

UJI PEFORMANCE PANEL SURYA 100 WP YANG DITAMBAH KACA
REFLEKTOR DAN TANPA KACA REFLEKTOR DENGAN KEMIRINGAN 5°
STATIS
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Memperoleh Gelar Sastra Satu (S-1) Pada
Program Studi Prodi Teknik Mesin
Universitas HKBP Nommensen
Oleh:
ROBET JULIANTO MARBUN
NPM 18320055

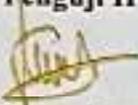


Sidang Meja Hijau Ke - 195 Dilaksanakan Pada Hari Sabtu Tanggal 24 Februari 2024
dan Dinyatakan Lulus:

Penguji I


Ir. Suryadi Sihombing, MT
NIDN : 0130016401

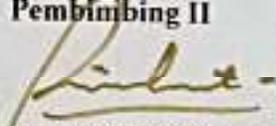
Penguji II


Siwan E. Perangin angin, ST, MT
NIDN : 0103068904

Pembimbing I


Dr. Parulian Siagian, ST, MT
NIDN : 0020096805

Pembimbing II


Dr. Richard A. M Napitupulu, ST, MT
NIDN : 0126087301

Fakultas Teknik
Dekan,


Ir. Yetty Saragi, ST, MT, IPU, ACPE
NIDN : 0103017503

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,


Ir. Suriady Sihombing, MT
NIDN : 0130016401

BAB 1

PENDAHULUAN

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^{17} 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). Salah satu solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah menggunakan solar tracker. Solar tracker adalah sebuah perangkat yang dapat membantu panel surya untuk memaksimalkan penangkapan radiasi matahari dengan cara membuat panel surya selalu menghadap (tegak lurus) matahari, Pada panel surya statis atau sumbu tetap, penangkapan radiasi matahari secara maksimum dapat dicapai dengan mengoptimalkan arah dan kemiringan dari panel itu sendiri secara manual. Arah dan kemiringan panel yang optimal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain lokasi dan musim di tempat tersebut. Penelitian-penelitian terkait solar tracker, baik sumbu tunggal maupun ganda, menunjukkan adanya peningkatan keluaran panel surya yang nilainya bervariasi, Penelitian ini bertujuan untuk membuat purwarupa solar tracker sumbu tunggal. Selain itu, letak Indonesia yang berada di khatulistiwa menyebabkan pergerakan matahari yang tidak terlalu signifikan apabila dibandingkan dengan negara yang terletak di luar lingkaran tropis. Keluaran dari solar tracker ini kemudian dibandingkan dengan sebuah panel yang diam (statis) sebagai variabel kontrol untuk melihat unjuk kerja dari solar tracker.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dibahas dari penelitian ini adalah ;

1. Bagaimana cara mendesain *Uji performance panel surya 100 Wp yang ditambah kaca Reflektor dengan kemiringan 5° Statis.*

2. Bagaimana intensitas *Uji performance panel surya 100 Wp yang ditambah kaca Reflektor dengan kemiringan 5° Statis*.
3. Bagaimana daya dan tegangan yang dihasilkan yang oleh panel surya yang menggunakan pembangkit dan *Uji performance panel surya 100 Wp yang ditambah kaca Reflektor dengan kemiringan 5° Statis* tetap pada saat jam 08.00-16.00.
4. Pengambilan data 3 hari untuk photovoltaic 100 Wp dengan interval 15 menit sekali.
5. Sudut yang dipakai yaitu 5° arah timur.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membahas *Uji performance panel surya 100 Wp yang ditambah kaca Reflektor dan tanpa kaca Reflektor dengan kemiringan 5° Statis*.
2. Menganalisa daya serta luaran lainnya yang dihasilkan panel surya dengan *kemiringan 5° Statis*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui data intensitas cahaya matahari, tegangan, arus, daya masuk, daya keluar, temperatur, dan kecepatan angin sekitar yang ditambah kaca reflektor dan tanpa kaca reflektor dengan *kemiringan 5° Statis* selama 3 hari pengujian.
2. Untuk mendapatkan hal-hal yang mempengaruhi fotovoltaik dari Alat.
3. Untuk mengetahui bagaimana perbandingan performance panel surya yang tanpa kaca reflektor, dan apakah ada peningkatan pada performancenya.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Survey lapangan dan menemukan lokasi penelitian.
2. Survey literatur, 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 Panel Surya 100 wp yang di tambah kaca reflektor dengan kemiringan sudut 5° .
4. Analisa terstruktur, metoda yang dilakukan untuk mendesain Panel Surya 100 wp yang di tambah kaca reflektor dengan kemiringan sudut 5° dan untuk menganalisa rancangan yang di buat.
5. Uji coba, metoda yang digunakan untuk menguji performance Panel Surya 100 wp yang di tambah kaca reflektor dengan kemiringan sudut 5° .

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari perancangan system pembangkit dan Uji performance Panel surya 100 wp yang ditambah kaca reflektor dengan kemiringan 5° pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai informasi awal penggunaan Sistem Pembangkit dan Efisiensi Fotovoltaik 100 Wp dengan kemiringan sudut 5° pada panel surya untuk menghemat energi listrik dari bahan bakar fosil serta mengurangi konsumsi bahan bakar minyak terhadap perkembangan industri dan teknologi.
2. Memberikan informasi tentang intensitas cahaya, daya dan tegangan listrik yang didapat dengan menggunakan Sistem Pembangkit dan Efisiensi Potovoltaik 100 Wp dengan kemiringan sudut 5° .
3. Membantu mengurangi pemanasan global dengan menggunakan sumber energi yang ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. 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*.

Sell surya (*photovoltaic*) merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik. Energi matahari pada faktanya 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.

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.

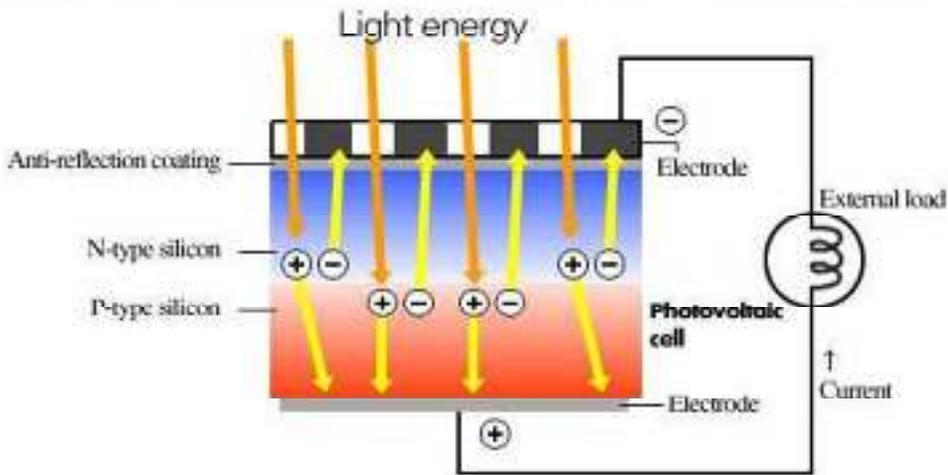
Sel surya sebenarnya adalah sebuah sel *fotovoltaik* yang berfungsi sebagai pengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC) secara langsung.

Pada saat terkena cahaya yang mempunyai $E_g > 1$ eV, maka terjadilah hubungan elektron dan *hole* melalui bahan semikonduktor ini. Maka timbullah aliran elektron pada satu arah dan juga timbul aliran *hole* pada satu arah yang berlawanan dan timbul aliran arus yang bila dihubungkan pada suatu beban akan menimbulkan tenaga listrik. Pada saat sumber cahaya tiba-tiba dimatikan, maka konsentrasi masing-masing elektron dan *hole* akan kembali seperti saat awal dimana belum diberi cahaya. Proses kembalinya konsentrasi elektron dan *hole* pada keadaan semula ini dikenal sebagai proses *rekombinasi*. Jadi pada sel surya tidak akan ada penyimpanan energi, energi akan hilang begitu terjadi proses *rekombinasi*. elektron dan hole bebas diusahakan keluar melewati suatu beban luar dan memberikan energi kepada beban tersebut, hal ini jelas membutuhkan life time yang tinggi atau recombination rate yang rendah. Pemisahan elektron dan hole bebas pada photovoltaic cell dilakukan "internal field" atau yang disebut *p-n junction* yang terbentuk pada perbatasan bahan semikonduktor tipe p dan tipe n.

Pada saat sel surya terkena cahaya, maka sel surya akan menerima energi dari foton ke *electron* yang bergerak bebas pada lapisan *tipe-n*, sehingga dengan adanya pemberian energi dari foton tersebut, maka *electron* bebas pada lapisan *tipe-n* memiliki energi tambahan untuk pindah ke lapisan *tipe-p*.

sehingga pada lapisan *tipe-n* bersifat lebih positif dari lapisan *tipe-p*, karena ada beberapa jumlah proton yang lebih besar dari pada jumlah *electron*. Lalu *electron* bebas tersebut masuk ke dalam lapisan *tipe-p*, *electron* akan memasuki *hole* yang ada pada lapisan *tipe-p*. sehingga lapisan *tipe-p* ini akan bersifat lebih negative, karena ada beberapa atom yang memiliki jumlah proton lebih sedikit dari jumlah elektronnya. Jika lapisan *tipe-p* dan *tipe-n* dihubungkan dengan beban, maka akan mengalir arus dari lapisan *tipe-n* menuju *tipe-p*.

A photovoltaic cell generates electricity when irradiated by sunlight.



Gambar 2. Pembangkitan Kelelistrikan dari sel surya

Besarnya energi cahaya yang dapat diserap oleh sel surya adalah bergantung terhadap besarnya energi foton dari sumber cahaya. Besar energi cahaya yang mungkin dapat diserap oleh sel surya

$$E = hf$$

Intensitas energi suatu sumber cahaya terhadap sel surya

$$J \approx 2 \frac{1}{R}$$

Jika luas permukaan sel surya (A) dengan intensitas tertentu, maka daya *input* sel surya adalah :

$$P_{in} = J.A$$

Semakin besar daya *input* yang diberikan, maka daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sel surya semakin besar. Daya listrik adalah besaran yang diturunkan dari nilai tegangan dan arus sehingga nilai tegangan dan arus yang dihasilkan merupakan bagian dari kelistrikan yang dimiliki oleh sel surya. Daya listrik yang diberikan oleh sel surya adalah :

$$P_{sel} = V_{sel} . I_{sel}$$

Efisiensi keluaran maksimum (η) didefinisikan sebagai *prosentase* daya keluaran optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Selain efisiensi, karakteristik yang lainnya adalah faktor pengisi (*fill factor*, FF). *Fill factor* (FF) merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc}). Hal ini berarti bahwa daya yang dimiliki oleh sel surya belum tentu dapat diberikan kepada beban sepenuhnya. Harga *fill factor* yang ideal 0.7 sampai 0.85.

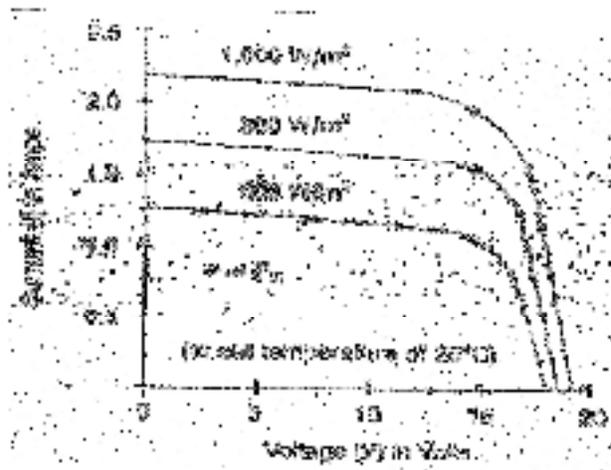
$$FF = \frac{V_{Mpp}}{V_{oc}} \times \frac{I_{Mpp}}{I_{Sc}}$$

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF^2$$

2.1.1 Efek Perubahan Intensitas

Cahaya

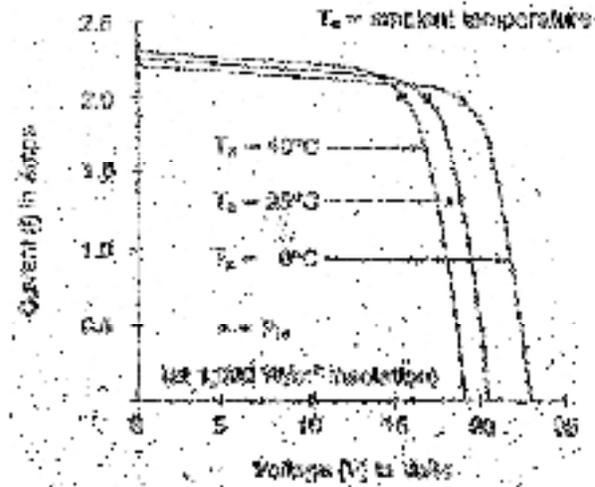
Apabila energi cahaya yang diterima sel surya berkurang atau intensitasnya melemah, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun.



Gambar 2.1: Kurva efek perubahan intensitas

2.1.2 Efek Perubahan Temperatur Pada Sel Surya

Sel surya akan beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25⁰ C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}).



Gambar 2.2. Kurva efek perubahan temperature

Pengoperasian sel surya agar didapatkan nilai yang maksimum juga tergantung pada faktor-faktor antara lain:

1. Orientasi dari rangkaian modul surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel dapat menghasilkan energi maximum. Sebagai *guidline* : untuk lokasi yang terletak di belahan Utara *latitude*, maka panel sebaiknya diorientasikan ke Selatan.
2. *Tilt Angle* (sudut orientasi Matahari) Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$.

2.1.3 Upaya Untuk Mendapatkan Radiasi yang Lebih Banyak

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan dalam upaya mendapatkan radiasi matahari diantaranya:

1. Menggunakan alat yang dapat mengikuti pergerakan matahari.
2. Menambah luasan bidang permukaan panel surya.
3. Memiringkan kedudukan panel ke suatu arah dengan sudut kemiringan sebesar lintang lokasi daerah itu berada.
4. Menggunakan solar *reflector*.

2.2 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, energy 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 kepermukaan bumi. Atmosfer melemahkan banyak bagian spektrum cahaya. Misalnya *x-ray* hampir semuanya diserap sebelum mencapai tanah. Beberapa persen radiasi *ultraviolet* juga disaringoleh atmosfer, beberapa dipantulkan kembali keangkasa dan beberapa bagian lagi tersebar diatmosfer yang membuat langit terlihat biru.

2.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja *Fotovoltaic*

Suplai energy surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar yaitu mencapai 3×10 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 devais *solar cell* yang memiliki efisiensi 10 % sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini. Cara kerja sell 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:

$$E = h.f \dots \dots \dots (1), \text{ Literatur 2, hal. 97}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \dots \dots \dots (2), \text{ Literatur 2, hal. 97}$$

Keterangan:

E = Energi photon (eV)

h = Konstanta *planck* ($6,62 \times 10^{-34}$ Js)

c = Kecepatan cahaya dalam vakum (3×10^8 m/s)

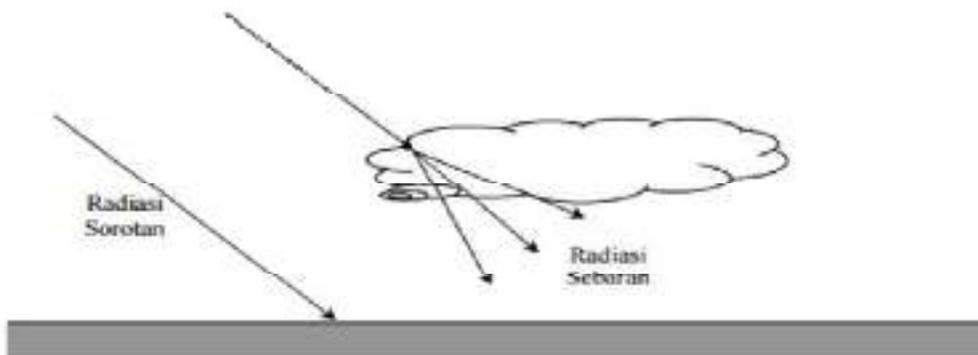
λ = Panjang gelombang cahaya (nm)

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 devais 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 diluar 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 2.3: Radiasi Langsung dan Radiasi Sebaran pada Permukaan Horizontal.

Insolasi surya merupakan intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama 1 jam, dinyatakan dengan lambang I dan satuan W/m . 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. Lamanya 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) = Intensitas cahaya matahari (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. Radiasi 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 °C (dari 25 °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 :

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

$$P \text{ saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C} = \frac{0,5 \%}{P \times \text{PMPP} \times \text{Renaissance Temperatur}} \{FC\} \dots \dots (3), \text{ literatur 2, hal. 104}$$

Dimana:

P saat t naik °C = Daya pada saat temperature naik °C dari temperature standard (W)

PMPP = Daya keluaran maksimum modul surya (W)

Daya keluaran modul surya pada saat temperaturnya naik menjadi t C dari temperatur standarnya diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut

$$\text{PMPP saat naik menjadi } t \text{ } ^\circ\text{C} = \text{PMPP} - P \text{ saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C} \dots \dots (4), \text{Literatur 1, hal.105}$$

PMPP saat naik menjadi t C merupakan daya keluaran modul surya pada saat temperatur disekitar modul surya naik menjadi t 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 antar 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.

2.3. Panel Surya (*Solar Cell*)

Panel surya merupakan salah satu alat konversi energi dari energi surya menjadi energy 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*.



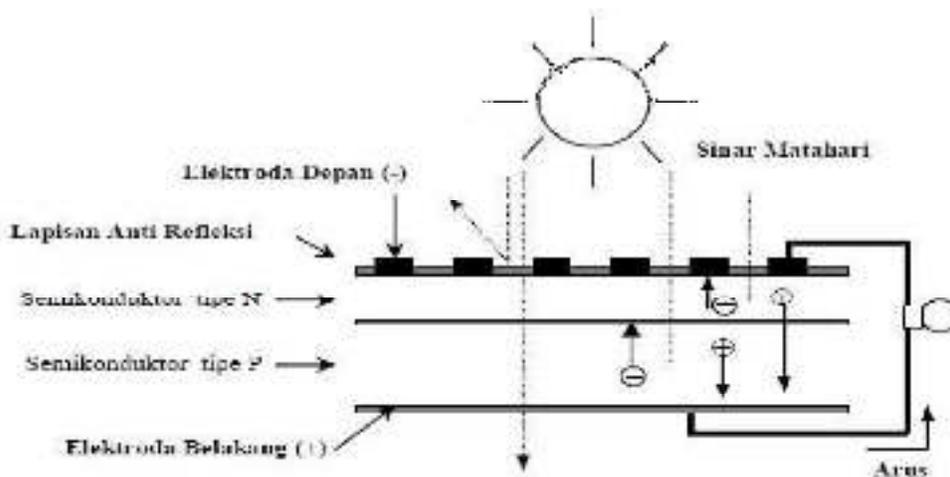
Gambar 2. 4: Panel Surya

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

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 *band gap* energi di aplikasikan ke elektron valensi, ikatan akan rusak dan beberapa electron bebas untuk bergerak dalam ikatan energy baru yang dinamakan *conduction band* 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 *conduction band* 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 *valence band* 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 cel*

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:

$$\lambda \cdot E = h \cdot c \dots \dots \dots (5), \text{ Literatur 2, hal, 81}$$

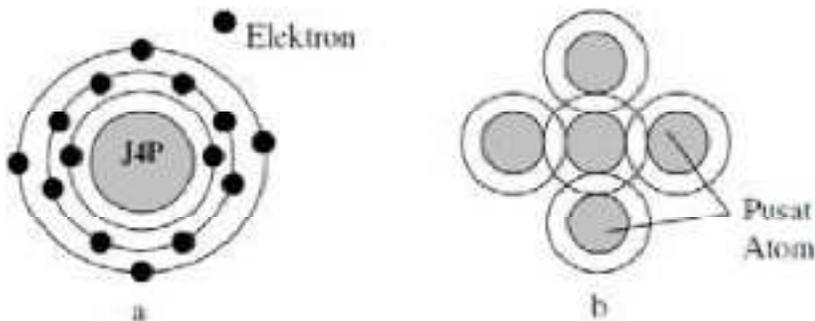
dimana : h = konstanta Plancks (6.62×10^{-34} Js)

c = kecepatan cahaya dalam vacum (3×10^8 m/s)

E = energy (J)

λ = panjang gelombang cahaya (nm).

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 dimurnikan 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 netral. Inti atom dikelilingi oleh elektron bermuatan 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.

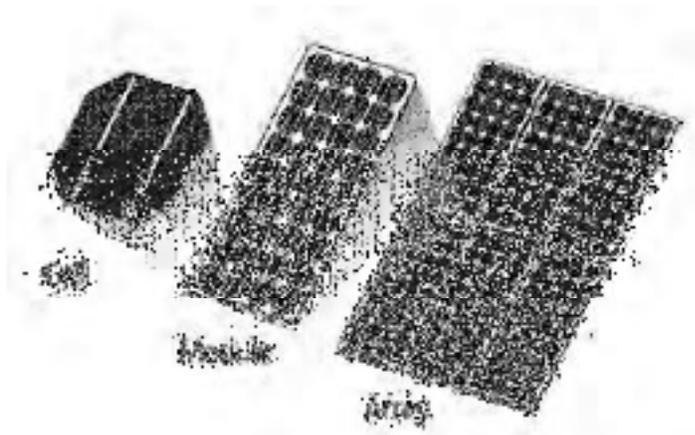


Gambar 2.6: Ikatan Kovalen Kristal Silikon

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 :

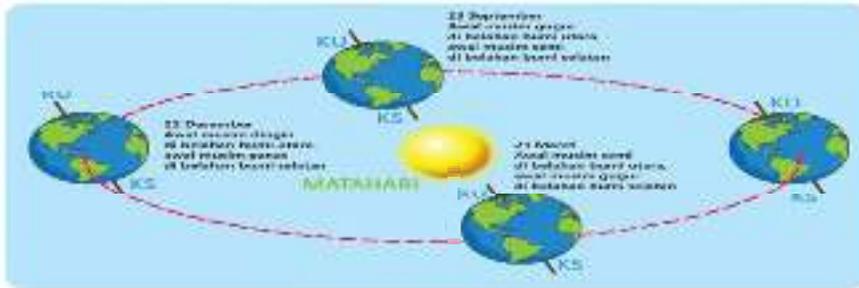
1. **Monokristal (*Mono-crystalline*)** Merupakan panel surya yang paling efisien. Panel ini memiliki efisiensi sampai 15 %. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik pada saat sinar matahari kurang melimpah atau mendung, efisiensinya akan turun drastis apabila cuaca berawan.
2. **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* .

2.3.1 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:

$$a = 90^\circ - \text{lat} - \delta \text{ (Nhemisphere)} \dots\dots\dots(6), \text{Literatur 2, hal. 107}$$

$$a = 90^\circ + \text{lat} - \delta \text{ (Shemisphere) } \dots\dots\dots(7), \text{Literatur 2, hal. 107}$$

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

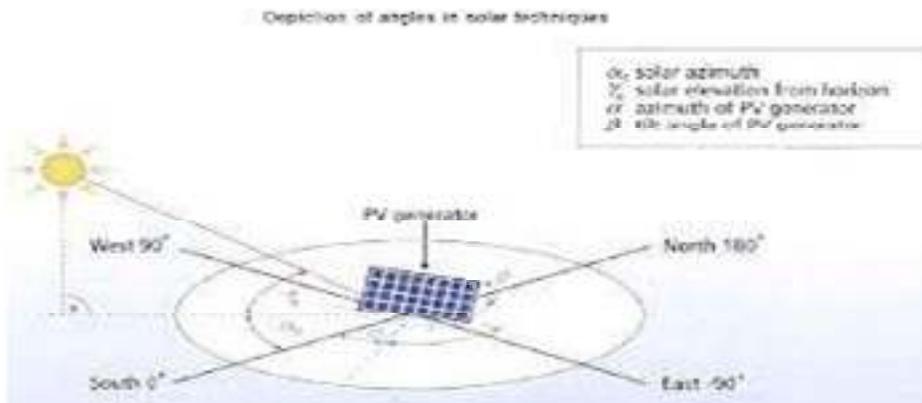
$$B = 90^\circ - \alpha \dots\dots\dots(8), \text{Literatur 2, hal. 107}$$

Keterangan:

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

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

Tabel 2.2: Posisi kemiringan instalasi panel surya

Garis Lintang	Sudut Kemiringan
0 - 15°	15°
15 - 25°	25°
25 - 30°	30°
30 - 35°	40°
35 - 40°	45°
40 - 90°	65°

2.4 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.

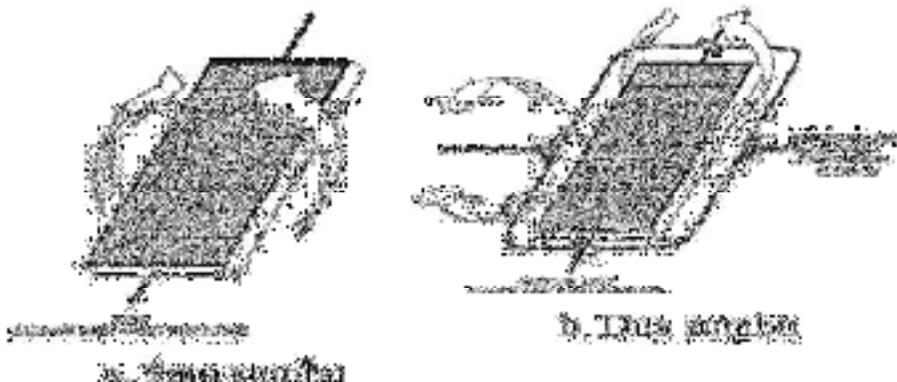
Klasifikasi pertama dapat dibuat berdasarkan jumlah sumbu putaran.



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

Pada klasifikasi ini system *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.

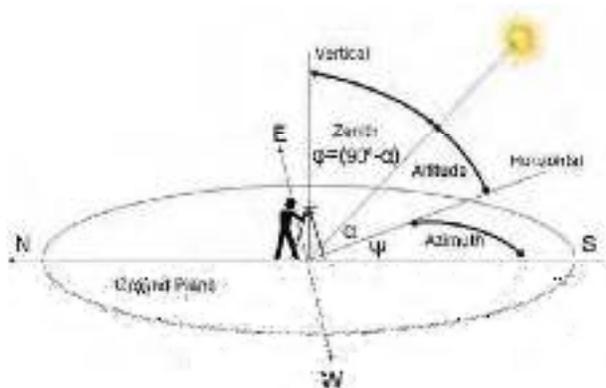


Gambar 2.11: Sistem *tracking* satu sumbu dan dua sumbu (Sumber INVOTEK)

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

2.5 Statis

Listrik merupakan salah satu kebutuhan pendukung aktivitas manusia dan sudah menjadi bagian yang tidak terlepas dari manusia. Sehingga penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi menarik sebagai energi alternative menghasilkan listrik. Salah satu keunggulannya karena pengolahan listrik tenaga surya ramah akan lingkungan. Dalam hal ini panel surya yang terpasang kebanyakan bersifat statis atau diam, sehingga proses penyerapan energi matahari oleh panel surya kurang maksimal. Untuk mendapatkan energi matahari yang maksimal, maka posisi panel surya tersebut harus mengikuti arah datangnya sinar matahari. Pada penelitian kali ini telah ditentukan sudut kemiringan yang sesuai untuk posisi panel surya, dikarenakan setiap jam matahari akan terus bergerak ke arah barat dimana posisi sudut panel surya akan terus mengikuti arah pergerakan matahari setiap jamnya, perhitungan sudut kemiringan panel surya akan membuat panel surya mendapatkan intensitas cahaya lebih maksimal dibandingkan posisi panel surya statis. Dari hasil penelitian menunjukkan dengan menggunakan metode perhitungan sudut kemiringan maka efisiensi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan panel surya statis. Disimpulkan bahwa metode perhitungan sudut kemiringan yang diusulkan dapat menambah daya energi matahari lebih banyak daripada tanpa menggunakan metode (statis).



Gambar 2.12: Sudut *azimuth*, *zenith* dan *attitude* 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: Statis (tidak bergerak)

2.6 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.

2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung didalam 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 mikrokontroler* yang dengan *mikrokontroler* jenis AVR ATmega 328. *Arduino uno* merupakan perangkat *hardware* open source(OSH – *Open source Hardware*). *Arduino* sebagai sebagai perangkat hardware open source berarti siapapun memiliki kebebasan untuk dapat membuat dan mengembangkan arduino sendiri. *Mikrokontroler 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 *mikrokontroler board Arduino*. *Arduino* mendukung perangkat *mikrokontroler* yang dapat dihubungkan dengan *computer* menggunakan kabel USB sebagai *loader* dan *port* komunikasi serial.



Gambar : 2.14 Arduino Uno

Tabel 2.3 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

2. Perangkat pendukung

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 2.4 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).

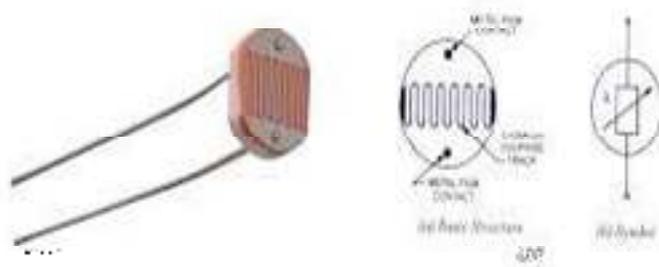


Gambar 2.17: *Liquid Crystal Display (LCD)*

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.

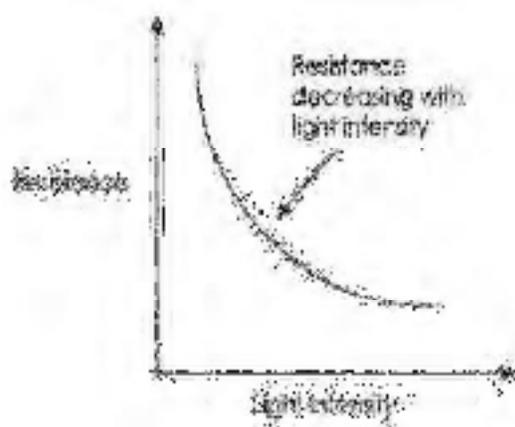
Fungsi dari LDR adalah untuk menghantarkan arus listrik ketika kondisi cahaya terang dan akan menghambat arus ketika kondisi cahaya kurang/gelap. Dengan kecilnya nilai hambatan LDR pada saat intensitas cahaya tinggi, maka tegangan yang melalui LDR akan tinggi. Dan sebaliknya, jika intensitas cahaya rendah 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 2.5 Spesifikasi Sensor LDR

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



Gambar 2.19: Kurva pengaruh intensitaas cahaya terhadap LDR.

Sumber : (zoniaelektro.net/,2014).

2.8 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 reelektor memiliki sifat yang berbeda. Dalam keadaan gelap, reflektor hanya berguna jika ada cahaya yang datang. Refelektor akan memantulkan cahaya, cahaya yang datan sedikit yang terpantul pun sedikit. Jadi reflektor bukan untuk menerangi kegelapan.



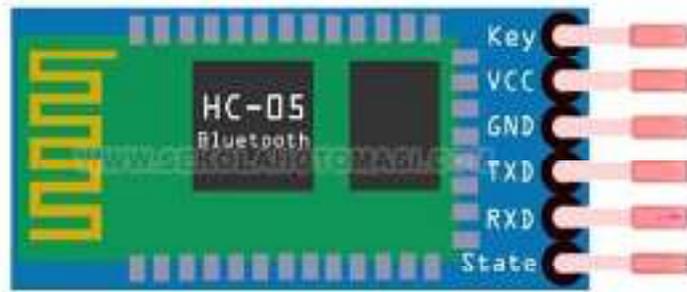
Gambar 2.20 Kaca Reflektor pemantul Cahaya

Tabel 2.6 Spesifikasi Kaca Reflektor

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

2.9 Modul Bluetooth HC-05

Bluetooth adalah salah satu media komunikasi data tanpa kabel (*nirkabel*). Tujuan utama penggunaan dari modul bluetooth ini adalah menggantikan komunikasi serial menggunakan kabel. Terdapat 2 jenis komunikasi bluetooth, yaitu *Master* (pengirim data) dan *Slave* (penerima data). Bluetooth HC-05 dapat berperan sebagai *bluetooth master device* ataupun *slave device*.



Gambar 2.21 Bluetooth HC-05

Tabel 2.7 Spesifikasi Bluetooth HC-05

Spesifikasi	Keterangan
Daya Transmit RF	+4dBm
Sensitivitas	-80dBm
Operasi Daya Rendah	1,8V-3,6V I/O

2.10 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 kekuatan mcSi sel surya bergantung pada parameter lingkungan misalnya intensitas cahaya, besarnya sudut datang 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 efisiensi 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 :

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

Keterangan : η = Efisiensi modul surya

P_{in} = Daya Masuk

Voc = Open Circuit Voltage

Isc = Short Circuit Current

Kerapatan daya output maksimum dari sel surya adalah fungsi densitas arus pendek, tegangan sirkuit terbuka, Faktor bentuk dan dapat diberikan sebagai, $P_{max} = J_{sc} \times V_{oc} \times FF$ (W/cm).....(2.12),Literatur 10,hal.142

Keterangan :

Jcc = Densitas Arus Pendek

Voc = Tegangan Sirkuit Terbuka

FF = Faktor Bentuk

2.11 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.

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 bumi.

2.12 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 = 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 :

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

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 :

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

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 pengambilan data.

Output

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

Input

sehingga efisiensi yang dihasilkan :

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

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.

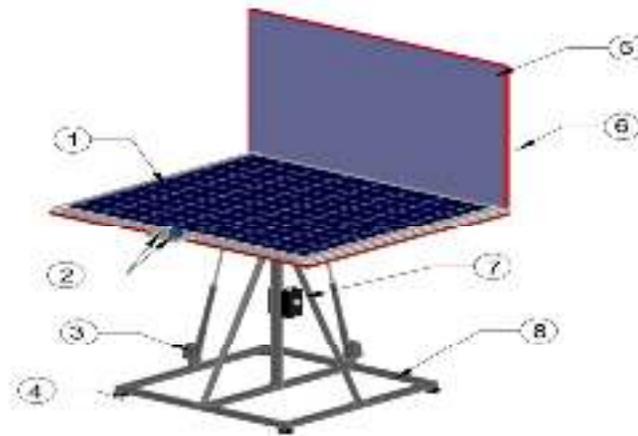
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pengujian *single axis Auto Tracker dengan kemiringan sudut 5°* berlangsung pada bulan Oktober - November 2022 dilakukan di laboratorium *Work Shop* dan Pengembangan Universitas HKBP Nommensen Medan. Posisi koordinat lokasi penelitian terletak pada 3^o35'49.5"LU 98^o 40'52.5" BT (*src google maps*).

3.2. Gambar Statis



Gambar 3.1 Statis

Keterangan :

1. *Fotovoltaic* 100 Wp
2. Sensor.
3. Motor servo
4. Landasan
5. Kaca Reflektor
6. Dudukan Kaca
7. Controller
8. Rangka

3.3 Mekanisme Kerja Axis Linear Listrik

Aktuator linier listrik adalah perangkat yang mengubah gerakan rotasi motor menjadi gerakan linier. Ini akan memberikan gerakan dorong dan tarik melalui poros perpanjangan utama pada Aktuator. Tindakan mendorong dan menarik ini memungkinkan untuk mengangkat, menjatuhkan, menggeser, menyesuaikan, memiringkan, mendorong atau menarik barang, hanya dengan menekan sebuah tombol. Memasang aktuator Linear sangat sederhana dibandingkan dengan sistem pneumatik atau hidrolis karena mereka memakan lebih sedikit ruang. Aktuator Linear Listrik tidak memiliki pompa atau selang, atau tangki. Mereka juga lebih murah daripada Aktuator Hidraulik atau Pneumatik karena alasan yang sama. Aktuator linier listrik terdiri dari motor DC atau AC, serangkaian roda gigi dan sekrup timbal

termasuk mur. Pada intinya, semua Linear Actuator terdiri dari, dan semua yang berubah dari satu model ke model lainnya, adalah ukuran motor, rasio roda gigi di dalam kotak roda gigi, dan gaya dan pitch sekrup utama. Beberapa elektronik lain dapat membantu untuk melakukan jumlah langkah, posisi, atau batas switching, tetapi pada dasarnya sebuah Actuator tidak lebih dari sebuah motor, beberapa roda gigi dan lead-screw, dengan poros yang diperpanjang.

3.4 Alat Teknis untuk Mengukur

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

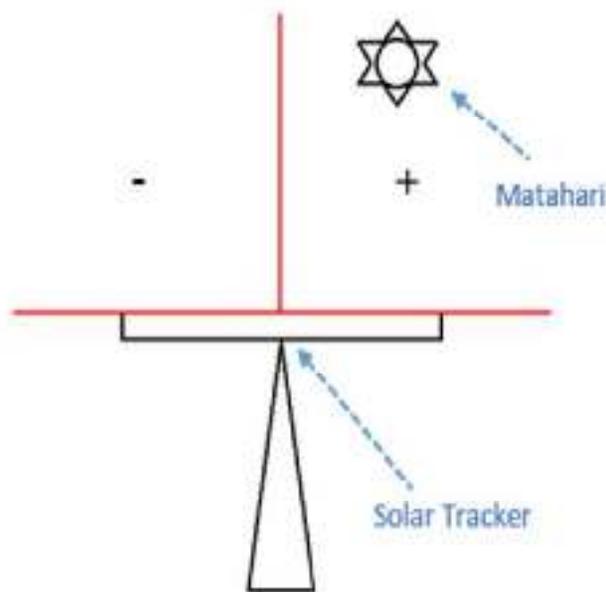
Matahari sistem tracking cahaya matahari adalah sebuah kesatuan komponen atau elemem yang di gabungkan menjadi satu untuk mengontrol posisi atau elemem yang digabungkan menjadi satu untuk mengontrol posisi atau system tracking dengan tujuan mengusahakan permukaan modul solar cel selalu menghadap arah datangnya cahaya matahari. Sistem tracking cahaya matahari ada beberapa jenis dan dapat di klasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria (Tudorache ,T, Dan kreindler. (2010).). Klasifikasi pwertama dapat dibuat berdasarkan jumlah sumbu putaran.

3.5 Prosedur Pengambilan Data

1. Lokasi pengujian di lantai 2 gedung genset.
2. Pengambilan data dimulai pukul 08:00 – 17-00.
3. Untuk menghidupkan tombol *power on/off* pada *controller*.
4. Setelah itu sambungkan kabel *output/USB* dari *controller* ke laptop.
5. Buka aplikasi *GUI solar tracker V2.1 exe*
6. Pilih Port dari *controller* yang terhubung dengan laptop atau komputer.
7. Kemudian klik run  untuk memulai pengoperasian *GUI solar tracker V2.1 exe*.
8. Kemudian ilih menu *AUTO* pada *controller*.

9. Untuk melakukan *record* data klik *RECORD* Saat GUI beroperasi.
10. Kemudian pilih lokasi penyimpanan file data dan set nama file.
11. Tombol *record* akan berubah menjadi *RECORDING* dan berwarna hijau saat proses pengambilan data berlangsung.
12. Jika selesai melakukan *record* data klik tombol *RECORDING* hingga berubah menjadi warna kuning.
13. Kemudian untuk menghentikan GUI yaitu dengan cara menekan tombol *STOP*.
14. Untuk proses pengambilan data temperatur dan kecepatan angin sekitar digunakan dengan menggunakan *anemometer* setiap 15 menit yang diletakkan dengan jarak 2 meter dari alat.

3.6. Ilustrasi gambar untuk solar traker

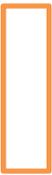


Gambar 3.2: Ilustrasi gambar untuk solar tracker

3.7. Schedule Penelitian

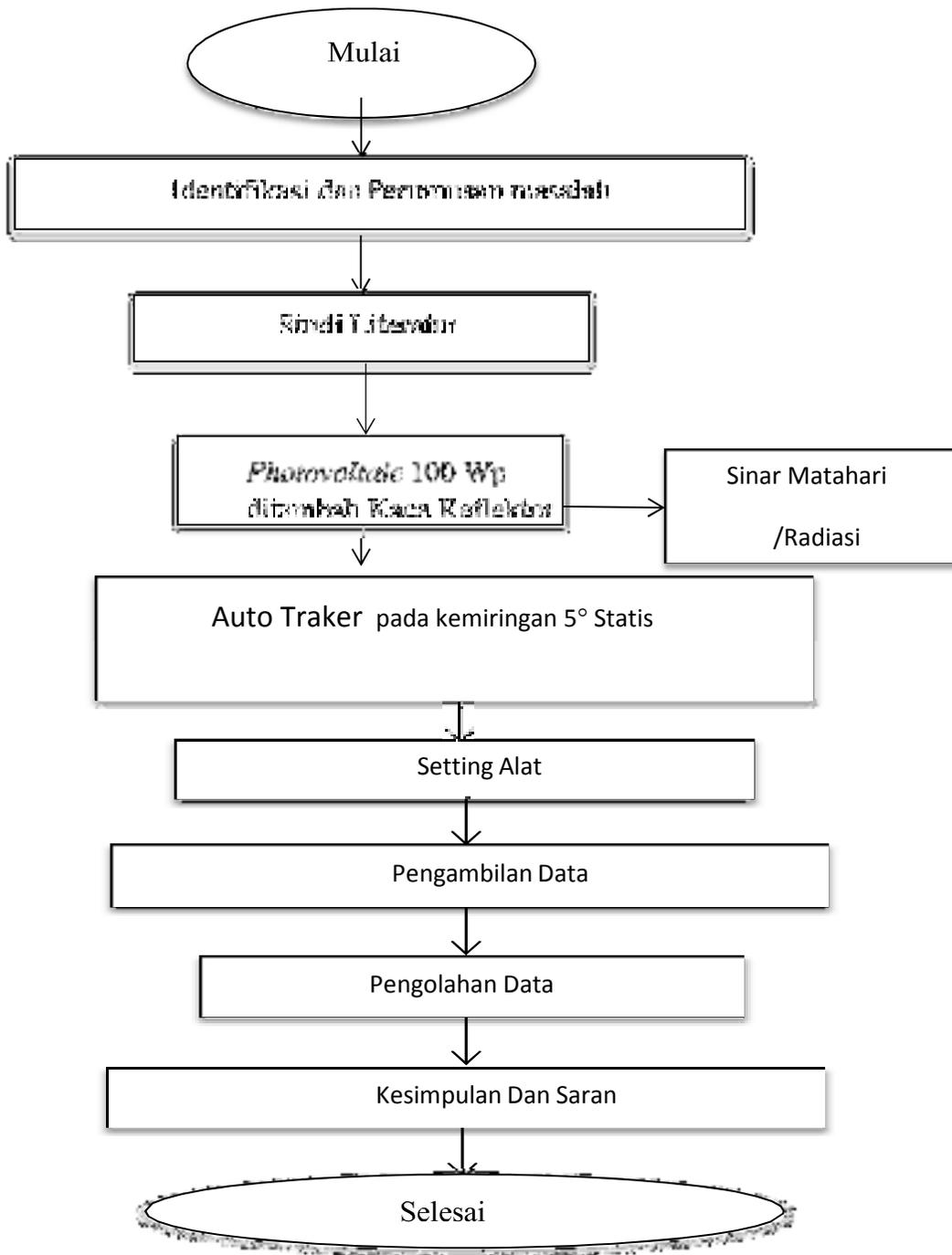
Tabel 3.1 : *Schedule* Penelitian 2022

No	Jenis Kegiatan	Maret				april				mei				juni				juli			
		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	Pengajuan Judul																				
2	Bimbingan BAB I-III																				
3	Pengajuan Sidang Proposal																				
4	Revisi Hasil Proposal																				
5	Persiapan Alat dan Bahan																				
6	Pembuatan Prototipe <i>single axis solar tracker</i> Photovoltaik 100 Wp																				
7	Pengujian																				
8	Seminar Hasil																				
9	Revisi Seminar Hasil																				



10	Sidang																		
----	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3.8 Diagram Alir Penelitaian



Gambar 3.3 Diagram Alir

