) yang dihasilkan. Untuk menghitung besarnya daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar modul surya mengalami kenaikan C dari temperatur standarnya, dipergunakan rumus sebagai berikut (Solarex, 2008) :

Pengaruh suhu terhadap output sel surya dapat dilihat dalam rumus dibawah ini:

$$P \text{ saat } t \text{ naik } ^{\circ}\text{C} = \frac{0,5\%}{P \times PMPP \times \text{Kenaikan Temperatur}} (^{\circ}\text{C}) \quad (2.3), \text{literatur 2, hal. 104}$$

Dimana :

$P \text{ saat } t \text{ naik } C$ = Daya pada saat temperatue naik C dari temperaturestandarnya.

$PMPP$ = Daya keluaran maksimum modul surya.

Daya keluaran modul surya pada saat temperaturnya naik menjadi $t\text{ }^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut;

$$PMPP \text{ saat naik menjadi } t\text{ }^{\circ}\text{C} = PMPP - P \text{ saat } t \text{ naik } ^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots(2.4), \text{Literatur 1, hal.105}$$

$PMPP \text{ saat naik menjadi } t\text{ }^{\circ}\text{C}$ merupakan daya keluaran modul surya pada saattemperatur disekitar modul surya naik menjadi $t\text{ }^{\circ}\text{C}$ dari temperatur standarnya.

3. Efek intensitas cahaya matahari

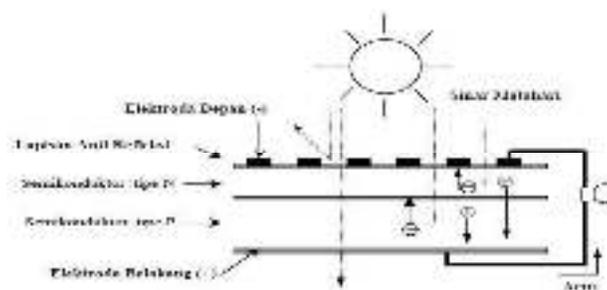
Intensitas cahaya matahari memiliki pengaruh yang penting bagi arus short circuit, tegangan *open circuit*, *fill factor*, efisiensi dan hambatan seri maupun hambatan *shunt*. Intensitas cahaya dapat dinyatakan dalam jumlah matahari, dengan 1 matahari sesuai dengan standar iluminasi pada AM 1.5 atau 1 KW/m. Arus short circuit secara langsung berhubungan dengan jumlah foton yang diserap oleh material semikonduktor dan kemudian sebanding dengan nilai intensitas cahaya, sedangkan tegangan *open circuit* hanya berubah sedikit ketika intensitas cahaya rendah. Intensitas cahaya dapat berbeda setiap hari, hal tersebut menyebabkan energi yang masuk *solar cell* juga akan berubah dengan variasi nilai antara 0 s / d 1 KW / m. Pada cahaya yang rendah, efek resistansi *shunt* akan bertambah. Berkurangnya intensitas cahaya menyebabkan arus yang melewati solar cell berkurang dan nilai resistansi seri hampir sama dengan nilai resistansi *shunt*-nya. Ketika 2 resistansi tersebut hampir sama, total arus yang mengalir melalui resistansi *shunt* bertambah, kemudian akan menambah daya yang hilang karena resistansi *shunt*. Sehingga pada kondisi berawan, *solar cell* dengan resistansi *shunt* yang tinggi dapat menahan daya yang masuk lebih banyak dari *solar cell* dengan resistansi *shunt* yang rendah.

2.4. Panel Surya (*Solar Cell*)

Panel surya merupakan salah satu alat konversi energi dari energi surya menjadi energi listrik. Keluaran dari panel surya menghasilkan tegangan DC. Pada umumnya setiap sel dapat menghasilkan tegangan keluaran 0,5 – 0,6 V. dari hasil surya yang terdiri dari 32 – 36 solar sel dihubungkan secara seri, maka akan menghasilkan kurang lebih 16 V. tegangan ini cukup untuk mengisi accu 12 V. Prinsip dasar dari pembuatan sel surya adalah efek *fotovoltaic*.

Solar cell terbuat dari material semikonduktor yang memiliki ikatan electron lemah yang menempati pita energi yang disebut *valence band*. Ketika energy melebihi ambang batas yang dinamakan bandgap energi diaplikasikan ke elektron valensi, ikatan akan rusak dan beberapa electron bebas untuk bergerak dalam ikatan energy baruyang dinamakan *conductionband* yang dapat menyalurkan listrik melalui material tersebut. Kemudian elektron bebas pada *conduction band* akan dipisahkan dari *valence band* oleh *band gap* (diukur dalam satuan *elektron volt* atau eV). Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini dipenuhi oleh foton yang merupakan partikel cahaya. Ketika *solar cell* terpapar cahaya matahari, foton akan menabrak elektron valensi, merusak ikatan dan mendorong mereka ke *conduction band*. Disana terdapat sebuah kontak selektif khusus yang mengumpulkan *conductionband* elektron, menggerakkan electron tersebut kerangkaian eksternal. Elektron akan kehilangan energy mereka dan dikembalikan ke *solar cell* melalui kontak selektif ke dua, yang mengembalikan mereka ke *valenceband* dengan energy yang sama ketika pertama kali. Perpindahan electron pada rangkaian eksternal inilah yang dinamakan sebagai arus listrik.

Parameter *solar cell* yang paling berpengaruh pada kurva karakteristik arus-tegangan yaitu arus hubung singkat dan tegangan hubungan terbuka untuk parameter internal, sedangkan parameter eksternalnya meliputi suhu dan radiasi cahaya matahari.



Gambar 2.5.: Struktur lapisan *solar cell*

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel, yang mana cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak mempunyai dua sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat pula sebagai partikel yang biasa disebut dengan foton. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh seorang fisikawan ternama yaitu Einstein tahun 1905. Besarnya energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang tertentu dapat dicari dengan rumus berikut :

$$\lambda.E = h.c \dots\dots\dots (2.5), \text{Literatur 2, hal, 81}$$

dimana : $h =$ konstanta Plancks (6.62×10^{-34} J.s)

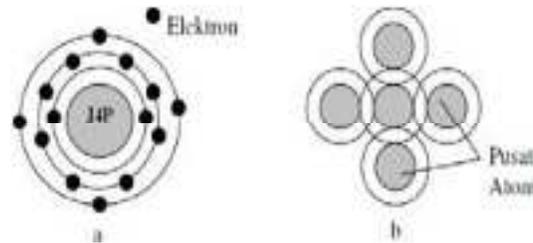
$c =$ kecepatan cahaya dalam vacum (3×10^8)

$E =$ energy

$\lambda =$ panjang gelombang cahaya (m)

Sel surya merupakan semikonduktor yang radiasi surya mengenainya langsung diubah menjadi energi listrik. Material yang sering digunakan dalam pembuatan sel surya adalah silikon Kristal yang mana di murnikan hingga satu tingkat yang tinggi. Atom merupakan partikel yang membentuk suatu unsur dan terdiri dari inti bermuatan positif yang biasa disebut proton dan neutron bermuatan 10 netral. Inti atom dikelilingi oleh elektron bermutan negatif. Sebuah atom silikon terdiri dari sebuah inti yang berisi proton dan dikelilingi oleh 14 elektron yang beredar dalam lintasan tertentu. Jumlah maksimum dari elektron dalam tiap lintasan mengikuti pola $2n^2$, yang mana n adalah nomor lintasan dari atom. Ketika atom-atom silikon bergabung membentuk zat padat, maka atom-atom tersebut akan membentuk suatu polar teratur yang disebut sebagai Kristal. Satu atom silikon mempunyai 4 elektron valensi dan 4 atom tetangga. Setiap atom tetangga memberikan sebuah elektron yang dipakai bersama-sama dengan

atom yang berada ditengah. Karena atom yang ditengah mendapatkan tambahan 4 elektron dari tetangga maka jumlah elektron valensi menjadi 8 buah, karena inti atom yang berdekatan memiliki muatan positif akan menarik elektron-elektron yang dipakai bersama sehingga menciptakan gaya yang sama besar akan tetapi berlawanan arah.



Gambar 2.6. Ikatan Kovalen Kristal Silikon

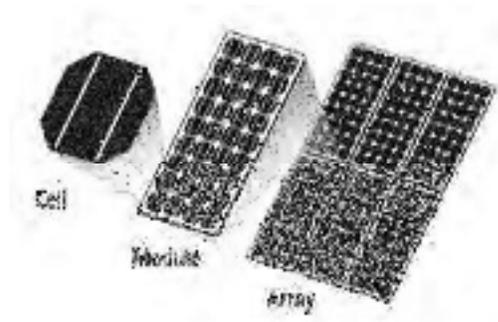
Seperti gambar diatas, penarikan dalam arah yang berlawanan ini menyebabkan atom-atom terikat dalam ikatan kovalen (Malvino, 1986).

Berdasarkan sel surya penyusunnya, panel surya dibedakan sebagai berikut :

1. **Monokristal (*Mono-crystalline*)** Merupakan panel surya yang paling efisien. Panel ini memiliki efisiensi sampai 15 %. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik pada saat sinar matahari kurang melimpah atau mendung, efisiensinya akan turun drastis apabila cuaca berawan.
2. **Polikristal (*Poly-crystalline*)** Untuk jenis sel surya yang satu ini memiliki susunan Kristal yang acak karena difabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini membutuhkan luas permukaan yang lebih luas untuk mendapatkan daya yang sama dibandingkan dengan jenis

monokristalin. Efisiensi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan monokristalin

3. **Silikon amorphouse (a-Si)** digunakan untuk bahan baku panel sel surya untuk kalkulator pada waktu tertentu. Kinerja dari amorphouse lebih rendah dibandingkan sel surya c-Si yang merupakan Kristal tradisional, namun tidak terlalu penting dalam kalkulator yang menggunakan tenaga yang sangat minim. Perkembangan pada teknik a-Si saat ini membuat mereka menjadi lebih efektif untuk area yang lebih luas yang digunakan sel surya. Efisiensi tinggi dapat diperoleh ketika penyusunan beberapa layar sel a-Si yang tipis dibagian atas satu sama lain, setiap rangkaian diatur untuk bekerja pada frekuensi cahaya tertentu. Untuk produksi skala besar, keuntungannya bukan pada efisiensi melainkan untung pada biaya. Sel a-Si menggunakan sekitar 1% silikon daripada sel c-Si dengan biaya silikon merupakan faktor terbesar dalam biaya produksi sel.



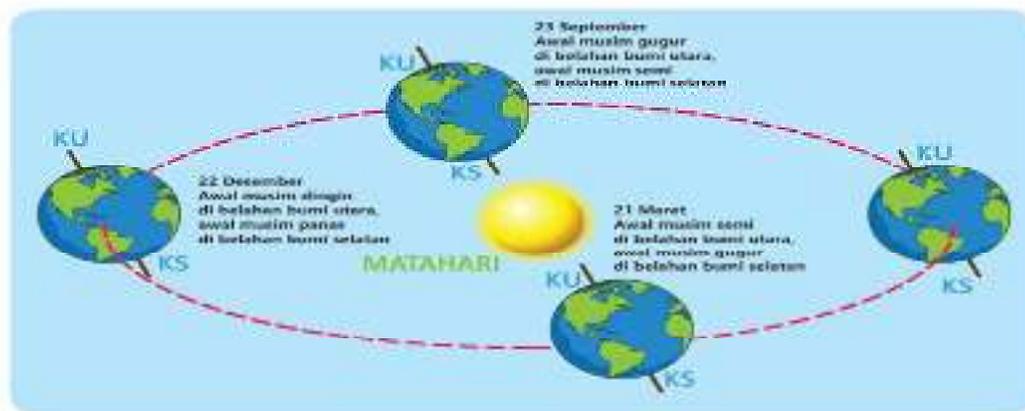
Gambar 2.7. Perbedaan *cell*, *module* dan *array* .

Sumber (ETAP 2016).

2.4.1. Posisi panel surya terhadap pergerakan matahari

Pada panel surya perlu diketahui pergerakan / rotasi bumi terhadap matahari yang mempunyai poros miring. Poros miring tersebut yang menyebabkan arah sinar bisa berubah.

Berikut gambar bumi mengitari matahari yang mana posisi bumi berotasi dengan poros yang miring.



Gambar 2.8 : Rotasi Bumi terhadap Matahari

Efisiensi maksimum modul surya akan meningkat jika sudutnya saat terjadi sinar matahari selalu berada pada saat sudut 90. Pada kenyataannya peristiwa dari radiasi matahari bervariasi berdasarkan pada garis lintang (*latitude*) dan deklinasi matahari. Fakta yang lain bahwa poros rotasi bumi memiliki kemiringan 23,45 terhadap bidang dari orbit bumi oleh matahari, sehingga pada garis lintang tertentu tinggi dari matahari pada langit bervariasi setiap harinya. Untuk mengetahui ketinggian maksimum (dalam derajat) ketika matahari mencapai langit (a), secara mudah dengan menggunakan rumus berikut:

$$a = 90^\circ - \text{lat} - \delta \text{ (Nhemisphere) } \dots \dots \dots (2.6), \text{Literatur 2, hal. 107}$$

$$a = 90^\circ + \text{lat} - \delta \text{ (Shemisphere) } \dots \dots \dots (2.7), \text{Literatur 2, hal. 107}$$

Sedangkan sudut yang harus dibentuk oleh modul surya terhadap permukaan bumi (β), dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

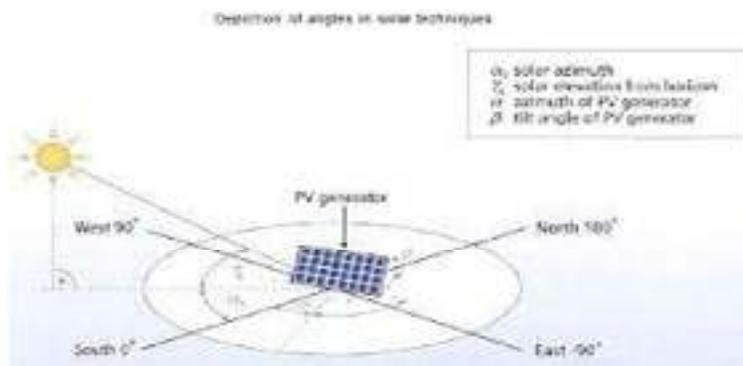
$$B = 90^\circ - \alpha \dots\dots\dots(2.8), \text{Literatur 2, hal. 107}$$

Keterangan :

Lat : garis lintang (*latitude*) lokasi instalasi panel surya terpasang (dalam satuanderjat)

δ : sudut dari deklinasi matahari [23,34°]

Apabila sudut dari ketinggian maksimum matahari diketahui, maka sudut kemiringan dari panel surya juga dapat diketahui. Tidak hanya cukup diketahui ketinggian maksimum matahari saja untuk menentukan orientasi yang optimal dari panel surya. Orientasi dari panel surya dapat di indikasikan dengan dengan sudut asimut (*azimuth angle*) pada devasi terhadap arah optimum dari selatan (untuk lokasi di belahan bumi utara), atau dari utara (untuk lokasi di belahan bumi selatan). Nilai positif dari sudut *azimuth* menunjukkan orientasi ke barat, sebaliknya nilai negatif menunjukkan orientasi ke timur.



Gambar 2.9 : Kombinasi inklinasi dan orientasi menentukan eksposisi panel

2.5 Sistem *Tracking* Cahaya Matahari

Sistem *tracking* cahaya matahari adalah sebuah kesatuan komponen atau elemen yang digabungkan menjadi satu untuk mengontrol posisi alat sistem *tracking* dengan tujuan mengusahakan permukaan modul *solar cell* selalu menghadap arah datangnya cahaya matahari. Sistem *tracking* cahaya matahari ada beberapa jenis dan dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria.

Klasifikasi pertama dapat dibuat berdasarkan jumlah sumbu putaran.



Gambar 2.10 : Tipe *solartracking* berdasarkan sumbu putaran
(Sumber INVOTEK)

Pada klasifikasi ini sistem *tracking* cahaya matahari dibedakan menjadi dua yaitu satu sumbu dan dua sumbu. Sistem *tracking* satu sumbu adalah metode dimana modul *solar cell* menjejak cahaya matahari dari timur ke barat menggunakan satu titik poros, sedangkan sistem *tracking* dua sumbu menggunakan dua titik poros untuk menjejak cahaya matahari dari timur ke barat dan dari utara keselatan. Sistem *tracking* satu sumbu terbagi lagi menjadi

tiga jenis yaitu sumbu vertikal, sumbu horizontal dan sumbu miring. Sedangkan system *tracking* dua sumbu ada dua jenis yaitu *azimuth-elevation* dan *tilt-roll*.

Klasifikasi lain dari sistem *tracking* cahaya matahari dapat dibuat berdasarkan tipe orientasi. Berdasarkan kriteria ini kita dapat mengidentifikasi system tracking cahaya matahari berdasarkan pada lintasan matahari yang telah dihitung sebelumnya dan *orientation-line* yang bereaksi terhadap cahaya matahari secara langsung.

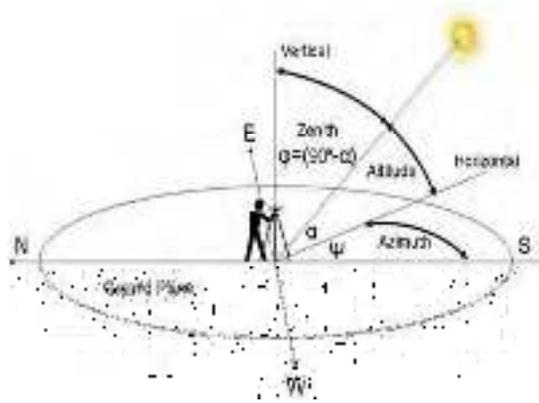


Gambar 2.11: Sistem *tracking* satu sumbu dan dua sumbu
(Sumber INVOTEK)

Dalam penelitian ini digunakan sistem *tracking* dua sumbu karena sistem *tracking* cahaya matahari mempunyai bagian penggerak dan sistem control yang memerlukan biaya tinggi, maka sistem *tracking* dua sumbu menjadi solusi terbaik untuk *solar cell* berukuran kecil.

2.6. Double Axis

Sistem *double axis* berfungsi untuk merubah posisi panel surya menyesuaikan dengan sudut azimuth dan sudut zenith matahari. Posisi matahari menggunakan sistem koordinat horizontal di bumi dengan ditentukan oleh sudut altitude / elevasi, sudut azimuth dan sudut zenith.



Gambar 2.12 : Sudut *azzimuth*, *zenit*, dan *atitude*

Sumber : (Github, 2016)

Sudut elevasi atau *altitude* adalah sudut yang terbentuk dari garis horizontal bumi ke atas (langit). Sudut *azimuth* adalah sudut yang terbentuk searah jarum jam dan diukur mulai dari utara bumi (0 derajat).



Gambar 2.13 : Rangka *Double Axis* (Dua Sumbu)

Tabel 2.1 Spesifikasi *Solar Panel 100 Wp*

Spesifikasi	keterangan
<i>Max. Power Voltage (Pmax)</i>	100 W
<i>Power Tolerance Range</i>	±3%
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	22 V
<i>Rated Voltage (Vmp)</i>	18,29 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	5,82 A
<i>Rated Current (Imp)</i>	5,47 A
<i>Max. System Voltage</i>	600 V
<i>Dimension</i>	1005 x 665 x 30 mm
<i>Weigh</i>	7,2 KG
<i>Series Fuse Rating</i>	10 A

2.7. Solar Tracker

Sistem kendali *tracking* sinar matahari merupakan salah satu pengembangan teknologi dalam rangka konservasi energy dengan memanfaatkan energi matahari. Sistem kendali *tracking* dibuat untuk diterapkan lebih lanjut pada sebuah perangkat panel surya sebagai alat pengumpul energi matahari sehingga posisi panel surya dinamis.(As Habul Kahfi, dkk.2015).

Solar tracking merupakan rangkaian kontrol yang mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari agar *solar cell* selalu tegak lurus dengan matahari supaya intensitas cahaya matahari yang diterima sel surya optimum dengan cara mengatur gerakan motor. Prinsip sistem kendali ini adalah menjejak pergerakan sinar

matahari dari matahari terbit sampai tenggelam agar panel selalu tegak lurus dengan matahari sehingga jumlah sinar yang diperoleh maksimal dan menghasilkan daya yang maksimal juga.

2.8. Watt Peak (WP)

Wp adalah singkatan dari Watt-peak yang merupakan istilah yang biasa digunakan dalam sektor energi surya. Wp biasanya menggambarkan besarnya nominal watt yang dapat dihasilkan dari panel surya. Penambahan peak pada Wp karena sinar energi surya yang bisa berubah-ubah dalam satu hari.

Watt-peak digunakan untuk menghitung ukuran yang dibutuhkan untuk instalasi fotovoltaik sesuai dengan kinerja yang diinginkan. Kondisi sinar matahari juga harus diperhitungkan dalam perhitungan ini.

WP juga digunakan untuk membandingkan kinerja instalasi fotovoltaik dan untuk memperkirakan jumlah listrik yang dapat mereka hasilkan dalam kondisi optimal. (Denie Kristiadi, Published 19-01-2022)

2.9. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung di dalam sebuah chip. *Mikrokontroler* berbeda dari *mikroprosesor* serba guna yang digunakan dalam sebuah PC, karena didalam sebuah *mikrokontroler* umumnya juga telah telah berisi komponen pendukung sistem minimal *mikroprosesor*, yakni memori dan antarmuka I/O, sedangkan didalam mikroprosesor umumnya hanya berisi CPU saja (Wikipedia 2015).

Adapun *mikrokontroler* yang dipakai peneliti adalah *mikrokontroler* jenis Arduino Uno sebagai pengontrol elektronik untuk membaca dan menulis data untuk tersambung ke komputer sebagai berikut.

1. Arduino Uno

Arduino uno adalah *board mikrokontroller* yang dengan *mikrokontroller* jenis AVR ATmega 328. *Arduino uno* merupakan perangkat *hardware* open source(OSH – *Open source Hardware*). *Arduino* sebagai perangkat hardware open source berarti siapapun memiliki kebebasan untuk dapat membuat dan mengembangkan *arduino* sendiri. *Mikrokontroller Arduino* dapat dipasangkan dengan bermacam-macam sensor dan aktuator lainnya. Adapun sensor dan aktuator yang dapat dipasangkan pada *arduino* seperti sensor gerak, *ultrasonic*, panas, suara, *Ethernet shield*, *LED Display* dan yang lainnya. (Margelis,2011).

Software open source ini digunakan untuk menulis kode pemrograman, *debug error*, dan *upload* program pada *mikrokontroller board Arduino*. *Arduino* mendukung perangkat *mikrokontroller* yang dapat dihubungkan dengan *computer* menggunakan kabel USB sebagai *loader* dan *port* komunikasi serial.



Gambar : 2.14 *Arduino Uno*

Tabel 2.2 Spesifikasi *Arduino Uno*

Spesifikasi	Keterangan
<i>Microcontroller</i>	ATmega328
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (Recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (Limits)</i>	6-12V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (of which 6 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 Ma
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 Ma
<i>SRAM</i>	2 KB (ATmega328)
<i>EEPROM</i>	1 KB (ATmega328)
<i>Clock Speed</i>	16MHz

a. Motor Servo

Motor Servo merupakan perangkat atau *actuator* putar (motor) yang mampu bekerja dua arah (*Clockwise dan Counter Clockwise*) dan dilengkapi rangkaian kendali dengan sistem *closed feedback* yang terintegrasi pada motor tersebut. Pada motor servo posisi putaran sumbu (*axis*) dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada didalam motor servo. Motor ini sangat kompleks karena disusun dari *gearbox*, motor dc, variable resistor dan sistem kendali, sehingga nilai ekonomis dari motor ini juga sangat tinggi dibandingkan motor dc yang lain yg ukurannya sama. Potensiometer sebagai penentu batas maksimal dari putaran sumbu motor servo sedangkan arah putaran dan sudut dari sumbu motor servo dapat diatur berdasarkan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) pada pin kendali motor servo (Maulana, 2014)



Gambar 2.15 : Motor Servo

Tabel 2.3 Spesifikasi Motor Servo

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Kerja	4,8-6 Vdc
Torsi	1,6 kg/cm
Arus	<500 Ma
Dimensi	22 x 12,5 x 29,5 cm
Berat	9 gr
Kecepatan Putaran	0,12 detik/60°

b. Power Supplay

Power supplay sebagai alat atau perangkat keras yang mampu menyuplai tenaga atau tegangan listrik secara langsung dari sumber tegangan listrik ke tegangan listrik yang lainnya. *Power supply* biasanya digunakan untuk komputer sebagai penghantar tegangan listrik secara langsung kepada komponen-komponen atau perangkat keras lainnya yang ada dikomputer tersebut, seperti *hardisk*, kipas, *motherboard* dan lain sebagainya. *Power supply* memiliki input dari

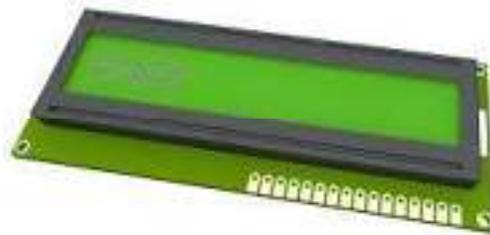
tegangan yang berarus *alternating current* (AC) dan mengubahnya menjadi arus *direct current* (DC) lalu menyalurkannya ke berbagai perangkat keras yang ada dikomputer kita. Karena memang arus *direct current* (DC)-lah yang dibutuhkan untuk perangkat keras agar dapat beroperasi, *direct current* biasa disebut juga sebagai arus yang searah sedangkan *alternating current* merupakan arus yang berlawanan (Tampubolon, 2010).



Gambar 2.16 : *Power Supplay*

c. *Liquid Crystal Display* (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah yang biasa digunakan untuk menampilkan suatu simbol, angka maupun huruf. *Liquid Crystal Display* (LCD) terdiri dari beberapa pin yang berfungsi untuk pengontrolan pemakaiannya. *Liquid Crystal Display* (LCD) yang digunakan pada alat ini adalah M1632 atau enam belas karakter dengan dua baris (Erlangga, 2011).



Gambar 2.17 : *Liquid Crystal Display* (LCD)

d. *Light Dependen Resistor (LDR)*

Light Dependen Resistor (LDR) adalah jenis *resistor* yang biasa digunakan sebagai detektor cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya. *Light Dependen Resistor (LDR)*, terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaanya.

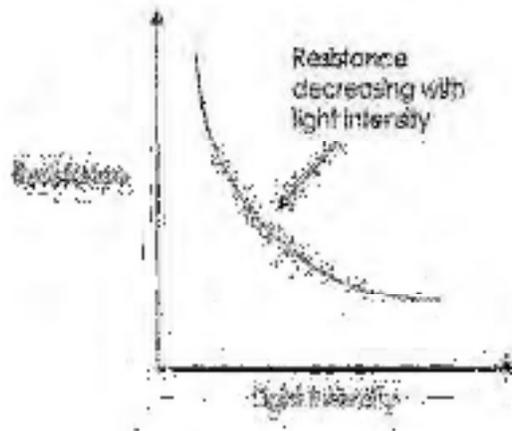
Fungsi dari LDR adalah untuk menghantarkan arus listrik ketika kondisi cahaya terang dan akan menghambat arus ketika kondisi cahaya kurang/gelap. Dengan kecilnya nilai hambatan LDR pada saat intensitas cahaya tinggi, maka tegangan yang melalui LDR akan tinggi. Dan sebaliknya, jika intensitas cahaya rendah maka nilai hambatan dari LDR akan tinggi dan menyebabkan tegangan yang melewati LDR akan kecil. Pada umumnya, nilai hambatan LDR akan mencapai 200 Kilo Ohm ($k\Omega$) pada kondisi gelap dan menurun menjadi 500 Ohm (Ω) pada Kondisi Cahaya Terang.



Gambar 2.18 :*Light Dependen Resistor*
(LDR)

Tabel 2.4Spesifikasi Sensor LDR

Spesifikasi	Keterangan
<i>Model</i>	GL5516
<i>Bright Resistance</i>	5-10 KOhm
<i>Dark Resistance</i>	0,2 MOhm
<i>Max. Voltage</i>	150 VDC
<i>Max. Wattage</i>	100 Mw
<i>Diameter</i>	5 mm
<i>Operating Temperature</i>	30 s/d +70 °C
<i>Spectral Peak</i>	540 nm
<i>Response Time</i>	20 ms(Rise), 30 ms(Down)
<i>Resistance Illumination</i>	2



Gambar 2.19 Kurva pengaruh intensitaas cahaya terhadap LDR.

Sumber : (zoniaelektro.net/,2014).

2.10. Kaca Reflektor

Reflektor adalah pemantul cahaya, bisa terbuat dari kaca, metal, plastik atau bahan lainnya. Reflektor memerlukan cahaya untuk bekerja; tidak ada cahaya, reflektor tidak ada gunanya, lampu dan reflektor memiliki sifat yang berbeda. Dalam keadaan gelap, reflektor hanya berguna jika ada cahaya yang datang. Reflektor akan memantulkan cahaya, cahaya yang datang sedikit yang terpantul pun sedikit, Jadi reflektor bukan untuk menerangi kegelapan. (Cloud Politala, 2011.)

Kaca reflektor juga disebut kaca anil atau standart yang memiliki lapisan tipis logam atau lapisan oksida logam. Karena lapisan ini hanya diterapkan pada satu sisi kaca, maka penampilannya seperti cermin. Lapisan yang diterapkan selama proses float bertujuan untuk meningkatkan jumlah panas yang dipantulkan cahaya. Manfaat kaca reflektor adalah untuk memantulkan cahaya matahari, sehingga cahaya tersebut dapat memaksimalkan daya.

Bentuk kaca reflektor yang dipakai di dalam waktu penelitian ialah bentuk kaca cermin yang berbentuk datar, yang dapat menerima matahari dan dipantulkan ke dalam panel surya, Sehingga dapat menghasilkan energi listrik.

Kemudian posisi kaca reflektor tersebut ada di berada samping panel surya yang diberikan dudukan kaca, sehingga kaca tersebut di posisi tegak lurus menghadap sinar matahari dan mengikuti sinar matahari dari timur hingga ke barat.



Gambar 2.20 : Kaca Reflektor pemantul Cahaya

Tabel 2.5 Spesifikasi Kaca Reflektor

Spesifikasi	Keterangan
Panjang	102 cm
Lebar	66 cm
Ketebalan	3 inchi
Berat	2 kg

2.11. Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang banyak dipakai dalam bidang Meteorologi dan geofisika atau stasiun perkiraan cuaca. Maka dari itu anemometer ini di pakai untuk mengukur kecepatan angin serta mengukur temperature pada penelitian ini.

2.12. Teori Efisiensi Sell Surya

Kemampuan sel surya yang dapat menghasilkan energi listrik tentu berkaitan dengan teknologi *fotovoltaik* yang mampu menyerang gelombang elektromagnetik. Pada dasarnya prinsip sel surya ini berkebalikan dengan prinsip kerja LED (light Emitting Diode) yang mengubah energi listrik menjadi energi cahaya (Purnama, Ajeng, 2014). Kemampuan keseluruhan dari kekuata mcSi sel surya bergantung pada parameter lingkungan misalnya intensitas cahaya, besarnya sudut dating sinar matahari, dan temperatur sel. Meskipun parameter dari fotovoltaik misalnya saja *open-circuit vltage*, *short circuit current*, *maximum output power*, *fill factor*, dan efisiensi secara mendasar menjadi hal yang mempengaruhi intensitas cahaya (Chander, 2015). Umumnya efisisiensi

dari sel surya digunakan sebagai parameter untuk membandingkan kinerja dari suatu sel surya terhadap sel surya lain dengan perlakuan yang serupa.

Keluaran dari panel surya menghasilkan tegangan DC. Daya input dari panel surya adalah intensitas cahaya matahari (W/m^2) dan luas penampang panel surya (m^2). Untuk menentukan daya input panel surya dapat digunakan rumus dari persamaan berikut:

$$P_{in} = I_{rad} \times A \dots\dots\dots(2.9), \text{Literatur 19, Hal. 80}$$

Keterangan:

- P_{in} = Daya yang masuk pada panel surya (W)
- I_{rad} = Intensitas cahaya matahari (W/m^2)
- A = Luas penampang panel surya (m^2)

Sedangkan output dari panel surya adalah arus dan tegangan. Untuk menentukan daya output dari panel surya digunakan rumus dari persamaan berikut:

$$P_{out} = V_{PV} \times I_{PV} \dots\dots\dots(2.10), \text{Literatur 19, Hal. 80}$$

Keterangan:

- P_{out} = Daya yang keluar pada panel surya (W)
- V_{PV} = Tegangan panel surya (V)
- I_{PV} = Arus keluar panel surya (A)

Efisiensi konversi daya dari modul surya adalah pada suhu tertentu tergantung pada tegangan sirkuit terbuka, arus sirkuit pendek dan kepadatan, dan faktor bentuk dikerahkan oleh modul surya. Efisiensi modul surya sebagai fungsi arus hubungan pendek, tegangan sirkuit terbuka, faktor pengisian, dan daya masukan.

Dari spectrum matahari dapat dihitung dengan menggunakan ekspresi berikut :

$$\eta_{\text{mod}} = I_{\text{sc}} \times V_{\text{oc}} \times \text{FF} / P_{\text{in}} \dots\dots\dots(2.11), \text{Literatur } 10, \text{hal.139}$$

Keterangan :

- η = Efisiensi modul surya
- P_{in} = Daya Masuk
- V_{oc} = Open Circuit Voltage
- I_{sc} = Short Circuit Current

Kerapatan daya output maksimum dari sel surya adalah fungsi densitas arus pendek, tegangan sirkuit terbuka, Faktor bentuk dan dapat diberikan sebagai,

$$P_{\text{max}} = J_{\text{sc}} \times V_{\text{oc}} \times \text{FF} \text{ (W/cm)} \dots\dots\dots (2.12), \text{Literatur } 10, \text{hal.142}$$

Keterangan :

- J_{sc} = Densitas arus Pendek
- V_{oc} = Tegangan sirkuit terbuka
- FF = Faktor bentuk

2.13. Teori Dasar Intensitas Radiasi Matahari

Matahari merupakan kendali cuaca serta iklim yang sangat penting dan sebagai sumber energi utama di bumi yang menggerakkan udara dan arus laut. Energi matahari diradiasikan ke segala arah, sebagian hilang ke alam semesta, dan hanya sebagian kecil saja yang dapat diterima bumi. Bumi berevolusi mengelilingi matahari pada jarak rata-rata 93 juta mil. Orbit bumi berbentuk elips dengan eksentrisitas sangat kecil (0,017), ini berarti orbit bumi hampir berbentuk

lingkaran. Jarak matahari-bumi yang terdekat disebut perihelion, terjadi pada tanggal 4 Januari dengan jarak 91,5 juta mil, dan jarak matahari-bumi yang terjauh disebut aphelion terjadi pada tanggal 5 Juli dengan jarak 94,5 juta mil (Tjasyono,2004:12).

Radiasi adalah suatu bentuk energi yang dipancarkan oleh setiap benda yang mempunyai suhu di atas nol mutlak dan merupakan satu-satunya bentuk energi yang dapat menjalar di dalam vakum angkasa luar. Radiasi matahari merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri atas medan listrik dan medan magnet. Matahari setiap menit memancarkan energi sebesar 56×10^{26} kalori. Dari energi ini bumi menerima $2,55 \times 10^{18}$ kalori atau hanya $\frac{1}{2} \times 10^9$ nya (Prawirowardoyo,1996:32).

Radiasi matahari yang jatuh ke bumi disebut insolasi. Insolasi adalah penerimaan energi matahari oleh permukaan bumi, bentuknya adalah sinar-sinar gelombang pendek yang menerobos atmosfer. Radiasi matahari menjalar di dalam angkasa luar tanpa kehilangan energi, intensitasnya berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari matahari. Jumlah energi matahari rata-rata yang jatuh pada puncak atmosfer tiap satuan luas (1 cm^2) tegak lurus pada sinar matahari tiap menit, yaitu 2,0 kalori (Prawirowardoyo,1996:34). Radiasi yang dipancarkan matahari diterima permukaan bumi sangat kecil, tetapi bagi bumi, radiasi matahari merupakan energi utama proses-proses fisika atmosfer. Lama penyinaran matahari dalam periode harian adalah variasi dari bulan ke bulan berikutnya, hal ini juga banyak mempengaruhi intensitas total radiasi matahari seperti yang diketahui bahwa radiasi matahari yang dipancarkan adalah berbentuk energi, dan energi ini digunakan untuk memanaskan bumi, oleh karena itu ukuran panas bumi merupakan ukuran besarnya energi matahari yang diterima permukaan.

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 :

$$E = I_r \times A \dots\dots\dots(2.13), \text{ Literatur 19, hal.80}$$

dimana :

$$I_r = \text{Intensitas radiasi matahari (W/m}^2\text{)} \\ A = \text{Luas permukaan (m}^2\text{)}$$

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

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.14), \text{ Literatur 19, hal.80}$$

dimana :

$$P = \text{Daya (Watt),}$$

$$V = \text{Beda potensial (Volt)}$$

$$I = \text{Arus (Ampere)}$$

Radiasi surya yang mengenai sel fotovoltaik dengan menggunakan alat pyranometer adalah dalam satuan mV sehingga harus dikonversikan menjadi W/m² , persamaan yang digunakan adalah :

$$I_r = \frac{I_r (mV)}{1000} \times 1000 \text{ (W/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.15), \\ \text{Literatur 19, hal.80}$$

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 pengambilandata.

$$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.16), \text{Literatur 19, hal.80}$$

Sehingga efisiensi yang dihasilkan :

$$\eta_{\text{sesaat}} = \frac{P}{I_r \times A} \times 100 \% \quad (2.17), \text{Literatur 19, hal.80}$$

dimana:

η = Efisiensi (%)

I_r = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

P = Daya listrik (Watt)

A = Luasan sel surya (m²)

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.

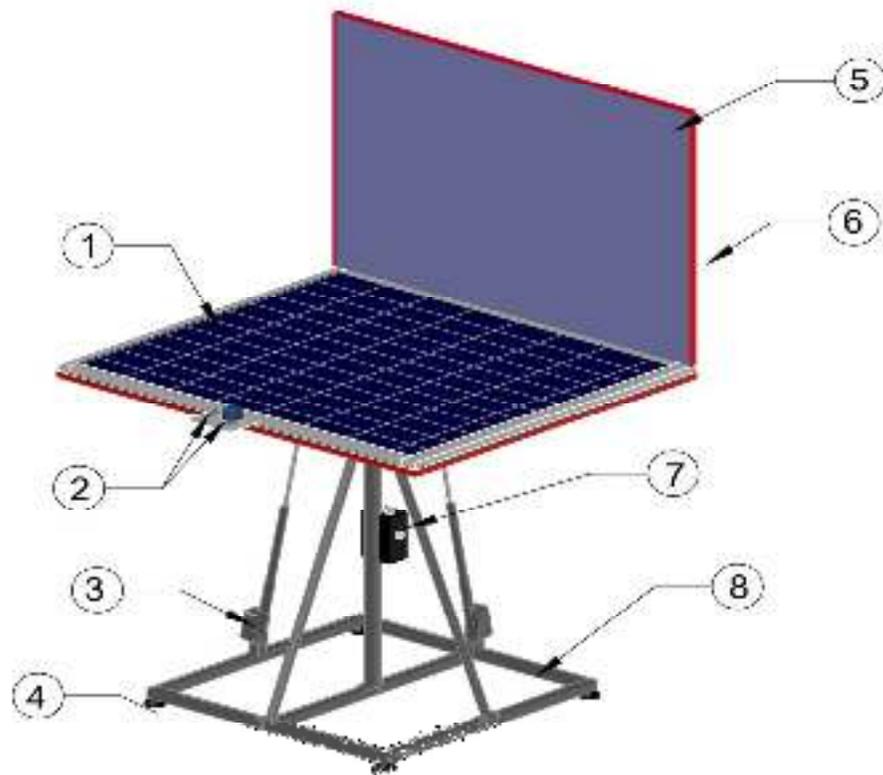
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu Dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pengujian *Double Axis Solar Tracher* berlangsung pada bulan Agustus – September 2023 berlangsung di lantai 2 gedung Work Shop dan pengembangan Universitas HKBP Nommensen Medan. Posisi koordinat lokasi penelitian terletak pada $3^{\circ}35'49.5''$ LU $98^{\circ}40'52.5''$ BT.

3.2. Gambar *Double Axis*



Gambar 3.1 : *Double axis*

Keterangan :

1. *Photovoltaic panel surya* 100 Wp
2. Sensor cahaya dan tracker
3. *Axis (motor servo)*
4. Landasan
5. Kaca reflektor
6. Dudukan kaca reflektor
7. *Controller*
8. Rangka

3.3. Alat teknis untuk mengukur

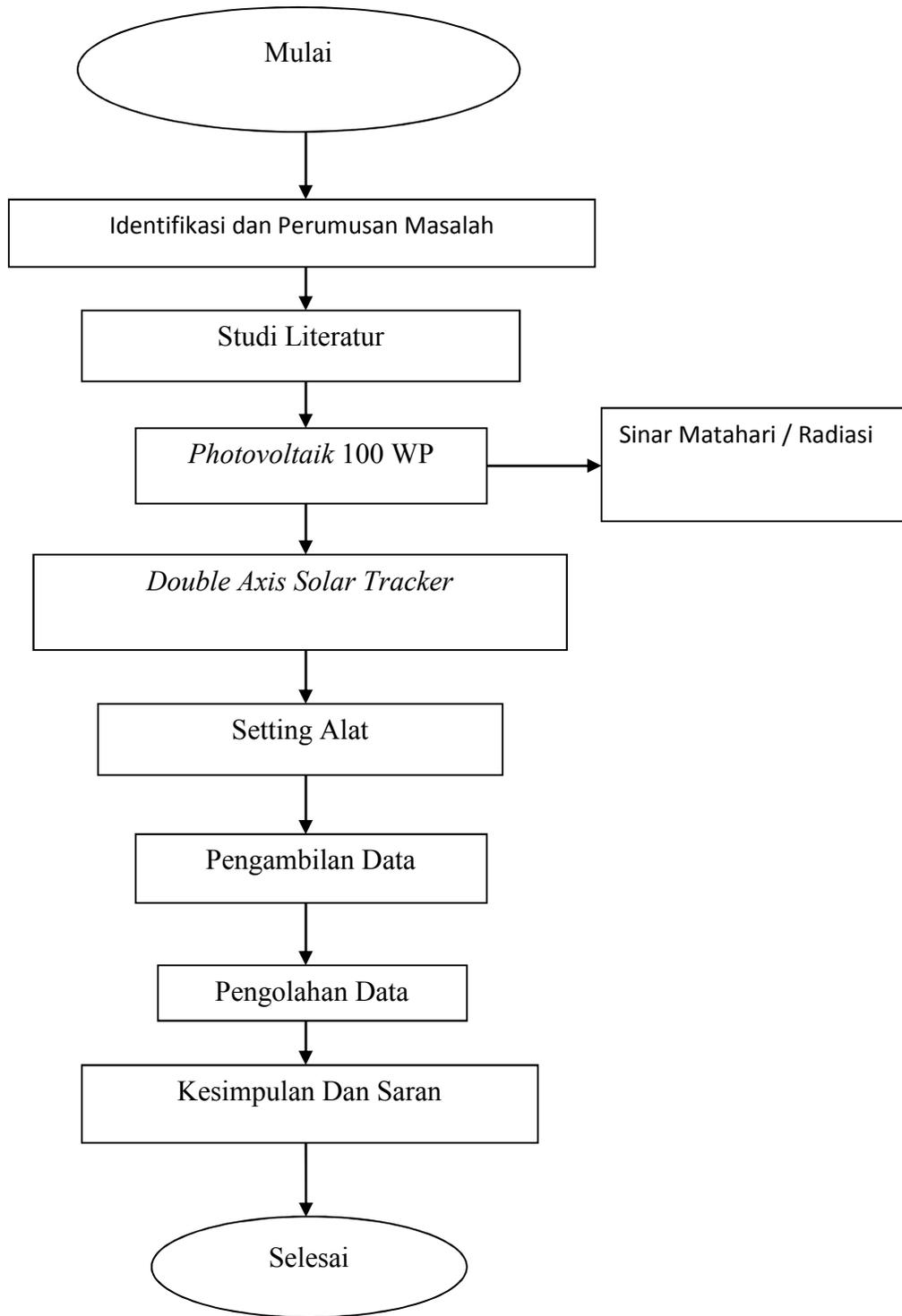
1. Kabel output
2. *Controller* solar tracker
3. Kabel linear motor
4. *Power controller*
5. *Software* Arduino IDE
6. Anemometer
7. Laptop atau PC
8. Sensor cahaya

Sistem tracking cahaya matahari adalah sebuah kesatuan komponen atau elemen yang digabungkan menjadi satu untuk mengontrol posisi alat sistem tracking dengan tujuan mengusahakan permukaan modul solar cell selalu menghadap arah datangnya cahaya matahari. Sistem tracking cahaya matahari ada beberapa jenis dan dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria (Tudorache, T., & Kreindler, L. (2010). Klasifikasi pertama dapat dibuat berdasarkan jumlah sumbu putaran.

3.4. Prosedur Pengambilan Data

1. Lokasi pengujian di laboratorium Work Shop dan pengembangan Universitas HKBP Nommensen Medan.
2. Solar power meter digital dipasang disamping panel surya, untuk mengukur intensitas cahaya matahari.
3. Dua buah Multitester Digital dipasang pada bagian output solarcell dan baterai untuk mengukur tegangan yang keluar.
4. Pada analisa alat ini menggunakan sistem solar tracker yang sudah terpasang pada panel surya agar panel surya mengikuti arah sinar matahari. Serta untuk menentukan arah sudut pemasangan panel dibutuhkan alat kompas untuk menentukan arah posisi sinar matahari.
5. Untuk menggerakkan panel secara otomatis dibutuhkan program pada modul mikrokontroller berupa komunikasi data yang terkoneksi pada. Alat tersebut akan mengirimkan data setiap 15 menit dalam nilai arus dan tegangan sesaat yang disajikan pada grafik dan table.
6. Pengambilan data pada dari pagi sampai sore dengan pengujian dimulai dari jam 08.00–17.00 WIB.

3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 : Diagram Alir

3.6 Schedule Penelitian

Tabel 3.1 Schedule Penelitian

No	Jenis Kegiatan	September				Desember				Juli				Agustus				September				Oktober	
		Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu ke-				Minggu Ke-	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
1	Pengajuan Judul																						
2	Bimbingan BAB I-III																						
3	Pengajuan Sidang Proposal																						
4	Revisi Hasil																						
	Proposal																						
5	Persiapan Alat dan Bahan																						
6	Pembuatan Prototipe <i>singleaxis solar tracker</i> Photovoltaik 100 Wp di tambahkan Kaca Reflektor																						
7	Pengujian																						
8	Seminar Hasil																						
9	Revisi Seminar Hasil																						
10	Sidang																						