

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi Surya merupakan sumber energi yang tidak terbatas ketersediaannya, meskipun demikian dalam pemanfaatannya banyak hal yang perlu dipertimbangkan diantaranya: cuaca, temperatur, kelembapan, dan posisi dari sel surya tersebut terhadap matahari. Pada saat ini panel surya berbentuk permanen dengan sistem yang kompleks sehingga pemanfaatan energi surya sangat sulit untuk dipindahkan dari tempat satu ke tempat lainnya. Hal ini menyebabkan keterbatasan akan kegiatan manusia tersebut di daerah yang belum terdapat saluran energi listrik akan terhambat produktivitasnya. Oleh karena itu diperlukan pembangkit listrik yang dapat dibawa ke mana pun sangat mudah dan efisien sehingga tidak menghambat produktivitas di mana pun tempatnya. Dalam hal ini mengakibatkan penyerapan energi matahari oleh solar *cell* kurang optimal. Untuk mendapatkan energi matahari yang maksimal, maka posisi panel surya tersebut harus selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang ditangkap oleh panel surya, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan, oleh karena itu perlu dibuat suatu sistem yang dapat membuat sel surya selalu mengikuti arah pergerakan matahari yaitu dengan *auto tracking*. Panel surya yang mengonversikan sinar matahari menjadi energi listrik akan di desain dengan sistem *auto tracking system* yang dikontrol menggunakan mikrokontroler Arduino. Untuk dapat merealisasi sistem tersebut di atas dibutuhkan beberapa sensor peka cahaya yang membaca arah datangnya cahaya dari beberapa sudut lalu sensor tersebut mengirimkan data terhadap mikrokontroler sehingga mikrokontroler akan menentukan posisi yang tepat agar panel surya mendapatkan cahaya yang maksimal. Dengan menggunakan *auto tracking system* tersebut maka akan bertambah efisiensi panel surya untuk menyerap sinar matahari.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan dalam tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain pembangkit listrik tenaga surya agar portable ?
2. Bagaimana struktur dari *auto tracking* pada panel surya portable agar dapat bekerja dengan baik ?
3. Apa program dan mikrokontroler yang digunakan untuk sistem *auto tracking* ?
4. Bagaimana merancang program pada sistem *auto tracking* agar mengikuti pergerakan matahari ?
5. Bagaimana Langkah-langkah pembuatan sistem *auto tracking* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dan manfaat dari penulisan ini adalah:

1. Meningkatkan efisiensi panel surya dalam mengonversi energi matahari sebesar 5% dari efisiensi normalnya.
2. Membuat sistem *auto tracking dual axis* untuk mengikuti pergerakan matahari.
3. Mengontrol pergerakan sistem *auto tracking* secara otomatis.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan ini adalah:

1. Mendukung pemerintah dalam meningkatkan penggunaan energi terbarukan.
2. Mengurangi dampak pemanasan global dari penggunaan BBM sebagai sumber energi listrik.
3. Merupakan investasi sumber energi jangka panjang bagi masyarakat.
4. Membantu menyediakan energi listrik di daerah tertentu (daerah terpencil, daerah tanpa instalasi listrik) untuk keperluan penelitian, komunikasi maupun penerangan.

1.5. Batasan Masalah

Pada perancangan ini permasalahan yang dibahas dibatasi dalam hal sebagai berikut:

1. Tidak membahas lebih dalam PLTS secara keseluruhan melainkan berfokus pada sistem *auto tracking*-nya.
2. Tidak membahas tentang pengaturan kecepatan motor pada sistem *auto tracking*.
3. Tidak membahas perhitungan momen gaya yang menggerakkan sistem.
4. Sistem *auto tracking* berbasis *dual axis*.
5. Kendali robot menggunakan *software* Arduino versi 1.8.16.

1.6. Metodologi Pemecahan Masalah

Metode penulisan yang akan dilakukan adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi pustaka ini dilakukan untuk menambah pengetahuan penulis untuk mencari referensi bahan dan teori-teori berupa buku, data dari internet (referensi yang menyangkut tentang Pembangkit listrik tenaga surya dan sistem *auto tracking*).
2. Perancangan Sistem
Merancang panel surya portable dengan *auto tracking* menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali sistem *auto tracking*.
3. Pengujian Alat di Laboratorium
Pengujian dan analisa dilakukan untuk memperoleh data dari beberapa bagian perangkat keras maupun perangkat lunak, sehingga bisa diketahui apakah sudah dapat bekerja dengan stabil sesuai yang diinginkan. Kemudian pengujian sistem juga dilakukan untuk mengetahui kinerja komponen yang digunakan untuk menggerakkan panel surya.

1.7. Kontribusi Tugas Akhir

Dari hasil perancangan yang telah dilakukan diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada:

1. Mahasiswa teknik elektro.
2. Penelitian bidang kontrol otomatis.

1.8. Sistematika Penulisan

Agar memudahkan dalam pemahaman isi dari tugas akhir ini, maka diuraikan penulisannya sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi pemecahan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini berisi tentang dasar-dasar teori mengenai peralatan baik *software* maupun *hardware* yang diperlukan untuk perancangan alat.

BAB III : METODE PERANCANGAN

Berisikan dasar-dasar dari perancangan alat baik *software* maupun *hardware*, prinsip kerja, serta pengujian masing-masing sistem.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PENGUJIAN SISTEM

Berisikan uraian pengujian alat dan analisis terhadap hasil perancangan alat dan pengujian kinerja alat.

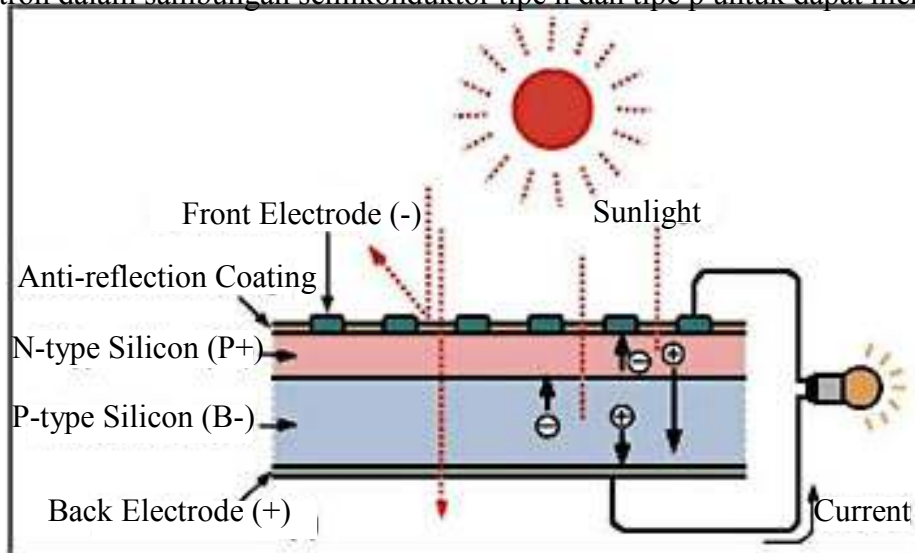
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil pengujian alat.

BAB II LANDASAN TEORI

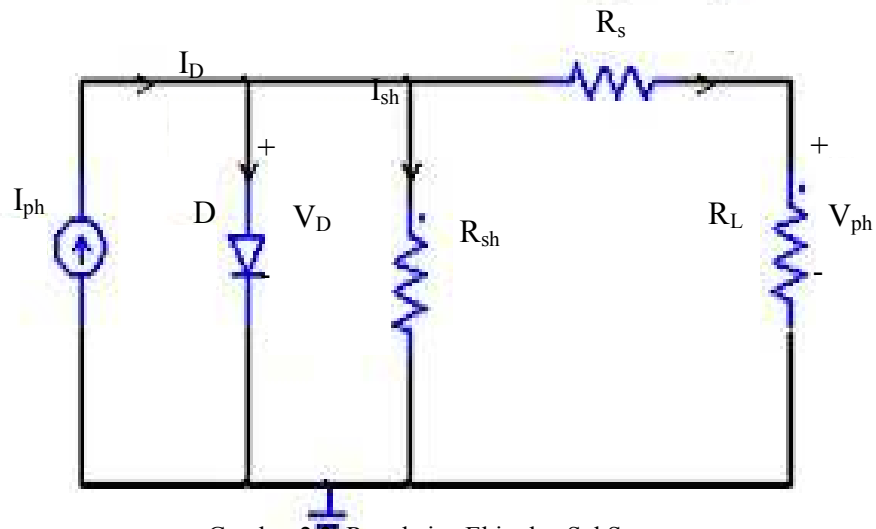
2.1. Pendahuluan

Sel surya merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek *photovoltaic* untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* merupakan fenomena fisika di mana energi cahaya datang, yang mengenai permukaan sel surya akan diubah menjadi energi listrik. Arus listrik dapat timbul, karena energi foton cahaya datang berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe n dan tipe p untuk dapat mengalir.



Gambar 2.1. Efek *Photovoltaic*

Sel surya terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Rangkaian ekuivalen sel surya terdiri dari sebuah *photocurrent* (I_{ph}), sebuah diode, hambatan seri (R_s) dan hambatan paralel (R_{sh}), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. berikut.



Gambar 2.2. Rangkaian Ekuivalen Sel Surya

Dari rangkaian di atas, *light generated current* atau *photocurrent* (I_{ph}) adalah arus yang dihasilkan langsung akibat penyinaran sinar matahari pada sel surya. Arus ini bervariasi secara linear dengan radiasi matahari dan tergantung pada suhu yang diberikan. Hambatan R_{sh} dan R_s menunjukkan hambatan intrinsik paralel dan seri dari sel. Biasanya nilai R_{sh} lebih besar dibandingkan R_s . Persamaan 2.1 menjelaskan prinsip sederhana dari rangkaian ekuivalen sel surya di atas. Besarnya arus sel surya (I_{pv}) adalah pengurangan dari arus I_{ph} , arus diode (I_D) dan arus hambatan paralel (I_{rsh}), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$(2.1)$$

Persamaan di atas dapat dijabarkan dengan persamaan berikut :

$$\left(\frac{I_{ph}}{n} \left(e^{\frac{V_{pv}}{nV_t}} - 1 \right) - I_{rsh} \right) \left(R_s + R_L \right) = V_{pv} \quad (2.2)$$

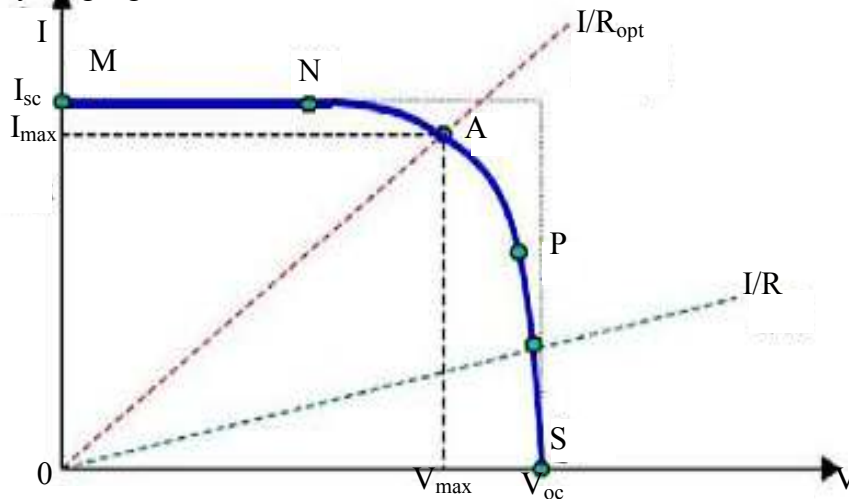
Di mana:

- I_s = Arus saturasi sel surya
- Q = Elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)
- V_{pv} = Tegangan pada sel
- T_c = Suhu Kerja sel
- R_s = Hambatan seri
- R_{sh} = Hambatan *shunt*
- n = Faktor ideal

- k = Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
- N_s = Jumlah sel surya yang di susun seri
- N_p = Jumlah sel surya yang di susun paralel

2.1.1. Karakteristik Sel Surya

Sel surya adalah sebuah alat non-linear, sehingga untuk memahami karakteristiknya digunakan suatu grafik. Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Karakteristik panel surya dari kurva arus-tegangan dan kurva daya-tegangan.



Gambar 2.3. Kurva Arus (I) – Tegangan (V)

Gambar 2.3. Menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban (R). Beban memberi hambatan sebagai garis linear dengan garis / / . Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil maka sel beroperasi pada daerah kurva MN, di mana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit* (I_{sc}). Pada sisi lain jika R besar, sel beroperasi pada daerah PS, di mana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan *open circuit* (V_{oc}). Jika dihubungkan dengan hambatan optimal R_{opt} berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan

tegangan maksimum (V_{max}) dan arus maksimum (I_{max}). Pada kurva I-V terdapat hal-hal yang sangat penting yaitu:

a. Maximum Power Point (V_{max} dan I_{mp})

Maximum Power Point (V_{max} dan I_{mp}) pada kurva I-V adalah titik operasi yang menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya.

b. Open Circuit Voltage (V_{oc})

Open Circuit Voltage (V_{oc}) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus.

$$\text{--- (---)} \tag{2.3}$$

Dimana:

- k = Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
- q = Konstanta muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
- T = Suhu dalam Kelvin (0K)
- I_s = Arus saturasi sel surya

c. Short Circuit Current (I_{sc})

Short Circuit Current (I_{sc}) adalah maksimum arus keluaran dari panel sel surya yang dapat dikeluarkan di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung singkat. Untuk mengetahui arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4)

$$\text{()} \tag{2.4}$$

Dimana:

- G = Tingkat generasi
- L_n = Panjang difusi elektron
- L_p = Panjang difusi *hole*

Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan, dilakukanlah pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) pada gugusan sel surya yang disebut modul. Untuk mengukur arus maksimum, maka kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum. Dengan menggunakan ampere meter akan didapatkan arus maksimum

yang dinamakan *short circuit current* atau I_{sc} . Pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul sel surya dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* atau V_{oc} .

2.1.2. Cara Kerja Sel Surya

Sel surya yang paling banyak dikenal dibentuk sebagai daerah luas sambungan P-N yang dibuat dari silikon. Sebagai penyederhanaan, seseorang dapat dibayangkan menempel selapis silikon tipe-n dengan selapis silikon tipe-p. Pada praktiknya, sambungan P-N tidak dibuat seperti ini, tetapi dengan cara pendifusian pengotor tipe-n ke satu sisi dari wafer tipe-p (atau sebaliknya).

Secara sederhana, proses pembentukan gaya gerak listrik (GGL) pada sebuah sel surya adalah sebagai berikut:

- a. Foton dari cahaya matahari menumbuk panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
- b. Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Muatan positif yang disebut *hole* (lubang) mengalir dengan arah yang berlawanan dengan elektron pada panel surya silikon.
- c. Jika sebagian silikon tipe-p diletakkan berdekatan dengan sebagian silikon tipe-n, maka akan terjadi difusi elektron dari daerah yang memiliki konsentrasi elektron tinggi (sisi sambungan tipe-n) ke daerah dengan konsentrasi elektron rendah (sisi sambungan tipe-p).
- d. Ketika elektron berdifusi melewati sambungan p-n, mereka bergabung dengan lubang di sisi tipe-p. Difusi pembawa tidak terjadi tanpa batas karena medan listrik yang dibuat oleh ketidak seimbangan muatan pada kedua sisi sambungan yang dibuat oleh proses difusi ini. Medan listrik yang terbentuk sepanjang sambungan p-n membuat sebuah diode yang mengalirkan arus dalam satu arah sepanjang sambungan. Elektron bisa bergerak dari sisi tipe-n ke sisi tipe-p, sedangkan lubang dapat lewat dari sisi tipe-p ke sisi tipe-n. Daerah di mana elektron telah berdifusi sepanjang sambungan ini disebut sebagai daerah deplesi karena ia tidak lagi

mengandung pembawa muatan bebas. Hal ini juga dikenal sebagai "*space charge region*".

2.1.3. Jenis-jenis Panel Surya

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Jika 36 keping sel surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16V. Tegangan ini cukup untuk digunakan menyuplai aki 12V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Panel Surya atau modul surya. Susunan sekitar 10 - 20 atau lebih Panel Surya akan dapat menghasilkan arus dan tegangan tinggi yang cukup untuk kebutuhan sehari hari. Berikut adalah jenis-jenis panel surya:

a. Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrem dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

b. Polikristal (Poly-Crystalline)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena di pabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.

c. Thin Film Photovoltaic

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silicon dan *amorphous* dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokrystal & polykrystal. Inovasi terbaru adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara.

2.2. Komponen-komponen Pada Sistem

Dalam perancangan panel surya portabel dengan *auto tracking*, terdapat beberapa komponen pendukung agar sistemnya dapat bekerja dengan baik. Berikut adalah komponen-komponennya.

2.2.1. Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller adalah salah satu komponen di dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari Panel Surya maupun arus beban keluar / digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. Fungsi utama dari *Solar Charge Controller* adalah mengatur proses pengisian dan pengosongan baterai terhindar dari kerusakan.



Gambar 2.5. Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya/*solar cell* berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Solar Charge Controller* (SCC) akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali. Selain itu, *Solar Charge Controller* (SCC) yang berfungsi sebagai proteksi *charge*, juga sebagai proteksi pengosongan baterai berlebih (*over discard*), proteksi beban lebih, hubung singkat, tegangan kejut halilintar, arus balik dari baterai ke sumber (pembangkit), dan proteksi polaritas terbalik baterai dan sumber (pembangkit).

Beberapa fungsi SCC dalam sistem PV:

- a. Mengatur transfer energi dari modal surya (PV) ke baterai dan ke beban secara efisien dan semaksimal mungkin.
- b. Melindungi baterai dari pengisian berlebih (*overcharge*) dan pengosongan (*discharge*). *Overcharge* adalah pengisian baterai hingga melebihi tegangan batas yang dapat menimbulkan *gasing*. Hal ini dapat mengakibatkan penguapan air baterai dan korosi pada grid baterai. *Over discharging* baterai sampai melebihi tegangan batas bawah sehingga terjadi pembebanan berlebih yang dapat mengakibatkan sulfasi baterai.
- c. Membatasi daerah tegangan kerja baterai.
- d. Menjaga atau memperpanjang umur baterai.
- e. Mencegah beban berlebih dan hubung singkat (*short circuit*/konsluit).
- f. Melindungi sistem dari kekeliruan pemasangan rangkaian dengan polaritas terbalik.
- g. Memberikan informasi kepada pemakai tentang kondisi sistem (misal, status muatan baterai dengan indikator lampu).

Dua jenis *solar charge controller* yang paling umum digunakan dalam sistem tenaga surya saat ini adalah modulasi lebar pulsa (PWM) dan pelacakan titik daya maksimum (MPPT). Keduanya menyesuaikan tingkat pengisian tergantung pada kapasitas maksimum baterai serta memantau suhu baterai untuk mencegah panas berlebih.

2.2.2. Baterai

Baterai merupakan kumpulan dari sel-sel elektro-kimia, yaitu alat yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya. Baterai terdiri atas sepasang elektrode (kutub sering disebut pelat) yang terendam dalam larutan elektrolit, yang selanjutnya menghasilkan listrik apabila mereka membentuk suatu rangkaian tertutup. Tiap sel memiliki kutub positif (katode) dan kutub negatif (anode). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Dalam sistem PV, modul surya menghasilkan listrik yang selanjutnya dialirkan ke baterai untuk disimpan. Pada modul surya, sel surya menghasilkan listrik dari energi *photonic* (photo berarti cahaya) yang berasal dari cahaya matahari. Dengan demikian sel surya bekerja berdasar atas prinsip *photo*-elektrik, sedang pada baterai, tiap sel baterai bekerja berdasarkan berdasar atas prinsip elektro-kimia.

Muatan listrik yang mengalir ke dalam baterai melalui kawat penghubung diubah menjadi energi kimiawi, dan proses ini merupakan proses "*pengisian*" (*charging*) baterai. Energi kimiawi ini dapat disimpan di dalam baterai sampai kapasitas penuh. Setelah ini akan terjadi proses fisik dan kimiawi yang mengganggu fungsi dan kondisi baterai. Jumlah energi yang selanjutnya dapat diambil kembali apabila baterai dipergunakan untuk mengalirkan listrik ke beban (baterai demikian mengalami proses pengosongan). Pada saat baterai diisi (aliran listrik masuk ke baterai, proses *charging*), energi listrik yang masuk ke baterai disimpan sebagai energi kimia di dalam sel baterai. Dengan demikian, pada saat baterai dipergunakan (aliran listrik mengalir dari baterai ke beban, proses pengosongan atau *discharging*), energi kimiawi yang tersimpan dalam sel baterai diubah menjadi energi listrik kembali. Perlu diperhatikan, bahwa jumlah energi listrik yang dapat dikeluarkan dari baterai (pada proses pengosongan, pemasukan energi ke baban) tidak dapat melebihi jumlah energi listrik yang dimasukkan ke dalam baterai (pada saat proses pengisian, pemasukan energi listrik dari modul surya atau *photovoltaic*). Dengan demikian, pada dasarnya proses konversi energi elektro-kimia ini dapat berlangsung secara bolak-balik (*reversibel*), walaupun tidak abadi (prinsip termodinamika).

Beberapa jenis sel baterai hanya dapat dipergunakan sekali, tanpa dapat diisi kembali. Baterai ini disebut baterai primer, seperti baterai padat yang dipergunakan untuk lampu senter, radio (misal batu baterai ABC). Sedangkan jenis lainnya adalah baterai sekunder, baterai yang dapat di isi ulang. Seperti baterai mobil, baterai sistem *photovoltaic*, baterai telepon genggam. yang banyak dipergunakan adalah: (a). Baterai timah hitam-asam sulfat (*lead-acid battery*) dan (b). Baterai nikel-kadmium. Kedua jenis baterai itu menggunakan elektrode maupun elektrolit yang berbeda.

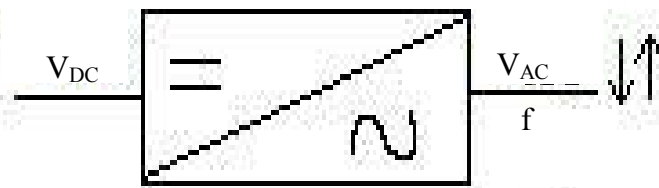


Gambar 2.6. Baterai

Baterai untuk solar *cell* sendiri mempunyai dua tujuan penting dalam sistem *photovoltaic*; pertama adalah untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh *array* panel-panel surya, kedua adalah untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya melebihi beban.

2.2.3. Inverter

Inverter adalah sebuah alat yang mengubah listrik DC (*Direct Current*) dari baterai atau panel sel surya menjadi AC (*Alternating Current*). Penggunaan inverter dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk suplai listrik AC pada penerangan dan peralatan elektronik seperti komputer, peralatan komunikasi, TV, dll.



Gambar 2.7. Diagram Blok Inverter

Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke baban atau jaringan listrik.



Gambar 2.8. Inverter

Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu:

- a. Inverter 1 fasa untuk sistem PLTS dengan bebannya kecil.
- b. Invereter 3 fasa untuk sistem PLTS beban besar dan terhubung dengan jaringan PLN.

Berdasarkan karakteristik dari performa yang dibutuhkan, inverter untuk sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*) dan PLTS *grid-connected* memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu:

- a. Pada PLTS *stand-alone*, inverter harus mampu mensuplai tegangan AC yang konstan pada variasi produksi dari modul surya dan tuntutan beban (*load demand*) yang dipikul.
- b. Pada PLTS *grid-connected*, inverter dapat menghasilkan kembali tegangan yang sama persis dengan tegangan jaringan pada waktu yang sama, untuk

mengoptimalkan dan memaksimalkan keluaran energi yang dihasilkan oleh modul surya.

2.2.4. Sensor Cahaya Dengan LDR

LDR (*Light Dependent Resistor*) yaitu resistor yang besar resistansi-Nya bergantung terhadap intensitas cahaya yang menyelimuti permukaannya. LDR, dikenal dengan banyak nama: foto-resistor, foto-konduktor, sel foto-konduktif, atau hanya foto-sel.

Resistansi LDR akan berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya atau yang ada di sekitarnya. Dalam keadaan gelap resistansi LDR sekitar $10M\Omega$ dan dalam keadaan terang sebesar $1K\Omega$ atau kurang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor seperti kadmium sulfida. Dengan bahan ini energi dari cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas atau arus listrik meningkat. Artinya resistansi bahan telah mengalami penurunan. Biasanya LDR (atau lebih dikenal dengan foto resistor) dibuat berdasarkan kenyataan bahwa kadmium sulfida mempunyai tahanan yang besar kalau tidak terkena cahaya dan tahanannya akan menurun kalau permukaan LDR itu terkena sinar. Resistor peka cahaya atau foto resistor adalah komponen elektronik yang resistansinya akan menurun jika ada penambahan intensitas cahaya yang mengenainya. Foto resistor dapat merujuk pula pada *light dependent resistor* (LDR), atau fotokonduktor.



Gambar 2.9. Bentuk Fisik LDR (*Light Dependent Resistor*)

LDR digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya, yang mana intensitas cahaya sendiri dinyatakan dalam dua satuan fisika, yaitu lumen per meter persegi dan Watt per meter persegi. Kedua satuan itu agak berbeda. yang satu berdasarkan

pada kepekaan mata manusia, yang satu lagi berdasarkan energi listrik yang dialirkan ke sumber cahaya .

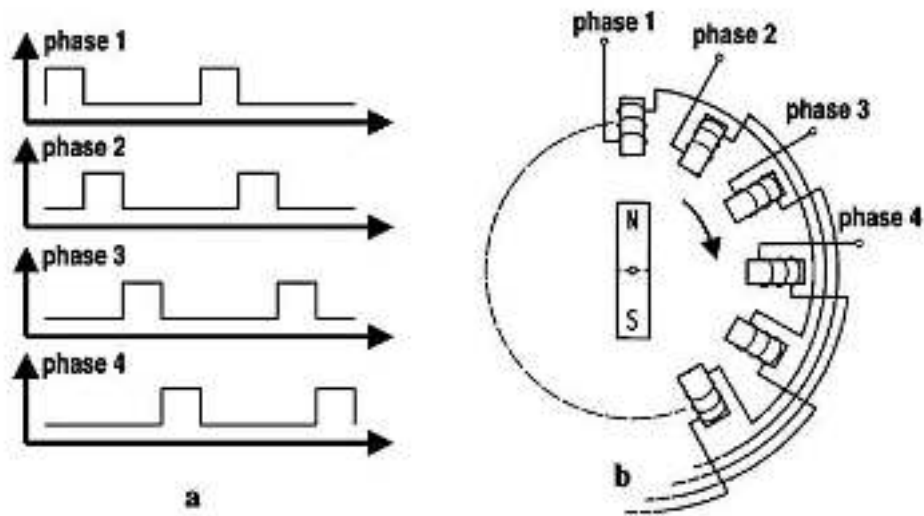
LDR terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektrode pada permukaannya. Pada saat gelap atau cahaya redup, bahan dari cakram tersebut menghasilkan elektron bebas dengan jumlah yang relatif kecil. Sehingga hanya ada sedikit elektron untuk mengangkut muatan elektrik. Artinya pada saat cahaya redup LDR menjadi konduktor yang buruk, atau bisa disebut juga LDR memiliki resistansi yang besar pada saat gelap atau cahaya redup.

Prinsip kerja LDR, Pada saat cahaya terang, ada lebih banyak elektron yang lepas dari atom bahan semikonduktor tersebut. Sehingga akan ada lebih banyak elektron untuk mengangkut muatan elektrik. Artinya pada saat cahaya terang LDR menjadi konduktor yang baik, atau bisa disebut juga LDR memiliki resistansi yang kecil pada saat cahaya terang.

Dalam PLTS, LDR dapat dimanfaatkan untuk mengarahkan posisi panel surya tegak terhadap matahari. Sehingga energi yang dikonversi panel surya maksimal. Ketika LDR mendapatkan cahaya yang kurang maka secara otomatis panel surya akan bergerak ke arah sumber cahaya dan Ketika LDR mendapatkan cahaya yang maksimal maka panel surya akan mempertahankan kondisi tersebut.

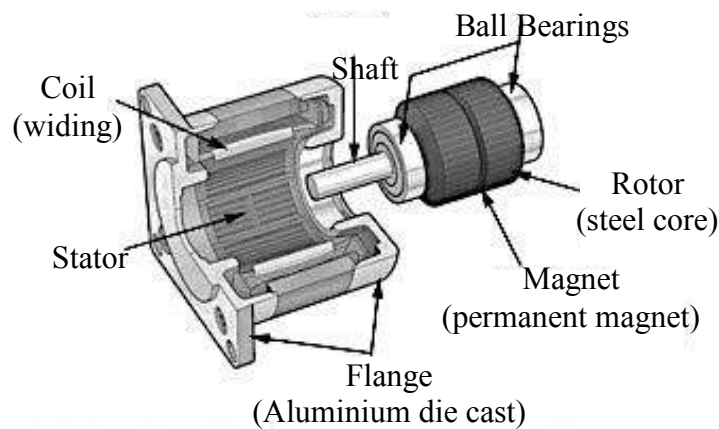
2.2.5. Motor Stepper

Motor stepper adalah motor listrik yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital, bukan dengan memberikan tegangan yang terus-menerus. Deretan pulsa diterjemahkan menjadi putaran *shaft*, di mana setiap putaran membutuhkan jumlah pulsa yang ditentukan. Satu pulsa menghasilkan satu kenaikan putaran atau step, yang merupakan bagian dari satu putaran penuh. Oleh karena itu, perhitungan jumlah pulsa dapat diterapkan untuk mendapatkan jumlah putaran yang diinginkan. Perhitungan pulsa secara otomatis menunjukan besarnya putaran yang telah dilakukan, tanpa memerlukan informasi balik (*feedback*).



Gambar 2.10. (a) Bentuk Pulsa Keluaran Dari Pengendali Motor Stepper, (b) Penerapan Pulsa Pengendali Pada Motor Stepper Dan Arah Putaran Bersesuaian

Ketepatan kontrol gerak motor stepper terutama dipengaruhi oleh jumlah step tiap putaran; semakin banyak jumlah step, semakin tepat gerak yang dihasilkan. Untuk ketepatan yang lebih tinggi, beberapa driver motor stepper membagi step normal menjadi setengah step (half step) atau mikro step.



Gambar 2.11. Struktur Motor Stepper

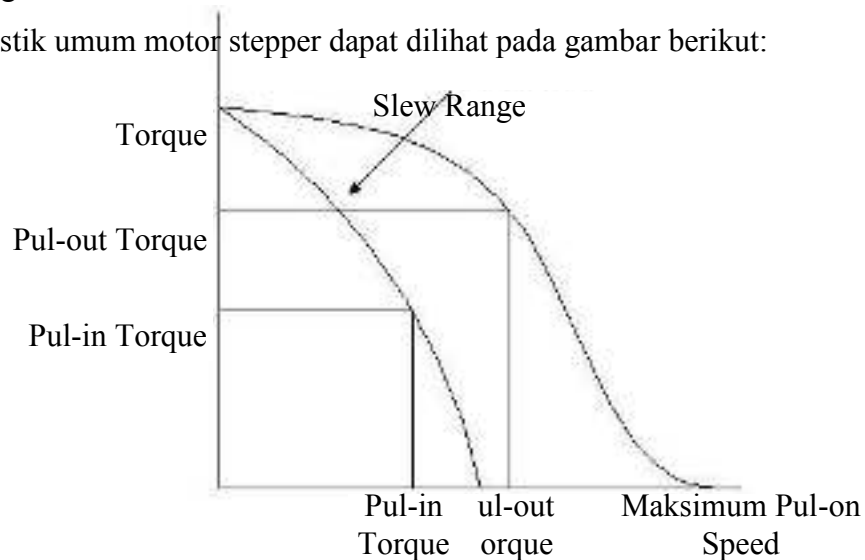
Bagian-bagian dari motor stepper yaitu tersusun atas rotor, stator, bering, casing dan sumbu. Sumbu merupakan pegangan dari rotor di mana sumbu merupakan bagian tengah dari rotor, sehingga ketika rotor berputar sumbu ikut berputar. Stator memiliki dua bagian yaitu pelat inti dan lilitan. Pelat inti dari motor stepper ini biasanya menyatu dengan casing. Casing motor stepper terbuat dari aluminium dan ini berfungsi sebagaiudukan bering dan stator pemegangnya

adalah baud sebanyak empat buah. Di dalam motor stapper memiliki dua buah bering yaitu bering bagian atas dan bearing bagian bawah.

Penggunaan motor stepper memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan motor DC biasa. Keunggulannya antara lain adalah:

- a. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur.
- b. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak
- c. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi
- d. Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop dan berbalik (perputaran)
- e. Sangat reliabel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC
- f. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya
- g. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada rentang yang luas.

Karakteristik umum motor stepper dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.12. Karakteristik Motor Step per

Pada motor stepper umumnya tertulis spesifikasi N_p (pulsa/rotasi). Sedangkan kecepatan pulsa diekspresikan sebagai pps (pulsa per second) dan kecepatan putar umumnya ditulis sebagai ω (rotasi/menit atau rpm). Kecepatan

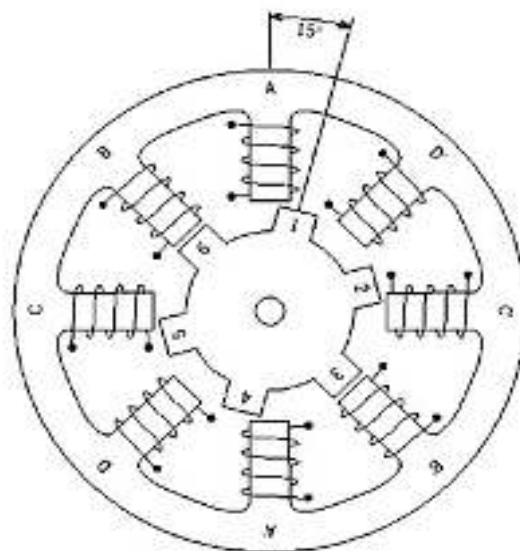
putar motor stepper (rpm) dapat diekspresikan menggunakan kecepatan pulsa (pps) sebagai berikut.

$$\text{---} \quad (2.5)$$

Motor stepper pada dasarnya motor dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu:

a. Motor Stepper Tipe Variable reluctance (VR)

Motor stepper jenis ini telah lama ada dan merupakan jenis motor yang secara struktural paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri atas sebuah rotor besi lunak dengan beberapa gerigi dan sebuah lilitan stator. Ketika lilitan stator diberi energi dengan arus DC, kutub-kutubnya menjadi termagnetis. Perputaran terjadi ketika gigi-gigi rotor tertarik oleh kutub-kutub stator. Berikut ini adalah penampang melintang dari motor stepper tipe *variable reluctance* (VR):

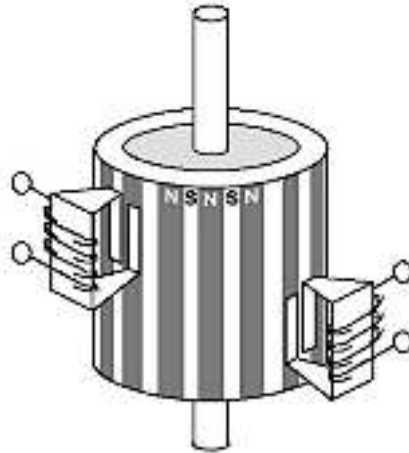


Gambar 2.13. Penampang Melintang Dari Motor Stepper Tipe *Variable Reluctance* (VR)

b. Motor Stepper Tipe Permanent Magnet (PM)

Motor stepper jenis ini memiliki rotor yang berbentuk seperti kaleng bundar (tin/can) yang terdiri atas lapisan magnet permanen yang diselang-seling dengan kutub yang berlawanan (perhatikan gambar 2.9). Dengan adanya magnet permanen, maka intensitas fluks magnet dalam motor ini akan meningkat sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar. Motor

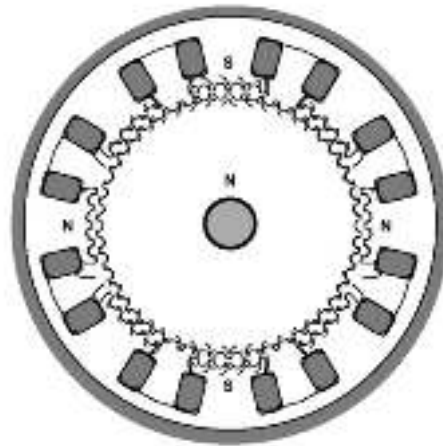
jenis ini biasanya memiliki resolusi langkah (step) yang rendah yaitu antara 7,50 hingga 150 per langkah atau 48 hingga 24 langkah setiap putarannya. Berikut ini adalah ilustrasi sederhana dari motor stepper tipe *permanent magnet*:



Gambar 2.14. Ilustrasi Sederhana Dari Motor Stepper Tipe *Permanent Magnet* (PM)

c. Motor Stepper Tipe Hybrid (HB)

Motor stepper tipe *hybrid* memiliki struktur yang merupakan kombinasi dari kedua tipe motor stepper sebelumnya. Motor stepper tipe *hybrid* memiliki gigi-gigi seperti pada motor tipe VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. Motor tipe hibrid dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara 3,60 hingga 0,90 per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya. Berikut ini adalah penampang melintang dari motor stepper tipe hibrid:

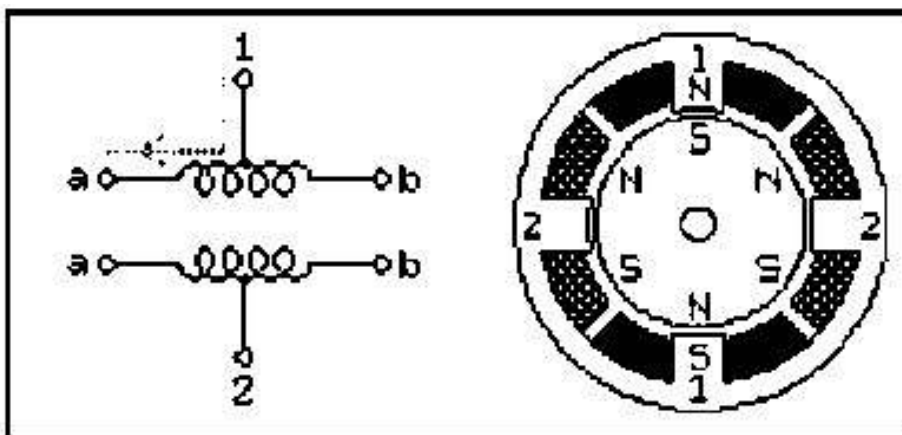


Gambar 2.15. Penampang Melintang Dari Motor Stepper Tipe *Hybrid*

Berdasarkan metode perancangan rangkaian pengendalinya, motor stepper dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

a. Motor Stepper Unipolar

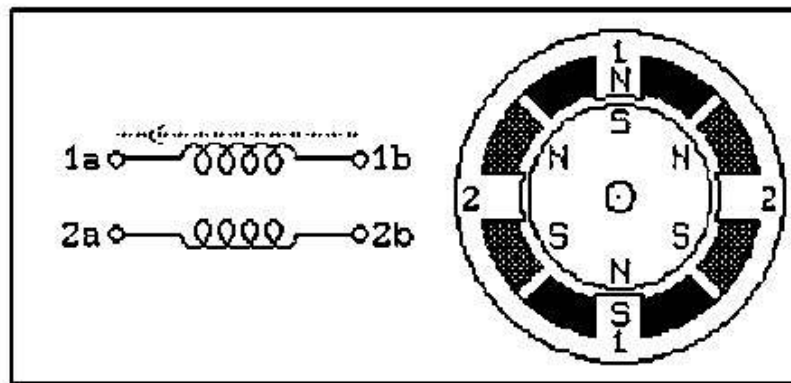
Motor stepper unipolar terdiri dari dua lilitan yang memiliki *center tap*. *Center tap* dari masing-masing lilitan ada yang berupa kabel terpisah ada juga yang sudah terhubung didalamnya sehingga *center tap* yang keluar hanya satu kabel. Untuk motor stepper yang *center tap*-nya ada pada masing-masing lilitan kabel inputnya ada 6 kabel. Namun jika *center tap*-nya sudah terhubung di dalam kabel inputannya hanya 5 kabel. *Center tap* dari motor stepper dapat dihubungkan ke *grounding* atau ada juga yang menghubungkannya ke +VCC hal ini sangat dipengaruhi oleh driver yang digunakan. Sebagai gambaran dapat dilihat konstruksi motor stepper unipolar pada gambar berikut:



Gambar 2.16. Konstruksi Motor Stepper Unipolar

b. Motor Stepper Bipolar

Motor stepper bipolar memiliki dua lilitan perbedaan dari tipe unipolar adalah bahwa pada tipe bipolar lilitannya tidak memiliki *center tap*. Keunggulan tipe bipolar yaitu memiliki torsi yang lebih besar jika dibandingkan dengan tipe unipolar untuk ukuran yang sama. Pada motor stepper tipe ini hanya memiliki empat kabel masukan. Namun untuk menggerakkan motor stepper tipe ini lebih rumit jika dibandingkan dengan menggerakkan motor stepper tipe unipolar. Sebagai gambaran dapat dilihat konstruksi motor stepper bipolar pada gambar berikut :



Gambar 2.17. Konstruksi Motor Stepper Bipolar

2.2.6. Arduino Uno

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Disebut sebagai papan pengembangan karena board ini memang berfungsi sebagai arena *prototyping* sirkuit mikrokontroler. Dengan menggunakan papan pengembangan, anda akan lebih mudah merangkai rangkaian elektronika mikrokontroler dibanding jika anda memulai merakit ATmega328 dari awal di *breadboard*.

Arduino Uno memiliki 14 digital pin input/output (atau biasa ditulis I/O, di mana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan *crystal* 16 Mhz, koneksi USB, *jack* listrik, *header* ICSP dan tombol reset. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau diberi power dengan adaptor AC-DC atau baterai, kita sudah dapat bereksperimen dengan Arduino UNO tanpa khawatir

akan melakukan sesuatu yang salah. Kemungkinan paling buruk hanyalah kerusakan pada *chip* ATmega328, yang bisa di ganti sendiri dengan mudah dan dengan harga yang relatif murah.

Kata " Uno " berasal dari bahasa Italia yang berarti "satu", dan dipilih untuk menandai peluncuran *Software* Arduino (IDE) versi 1.0. Arduino. Sejak awal peluncuran hingga sekarang, Uno telah berkembang menjadi versi Revisi 3 atau biasa ditulis REV 3 atau R3. *Software* Arduino IDE, yang bisa di install di Windows maupun Mac dan Linux, berfungsi sebagai software yang membantu memasukkan (*upload*) program ke chip ATmega328 dengan mudah.



Gambar 2.18. Arduino Uno

Arduino Uno adalah *hardware open source* (OSH). Dengan demikian anda dan siapa pun diberi kebebasan untuk dapat membuat sendiri Arduino-nya.

Development board Arduino Uno R3 telah dilengkapi dengan *polyfuse* yang dapat direset untuk melindungi *port* USB komputer/laptop dari korsleting atau arus berlebih. Meskipun kebanyakan komputer telah memiliki perlindungan port tersebut di dalamnya namun sikring pelindung pada Arduino Uno memberikan lapisan perlindungan tambahan sehingga aman menghubungkan Arduino ke komputer. Jika lebih dari 500mA ditarik pada *port* USB tersebut, sirkuit proteksi akan secara otomatis memutuskan hubungan, dan akan menyambung kembali ketika batasan aman telah kembali.

Chip ATmega328 pada Arduino Uno R3 memiliki memori 32 KB, dengan 0.5 KB dari memori tersebut telah digunakan untuk *bootloader*. Jumlah SRAM 2

KB, dan EEPROM 1 KB, yang dapat di baca-tulis dengan menggunakan EEPROM *library* saat melakukan pemrograman.

Terdapat berbagai macam jenis Arduino dengan spesifikasi masing-masing. Berikut adalah spesifikasi Arduino Uno:

a. Pemrograman Arduino Uno

Pemrograman board Arduino dilakukan dengan menggunakan Arduino Software (IDE) yang bisa anda dapatkan gratis disini. Chip ATmega328 yang terdapat pada Arduino Uno R3 telah diisi program awal yang sering disebut *bootloader*. *Bootloader* tersebut yang bertugas untuk memudahkan anda melakukan pemrograman lebih sederhana menggunakan Arduino Software, tanpa harus menggunakan tambahan *hardware* lain. Cukup hubungkan Arduino dengan kabel USB ke PC atau Mac/Linux anda, jalankan *software* Arduino Software (IDE), dan anda sudah bisa mulai memrogram chip ATmega328. Lebih mudah lagi, di dalam Arduino Software sudah diberikan banyak contoh program yang memanjakan anda dalam belajar mikrokontroler.

Untuk pengguna mikrokontroler yang sudah lebih mahir, anda dapat tidak menggunakan *bootloader* dan melakukan pemrograman langsung via *header ICSP (In Circuit Serial Programming)* dengan menggunakan Arduino ISP

Arduino Uno R3 telah dilengkapi dengan chip ATmega16U2 yang telah diprogram sebagai konverter USB to Serial. *Firmware* ATmega16U2 di load oleh DFU *bootloader*, dan untuk merubahnya anda dapat menggunakan *software* Atmel Flip (Windows) atau DFU *programmer* (Mac OSX dan Linux), atau menggunakan *header* ISP dengan menggunakan *hardware external programmer*.

b. Input dan Output (I/O) Arduino Uno

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, Arduino Uno memiliki 14 buah digital pin yang dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan 5V, dan setiap pin dapat menyediakan atau menerima arus 20mA, dan memiliki tahanan *pull-up* sekitar 20-50k ohm

(secara default dalam posisi *disconnect*). Nilai maksimal adalah 40mA, yang sebisa mungkin dihindari untuk menghindari kerusakan *chip* mikrokontroler

Beberapa pin memiliki fungsi khusus :

- a. **Serial**, terdiri dari 2 pin : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX) yang digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial.
- b. **External Interrupts**, yaitu pin 2 dan pin 3. Kedua pin tersebut dapat digunakan untuk mengaktifkan *interrupts*. Gunakan fungsi `attachInterrupt()`
- c. **PWM**: Pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`
- d. **SPI** : Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), dan 13 (SCK) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan *SPI Library*
- e. **LED** : Pin 13. Pada pin 13 terhubung *built-in* led yang dikendalikan oleh digital pin no 13.
- f. **TWI** : Pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire Library*

Arduino Uno memiliki 6 buah input analog, yang diberi tanda dengan A0, A1, A2, A3, A4, A5. Masing-masing pin analog tersebut memiliki resolusi 10 bits (jadi bisa memiliki 1024 nilai). Secara default, pin-pin tersebut diukur dari ground ke 5V, namun bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`. Beberapa in lainnya pada *board* ini adalah :

- a. **AREF**. Sebagai referensi tegangan untuk input analog.
- b. **Reset**. Hubungkan ke LOW untuk melakukan reset terhadap mikrokontroler. Sama dengan penggunaan tombol reset yang tersedia.

2.3 Auto Tracking/Solar Tracker

Sebagian besar pemasangan panel yang terdapat di negara kita adalah susunan tetap (statis). Seiring berlalunya hari, matahari bergerak menjauh dari posisi menghadap panel dan dengan demikian output daya panel berkurang. Cara termudah untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mengadaptasi panel surya bergerak menggunakan mekanisme pelacakan matahari. Saya telah mengadopsi sistem ini untuk meningkatkan efisiensi aplikasi sel *fotovoltaic*.

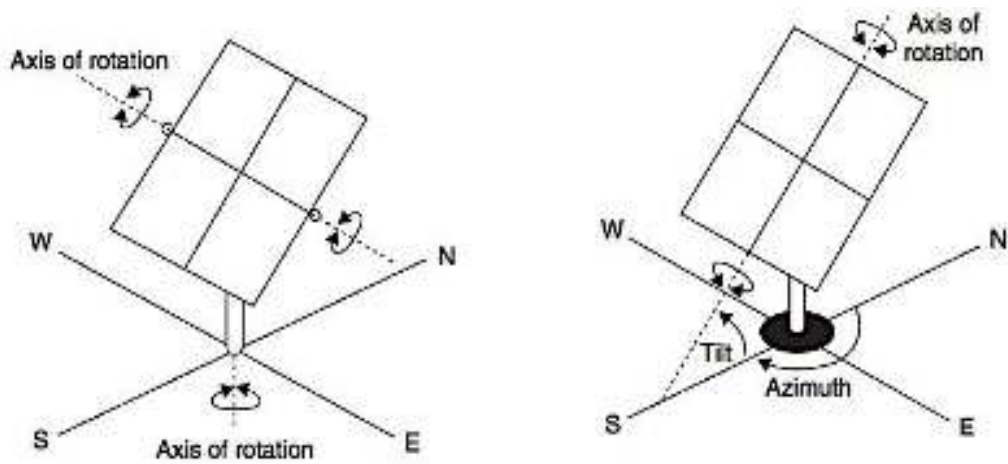
Auto Tracking/solar tracker (pelacak surya) adalah perangkat yang digunakan untuk mengarahkan panel surya atau untuk memusatkan reflektor atau lensa surya ke arah matahari. Posisi matahari di langit bervariasi baik dari musim dan waktu pada saat matahari bergerak melintasi langit. Panel surya bekerja paling baik ketika diarahkan ke matahari (tegak lurus terhadap matahari). Oleh karena itu, pelacak surya dapat meningkatkan efisiensi panel surya agar tetap tegak lurus terhadap matahari dengan biaya kompleksitas tambahan pada sistem.

Ada beberapa bentuk pelacakan yang tersedia saat ini terutama dalam metode penerapan desain. Dua bentuk umum pelacakan yang digunakan adalah algoritme kontrol tetap dan pelacakan dinamis. Perbedaan yang melekat antara kedua metode adalah cara di mana jalur matahari ditentukan.

Dalam sistem algoritme kontrol tetap, jalur matahari ditentukan dengan merujuk pada algoritme yang menghitung posisi matahari untuk setiap periode waktu. Artinya, sistem kontrol tidak secara aktif menemukan posisi matahari tetapi bekerja berdasarkan waktu, hari, bulan, dan tahun saat ini. Sedangkan sistem pelacakan dinamis secara aktif mencari posisi matahari setiap saat, pagi, siang, sore. Sistem ini terdiri dari beberapa metode pengendalian arah, seperti motor DC, motor stepper, dan motor servo, yang diarahkan oleh rangkaian kontrol, baik digital maupun analog.

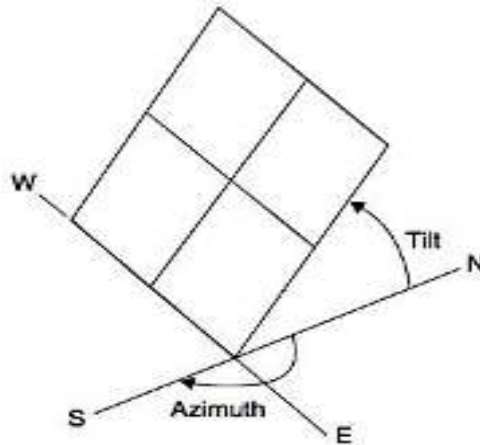
Struktur pemasangan untuk panel surya dapat dirancang dengan beberapa cara berbeda. Dua kategori utama untuk struktur ini adalah sumbu ganda (*dual axis*) dan sumbu tunggal (*single axis*). Kedua jenis struktur ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Pelacak sumbu ganda, seperti pada gambar 2.20, melakukan pekerjaan yang lebih baik untuk menjaga agar sinar matahari tetap tegak lurus

terhadap panel surya, sehingga memungkinkan penyerapan energi yang lebih baik. Namun, sistem ini bisa rumit dan mahal.



Gambar 2.19. Geometri Sumbu Ganda (*Dual Axis*)

Kebanyakan pelacak sumbu tunggal lebih sederhana daripada pelacak sumbu ganda, seperti pada gambar 2.20. Mereka juga membutuhkan lebih sedikit area untuk digunakan, tetapi karena mereka hanya dapat berputar di sekitar satu sumbu, panel surya tidak akan dapat menghasilkan energi sebanyak itu.



Gambar 2.20. Geometri Sumbu Tunggal (*Single Axis*)

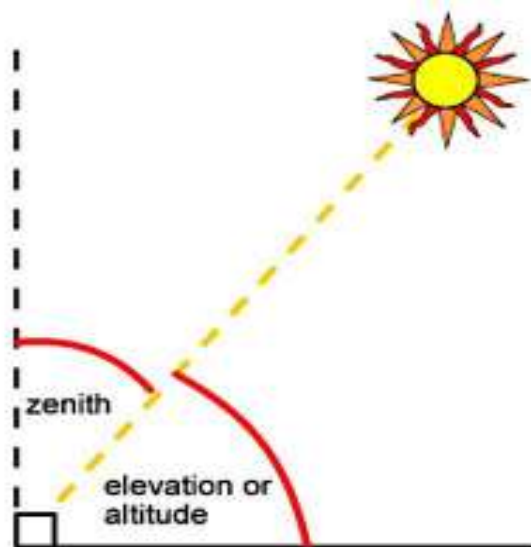
Dengan studi sistem pelacakan sumbu ganda menunjukkan bahwa peningkatan tahunan kinerja matahari berkisar antara 29-40%, dan peningkatan untuk sistem pelacakan sumbu tunggal berkisar antara 17-34% tergantung pada sistem.

2.3.1. Sudut Elevasi Matahari

Sudut elevasi digunakan secara bergantian dengan sudut ketinggian dan merupakan tinggi sudut matahari di langit yang diukur dari horizontal. Ketinggian dan elevasi digunakan untuk menggambarkan ketinggian dalam meter di atas permukaan laut. Ketinggiannya adalah 0 derajat saat matahari terbit dan 90 derajat saat matahari tepat di atas kepala. Sudut elevasi bervariasi sepanjang hari dan juga tergantung pada garis lintang lokasi tertentu dan hari dalam setahun.

2.3.2. Sudut Zenith Matahari

Ini adalah sudut antara matahari dan vertikal. Ini mirip dengan sudut elevasi tetapi diukur dari vertikal bukan dari horizontal. Oleh karena itu, sudut zenith 90 derajat – sudut elevasi.



Gambar 2.21. Sudut Elevasi dan Sudut Zenith

2.3.3. Sudut Azimut Matahari

Ini adalah arah kompas dari mana sinar matahari datang. Pada siang hari, matahari berada tepat di selatan di belahan bumi utara dan tepat di utara di belahan bumi selatan. Sudut azimut bervariasi sepanjang hari. Pada ekuinoks, matahari terbit langsung ke timur dan terbenam langsung ke barat terlepas dari garis lintang. Oleh karena itu, sudut azimut adalah 90 derajat saat matahari terbit dan 270 derajat saat matahari terbenam.

2.3.4. Jenis-jenis Auto Tracker/Solar Tracker

Ada banyak jenis pelacak surya dengan berbagai kategori teknologi pelacakan matahari yang memiliki keunggulan masing-masing. Berikut adalah jenis-jenisnya;

1. Active trackers

Active tracker menggunakan motor dan *gear* untuk arah pelacak seperti yang diperintahkan oleh pengontrol yang merespons arah matahari. Posisi matahari dipantau sepanjang hari. Pengontrol digunakan untuk mengontrol motor dan roda gigi sehingga bergerak sesuai dan panel menghadap matahari ke arah yang benar. Hal tersebut dilakukan dengan menggunakan sensor yang sensitif terhadap cahaya seperti LDR. Output tegangannya dimasukkan ke dalam mikrokontroler yang kemudian menggerakkan motor untuk mengatur posisi panel surya.



Gambar 2.22. *Active Trackers*

2. Passive trackers

Passive Trackers menggunakan cairan gas bertekanan titik didih rendah yang didorong ke satu sisi atau sisi lain yang menyebabkan pelacak bergerak sebagai respons terhadap ketidakseimbangan.

3. Chronological Tracker

Chronological tracker melawan rotasi bumi dengan memutar pada kecepatan yang sama dengan bumi relatif terhadap matahari di sekitar sumbu yang sejajar dengan bumi. Untuk mencapai hal ini, mekanisme rotasi sederhana dirancang yang memungkinkan sistem untuk berputar sepanjang hari dengan cara yang telah ditentukan tanpa mempertimbangkan apakah

matahari ada atau tidak. Sistem berputar dengan kecepatan konstan satu putaran per hari atau 15 derajat per jam. Pelacak kronologis sangat sederhana tetapi berpotensi sangat akurat.

4. Multi-mirror Reflective Unit

Perangkat ini menggunakan beberapa cermin di bidang horizontal untuk memantulkan sinar matahari ke atas ke *fotovoltaic* suhu tinggi atau sistem lain yang membutuhkan tenaga surya terkonsentrasi. Hanya dua sistem penggerak yang diperlukan untuk setiap perangkat. Karena konfigurasi perangkat ini sangat cocok untuk digunakan di atap datar dan di ketinggian rendah.



Gambar 2.23. *Multi-mirror Reflective Unit*

5. Horizontal Axle Solar Tracker

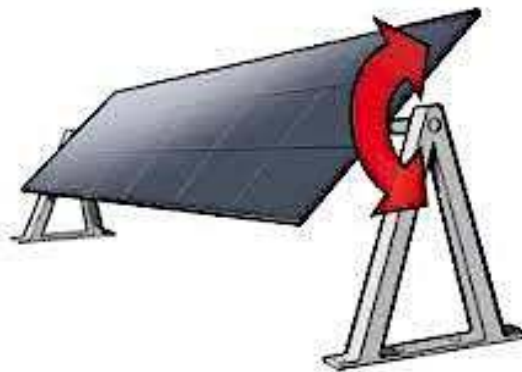
Dalam sistem pelacakan jenis ini, tabung horizontal panjang didukung pada bantalan di mana panel surya dipasang di atas tabung. Kemudian tabung akan berputar pada porosnya untuk melacak gerakan nyata matahari sepanjang hari. Karena mereka tidak miring ke arah khatulistiwa sehingga mereka tidak terlalu efektif selama tengah hari musim dingin (kecuali terletak di dekat khatulistiwa), tetapi sistem pelacakan ini sangat produktif selama musim semi dan musim panas.



Gambar 2.24. *Horizontal Axle Solar Tracker*

6. Vertical Axle Solar Tracker

Dalam sistem pelacakan jenis ini, panel dipasang pada poros vertikal pada sudut elevasi tetap. Pelacak seperti itu dengan sudut tetap atau (sesuai musim) yang dapat disesuaikan cocok untuk ketinggian tinggi. Hal ini karena pada garis lintang tinggi jalur matahari yang tampak tidak terlalu tinggi tetapi menyebabkan hari-hari yang panjang di musim panas, dengan matahari bergerak melalui busur yang panjang.



Gambar 2.25. *Vertical Axle Solar Tracker*

7. Altitude Azimuth Solar Tracker

Di sini pemasangan panel surya dilakukan sedemikian rupa sehingga menopang seluruh berat pelacak surya dan memungkinkannya bergerak ke dua arah dan menemukan target tertentu. Sumbu horizontal (disebut azimuth) memungkinkan panel surya untuk bergerak ke atas dan ke bawah, sumbu, vertikal, (disebut azimuth), memungkinkan panel surya berayun dalam lingkaran sejajar dengan tanah. Mekanisme ini memudahkan karena

teleskop dapat berayun dalam lingkaran dan kemudian mengangkat ke sasaran. Karena pelacakan objek dari bumi lebih rumit karena gerakan rotasi bumi. Untuk alasan ini pengendalian komputer diperlukan.



Gambar 2.26. *Altitude Azimuth Solar Tracker*

8. Two Axis Mount Solar Tracker

Dalam pemasangan dua sumbu, satu sumbu adalah poros pivot vertikal atau dudukan cincin horizontal yang memungkinkan perangkat diayunkan ke titik kompas. Sumbu kedua adalah poros elevasi horizontal yang dipasang pada platform azimuth. Dengan menggunakan kombinasi dua sumbu ini, setiap lokasi di belahan bumi ke atas dapat diarahkan. Sistem tersebut memerlukan kontrol komputer atau sensor pelacakan untuk mengontrol penggerak motor yang mengarahkan panel ke arah matahari.



Gambar 2.27. *Two Axis Mount Solar Tracker*

Energi Matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui sel surya dan energi yang dihasilkan disebut energi *Photovoltaic* (PV). Energi surya mengacu terutama pada penggunaan radiasi matahari untuk tujuan praktis. Teknologi surya secara luas dicirikan sebagai surya pasif atau surya aktif

tergantung pada cara mereka menangkap, mengubah, dan mendistribusikan energi matahari.

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN

3.1. Pendahuluan

Metode yang dilakukan perancangan panel surya portabel dengan *auto tracking*, meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Tahap Perencanaan

Persiapan melalui studi pustaka untuk mencari teori penunjang dan mengambil sumber-sumber informasi atau referensi pada buku, jurnal dan internet.

2. Tahap Analisis

Penulis melihat analisis kebutuhan data maupun informasi yang diperlukan dalam membuat alat.

3. Tahap Perancangan

Penulis membuat perancangan alat berbasis prototipe rancang bangun yang disesuaikan.

4. Tahap Implementasi

Tahap ini dilakukan pembuatan alat yaitu perakitan komponen dan pembuatan program yang kemudian dimasukkan ke dalam Mikrokontroler serta menghubungkan setiap komponen dengan programnya sehingga alat dapat dioperasikan.

5. Tahap Uji Coba

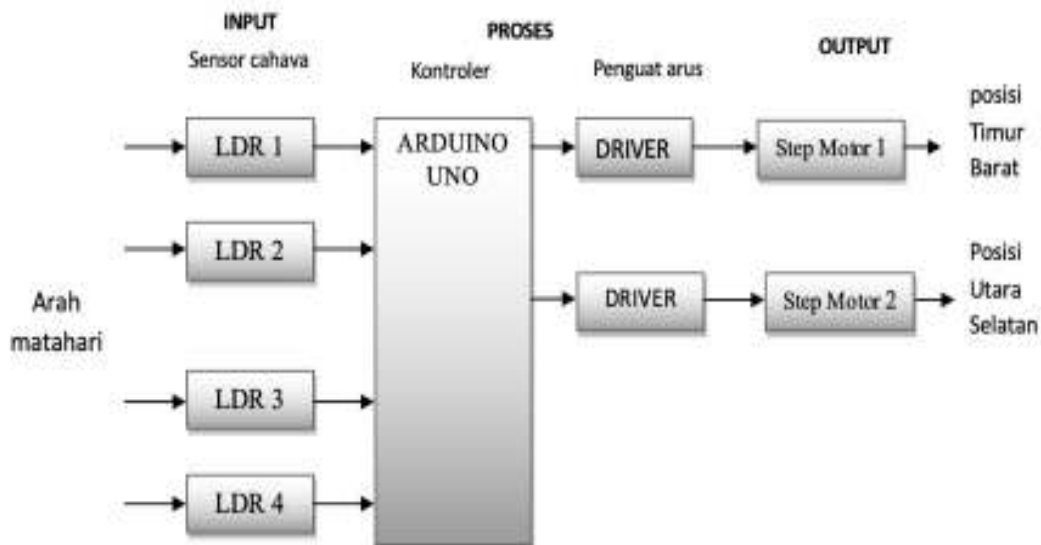
Tahap ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat berjalan dengan baik sesuai dengan tujuan penelitian atau tidak termasuk pengambilan data hasil pengujian.

6. Tahap kesimpulan

Merumuskan satu atau beberapa kesimpulan dari hasil yang diperoleh.

3.2. Diagram Blok Sistem

Diagram sistem ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini, blok diagram merupakan diagram yang menjelaskan bagian-bagian dari sistem yaitu komponen input, komponen proses/kontrol dan komponen output. Sistem yang dirancang merupakan sistem kontrol lup terbuka, artinya tidak ada lup umpan balik secara langsung dari output ke input. Namun pada rancangan ini posisi output ditentukan oleh input yang juga merupakan fungsi dari output itu sendiri. Dengan kata lain posisi output dan input saling berkaitan karena posisi output mempengaruhi masukannya walau tidak secara langsung. Contohnya posisi arah panel yang menerima sumber cahaya akan menjadi masukan bagi sensor yang merupakan input sistem. Oleh karena itu sistem ini dapat dikatakan semi lup tertutup (semi *close* lup). Input terdiri dari 4 buah sensor cahaya yaitu LDR untuk membaca 4 arah mata angin. Ke 4 sensor diproses oleh mikrokontroler dan digunakan sebagai acuan untuk menggerakkan motor. Sebagai plan atau output sistem adalah sebuah panel surya yang dikendalikan posisinya untuk menghadap arah cahaya matahari. Terdapat 2 *axis* atau 2 derajat kebebasan untuk memperoleh arah yang lebih tepat sehingga membutuhkan 2 buah motor sebagai penggerakannya.



Gambar 3.1. Blok Diagram Sistem

3.3. Prinsip Kerja

Prinsip kerja rangkaian adalah berawal dari sumber catu daya, setelah semua komponen mendapat suplai arus maka sistem akan bekerja sesuai dengan perintah yang telah diprogramkan. Dimulai dari sensor yang akan mengubah intensitas cahaya menjadi tegangan. Sensor yang terhubung seri dengan sebuah resistor tetap akan membagi tegangan sumber yaitu 5Volt sesuai porsi nilai tahanan sensor. Seperti kita ketahui, makin tinggi intensitas cahaya maka makin kecil nilai tahanan sensor (LDR) dan sebaliknya. Dengan demikian tegangan keluaran sensor akan mewakili besar intensitas yang terdeteksi oleh sensor. Output sensor kemudian diberikan pada masukan analog mikrokontroler. Terdapat 4 masukan analog untuk 4 sensor LDR tersebut. Tegangan sensor kemudian diubah menjadi data digital dan oleh program data tersebut dikalibrasi menjadi nilai tegangan. Keempat nilai tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui kondisi intensitas masing-masing sensor seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

(3.2)

(3.3)

Dari hasil perbandingan diperoleh 2 *error* atau selisih untuk masing-masing *axis*. Yaitu *error* (e_0) antara sensor 1 dengan sensor 2 untuk *axis* Utara-Selatan dan *error* (e_1) antara sensor 3 dan sensor 4 untuk *axis* Timur-barat. Jika terdapat *error* baik *error* (e_0) maupun *error* (e_1) yang melampaui 0,2V mikrokontroler akan melakukan koreksi yaitu dengan menjalankan motor penggerak dan menggerakkan panel surya hingga *error* mendekati 0 atau toleransi yang dibuat adalah 0,2V. *Error* tersebut yang membuat mikrokontroler beraksi untuk mengurangi kesalahan posisi, mikrokontroler akan mengaktifkan motor stepper untuk menggerakkan panel menuju *error* yang lebih kecil. Eksekusi motor dimulai dari motor 1 yang mencari arah Utara-Selatan, setelah arah tersebut dicapai mikrokontroler baru akan mencari arah Timur-barat melalui motor stepper 2. Demikianlah prinsip kerja rangkaian secara berkesinambungan selama rangkaian mendapat suplai arus.

3.4. Peralatan Dan Bahan

Peralatan pendukung yang digunakan pada perancangan sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan komputer/PC
2. Alat-alat ukur listrik
3. Perkakas atau tool-set
4. Mesin bor, gergaji besi, mesin las dan sebagainya
5. Software arduino IDE, proteus 8.0 dan sebagainya

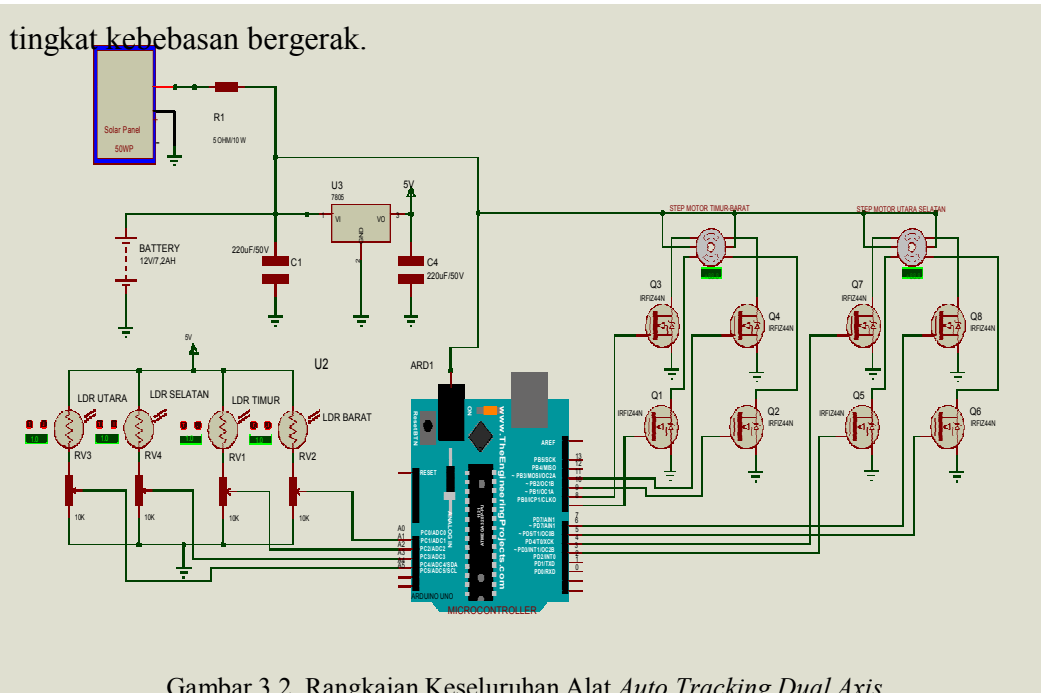
Adapun bahan-bahan yang akan digunakan pada perancangan sistem yaitu sebagai berikut:

1. Mikrokontroler Arduino Uno
2. Motor Stepper
3. Transistor mosfet
4. Resistor variabel dan resistor tetap
5. Sensor cahaya (LDR)
6. Solar panel 50 WP
7. *Gearbox*/aktuator linear
8. Baterai 12V/7,2Ah
9. Besi hollow 4x4 cm
10. Pelat Acrilic
11. Kabel-kabel

3.5. Rancangan Rangkaian Pengendali

Rancangan rangkaian pengendali adalah rangkaian yang fungsinya sebagai pengendali sistem yaitu mengolah input dan mengendalikan output. Rangkaian dirancang berdasarkan mikrokontroler Arduino dan didukung oleh beberapa sensor dan komponen output. Input rangkaian adalah intensitas cahaya yang diterima oleh sensor dan diubah menjadi tegangan. Komponen yang digunakan sebagai sensor adalah resistor peka cahaya atau LDR. Untuk mendeteksi arah sinar matahari atau titik fokus cahaya digunakan 4 buah sensor LDR tersebut. Perbandingan intensitas masing-masing sensor akan memberikan nilai galat atau *error* sehingga jika arah panel kurang fokus *Error* akan terjadi. Berdasarkan

deteksi *error* tersebut mikrokontroler dapat mengetahui dan melakukan koreksi arah dengan menjalankan motor penggerak. Tipe mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno dengan chip atmega 328. Mikrokontroler diprogram dengan bahasa C pada lingkup Arduino IDE versi 1.8.9. output sistem itu sendiri adalah penggerak mekanis yang dilakukan oleh sepasang motor stepper unipolar. Dengan bantuan gigi reduksi motor stepper mampu menggerakkan mekanis sistem sebagai pengarah panel surya. Untuk mengendalikan motor stepper mikrokontroler membutuhkan driver atau penguat arus. Tipe penguat arus yang digunakan adalah mosfet tipe P yang bekerja sebagai sakelar untuk mengalirkan arus ke kumparan motor secara periodik. Karena motor stepper yang digunakan adalah motor stepper unipolar, maka terdapat 4 buah mosfet untuk 1 motor stepper. Berikut adalah gambar rangkaian keseluruhan dari sistem kendali alat penjejak matahari 2



3.6. Rancangan Program Kendali

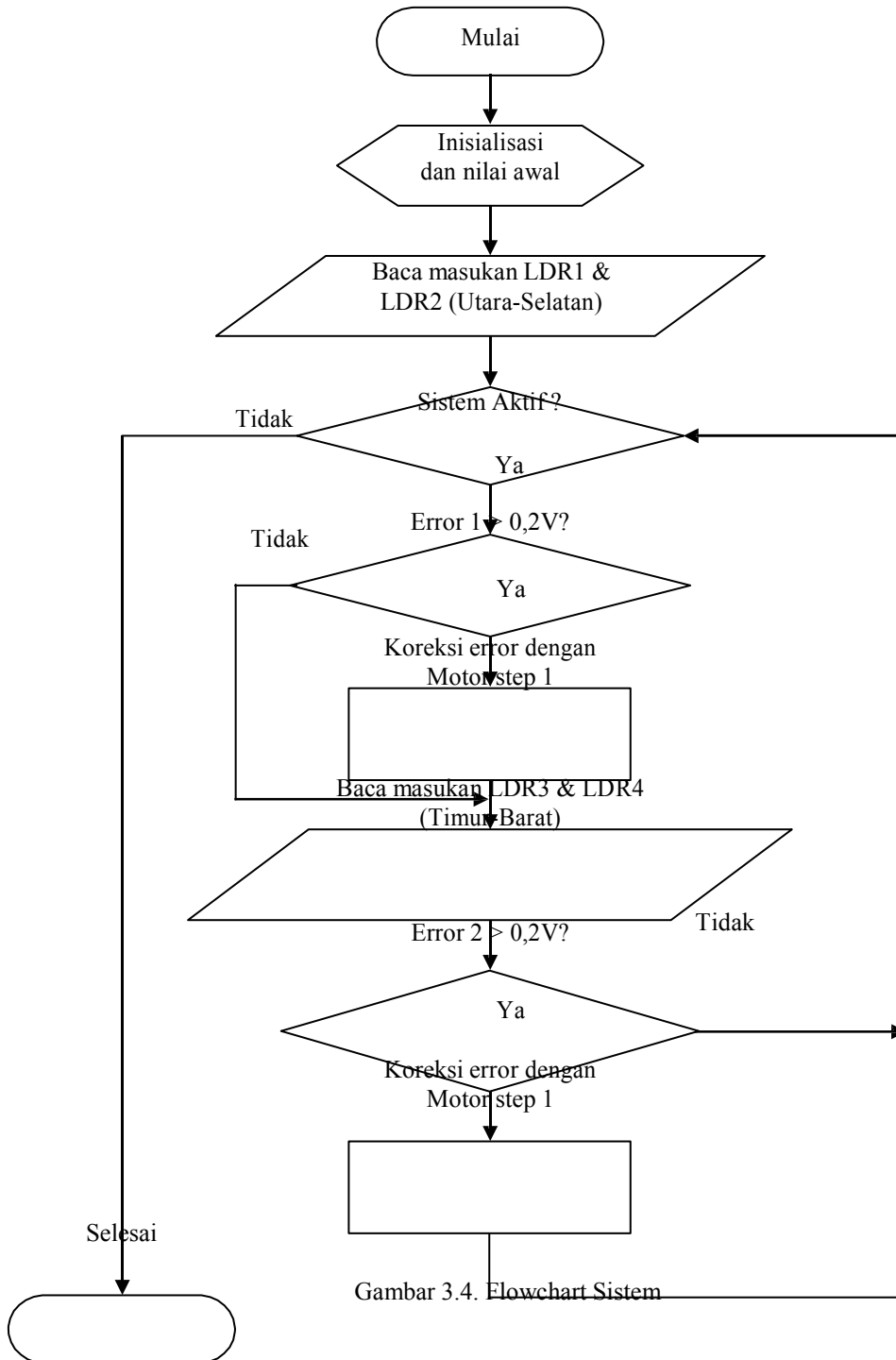
Program kendali dirancang dengan menggunakan bahasa pemrograman C dengan bantuan Arduino IDE versi 1.8.9. dengan tampilan GUI seperti berikut ini. Program disusun sesuai aturan pemrograman C yaitu struktur di mana terdiri dari kepala program, sub rutin atau fungsi serta bagian deklarasi variabel. Sesuai

aturannya deklarasi dapat dibuat variabel global maupun variabel lokal. Setiap variabel harus dideklarasikan di awal sebelum digunakan. Perbedaan bahasa C umum dengan bahasa Arduino IDE adalah pada Arduino IDE terdapat tambahan rutin yaitu `setup()`, di mana rutin tersebut akan dijalankan paling awal dan hanya sekali. Berbeda dengan rutin yang dapat dipanggil berulang-ulang. Program utama akan disusun pada bagian `loop()` di mana proses akan berulang terus hingga sistem dimatikan.

3.7. Flowchart

Flowchart merupakan diagram yang menjelaskan aliran proses kerja mulai dari awal hingga selesai 1 siklus kerja. Flowchart sistem yang ditunjukkan pada gambar 3.3 Berawal dengan proses inisialisasi dan nilai awal yaitu menentukan kondisi awal serta parameter input/output. Setelah proses inisialisasi, program akan mulai membaca inputan melalui masukan analog, program akan membaca nilai dari input analog yaitu A0 hingga A3. Nilai tersebut berupa data karena telah diubah oleh ADC internal. Data yang mewakili tegangan tersebut diubah menjadi nilai tegangan kembali kemudian dibandingkan besarnya satu sama lain untuk mendapatkan selisih atau *error*. *Error 1* berasal dari selisih sensor 1 dan 2 sedangkan *error 2* dari selisih sensor 3 dan 4. Jika terdapat *error* baik *error 1* maupun *error 2* yang melampaui 0,2V mikrokontroler akan melakukan koreksi yaitu dengan menjalankan motor penggerak dan menggerakkan panel surya hingga *error* mendekati 0 atau toleransi yang dibuat adalah 0,2V. Pengaturan dilakukan satu persatu yaitu motor 1 terlebih dahulu dijalankan dan setelah tercapai posisi baru dilakukan koreksi untuk posisi berikutnya.

Diagram alir sistem/Flowchart



Gambar 3.4. Flowchart Sistem