

## **BAB II LANDASAN TEORI**

### **2.1 Studi Literatur**

Studi literatur adalah berupa pengkajian berbentuk teori-teori yang mendukung referensi-referensi yang berkaitan dengan topik yang diangkat, contohnya persiapan yang harus dilakukam, perancangan, dan perakitan. Studi yang dilakukan adalah mencari sumber yang berasal dari jurnal-jurnal dan *website*. Dari sumber tersebut penulis mendapatkan data-data mengenai apa itu sepeda listrik, komponen apa saja yang digunakan, tentang panel surya dan lain sebagainya.

### **2.2 Sepeda Listrik**

Sepeda listrik adalah sepeda yang memiliki motor listrik yang menggunakan energi listrik sebagai sumber penggerakannya, biasanya disuplai listriknya dari media penyimpanan yang disebut baterai. Biasanya pada sepeda listrik terdapat dua penggerak yang utamanya yaitu penggerak konvensional yang menggunakan dayuhan kaki, dan semakin kesini sepeda di modifikasi lagi sehingga menjadi sepeda listrik dengan menambahkan motor DC (Arus Searah).

### **2.3 Motor DC (Arus Searah)**

Motor DC (Arus Searah) adalah jenis motor listrik yang penggerakannya menggunakan listrik DC (Arus Searah) untuk bisa berputar mendapatkan energi mekanik. Jenis motor DC yang menggunakan magnet permanet terbagi menjadi 2 yaitu motor DC yang menggunakan *brush*/sikat dan *brushless*/tanpa sikat.

### 2.3.1 Motor *Brushless*

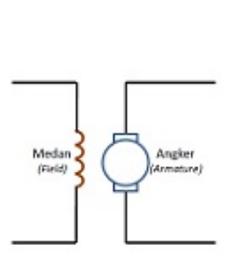
Motor *brushless* DC atau sering disebut BLDC adalah jenis motor DC yang tidak memiliki sikat. Jenis motor ini memiliki kelebihan antara lain peningkatan pada efisiensi, pengurangan kebisingan yang ditimbulkan saat berputar, perawatan yang lebih murah, serta dapat berputar dengan kecepatan tinggi karena berkurangnya gesekan dengan sikat (S, 2019).

### 2.3.2 Motor *Brushed*

Motor DC jenis ini merupakan jenis motor DC seperti namanya *brushed* yang artinya memiliki sikat penghubung antara sumber tegangan dengan jangkar lilitan. Jenis motor DC ini biasanya banyak digunakan di mobil mainan tamiya, *dynamo starter* sepeda motor, kipas, pompa air dan lain sebagainya.

Adapun jenis motor DC berdasarkan konstruksi dan mekanisme operasi dibagi menjadi beberapa macam, diantaranya:

### 2.3.3 Motor DC Sumber Penguatan Terpisah (*Separately Excited*)



Gambar 2. 1 Rangkaian Motor DC Penguat Terpisah

Pada gambar 2.1 merupakan jenis motor DC dengan pasokan arus medan dari sumber yang terpisah. Jadi sumber arus medan untuk *field winding* terpisah dari sumber arus medan untuk *armature winding* (Syamsuar et al., 2019).

$$V_f = I_f \cdot R_f \quad (2.1)$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \quad (2.2)$$

Dimana:

$V_f$  = Voltase dari *field windig*

$I_f$  = arus pada *field winding*

$R_f$  = Tahanan pada *field windng*

$V_t$  = voltase pada *armature winding*

$E_a$  = tegangan balik pada *armature winding*

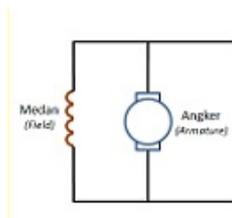
$I_a$  = arus pada *armature winding*

$R_a$  = tahanan pada *armature winding*

### 2.3.4 Motor DC Penguatan Sendiri (*Self Excited*)

Pada motor DC *self-excited* ini, belitan medan dihubungkan secara seri, paralel atau seri-paralel dengan belitan jangkar. Motor DC jenis Penguatan Sendiri dibagi menjadi:

#### a. Motor *Shunt*



Gambar 2. 2 Rangkaian Motor DC *Shunt*

Pada gambar 2.2 Merupakan jenis motor DC tipe *shunt*, pada motor *shunt*, belitan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dengan belitan jangkar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Oleh karena itu, arus saluran total adalah jumlah dari arus medan dan arus jangkar ( Rodwell International Corporation, 1999 dalam Syamsuar et al., 2019).

Persamaan untuk jenis motor *shunt* adalah:

$$V_f = V_t \quad (2.3)$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \quad (2.4)$$

Dimana:

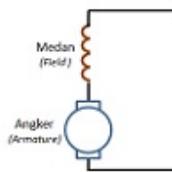
$V_f$  = Voltase dari *field winding*

$V_t$  = voltase pada *armature winding*

$E_a$  = tegangan balik pada *armature winding*

$R_a$  = tahanan pada *armature winding*

b. Motor *Series*



Gambar 2. 3 Rangkaian Motor DC Seri

Pada gambar 2.3 merupakan gambar rangkaian motor DC secara seri, pada motor seri, belitan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara seri dengan belitan jangkar. Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus jangkar.

Persamaan untuk motor seri adalah :

$$I_{sh} = I_L = I_a \quad (2.5)$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a + I_a \cdot R_s \quad (2.6)$$

Dimana:

$I_{sh}$  = Arus kumparan medan *shunt*

$I_L$  = Arus beban

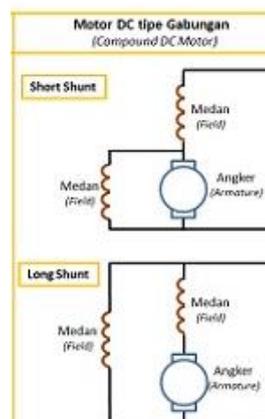
$I_a$  = arus jangkar

$R_s$  = Tahanan seri

$V_t$  = voltase pada *armature winding*

$E_a$  = tegangan balik pada *armature winding*

### c. Motor *Short Compound*



Gambar 2. 4 Rangkaian *Motor DC Compound*

Pada gambar 2.4 merupakan contoh rangkaian motor DC *compound* motor jenis ini merupakan gabungan motor seri dan *shunt*. Pada motor *compound*, gulungan medan (medan *shunt*) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo (A). Sehingga, motor *compound* memiliki *torque* penyalan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil.

### 2.4 *Revolutions Per Minute (RPM)*

Adalah ukuran frekuensi sebuah rotasi. Ini menyatakan jumlah putaran penuh yang diselesaikan dalam satu menit. RPM digunakan sebagai ukuran kecepatan rotasi komponen mekanis. Dengan kata lain berapa kali berputar dalam satu menit. memiliki hubungan dengan frekuensi dimana 1 Hz sama dengan 60 rpm atau 1 rpm sama dengan 1/60Hz.  $\text{rpm} = \text{banyaknya putaran} / \text{menit}$ , atau banyaknya putaran / 60 detik.

### 2.5 Baterai

Baterai adalah media penyimpanan energi listrik yang didalamnya terdapat komponen elektroda penghantar listrik dan elektrolit sebagai penghasil ion yang

mengubah dari energi kimia menjadi energi listrik. Struktur baterai terdiri dari Anoda Katoda dan Elektrolit (Perdana, 2021).

### 2.5.1 Baterai Primer



Gambar 2. 5 Baterai Primer

Pada gambar 2.5 merupakan gambar jenis baterai primer. Baterai primer adalah baterai yang tidak bisa di isi ulang kembali dan tidak dapat digunakan kembali ketika energi yang ada di dalam baterai sudah habis. Dalam baterai ini semakin lama dipakai maka kandungan kimia yang berada didalam elektrolit akan semakin habis, sehingga tidak dapat menghasilkan ion yang diperlukan.

a. Ciri-ciri baterai primer

- 1) Biasanya memiliki tegangan 1,5 V.
- 2) Menggunakan prinsip kerja mengubah reaksi kimia menjadi listrik dengan sifat yang tidak bisa dibalik.
- 3) Hanya dapat dipakai sekali dan tidak bisa diisi ulang.
- 4) Biasanya berbentuk kotak atau bulat panjang.

b. Kelebihan baterai primer:

- 1) Praktis penggunaannya, pakai - habis - buang.

2) Harga baterai lebih murah dibandingkan baterai sekunder.

c. Contoh baterai primer

- 1) Eveready
- 2) Alkaline
- 3) Panasonic Oxyride
- 4) Abc
- 5) dll

### 2.5.2 Baterai Sekunder



Gambar 2. 6 Baterai Sekunder

Pada gambar 2.6 merupakan jenis gambar baterai sekunder, baterai sekunder adalah baterai yang bisa di isi ulang berkali-kali ketika energi baterai sudah habis digunakan.

a. Ciri-ciri baterai sekunder

- 1) Menggunakan prinsip mengubah reaksi kimia menjadi energi listrik.
- 2) Dapat digunakan berulang kali dengan cara mengisi baterai yang sudah habis aliran listriknya.
- 3) Dibutuhkan *charger*.

b. Kelebihan baterai sekunder

- 1) Energi baterai lebih besar dari baterai primer.

- 2) Secara ekonomi baterai lebih hemat dari baterai primer apabila dihitung penggunaan secara jangka panjang.

c. Contoh baterai sekunder

- 1) Baterai asam timbal (accu) *Lead Acid*
- 2) Baterai ni-cd (*nickel-cadmium*)
- 3) Baterai lithium
- 4) dll

### 2.5.3 Parameter Baterai

a. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah kekuatan transfer arus yang dapat di terima atau di lepaskan terhadap beban dengan waktu tertentu (jam). Kapasitas bateai dinyatakan dengan *Ampere Hour* (Ah). Contohnya jika baterai memiliki kapasitas 1 Ah maka baterai tersebut bisa harus siap mensuplai ataupun menerima 1 A selama 1 jam. Menurut (Zidni, 2020) persamaan kapasitas baterai adalah :

$$C = I (\text{Ampere}) \times t(\text{jam}) \quad (2.7)$$

Dimana:

C = Kapasitas Baterai (Ah)

I = Arus (*Ampere*)

t = Waktu (Jam)

b. Tegangan Baterai

Rahmawan, (2018) menyatak tegangan adalah tegangan terminal saat kondisi operasi dikenal dengan istilah tegangan nominal atau tegangan kerja.

Nilai tegangan ini akan ditentukan oleh manufaktur pembuat baterai. tegangan ini biasanya bernilai 3 V, 6 V, 12 V, 24 V dan lain sebagainya.

c. Temperatur baterai

Temperatur baterai adalah kondisi suhu baterai ketika proses pengisian maupun pengosongan.

d. Efisiensi baterai

Efisiensi baterai adalah jumlah energi yang dapat Anda keluarkan dari baterai dibandingkan dengan jumlah energi yang dimasukkan ke dalamnya.

e. Kerapatan energi (*Energy Density*)

Kepadatan energi adalah jumlah energi dalam baterai sama dengan *volume* dan berat baterai. Kepadatan energi baterai dipengaruhi oleh komponen aktif baterai.

f. *State of Charge* (SOC)



Gambar 2. 7 SOC Baterai

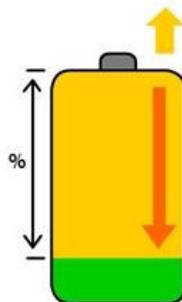
Pada gambar 2.7 merupakan indikator baterai yang warna hijau menunjukkan SOC atau jumlah energi yang masih tersimpan di dalam baterai, sedangkan warna putih menunjukkan energi yang sudah terpakai atau sering disebut DOD.

*State Of Charge* (SOC) adalah status yang menampilkan energi pada baterai yang tersisa. Nilai *State Of Charge* juga bisa dinyatakan dalam bentuk persentase, 0%-100%. Contoh apabila suatu baterai memiliki kapasitas 100% dan telah digunakan sebanyak 20%, maka SOC nya adalah 80%.

Ahmad *Faiz* Farizy, (2016) menyatakan cara mengukur nilai SOC terdapat 3 cara diantaranya:

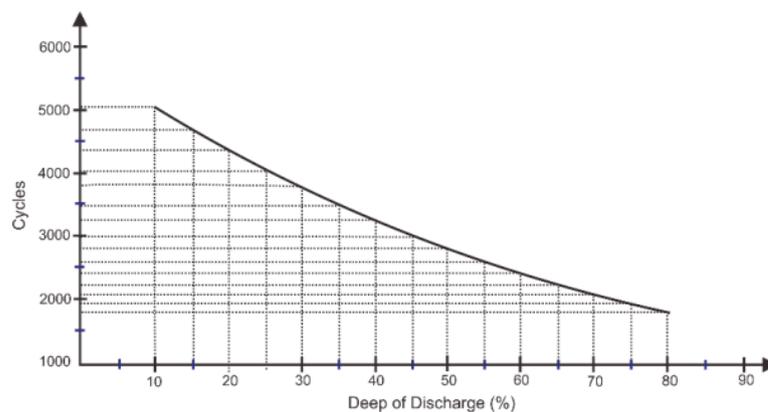
1. Pengukuran secara langsung, dapat dilakukan jika baterai dapat didischarge pada nilai yang konstan dan pengukuran.
2. Pengukuran *Specific Gravity* (SG), cara ini bergantung pada perubahan pengukuran dari berat bahan kimia aktif.
3. Perkiraan SOC berdasarkan tegangan, dilakukan dengan mengukur tegangan cell baterai sebagai dasar untuk perhitungan SOC atau sisa kapasitas. Hasil dapat berubah tergantung pada level tegangan nyata, suhu, nilai discharge, dan umur cell.

g. *Depth Of Discharge* (DOD)



Gambar 2. 8 Indikator DOD Baterai

Pada gambar 2.8 menunjukkan contoh gambar indikator DOD, yang warna hijau adalah energi yang tersisa atau sering disebut SOC, dan yang kuning adalah energi yang telah digunakan atau DOD. *Depth Of Discharge* (DOD) adalah status yang menampilkan energi yang telah digunakan pada baterai. Nilai *Depth Of Discharge* juga bisa dinyatakan dalam bentuk presentase 0-100%.



Gambar 2. 9 Grafik Pengaruh Nilai DOD Terhadap Siklus Baterai (Rahmawan, 2018)

Pada gambar 2.9 merupakan grafik pengaruh DOD terhadap siklus baterai. Siklus hidup baterai menunjukkan proses pengisian dan pengosongan, dinyatakan satu siklus yaitu 1 pengisian dan 1 pengosongan. Seperti pada gambar dapat diketahui baterai *Lead Acid* akan memiliki siklus (*lifetime*) yang berbeda sesuai dengan besar atau kecilnya nilai DOD yang digunakan. Jumlah siklus baterai akan bernilai sekitar 4000 kali dengan DOD yang digunakan sebesar 25%. Jika memiliki nilai DOD 80% maka baterai memiliki siklus berkisaran 1900 kali, dan jika DOD 15% maka siklus baterai berkisaran 4800 kali. Semakin besar nilai DOD maka akan semakin berkurang nilai siklus pada baterai (Rahmawan, 2018).

#### h. *Self Discharge*

*Self Discharge* adalah pengurangan energi pada baterai ketika baterai tidak digunakan terhadap beban. Hal tersebut dikarenakan adanya proses reaksi kimia

yang terjadi di dalam baterai. *Self Discharge* akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan suhu di sekitar baterai. Oleh karena itu untuk mengurangi *Self Discharge* pada baterai, harus diperhatikan suhu di sekitar, tidak terlalu dingin dan tidak terlalu panas.

i. *Charging*

Proses *charging* dilakukan untuk mengisi ulang daya yang digunakan pada baterai, proses *charging* membutuhkan waktu yang berbeda-beda tergantung seberapa besar daya yang hilang dan seberapa besar arus yang mengalir ke baterai. Untuk mengetahui seberapa lama proses *charging* baterai dapat dihitung menggunakan persamaan

$$t = \frac{P_{\text{baterai}}}{P_{\text{panel}}} \quad (2.8)$$

j. *Discharging*

Proses *discharging* ini terjadi ketika baterai digunakan untuk mensuplai suatu beban. Ketika sebuah baterai digunakan untuk mensuplai arus ke suatu beban, maka ada dua aliran yang mengalir yaitu internal *circuit* dan aliran yang terjadi di beban yaitu *external circuit*.

#### 2.5.4 Efisiensi Energi Baterai

Efisiensi baterai adalah rasio perbandingan kapasitas baterai pada saat *discharging* terhadap kapasitas aktualnya. Berikut persamaan mencari efisiensi baterai menurut (Elektro et al., 2020).

$$\eta = \frac{C_c - C_d}{C_c} \times 100\% \quad (2.9)$$

Dimana :

$C_d$  : Kapasitas *Discharge*

$C_c$  : Kapasitas *Charge*

## 2.6 Baterai *Lead Acid*



(a) Baterai Kering



(b) Baterai Basah

Gambar 2. 10 Baterai *Lead Acid*

Pada gambar 2.10 merupakan jenis baterai *Lead Acid* atau asam timbal, baterai *Lead Acid* merupakan baterai jenis sekunder atau bisa di isi ulang kembali ketika energi baterai sudah habis. Baterai jenis ini paling banyak digunakan dan sangat mudah didapatkan, biasanya jenis baterai ini digunakan pada kendaraan motor, mobil, sepeda listrik dan lain sebagainya.

### 2.6.1 Jenis Baterai *Lead Acid*

Menurut (Bidang et al., 1989) baterai *Lead Acid* dibedakan menjadi 2 diantaranya :

a. *Starting battery*

Baterai jenis ini dirancang khusus untuk menghasilkan arus yang tinggi dalam waktu singkat, biasanya jenis baterai ini diaplikasikan dalam menyalakan mesin-mesin kendaraan yang memerlukan arus tinggi. Setelah mesin hidup aki istirahat sambil dicas kembali oleh dinamo (*alternator*).

b. *Deep Cycle Battery*

Baterai jenis ini dirancang berbeda dengan starting baterai yang mana baterai jenis ini akan menghasilkan arus stabil tidak sebesar starting baterai, dan akan stabil seterusnya. Aki jenis ini tahan terhadap siklus pengisian - pengosongan aki yang berulang-ulang. Menurut (Rahmawan, 2018) Baterai *Deep Cycle* dibedakan menjadi 2 tipe, diantaranya :

1) *Flooded Lead Acid Battery* (FLA) / Baterai sel terendam

Baterai jenis ini sering dikenal dengan istilah aki basah, dan sel-sel yang ada didalam harus terendam dalam elektrolit sepenuhnya. Oleh sebab itu, pada jenis baterai ini harus dilakukan pengecekan secara berkala dan jika airnya mulai berkurang diharuskan untuk mengisi kembali supaya proses reaksi kimia ini dapat berlangsung secara terus menerus.

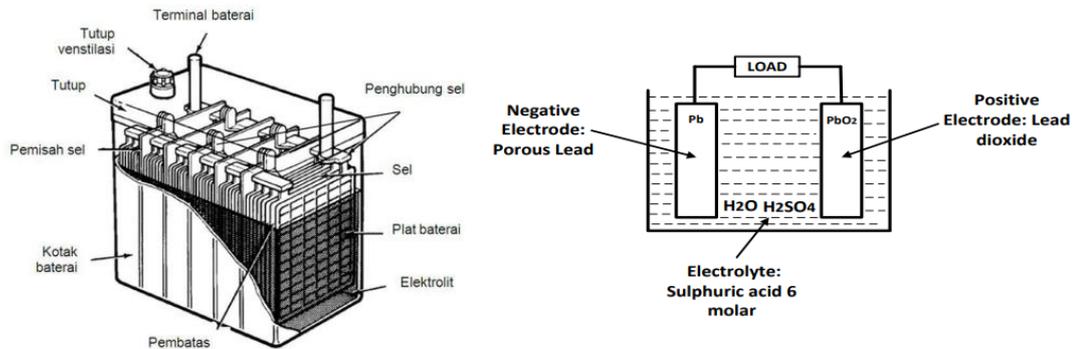
2) *Valve-Regulated Lead Acid Battery* (VRLA) / Baterai tipe Gel dan tertutup

Baterai jenis ini bersifat tertutup (*sealed*), sehingga penguapan (*evaporasi*) yang dikeluarkan sangat kecil. Oleh sebab itu baterai jenis ini tidak memerlukan penambahan cairan elektrolit selama masa pemakaian baterai. Namun baterai jenis ini juga terdapat beberapa katup yang mana berfungsi untuk pentilasi udara bilamana tekanan didalam baterai sudah mencapai paling maksimal. Baterai jenis ini merupakan tipe baterai yang cocok untuk aplikasi PV, karena beberapa alasan. Antara lain :

1. Dapat di pasang dalam berbagai posisi.
2. Tidak membutuhkan perawatan yang banya, sehingga mengurangi biaya *maintanance* dan cocok untuk aplikasi jarak jauh.

3. Tidak membutuhkan penambahan air untuk proses reaksi kimia pada baterai.

### 2.6.2 Kontruksi Baterai *Lead Acid*



Gambar 2. 11 Kontruksi Baterai *Lead Acid*

Pada gambar 2.11 merupakan kontruksi baterai *Lead Acid*, terdapat beberapa komponen diantaranya:

Kotak baterai, berfungsi untuk melindungi semua komponen yang berada di dalam, untuk melindungi baterai dari gesekan atau benturan keras sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada komponen. Kotak baterai memang terbuat dari bahan plastik, tetapi plastik yang digunakan sangat keras sehingga tidak mudah rusak bilamana terbentur.

Pemisah sel, yaitu yang membatasi antara sel satu dengan sel yang lainnya.

Tutup baterai, sesuai dengan namanya yaitu berfungsi untuk menutupi baterai pada bagian atas sehingga pada bagian atas baterai tidak terbuka dan bagian tutup baterai masih satu bagian dengan kotak baterai.

Tutup pentilasi, biasanya terdapat pada baterai jenis basah, yang digunakan untuk menambah cairan elektrolit ketika elektrolit sudah mulai habis.

Terminal baterai, terminal baterai ada dua yaitu terminal positif dan terminal negatif pada baterai *Lead Acid*, kedua terminal ini terletak dibagian atas.

Terminal ini digunakan untuk terhubungnya beban dengan baterai.

Penghubung sel, digunakan untuk menghubungkan sel secara seri antara sel satu dengan sel yang lainnya supaya tegangan yang diinginkan bisa sesuai.

Sel, merupakan satu set plat kutub positif dan negatif yang dipisahkan dengan separator, satu sel pada baterai *Lead Acid* tegangannya senilai 2 V, jika membutuhkan 12 V maka sel yang dibutuhkan adalah 6 sel yang di rangkai secara seri.

Plat baterai, terdapat 2 plat baterai yaitu plat positif dan negatif.

Elektrolit, merupakan cairan yang ada di dalam baterai, dalam elektrolit terdapat dua unsur yaitu air dan asam sulfat, air digunakan untuk media nya sedangkan asam sulfat digunakan untuk penghasil energi listrik setelah bereaksi dengan plat.

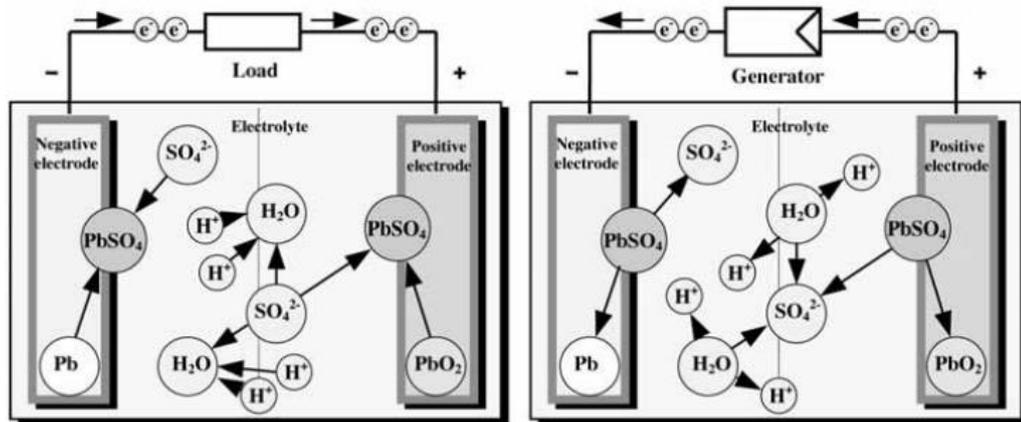
Pembatas atau separator, berfungsi untuk memisahkan antara plat positif dan plat negatif supaya tidak terjadinya koslet. Separator ini sifatnya isolator dengan memiliki pori-pori supaya ion ion bisa bolak balik ke plat positif dan negatif.

### 2.6.3 Karakteristik Baterai *Lead Acid*

Tabel 2. 1 Tabel Karakteristik *Lead Acid*

Spesifikasi energi (Wh/Kg)	30-50
Tegangan Per Sel	2 V
Tegangan <i>Cutoff Charge</i> (V/cell)	2,4 V
Tegangan <i>Cutoff Discharge</i> (V/cell)	1,7 V
Suhu saat pengisian dan pengosongan	-5 s/d 50 °C
Perawatan	3 s/d 6 bulan

### 2.6.4 Reaksi Kimia Baterai *Lead Acid*

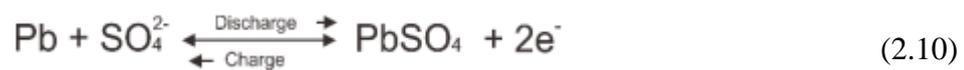


Gambar 2. 12 *Charging dan Discharging Lead-Acid Battery*  
(Quaschnig, 2016)

Pada gambar 2.12 merupakan reaksi yang terjadi ketika baterai sedang *charging* maupun *discharging*, semua baterai *Lead Acid* beroperasi pada reaksi dasar yang sama. Saat baterai habis (*discharge*), bahan aktif pada elektroda bereaksi dengan elektrolit membentuk timbal sulfat ( $PbSO_4$ ) dan air ( $H_2O$ ). Reaksi ini menghasilkan elektron yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

Selama pengisian (*charge*), timbal sulfat di elektroda positif ( $PbSO_4$ ) diubah kembali menjadi timbal dioksida ( $PbO_2$ ) dan timbal negatif ( $Pb$ ), dan ion sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) kembali ke elektrolit untuk menghasilkan asam sulfat. Kedua reaksi ini berlanjut selama proses pengosongan dan pengisian daya baterai. Berikut reaksi pada baterai *Lead Acid* baik saat *charge* dan *discharge*:

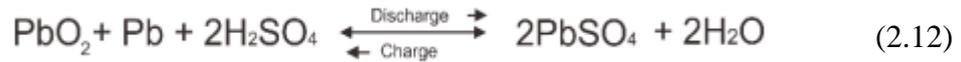
Elektroda Negatif:



Elektroda Positif :



reaksi keseluruhan :



## 2.7 Controller Motor DC



Gambar 2. 13 Controller Motor DC

Pada gambar 3.13 merupakan gambar *Controller* motor DC yang berperan sangat penting dapat dikatakan sebagai penunjang utama operasi motor DC karena motor DC membutuhkan suatu *trigger* pulsa yang masuk ke bagian elektromagnetik (*stator*) motor DC untuk memberikan pengaturan besarnya arus yang mengalir sehingga putaran motor dapat diatur secara akurat (Nainggolan B, Inaswara F, Pratiwi G, 2016).

## 2.8 Gas Sepeda Listrik



Gambar 2. 14 Gas Sepeda Listrik

Pada gambar 2.14 merupakan gas sepeda listrik, gas sepeda listrik ini sama halnya dengan gas pada sepeda motor yang menggunakan bahan bakar minyak yaitu digunakan untuk mengatur kecepatan pada motor, sehingga dapat mengendalikan motor dengan mudah.

## 2.9 Panel Sel Surya

Panel sel surya adalah komponen yang bisa merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Nama lain dari panel surya adalah sel *photovoltaik* yang artinya *photo* itu cahaya dan *voltaic* adalah listrik, dengan keluaran tegangan DC. Satuan dari kapasitas panel surya adalah *Watt Peak*. Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya *silicon*) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan energi listrik. Panel surya bisa di pasang sesuai kebutuhan, bisa di pasang secara seri dan paralel (Nandika & Gunoto, 2018).

Menurut (Ananda Rahmasari, 2021) panel surya dibedakan berdasarkan bahan yang dipakai menjadi beberapa diantaranya:

### 2.9.1 *Monocrystalline*

#### Monocrystalline



Gambar 2.15 Panel Surya *Monocrystalline*

Pada gambar 2.15 merupakan contoh dari panel surya tipe *Monocrystalline*, panel surya jenis ini menggunakan material silikon sebagai bahan utama penyusun sel surya. Material silikon ini diiris tipis menggunakan teknologi khusus. Dengan digunakannya teknologi inilah, kepingan sel surya yang dihasilkan akan identik satu sama lainnya dan juga memiliki kinerja tinggi.

### 2.9.2 *Polycrystalline*

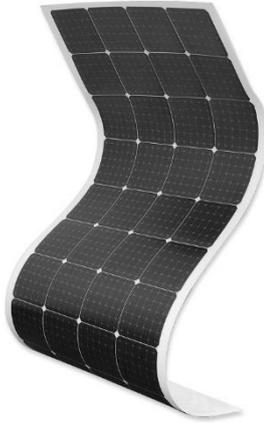
#### **Polycrystalline**



Gambar 2.16 Panel Surya *Polycristalline*

Pada gambar 2.16 merupakan contoh dari panel surya tipe *Polycristalline*, panel surya jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dicairkan, setelah itu dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. Kristal silikon dalam jenis panel surya ini tidak se murni pada sel surya *monocrystalline*. Jadi, sel surya yang dihasilkan tidak identik antara satu sama lainnya. Efisiensinya pun lebih rendah dari *monocrystalline*.

### 2.9.3 *Thin Film Solar Cell (TFSC)*



Gambar 2.17 Panel Surya *Thin Film*

Pada gambar 2.17 ditunjukkan contoh gambar panel surya yang sifatnya elastis bisa diatur posisinya sesuai yang diinginkan. Panel surya jenis ini dibuat dengan cara menambahkan sel surya yang tipis ke dalam sebuah lapisan dasar. Karena bentuk dari TFSC ini tipis, jadi panel surya ini sangat ringan dan fleksibel. Ketebalan lapisannya bisa diukur mulai dari *nanometers* hingga *micrometers*.

### 2.9.4 Efisiensi Panel Surya

Efisiensi terjadi umumnya diambil dari perbandingan energi yang masuk ke sistem terhadap energi yang keluar dari sistem tersebut (Suhata, Rasyidin & Priyanto, Irwan, 2011).

Setelah nilai  $P_{out}$  dan  $P_{in}$  sudah diketahuai maka dapat menggunakan nilai persamaan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.10)$$

## 2.10 Solar Charge Controller (SCC)

*Solar Charge Controller* adalah alat elektronik digunakan untuk mengatur arus pada saat pengisian dari suplai ke baterai dan sebaliknya dari baterai ke beban. *Solar Charge Controller* mengatur *over charge* ke baterai, *over voltage* dari panel surya dan *over load* (Junaldy et al., 2019).

*Solar Charge Controller* akan memutus beban terhadap baterai bila mana baterai sudah tidak mampu untuk melayani permintaan beban, tujuan memutus disini yaitu untuk menjaga kesehatan baterai supaya tidak rusak. (Pratama et al., 2022) Jika tidak menggunakan *Solar Charge Controller* kemungkinan jika terjadi tegangan atau arus lebih sangat tidak baik terhadap baterai, bisa mengurangi umur baterai dan kemungkinan juga baterai bisa meledak akibat *over charge*.

### 2.10.1 SCC PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah jenis *Solar Charge Controller* yang proses pengisian baterai bekerja dengan memancarkan pulsa listrik dengan panjang gelombang bervariasi (Wahidin et al., 2022).



Gambar 2.18 *Solar Charge Controller PWM*

Pada gambar 2.18 ditunjukkan *Solar Charge Controller* yang memiliki parameter parameter seperti USB, USB di *Solar Charge Controller* bisa digunakan untuk beban terpasang yang bisa menggunakan USB contohnya untuk pengisian baterai *handphone*, untuk lampu LED yang bisa pakai USB dll. Kemudian ada LCD

indikator yang digunakan untuk menampilkan parameter misalnya tegangan yang ada didalam baterai. Di bawah LCD terdapat 3 tombol yang bisa digunakan untuk mengatur *Solar Charge Controller* tersebut. Dan yang terakhir di bawah tombol ada tempat buat menyambungkan kabel baik untuk panel surya dan untuk baterai.

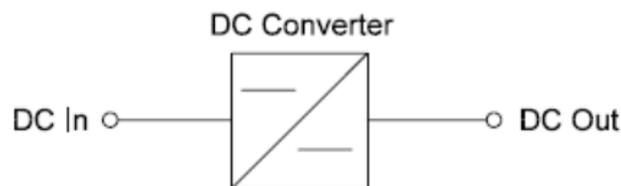
### 2.10.2 SCC MPPT (*Maximum Power Tracking*)



Gambar 2. 19 MPPT (*Maximum Power Tracking*)

Pada gambar 2.19 merupakan *Solar Charge Controller* jenis MPPT. MPPT (*Maximum Power Tracking*) adalah jenis *Solar Charge Controller* yang proses kerjanya akan mengekstraksi daya maksimum yang dari panel surya dalam kondisi tertentu.

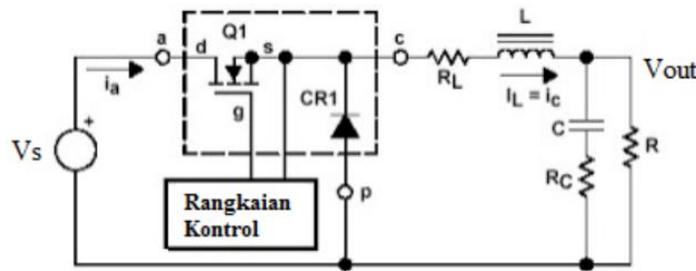
### 2.10.3 *DC Chopper*



Gambar 2. 20 Rangkaian *DC Chopper*

Pada gambar 2.20 merupakan jenis rangkaian DC *Chopper*. *DC Chopper* adalah rangkaian elektronika yang digunakan untuk mengubah listrik DC menjadi listrik DC dengan tagangan yang bisa diatur di naikan ataupun di turunkan tegangannya sesuai dengan keinginan (Fabiana Meijon Fadul, 2019).

a. *Chopper Step-Down*



Gambar 2. 21 Rangkaian DC *Chopper Step-Down*

Pada gambar 2.21 merupakan jenis rangakain DC *Chopper Step-Down*, *Chopper Step-Down* atau sering disebut juga *Buck Converter* adalah rangkaian elektronika yang digunakan untuk mengubah listrik DC dengan tegangan *output* lebih kecil dibandingkan *input*. *Chopper Step-down* bekerja dengan mengatur  $T_{ON}$  dan  $T_{OF}$  ketika  $T_{OF}$  aktif maka tegangan *output* akan lebih kecil dari tegangan input, dengan mengatur tersebut maka akan didapatkan tegangan *output* yang lebih rendah dari tegangan *input* .

## 2.11 Multimeter/Multitester

Multimeter atau multitester adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur lebih dari 1 besaran listrik. Alat ukur multimeter ini adalah alat ukur dasar yang umum digunakan oleh para teknisi.