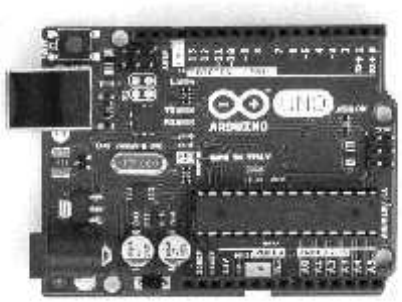
BAB II
TEORI PENUNJANG

Teori penunjang yang digunakan dalam membangun alat penghasil energi listrik alternatif ini yaitu sebagai berikut.

2.1 Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATMEGA 328. Bentuk fisik dari *Arduino Uno* seperti pada gambar 2.1. *Arduino Uno* memiliki 14 pin input/output, dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board *Arduino Uno* ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau baterai untuk menjalankannya. Bentuk fisik dari *Arduino Uno* ditunjukan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arduino Uno

2.2 Gerak Harmonik Sederhana

Pegas adalah benda berbentuk spiral yang terbuat dari logam. Pegas sendiri mempunyai sifat elastis. Elastis pada pegas merupakan kemampuan pegas untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya yang bekerja dihilangkan. Jika gerak bolak-balik pada pegas ini berlangsung secara periodik dan adanya gaya pemulih yang nilainya sama dengan simpangan namun berlawanan arah, maka dikenal sebagai

gerak harmonik sederhana (GHS). Persamaan yang digunakan pada gerak harmonik sederhana yaitu :

$$F_x = K \tag{2.1}$$

$$K = \frac{F}{\Delta x} \tag{2.2}$$

$$F = m \cdot g \tag{2.3}$$

dengan F_x sebagai gaya pemulihan, K sebagai konstanta pegas, dan y sebagai modulus young atau simpangan. Bentuk fisik pegas ditunjukan seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pegas

2.3 Generator

Generator adalah salah satu mesin listrik yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator berdasarkan teori induksi elektromagnetik, yaitu dengan mengubah besar dan arah medan magnet yang menembus suatu penghantar sehingga penghantar akan membangkitkan arus listrik. Oleh karena itu komponen utama dari generator listrik adalah kawat dan medan magnet. Bagian utama generator terdiri dari kumparan medan dan kumparan jangkar yang diletakan di rotor dan stator. Rotor adalah bagian generator yang berputar dan stator adalah bagian generator yang diam. Ada beberapa macam jenis generator salah satunya yaitu generator DC dan generator AC.[4]

2.4 Kemagnetan

Fenomena kemagnetan sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Contoh dari fenomena kemagnetan adalah pergerakan jarum kompas menuju arah utara dan selatan, tarikan atau tolakan dua batang magnet, terjadinya aurora di dekat kutub bumi, dan sebagainya. Telah banyak ahli fisika yang menemukan hubungan yang sangat erat antara fenomena kelistrikan dan kemagnetan. Kelistrikan dapat

dihasilkan oleh proses pada magnet, begitu pula sebaliknya. Oleh karena itu kelistrikan dan kemagnetan dapat dipandang sebagai satu fenomena saja yang sekarang dinamakan elektromagnetik (elektro dan magnet).[3]

2.4.1 Gaya Antar Kutub Magnet Permanen

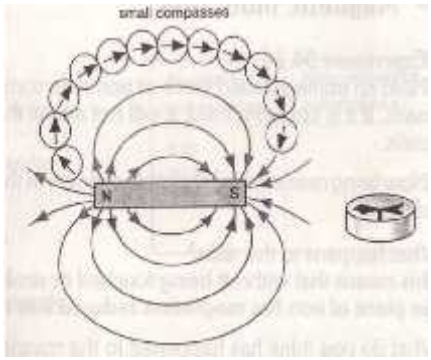
Salah satu gejala kemagnetan yang dapat diamati dengan mudah adalah tertariknya paku atau potongan besi oleh batang magnet. Batang magnet seperti itu dikelompokan sebagai magnet permanen. Setiap magnet memiliki dua kutub yang berlawanan. Salah satu kutub dinamai kutub utara dan kutub lainnya dinamai kutub selatan. Dinamakan kutub utara karena kutub tersebut akan mengarah ke kutub utara geografi bumi, begitu juga sebaliknya.[3] Fenomena kutub magnet tersebut diselidiki pada tahun 1269 oleh de Maricourt. Dalam studinya de Maricourt mengamati adanya sepasang kutub pada benda magnetik yang merupakan kekuatan gaya terbesar pada magnet. Secara matematis, besar gaya antar kutub magnet dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$F = k\,\frac{m_1 m_2}{r^2} \tag{2.4}$$

Dengan F merupakan gaya antar kutub, m_1 merupakan kutub pertama, m_2 merupakan kutub kedua, r merupakan jarak antara ke dua kutub, dan k merupakan konstanta yang besarnya 10^{-7} Weber/A m.

2.4.2 Garis Gaya Magnet

Dari dua jenis kutub yang terdapat pada magnet mengalir garis gaya magnet, yaitu dari kutub utara ke selatan. Garis gaya magnet merambat melewati udara di sekitar batang magnet. Jika kutub sejenis didekatkat makan akan terjadi gaya saling tolak, sebaliknya jika dua kutub yang didekatkan tidak sejenis maka akan terjadi gaya saling menarik. Garis gaya yang keluar dan menuju kutub magnet pada setiap titik di sekitar magnet berbeda kerapatannya setiap satuan luas yang ditembus garis gaya magnet tersebut. Kerapatan garis gaya magnet ini disebut fluks magnetik. Gambar yang menunjukan garis gaya magnet dapat dilihat seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Garis gaya magnet

Dalam fisika, besaran untuk garis gaya magnet yang menembus luas permukaan (A) yaitu fluks magnetik (φ) dinyatakan dalam satuan Weber. Fluks magnetik ini sangat erat kaitannya dengan kuat medan induksi magnetik (B). Hubungan antara ketiga besaran tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\varphi = B.A.\cos\theta \tag{2.5}$$

Keterangan:

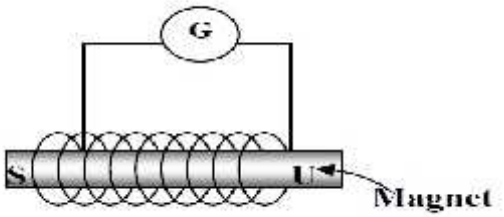
φ = fluks magnetik (weber)

B = induksi magnetik (wb/m^2)

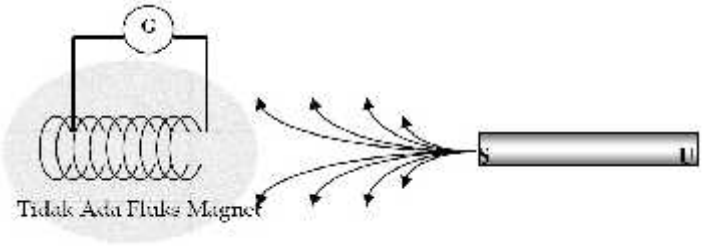
A = luas penampang (m^2)

θ = sudut antara induksi magnet dan normal bidang.

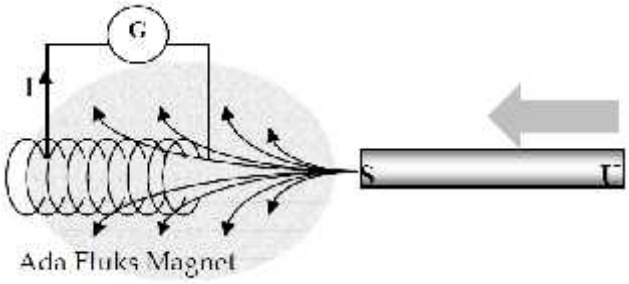
Seperti dari skema percobaan Faraday dan Henry, yaitu ketika batang magnet dimasukan ke dalam kumparan kawat, terjadi arus yang terukur oleh galvanometer, namun arus tersebut hilang beberapa saat kemudian. Hal yang sama terjadi ketika magnet batang dikeluarkan dari kumparan kawat. Dari pengamatan terhadap hasil uji coba tersebut Faraday dan Henry menyimpulkan bahwa perubahan medan magnetiklah yang menimbulkan arus listrik, bukan hanya medan magnet. Fenomena perubahan medan magnet yang menimbulkan arus listrik ini dinamakan Induksi Elektromagnetik.[6]



Gambar 2.4 Perangkat percobaan Faraday



Gambar 2.5 Pada saat awal, tidak ada arus yang terukur



Gambar 2.6 Saat magnet digerakan pada kumparan menimbulkan arus listrik

2.5 Tegangan

Tegangan merupakan perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan juga dapat disebut gaya gerak listrik (GGL). Gaya gerak listrik ini yang kemudian memindahkan muatan dari satu titik ke titik lain dalam suatu rangkaian listrik. Sehingga terjadilah pergesekan atau aliran muatan yang disebut arus listrik.

Tegangan listrik menyebabkan muatan elektron dari titik potensial rendah bergerak menuju potensial yang lebih tinggi. Sehingga menyebabkan arus konvensional bergerak dari titik potensial yang lebih tinggi menuju ke titik potensial yang lebih rendah.

Semakin besar tegangan, maka semakin besar arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik. Tegangan dilambangkan dengan huruf V atau E. Satuan tegangan adalah Volt. Setiap satu Volt akan mendorong satu Coloumb muatan, melewati hambatan dari satu Ohm dalam satu detik.[15]

2.6 Gerak Gaya Listrik Induksi

Dalam penjelasan tentang kemagnetan sebelumnya telah diketahui bahwa ada gejala timbuhnya medan magnet karena arus listrik yang dialirkan dalam sebuah penghantar, ternyata peristiwa tersebut dapat terjadi sebaliknya. Adanya sebuah penghantar didalam medan magnet dapat menimbulkan arus atau gaya gerak listrik (GGL) induksi.[2] Gambar yang menggambarkan peristiwa gaya gerak listrik dapat dilihat seperti pada gambar 2.4-2.6.

Michael Faraday pada Nopember 1831, mengatakan dalam bukunya yang berjudul *"on the induction of electric currents"* bahwa apabila arus listrik disertai medan magnet, maka ganjil jika sebuah penghantar yang dimasukkan dalam medan magnet tidak dilalui arus perubahan fluks magnet tiap detik.[2] Persamaan matematisnya seperti berikut.

$$\varepsilon_{ll} = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -N\frac{\Delta(B.A)}{\Delta t} \quad (2.6)$$

Dimana, B merupakan kerapatan fluks, *A* merupakan luas penampang yang memotong gaya gerak listrik, *N* merupakan jumlah lilitan pada kumparan, *i* merupakan arus yang mengalir pada kumparan, dan φ merupakan harga fluks yang berubah-ubah terhadap waktu. Atau tegangan rms yang dibangkitkan oleh sebuah generator dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.[4]

$$\varepsilon_r = 4{,}44.N.\varphi.f.\frac{N_s}{N_{ph}} \quad (2.7)$$

Jika GGL induksi yang terjadi E dan kuat arusnya i, tenaga listrik yang terjadi dalam Δt detik adalah :

$$W = E\,.\,i\,.\,\Delta t \quad (2.8)$$

2.7 Arus Listrik

Arus listrik terjadi karena adanya aliran elektron di mana setiap elektron mempunyai muatan yang besarnya sama. Muatan sebuah elektron, sering dinyatakan dengan simbol q atau e, dinyatakan dengan satuan Coloumb, yaitu sebesar.

$$q \approx 1{,}6\, x\, 10^{-1} \text{ Coloumb} \tag{2.9}$$

Dalam kawat penghantar terdapat aliran elektron dalam jumlah besar, jika jumlah elektron yang bergerak ke kanan atau ke kiri sama besar maka seolah tidak terjadi apa-apa. Namun jika ujung sebelah kanan kawat menarik elektron sedangkan ujung sebelah kiri melepaskannya maka akan terjadi aliran elektron ke kanan. Aliran elektron inilah yang selanjutnya disebut arus listrik.

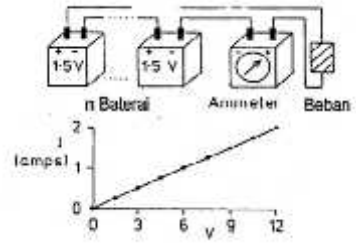
Besarnya arus listrik diukur dengan satuan banyaknya elektron per detik, namun hal tersebut bukan satuan yang praktis karena harganya terlalu kecil. Satuan yang dipakai adalah Ampere, dimana satu Ampere merupakan satu Coloumb per detik.[1]

2.8 Hukum Ohm

Pada sebagian besar konduktor logam, hubungan arus yang mengalir dengan potensial diatur oleh Hukum Ohm. Ohm menggunakan rangkaian percobaan sederhana seperti pada gambar 2.7. Ohm menggunakan rangkaian sumber potensial secara seri, mengukur besarnya arus yang mengalir dan menemukan hubungan linier sederhana. Dimana persamaan yang digunakan sebagai berikut.

$$V = I \tag{2.10}$$

Dimana R merupakan hambatan dari beban, I merupakan arus, dan V merupakan tegangan. Tetapi berlakunya Hukum Ohm sangat terbatas pada kondisi-kondisi tertentu. Untuk material-material atau piranti elektronika seperti diode dan transistor, hubungan I dan V tidak linier.[1]

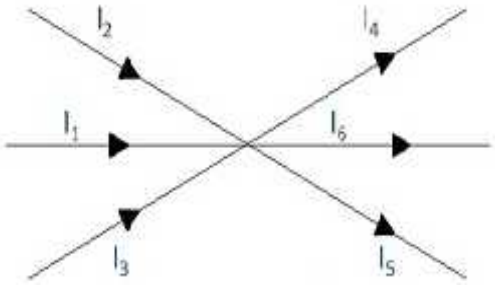


Gambar 2.7 Percobaan hukum Ohm

2.9 Hukum Kirchoff

Hukum Kirchoff merupakan salah satu hukum dalam ilmu elektronika yang berfungsi untuk menganalisa arus dan tegangan dalam sebuah rangkaian. Hukum Kirchoff pertama kali diperkenalkan oleh ahli fisika Jerman yang bernama Gustav Robert Kirchoff pada tahun 1845.

Hukum Kirchoff ke satu berkaitan dengan arah arus dalam menghadapi titik percabangan. Bunyi dari hukum Kirchoff ke satu yaitu *"arus total yang masuk melalui titik percabangan dalam suatu rangkaian listrik sama dengan arus total yang keluar dari tiitik percabangan tersebut"*. Gambar titik percabangan arus dapat dilihat seperti pada gambar 2.8.[1]



Gambar 2.8 Titik percabangan suatu rangkaian

Berdasarkan gambar rangkaian diatas, dapat dirumuskan bahwa:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 + I_6 \quad (2.11)$$

2.10 Magnet Neyodimium

Jenis magnet yang digunakan pada alat ini yaitu magnet neodymium dengan nilai NdFeB grades 50. Bahan atau material penyusun magnet terdiri dari Neodymium (Nd), Iron (Fe), dan Boron (B). Magnet neyodimium ini berupa

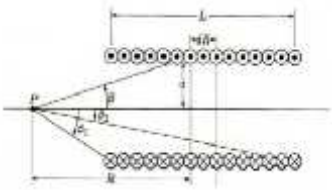
magnet koin dengan diameter 9 mm dan tebal 3 mm. Bentuk fisik magnet seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Magnet neodymium

2.11 Rangkaian Kumparan

Rangkaian kumparan adalah rangkaian yang terdiri dari beberapa loop melingkar koaksial, dengan jari-jari yang sama. Jika L adalah panjang dan N jumlah lilitan, jumlah lilitan per unit panjang adalah $\frac{N}{L}$, dan jumlah lilitan dipenampang sepanjang dR adalah $\frac{N}{L}.d$. Rangkaian selenoida ini menggunakan kabel email dengan ukuran 0,25 mm, masing-masing generator memiliki 5000 loop dengan luas penampang 0.062 m^2.



Gambar 2.10 Rangkaian kumparan

2.12 Kawat Email

Kawat email merupakan kawat tembaga murni yang bagian luarnya dilapisi dengan lumen sebagai isolator dan penahan korosi. Penggunaan kawat email dalam pembuatan motor atau generator mempunyai beberapa keunggulan, antara lain adalah konduktivitas listrik tinggi, tahan korosi, ekspansi panas tinggi, konduktivitas panas tinggi, bisa disolder, dan mudah dipasang.[4]

Kawat email mempunyai kemampuan hantar arus (khA) sesuai dengan diameter kawat tersebut, tabel daftar kemampuan hantar arus dari kawat email dapat dilihat seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kemampuan hantar arus kawat email

No	Diameter Kawat (mm)	Kemampuan Hantar Arus (khA) (Ampere)
1.	0,1	0,016 s/d 0,024
2.	0,2	0,064 s/d 0,094
3.	0,3	0,141 s/d 0,212
4.	0,4	0,251 s/d 0,377
5.	0,5	0,390 s/d 0,588
6.	0,6	0,566 s/d 0,849
7.	0,7	0,770 s/d 1,160
8.	0,8	1,010 s/d 1,510
9.	0,9	1,270 s/d 1,910
10.	1,0	1,570 s/d 2,360
11.	1,5	3,530 s/d 5,300
12.	2,0	6,280 s/d 9,420

2.13 Tabung Isolator

Tabung isolator merupakan tabung yang digunakan sebagai penampang kumparan dengan ukuran tinggi 30 cm, jari-jari 1,27 cm. Bentuk fisik tabung isolator seperti pada gambar 2.11.

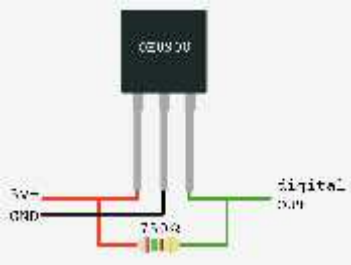


Gambar 2.11 Tabung isolator 0,5 inch

2.14 Sensor Hall Effect

Sensor *hall effect* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Perubahan medan magnet secara terus menerus menyebabkan timbulnya pulsa yang kemudian dapat ditentukan frekuensinya. Sensor *hall effect* ini terdiri dari sebuah lapisan silikon yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik, serta dua buah elektroda pada masing-masing sisi dari lapisan silikon. Hal tersebut akan menghasilkan perbedaan tegangan ketika lapisan silikon ini dialiri arus listrik. Ketika medan magnet terdeteksi oleh sensor ini maka arus listrik yang mengalir pada lapisan silikon berbelok mendekati atau menjauhi sisi elektroda yang

dipengaruhi oleh medan magnet. Ketika tidak ada medan magnet yang terdeteksi maka arah arus listrik yang mengalir pada silikon tersebut akan tetap berada di tengah-tengah lapisan silikon dan menghasilkan tegangan 0 Volt karena tidak ada beda tegangan antara elektroda sebelah kiri dan elektroda sebelah kanan. Bentuk fisik dari sensor *hall effect* seperti pada gambar 2.12.[13]



Gambar 2.12 Sensor *hall effect*

2.15 Baterai

Baterai adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektro kimia yang *reversible*. *Reversible* adalah reaksi elektro kimia di dalam baterai dimana berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel. Bentuk fisik dari Baterai seperti pada gambar 2.13. [14]

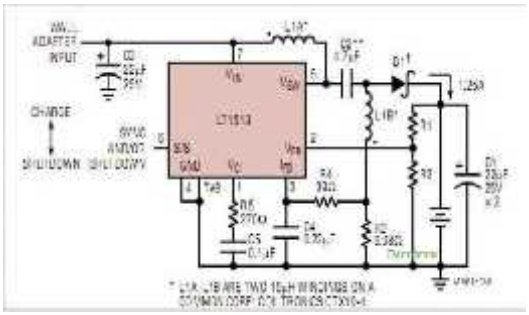


Gambar 2.13 Baterai *li-ion*

2.16 Rangkaian Skematik *Li-ion Charging*

Li-ion charging merupakan rangkaian yang digunakan untuk pengisian daya pada baterai isi ulang dengan kinerja dan efisiensi tinggi. IC yang digunakan pada rangkaian ini yaitu LT1513. Arus yang dihasilkan mulai dari 10 mA sampai 2 A. Rangkaian *Li-ion charging* ini hanya dapat menerima input tegangan maksimal 5,5

Volt. Oleh karena itu sebelum sumber energi listrik yang dihasilkan oleh generator masuk ke rangkaian ini harus terlebih dahulu melewati rangkaian step down. Karena jika input tegangan yang masuk ke rangkaian ini lebih dari 5,5 Volt dapat menyebabkan kerusakan pada IC LT1513. Gambar dari rangkaian skematik *li-ion charging* seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Skematik *Li-ion charging*

2.17 Dioda

Dioda merupakan komponen aktif yang memilliki dua kutub dan bersifat semikonduktor. Dioda bisa dialiri arus listrik ke satu arah dan menghambat arus dari arah sebaliknya.[18] Untuk menyearahkan tegangan yang dihasilkan digunakan dua jenis dioda yaitu dioda normal dengan tipe IN4148 dan dioda schottky tipe 81-004. Dioda normal tipe IN4184 digunakan pada rangkaian penyearah, dioda tersebut dapat mengalirkan arus maksimum 3.0 Ampere pada suhu dibawah 75^{o} C serta dioda tersebut memiliki nilai tegangan drop kecil. Dioda Schottky tipe 81-004 digunakan untuk menekan ripple yang tersisa dari penggabungan empat buah generator yang dirangkai pararel, dioda ini di khususkan untuk menangani tegangan rendah. Ketika arus mengalir melalui dioda akan tertahan oleh hambatan internal, yang menyebabkan tegangan drop, dioda Schottky memiliki nilai tegangan drop 0,15-0,45 Volt, sedangkan pada dioda normal tegangan drop mencapai 0,7-1,7 Volt. Bentuk fisik dari dioda IN4184 seperti pada gambar 2.15.

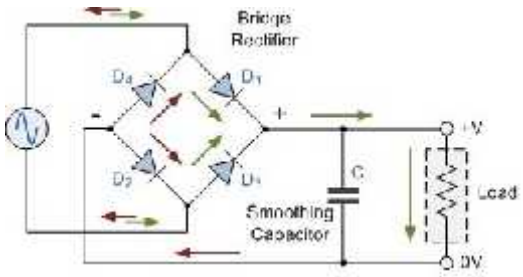


Gambar 2.15 Dioda in4148

2.18 Penyearah

Menurut (Yustinus Swidyatmoko: 2010) penyearah adalah alat yang digunakan untuk merubah sumber listrik bolak-balik AC menjadi listrik arus searah DC. Alat tersebut berupa rangkaian elektronik dengan komponen utama dioda. Dalam penyearahan tegangan bolak-balik AC digunakan sebuah dioda *bridge*. Gelombang keluarannya dengan lebih baik bila dibandingkan dengan penyearah setengah gelombang.[4]

Berikut adalah rangkaian skematik penyearah gelombang penuh *(full bridege)* yang biasa digunakan untuk menyearahkan tegangan bolak-balik AC menjadi tegangan arus searah DC dapat dilihat seperti pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Rangkaian penyearah gelombang penuh

2.19 Modul Step Down

Modul step down atau *buck* ini dilengkapi sebuah IC lm2596. IC tersebut merupakan sebuah IC *Voltage regulator* yang dapat mengatur tegangan pada level 5-5,5 Volt secara konstan. Adapun spesifikasi dari modul tersebut yaitu dapat mengalirkan arus maksimal sebesar 3 Ampere, input tegangan 4,5-28 VDC, output tegangan 0,8-20 VDC, dengan efisiensi maksimal sebesar 96%. Modul ini digunakan untuk menurunkan tegangan yang dihasilkan oleh generator sehingga sumber energi listrik tersebut dapat di simpan pada sebuah powerbank. Bentuk fisik dari modul step down seperti pada gambar 2.17.[17]



Gambar 2.17 Modul step down

2.20 Modul Sensor Arus

Sensor arus merupakan sensor yang dapat mengukur suatu arus yang melewati suatu hambatan baik arus AC maupun DC. Sensor arus yang digunakan untuk mengukur arus yang dihasilkan oleh generator elektromagnetik penangkap Getaran adalah modul INA219, modul sensor arus ini dapat mengukur arus yang mengalir pada suatu hambatan dan menghasilkan sinyal yang sebanding dan ditampilkan oleh Ampere meter. Sinyal yang dihasilkan merupakan sinyal analog. Adapun spesifikasi dari modul sensor ini yaitu komunikasi menggunakan I2C, maksimum tegangan 26 VDC, maksimum arus 3,2 Ampere, dan membutuhkan daya sebesar 5 VDC. Bentuk fisik dari sensor arus seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Modul sensor arus

2.21 LCD Karakter

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf, ataupun grafik. LCD merupakan salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknelogi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari back-lit.

Material yang digunakan dalam pembuatan LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan Indium

Oksida dalam bentuk tampilan seven-segment dan lapisan elektroda pada kaca belakang. LCD ini memiliki beberapa fitur seperti terdiri dari 2 baris dan 16 kolom, mempunyai 192 karakter yang tersimpan, terdapat karakter generator terprogram, dapat diamati pada mode 4-bit dan 8-bit, dan dilengkapi dengan back light.[19] Bentuk fisik dari LCD karakter seperti pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 LCD karakter

2.22 IDE Arduino

Perangkat lunak adalah suatu perangkat yang digunakan untuk mempermudah pembuatan program atau algoritma kerja suatu alat. Perangkat lunak ini sebuah perangkat non fisik. Dalam pembuatan alat ini ada beberapa perangkat lunak yang digunakan, diantaranya Arduino IDE.

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan aplikasi yang mencakup editor, compiler, dan *uploader* dapat menggunakan semua seri modul keluarga Arduino, seperti Arduino Uno, Mega2560, Promini. Kecuali ada beberapa tipe board produksi Arduino yang memakai mikrokontroler di luar seri AVR, seperti mikroprosesor ARM. Editor sketch pada IDE Arduino juga mendukung fungsi penomoran baris, *syntax highlighting*, yaitu pengecekan sintaksis kode sketch.[11]



Gambar 2.20 Lembar kerja arduino IDE