

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Panel Surya

Menurut Zawahar & Sudrajad, 2014, Panel surya merupakan alat konversi energi yang dapat merubah intensitas cahaya matahari menjadi elektron yang bergerak atau yang disebut dengan arus listrik. Panel surya, terdiri dari bahan semikonduktor, bahan semi konduktor mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan menambah s panel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya (Majid, n.d.).

Panel surya digunakan untuk mengubah cahaya matahari atau foton menjadi energi listrik melalui proses pelepasan muatan yang ada pada panel surya. Ketika foton menabrak panel surya maka akan menghasilkan banyak pasangan *hole* dan elektron yang akan dan terbentuk P-N *junction* pada panel surya sehingga menyebabkan beda potensial dan menghasilkan energi listrik dari kejadian tersebut.

Panel surya terbentuk dari sel surya yang disusun menjadi satu secara seri dan paralel. Jumlah sel surya yang disusun jumlahnya bervariasi mulai dari 32 sel hingga 96 sel, tetapi untuk yang sering digunakan yaitu 72 sel.

Tabel 2.1. Spesifikasi Panel Surya

<b>Type</b>	: Polycrystalline
<b>Voltage at Pmax (Vmp)</b>	: 18 Volt
<b>Current at Pmax (Imp)</b>	: 2,87A
<b>Open Circuit Voltage (Voc)</b>	: 22,4 Volt
<b>Short Circuit current (Isc)</b>	: 3,24 A
<b>Rated Power</b>	: 50Wp
<b>Ukuran</b>	: 540 x 670 x 30mm

Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi dari panel surya. Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah panel surya dengan tipe *polycrystalline*, dengan spesifikasi 50 Wp, dimana arus maksimal yang bisa dikeluarkan panel surya pada saat digunakan adalah sebesar 2,87 ampere dan tegangan maksimalnya adalah sebesar 18 Volt. Panel surya yang digunakan sebanyak 4 buah yang disusun secara seri.



Gambar 2.1. Panel Surya  
*Sumber: (environment-indonesia, n.d)*

Gambar 2.1 menunjukkan contoh panel surya yang sedang digunakan sebagai sumber energi listrik untuk rumah.

### 2.1.1. Jenis Panel Surya

Terdapat dua jenis teknologi modul surya *Crystalline Silicon* (c-Si) yang sering digunakan di Indonesia, yaitu *mono-crystalline* (mono c-Si) dan *polycrystalline* (poly c-Si).

Tabel 2.2. Kekurangan dan Kelebihan dari Setiap Jenis Panel Surya

Material	Mono c-Si	Poly c-Si
<b>Kelebihan</b>	Efisiensi sekitar 15–20%, hemat ruang, dan daya tahan paling lama.	Prosesnya lebih sederhana dan membutuhkan biaya yang lebih rendah.

<b>Material</b>	<b>Mono c-Si</b>	<b>Poly c-Si</b>
<b>Kekurangan</b>	Lebih mahal dan performa berkurang semakin tinggi.	Efisiensi panel surya sekitar 13–16%. Efisiensi ruang yang lebih rendah dibandingkan dengan Mono c-Si.

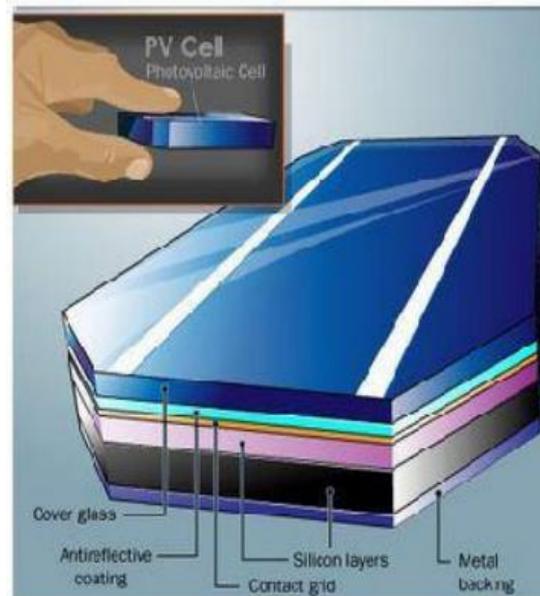
Tabel 2.2 menunjukkan perbandingan kekurangan dan kelebihan dari panel surya dengan jenis *monocrystalline silicone* dan *polycrystaline silicone*. Setiap jenis panel surya memiliki kekurangan dan kelebihan tersendiri, maka dari itu dalam penggunaannya harus disesuaikan dengan kebutuhan. Perbedaan kedua teknologi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2. Modul *mono-crystalline* memiliki efisiensi tertinggi, tetapi biaya produksinya masih lebih tinggi daripada modul *poly-crystalline* (Afkar et al., 2020).

Tabel 2.3. Karakteristik Dari Setiap Jenis Panel Surya

<b>Teknologi</b>		<b><i>Monocrystalline Silicone</i></b>	<b><i>Polycrystalline Silicone</i></b>
<b>Efisiensi</b>	<b><i>Champion Research Cell &amp; Theoretical Maximum</i></b>	25,6% (28%)	21,3% (28%)
	<b>Produksi Komersial Modul pada 2015</b>	18% (14-22%)	16% (13-19%)
<b>Durabilitas</b>	<b>Tingkat Degradasi</b>	0,5% hingga 0,8% per tahun	0,5% hingga 0,8% per tahun
	<b>Rentang Total</b>	0,4% hingga 2,8% per tahun	0,4% hingga 3,2% per tahun
<b>Koefisiens Temperatur</b>	<b>Rentang dari 90%</b>	-0,3% hingga -0,5% °C	-0,4% hingga -0,5% °C

Tabel 2.3 menunjukkan karakteristik dari panel surya berjenis *monocrystalline silicone* dan *polycrystalline silicone* dalam 3 aspek yaitu efisiensi, durabilitas dan koefisien temperatur.

### 2.1.2. Struktur Panel Surya



Gambar 2.2. Struktur Panel Surya

Gambar 2.2 menunjukkan bagian yang ada pada panel surya, pada bagian-bagian tersebut mempunyai fungsi dan kegunaannya yang berbeda-beda. Berikut merupakan penjelasan dari setiap bagian panel surya:

#### a. *Metal Backing*

*Metal backing* merupakan material yang berfungsi untuk menopang seluruh komponen sel surya. Material ini juga harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik karena berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum.

#### b. **Material Semikonduktor**

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan

adalah material yang umum diaplikasikan di elektronik. Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari *junction* atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk p-n *junction* yang menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya.

**c. Kontak Metal / Contact Grid**

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

**d. Lapisan Antireflektif**

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan semikonduktor sehingga meminimalkan cahaya yang dipantulkan kembali.

**e. Cover Glass**

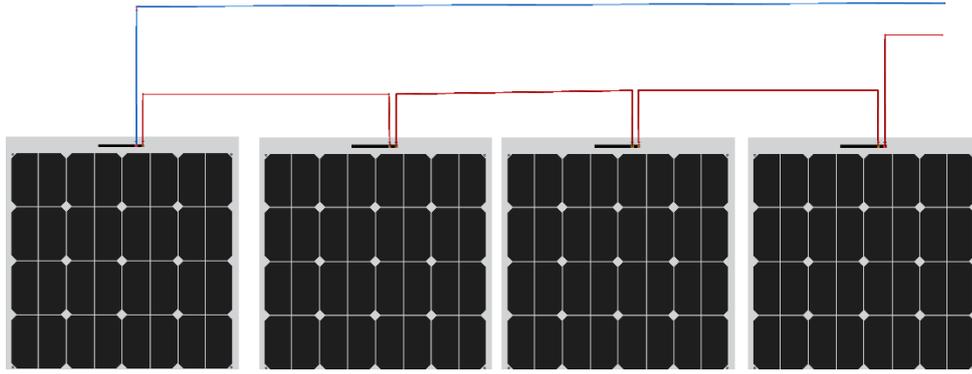
Bagian ini berfungsi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

### **2.1.3. Rangkaian Sel Surya**

Dalam menyatukan panel surya ada 2 macam rangkaian yaitu seri dan paralel berikut merupakan penjelasan dari kedua sistem tersebut.

#### **A. Sel Surya Seri**

Menurut Hosenberg, (2003) Rangkaian sel surya menghasilkan arus yang sama diseluruh rangkaian dan tegangan total yang dihasilkan sama dengan jumlah tegangan yang dihasilkan oleh panel surya (Eko, n.d.).

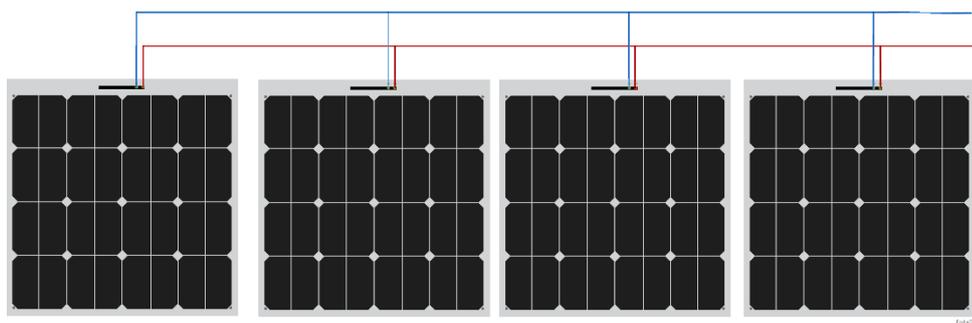


Gambar 2.3. Sel Surya Seri

Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana penyusunan sel surya jika akan dirangkai secara seri.

### B. Sel Surya Paralel

Menurut hosenberg, (2003) Rangkaian sel surya menghasilkan tegangan total rangkaian sel surya yang sama dengan tegangan yang dihasilkan oleh sebuah sel surya dalam rangkaian paralel. Rangkaian jenis ini jarang diterapkan karena menghasilkan arus total yang tinggi dan tegangan total kecil (Eko, n.d.).



Gambar 2.4. Sel Surya Paralel

Gambar 2.4 menunjukkan bagaimana penyusunan sel surya jika akan dirangkai secara paralel.

## 2.2. Baterai

Menurut Ho Kar Yee et al., (2014), Baterai didefinisikan sebagai perangkat penyimpanan elektrokimia yang menyimpan listrik dalam ikatan kimia. Alat ini mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan aktif langsung menjadi energi listrik dengan cara reaksi elektrokimia. Reaksi ini melibatkan transfer dari satu materi ke materi yang lain melalui sebuah sirkuit listrik. Secara ilmiah, baterai disebut sebagai sel elektrokimia atau sel yang menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia dan reaksi elektrokimia yang terjadi disebut galvanis. Proses elektrokimia ini kemudian mengalami reaksi redoks. Konversi energi kimia menjadi energi listrik dilakukan melalui transfer pada sirkuit eksternal (Ginting, 2017).

Menurut Eriksson, (2001). Baterai terdiri dari dua jenis yaitu primer dan sekunder. Dalam baterai primer, Reaksi elektroda tidak oleh karena itu sel tidak dapat diisi ulang, yaitu setelah satu *charge*, akan dibuang. Pada baterai sekunder, reaksi elektroda bersifat dan sel-sel dapat diisi ulang. Sebuah baterai terdiri dari tiga komponen utama: katoda, elektrolit dan anoda. Katoda merupakan elektroda tempat reaksi reduksi terjadi sedangkan reaksi oksidasi terjadi pada anoda. Elektrolit adalah isolator elektronik, namun konduktor yang baik fungsi utamanya adalah untuk memberikan transportasi menengah untuk ion melakukan perjalanan dari satu elektroda ke elektroda lainnya. (Ginting, 2017)

Dari sekian banyak bahan dasar yang bisa dipakai untuk bahan pembuat baterai, pada jaman sekarang kebanyakan alat elektronik menggunakan baterai dengan jenis lithium-ion atau biasa dikenal dengan baterai li-ion. Baterai lithium-ion banyak digunakan karena mempunyai banyak kelebihan diantaranya adalah karena

produksinya yang lebih murah dan juga unggul dari segi perawatannya yang lebih mudah. Tipe baterai ini juga tidak mengandung zat yang berbahaya sehingga cukup aman digunakan.

Tabel 2.4. Spesifikasi baterai

<b><i>Battery Model</i></b>	SCIFP48100
<b><i>Nominal Voltage</i></b>	48V
<b><i>Typical Capacity</i></b>	100Ah(25°C,0.2C)
<b><i>Typical Energy</i></b>	4800 Wh
<b><i>Volumetric Energy Density</i></b>	140.4 Wh/dm <sup>3</sup>
<b><i>Gravimetric Energy Density</i></b>	109.6 Wh/kg
<b><i>Gravimetric Energy Density</i></b>	109.6 Wh/kg
<b><i>Dimensions:</i></b>	
<b><i>Width</i></b>	440mm
<b><i>Height</i></b>	222mm(5U)
<b><i>Depth</i></b>	350mm
<b><i>Reference Weight</i></b>	43.8Kg
<b><i>Voltage Window</i></b>	40.5 ~ 54.0V
<b><i>Charge Voltage Range</i></b>	52.5 ~ 54.0V
<b><i>Max. Continuous Discharge Current</i></b>	100A
<b><i>Max. Continuous Charge Current</i></b>	100A
<b><i>Faradic Charge Efficiency</i></b>	99% (+20°C)
<b><i>Energy Charge Efficiency</i></b>	94% (+20°C)
<b><i>Communication Interface (optional feature)</i></b>	Modbus/SNMP/TACP
<b><i>Additional Features (optional feature)</i></b>	LCD Display
<b><i>Charge Temperature</i></b>	0°C to +55°C
<b><i>Discharge Temperature</i></b>	-20°C to +60°C
<b><i>Storage Temperature</i></b>	-20°C to +60°C
<b><i>Protection Class</i></b>	IP20

Tabel 2.4 menunjukkan spesifikasi baterai yang digunakan untuk penelitian. Baterai yang digunakan berjenis lithium ion dengan tegangan kerja 48 volt dan kapasitas 100Ah. Baterai ini bekerja pada suhu -20°C hingga 60°C serta bisa mengalirkan arus hingga 100 ampere.

### 2.2.1. Baterai Li-Ion

Baterai Lithium merupakan jenis baterai yang paling sering ditemui pada alat elektronik saat ini. Baterai lithium menjadi karena baterai jenis ini memiliki

kepadatan pada energi yang terbaik, tidak ada efek terhadap memori, dan juga tidak akan kehilangan isi saat tidak digunakan. Baterai ini memiliki kemampuan dalam menyimpan energi tinggi untuk per satuan volume, artinya jenis energi listrik yang terkandung di dalamnya adalah elektrokimia.

Menurut Lawrence et al. (1992). Baterai lithium-ion merupakan salah satu jenis baterai sekunder (*rechargeable battery*) yang dapat diisi ulang dan merupakan baterai yang ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan yang berbahaya seperti baterai-baterai yang berkembang lebih dahulu yaitu baterai NI-Cd dan Ni-MH.

Baterai ini memiliki kelebihan dibandingkan baterai sekunder jenis lain, yaitu memiliki stabilitas penyimpanan energi yang sangat baik (daya tahan sampai 10 tahun atau lebih), energi densitas tinggi, tidak ada memori efek dan berat yang lebih ringan dibandingkan dengan baterai jenis lain. Sehingga dengan berat yang sama energi yang dihasilkan baterai lithium dua kali lipat dari baterai jenis lain. (Perdana, 2021).

Pada perkembangannya baterai lithium saat ini telah diproduksi berbasis polimer, yaitu komponen selnya terutama elektroda merupakan bahan komposit dengan matriks polimer. Elektroda positif (katoda) baterai lithium yang mudah ditemui saat ini terbuat dari bahan  $LiCoO_2$ ,  $LiMn_2O_4$  dan  $LiFePO_4$ , bahan katoda yang memiliki performa baik dan sedang dikembangkan saat ini adalah katoda  $LiFePO_4$  (Oktaviani, 2013).

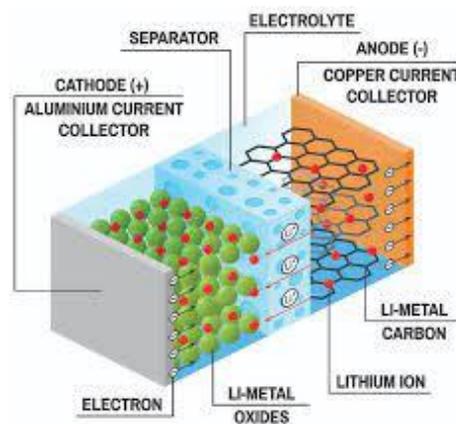


Gambar 2.5. Baterai  $LiFePO_4$  48volt 100Ah

Gambar 2.5 menunjukkan baterai  $LiFePO_4$  48volt 100Ah yang digunakan dalam penelitian ini.

### 2.2.2. Struktur Baterai Li-Ion

Baterai Lithium-Ion pada umumnya memiliki empat komponen utama yaitu elektroda positif (anoda), elektroda negatif (katoda), elektrolit, dan separator.



Gambar 2.6. Struktur baterai Li-Ion

Gambar 2.6 menunjukkan struktur dari baterai lithium ion. Ada beberapa bagian utama dari baterai lithium ion yaitu anoda, katoda, elektrolit dan separator. Berikut merupakan penjelasan dari setiap bagiannya:

#### a. Anoda

Menurut Arora Y et al., (2015). Anoda, atau elektroda negatif, umumnya terbuat dari grafit (karbon) dan dilapiskan pada tembaga foil. Anoda menerima

Li-ion saat siklus pengisian dan memancarkan ke katoda selama siklus pemakaian. Bahan aktif di anoda terdiri dari grafit, perekat, pelarut, dan karbon konduktif. Ada dua jenis struktur karbon elektroda yaitu: “Kristal grafit alam dan kristal karbon buatan”. Anoda terbuat dari grafit yang memungkinkan ion lithium tunggal untuk diinsersi dalam struktur segi enam pada pengisian penuh komposisi  $\text{LiC}_6$ . (Ginting, 2017).

Salah satu material yang dapat berperan sebagai anoda adalah material yang berbasis karbon seperti  $\text{LiC}_6$  atau grafit. Selain grafit, material berbasis karbon yang dapat digunakan untuk anoda yaitu *soft carbon*, *graphene* dan *hard carbon*. Material lain yang dapat berperan sebagai anoda antara lain lithium titanium oxide (LTO). Material ini aman dipakai serta memiliki tingkat siklus pemakaian yang cukup lama. (Perdana, 2021)

#### **b. Katoda**

Katoda merupakan elektroda yang fungsinya sama seperti anoda yaitu pengumpul ion serta material aktif. Namun perbedaannya adalah katoda merupakan elektroda positif. Beberapa karakteristik yang harus dipenuhi suatu material yang digunakan sebagai katoda antara lain material tersebut terdiri dari ion yang mudah melakukan reaksi reduksi dan oksidasi, memiliki konduktivitas yang tinggi seperti logam, memiliki kerapatan energi yang tinggi, memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kestabilan yang tinggi (tidak mudah berubah strukturnya atau terdegradasi baik saat pemakaian maupun pengisian ulang), harganya murah dan ramah lingkungan. (Perdana, 2021)

Menurut Mikolajczak C et al (2011). Elektroda positif dalam baterai lithium-ion didasarkan pada tiga jenis kimia dasar: oksida berlapis (seperti lithium cobalt oksida), spinel (seperti lithium mangan oksida), atau polyanion (seperti *lithium iron phosphate*). Bahan katoda yang paling umum digunakan dalam sel lithium-ion adalah lithium cobalt oksida. Namun, berbagai bahan lain yang digunakan seperti lithium feroposfat ( $\text{LiFePO}_4$ ), spinel seperti lithium mangan oksida ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), atau oksida logam campuran yang mencakup cobalt (Co), nikel (Ni), aluminium (Al), dan oksida mangan seperti kobalt nikel aluminat (NCA) (Ginting, 2017).

### c. Elektrolit

Menurut Øystein G, (2012). Fungsi utama dari elektrolit adalah untuk mencegah pertukaran langsung antara elektroda dan memfasilitasi aliran agar teratur dan stabil melalui sirkuit eksternal. Secara bersamaan, elektrolit harus menjadi konduktor untuk menjaga transfer internal. Selain itu, elektrolit juga harus memenuhi beberapa syarat lagi untuk memastikan bahwa fungsi baterai yang dihasilkan seperti yang diinginkan. Mungkin yang paling penting, elektrolit harus menunjukkan stabilitas elektrokimia yang tinggi, di seluruh rentang tegangan baterai. Ini berarti bahwa elektrolit harus tetap lembam selama operasi. (Ginting, 2017).

Menurut Svens P, (2016). Elektrolit dalam sel lithium-ion biasanya terdiri dari garam lithium yang dilarutkan dalam campuran pelarut yang juga mengandung sejumlah aditif kecil. Garam lithium umumnya  $\text{LiPF}_6$  yang memiliki kualitas yang memadai misalnya stabilitas elektrokimia dan kisaran

suhu yang dapat digunakan untuk baterai lithium-ion komersial. (Ginting, 2017).

#### **d. Separator**

Menurut Carvalho et al., (2015). Separator adalah membran berpori yang ditempatkan di antara katoda dan anoda. Membran ini memiliki fungsi mencegah kontak fisik antara elektroda dan memungkinkan pergerakan ion lithium dengan hosting sejumlah besar ion-konduktif cairan elektrolit. Kontak antara elektroda, seperti korsleting, dapat menyebabkan perpindahan panas dan dalam kasus terburuk, kebakaran dan ledakan mungkin terjadi sebagai akibat dari meningkatnya suhu di dalam sel lithium-ion. Oleh karena itu, separator diperlukan untuk mempertahankan sifat fisik dan elektrokimia, bahkan pada suhu yang tinggi (Ginting, 2017).

Menurut Mikolajczak C et al., (2011). Pori-pori di separator memungkinkan transfer ion lithium dengan berdifusi selama pengisian dan pengosongan. Lapisan-lapisan ini melembutkan dan menutup pori-pori pada suhu yang tinggi (biasanya dalam kisaran 130 sampai 150°C/270-300°F), dan menghentikan proses pengisian atau pengosongan dengan menghambat transportasi ion antara anoda dan katoda. (Ginting, 2017).

#### **2.2.3. Karakteristik Baterai $\text{LiFePo}_4$**

Baterai  $\text{LiFePo}_4$  merupakan suatu pengembangan dari teknologi baterai lithium ion yang disebut sebagai baterai sekunder lithium. Dalam sistem baterai sekunder lithium, material katoda memegang peranan penting dalam pencapaian kapasitas baterai. Material katoda nantinya harus mampu melepaskan ion, bergerak menuju anoda dan berinterkalasi di dalam struktur anoda pada saat *charging*. Semakin besar

jumlah ion ke anoda, semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan pada saat *discharging* (Oktaviani, 2013).

Untuk itu diantara bahan pembentuk katoda baterai lithium ion pasti ada perbedaan dalam hal karakteristiknya, berikut merupakan karakteristik dari setiap bahan pembentuk katoda lithium ion.

Tabel 2.5. Karakteristik Katoda Baterai Lithium

Sumber: (Oktaviani, 2013)

<i>Cathode</i>	<i>LiFePO<sub>4</sub></i>	<i>LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i>	<i>LiCoO<sub>2</sub></i>
<b>Densitas</b> ( <i>g cm<sup>-3</sup></i> )	3,60	4,31	5,10
<b>Potensial (V)</b>	3,50	4,05	3,90
<b>Specific capacity</b> ( <i>mAh/g</i> )	169	148	274
<b>Konduktivitas elektronik</b> (S/cm)	$10^{-9}$	$2 \times 10^{-3}$ – $5 \times 10^{-5}$	$10^{-3}$
<b>Karakteristik fisik</b>	Lebih murah, ramah lingkungan, tidak beracun	Murah, mudah dibuat, stabil siklusnya	Mahal, beracun

Tabel 2.5 menunjukkan karakteristik dari katoda lithium, dari tabel tersebut *LiFePO<sub>4</sub>* mempunyai nilai densitas atau massa jenis yang rendah jika dibandingkan dengan *LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>* dan *LiCoO<sub>2</sub>*, yang artinya berat dari baterai *LiFePO<sub>4</sub>* bisa lebih ringan jika dibandingkan dengan kedua bahan lainnya. Untuk tegangan baterai *LiFePO<sub>4</sub>* juga bernilai lebih rendah dibandingkan dengan *LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>* dan *LiCoO<sub>2</sub>*.

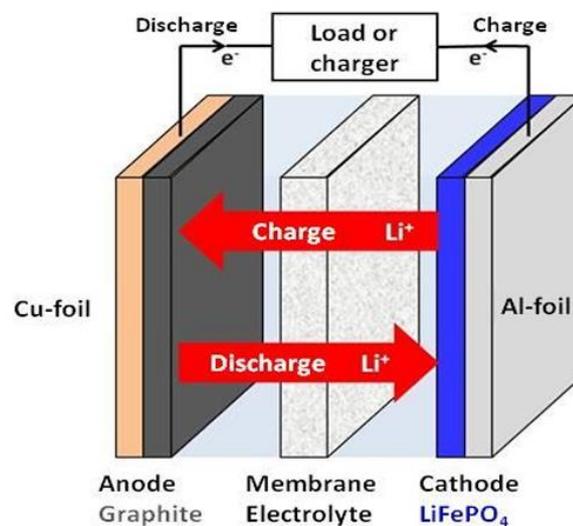
Kapasitas spesifik sendiri *LiFePO<sub>4</sub>* lebih besar jika dibandingkan dengan *LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>* tetapi masih lebih kecil jika dibandingkan dengan *LiCoO<sub>2</sub>*. Untuk nilai konduktivitas *LiFePO<sub>4</sub>* jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan *LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>* dan *LiCoO<sub>2</sub>*, artinya *LiFePO<sub>4</sub>* lebih sulit untuk menghantarkan listrik jika dibandingkan dengan bahan lainnya. Untuk keunggulannya *LiFePO<sub>4</sub>* jauh lebih unggul dari segi

harga pembuatan dan lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan  $LiMn_2O_4$  dan  $LiCoO_2$ .

Kesimpulannya untuk bahan  $LiFePO_4$  sering menjadi pilihan untuk pembentukan baterai lithium-ion karena bobot yang dihasilkan dari baterai bahan ini bisa lebih ringan jika dibandingkan dengan kedua bahan lainnya, selain itu harga yang murah serta ramah lingkungan merupakan pertimbangan yang sangat penting dalam membuat suatu baterai komersil.

#### 2.2.4. Proses Charging dan Discharging Baterai $LiFePO_4$

Pada sebuah baterai sekunder ada 2 buah proses yang bisa terjadi pada baterai yaitu proses *charging* dan *discharging*. Kedua proses ini melibatkan reaksi kimia yang ada di dalam suatu baterai. Berikut merupakan gambar proses *charging* dan *discharging* yang terjadi pada baterai  $LiFePO_4$ .



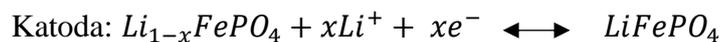
Gambar 2.7. *Charging* dan *Discharging* Baterai  $LiFePO_4$

Sumber: (Kasvayee & Carlström, 2011)

Gambar 2.7 menunjukkan proses pada saat baterai  $LiFePO_4$  melakukan *charging* dan *discharging*. Pada gambar tersebut graphite digunakan sebagai anoda dan

*copper foil* sebagai *current collector* pada anoda, bahan  $LiFePO_4$  berperan sebagai katoda dan *aluminium foil* sebagai *current collector* pada katoda, elektroda tersebut dipisahkan oleh satu separator. Perbedaan pada proses *charging* dan *discharging* pada baterai lithium adalah dari pergerakan elektron dan ion  $Li^+$ , dimana untuk proses *charging* elektron dan ion  $Li^+$  bergerak dari katoda menuju anoda, sementara untuk proses *discharging* merupakan kebalikannya yaitu elektron dan  $Li^+$  bergerak dari anoda menuju katoda.

Pada proses *charging* dan *discharging* juga mengalami sebuah reaksi kimia. Berikut merupakan persamaan kimia yang terjadi pada baterai lithium ion



### 2.3. Solar Charge Controller (SCC)

*Charge controller* sering disebut dengan *solar charge controller* atau *battery charge controller*. Jika *charge controller* menghubungkan panel surya ke baterai atau peralatan lainnya seperti inverter maka disebut *solar charge controller*. Jika bagian ini terhubung dari inverter ke baterai lazim disebut *battery charge controller*, namun hal tersebut tidak baku. Walaupun kedua alat ini berfungsi sama, berbeda dengan SCC, BCC tidak dilengkapi oleh PWM-MPPT (*Pulse Width Modulation-Maximum Power Point Tracking*), yaitu kemampuan untuk mendapatkan daya listrik dari panel surya pada titik maksimumnya (Sianipar, 2014).

Adapun fungsi dari *solar charge controller* sebagai berikut (Yulistiarni, 2020):

1. Mengubah arus DC bertegangan tinggi dari larik modul fotovoltaik ke tegangan yang lebih rendah baterai (tegangan sistem 48 VDC).
2. Melindungi bank baterai dari pengisian yang berlebih dengan mengurangi arus pengisian dari larik modul fotovoltaik di saat baterai sudah penuh. Tergantung pada teknologi baterai, pengisian baterai yang berlebihan (*overcharge*) dapat menyebabkan timbulnya gas dan ledakan.
3. Memaksimalkan transfer daya dari larik modul fotovoltaik ke baterai dengan menggunakan algoritma *maximum power point tracker*.
4. Memblokir arus balik dari bank baterai di saat radiasi sinar matahari tidak mencukupi atau di malam hari.
5. Mengukur dan memonitor tegangan, arus, dan energi yang ditangkap dari larik modul fotovoltaik dan mengirimkannya ke bank baterai.



Gambar 2.8. *Solar Charge Controller*

Gambar 2.8 menunjukkan *solar charge controller* yang akan digunakan pada pengujian ini. *Controller* ini bisa mengeluarkan arus maksimal 60 ampere.

Tabel 2.6. Spesifikasi SCC

<b>Model</b>	PowMr
<b><i>Voc from PV</i></b>	12V system (DC20V ~ DC80V) 24V system (DC37V ~ DC105V) 36V system (DC50V ~ DC160V) 48V system (DC72V ~ DC160V)
<b><i>Maximum input voltage PV</i></b>	<i>DC190V (The controller cannot work at this long-lasting voltage which will break controller. Please refer to the Input voltage from PV.)</i>
<b><i>Maximum PV input Power</i></b>	12V system (720W) 24V system (1440W) 36V system (2100W) 48V system (2800W)
<b><i>Selectable battery type (default is Sealed)</i></b>	<i>Ventilated / Sealed / Gel / NiCd / Lithium battery (defined voltage for other battery by user)</i>
<b><i>Overload protection voltage</i></b>	12V system (15V) 24V system (30V) 36V system (45V) 48V system (60V)
<b><i>Rated output current</i></b>	60A

Tabel 2.6 menunjukkan spesifikasi SCC yang digunakan dalam penelitian. SCC ini bisa digunakan untuk berbagai macam jenis baterai. Mulai dari jenis VRLA, NiCd hingga lithium ion. Serta bisa melakukan pengisian untuk baterai dengan tegangan 12 volt, 24 volt, 36 volt hingga 48 volt, selain itu arus maksimum yang bisa dikeluarkan SCC adalah sebesar 60 ampere.

## 2.4. PLTS

Pembangkit listrik tenaga surya atau biasa disingkat PLTS merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang termasuk dalam energi baru terbarukan (EBT). PLTS merupakan salah satu pembangkit yang bisa digunakan di Indonesia karena wilayah Indonesia yang ada pada garis khatulistiwa sehingga matahari bersinar sepanjang tahun dan untuk intensitas sinar matahari juga sangat mendukung untuk dibangun PLTS.

PLTS merupakan suatu kesatuan sistem yang memanfaatkan sinar matahari untuk membangkitkan energi listrik sehingga energi listrik tersebut bisa digunakan untuk menyuplai alat-alat listrik.

PLTS bisa digunakan untuk melayani beban DC maupun AC. Untuk beban DC PLTS bisa dihubungkan langsung ke beban karena keluaran dari PLTS sendiri merupakan jenis listrik DC, sementara untuk melayani beban AC diperlukan alat tambahan sebelum ke beban yaitu inverter, inverter ini berfungsi untuk mengubah arus DC ke AC.

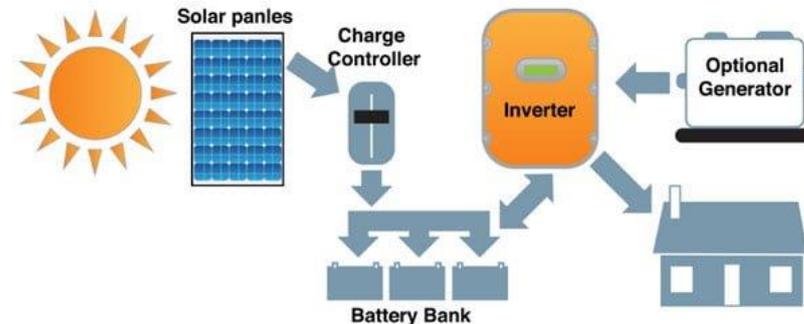
### 2.4.1. Jenis Konfigurasi PLTS

Konfigurasi PLTS pada umumnya terbagi atas 3 macam yaitu *off grid*, *on grid* dan *hybrid*. Berikut adalah penjelasan dari ketiga konfigurasi tersebut:

#### 2.4.1.1. PLTS *Off Grid*

PLTS *off grid* merupakan konfigurasi PLTS yang hanya memanfaatkan sumber energi dari PLTS saja tanpa menggunakan sumber energi yang lainnya. Sistem PLTS ini biasanya digunakan di daerah pedalaman yang sulit mendapat distribusi listrik dari PLN atau bisa juga untuk alat-alat elektronik seperti kalkulator ataupun penerangan jalan umum. Karena sistemnya yang hanya memanfaatkan sumber energi listrik dari PLTS saja maka dibutuhkan suatu perangkat penyimpanan energi

listrik seperti baterai dan superkapasitor. Berikut merupakan contoh konfigurasi PLTS *off grid*:



Gambar 2.9. PLTS *Off Grid*

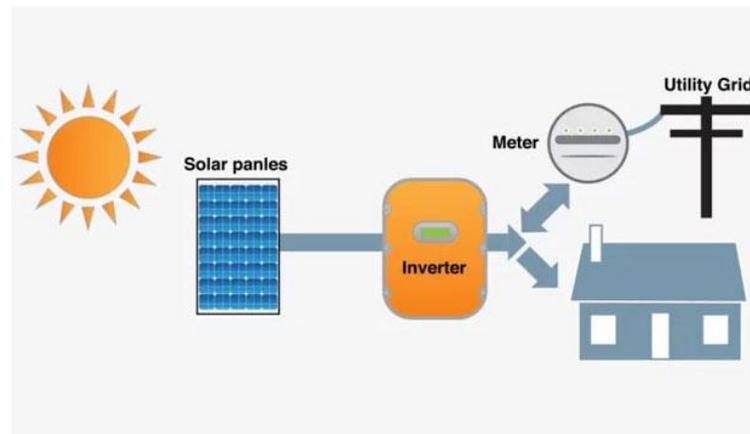
Gambar 2.9 Menunjukkan instalasi PLTS *off grid* yang sering digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di rumah. Sumber PLTS *off grid* hanya menggunakan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS.

#### 2.4.1.2. PLTS *On Grid*

PLTS *on grid* merupakan konfigurasi PLTS yang biasanya digunakan di daerah yang memungkinkan untuk menerima distribusi listrik dari PLN. PLTS ini didesain tidak menggunakan baterai karena energi listrik yang dihasilkan dari PLTS langsung digunakan untuk melayani beban tanpa disimpan terlebih dahulu. Karena tidak adanya baterai maka energi listrik dari panel surya hanya bisa digunakan pada saat sinar matahari bersinar, sementara untuk malam harinya kebutuhan energi listrik dipenuhi oleh energi listrik yang berasal dari jaringan PLN.

PLTS tipe *on grid* tidak dilengkapi baterai. Agar PLTS tidak mempengaruhi stabilitas sistem induknya, maka kapasitasnya dibatasi maksimum sebesar 20% dari beban rata-rata siang hari. Inverter untuk PLTS *on grid* disebut juga *on grid Inverter*. Jenis ini memiliki kemampuan melepaskan hubungan saat menyala

kehilangan tegangan (Sianipar, 2014). Berikut merupakan contoh konfigurasi PLTS *on grid*:

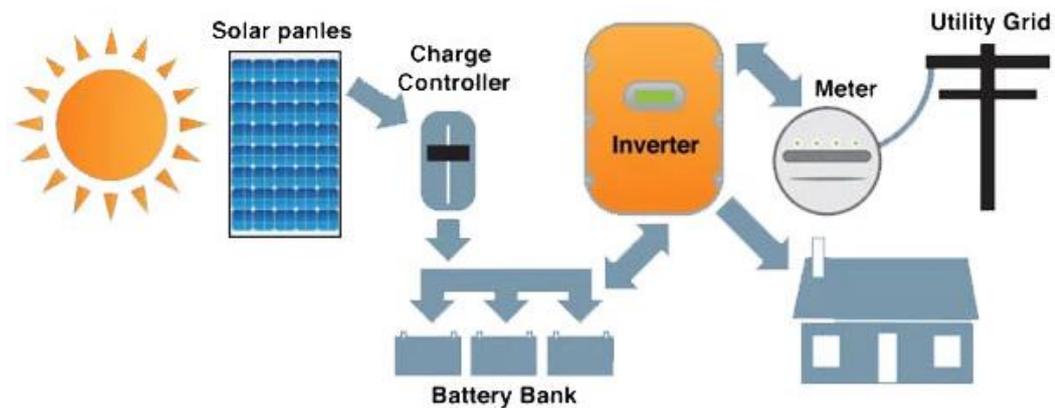


Gambar 2.10. PLTS *On Grid*

Gambar 2.10 menunjukkan konfigurasi PLTS *On Grid*, yaitu sistem PLTS yang juga terhubung dengan sistem distribusi listrik dari PLN.

#### 2.4.1.3. PLTS *Hybrid*

PLTS *hybrid* merupakan gabungan dari konfigurasi PLTS *off grid* dan *on grid*. Sistem konfigurasi ini mempunyai sistem penyimpanan energi listrik yaitu baterai dan juga terhubung ke sumber energi listrik lain contohnya jaringan listrik PLN. Sistem PLTS ini mengutamakan penggunaan sumber listrik yang berasal dari baterai yang sebelumnya dihasilkan oleh panel surya. Sementara jaringan listrik PLN sendiri berfungsi untuk menutupi kebutuhan beban apabila tidak dapat dipenuhi oleh energi listrik yang berasal dari panel surya. Berikut merupakan contoh konfigurasi PLTS *hybrid*:

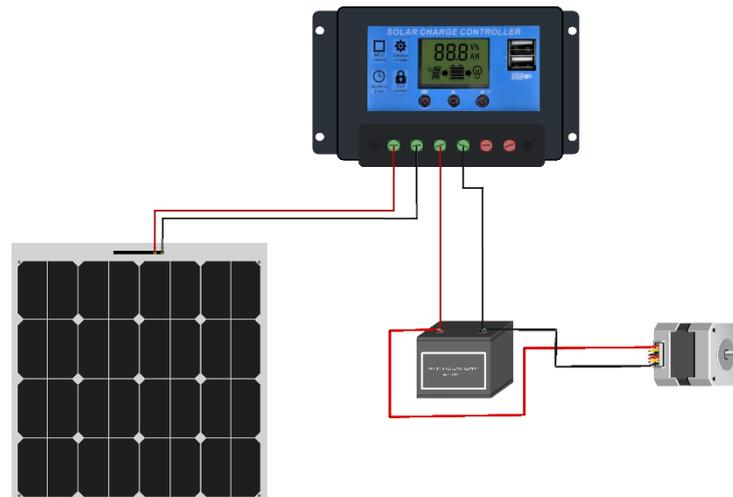


Gambar 2.11. PLTS *Hybrid*

Gambar 2.11 Menunjukkan konfigurasi PLTS *hybrid* yaitu menggabungkan antara sistem PLTS dengan sumber energi listrik lain yaitu sumber listrik dari distribusi PLN.

#### 2.4.2. PLTS pada Mobil Listrik

PLTS pada mobil listrik sama seperti sistem PLTS pada umumnya, terdiri dari 3 unsur utama yaitu panel surya, SCC dan baterai, hanya berbeda dari beban yang disuplai oleh baterai, umumnya beban yang ada pada mobil listrik hanya motor saja, yang digunakan sebagai penggerak mobil listrik. Pada mobil listrik bisa menggunakan berbagai macam sistem konfigurasi, bisa *on grid*, *off grid* maupun *hybrid*. Namun pada umumnya konfigurasi yang sering digunakan dalam mobil listrik adalah *off grid*, karena dengan menggunakan sistem ini mobil listrik bisa dengan mudah untuk mengisi baterai dimana saja dan kapan saja selama masih ada cahaya matahari.



Gambar 2.12. PLTS pada Mobil Listrik

Gambar 2.12 menunjukkan sistem PLTS yang ada pada mobil listrik. Dalam konfigurasi ini panel surya menghasilkan arus dan tegangan yang akan diterima oleh SCC, kemudian SCC mengalirkan arus dan menstabilkan tegangan keluaran menuju baterai untuk melakukan pengisian. Setelah tersimpan di baterai energi digunakan untuk menggerakkan motor yang ada pada mobil listrik.

## 2.5. Jenis Penyimpanan Energi Listrik Pada PLTS

Pada sebuah PLTS *off-grid* maupun *hybrid* salah satu aspek penting yang harus diperhatikan adalah sistem penyimpanan energi listrik pada PLTS tersebut. Sistem penyimpanan energi listrik ini disesuaikan dengan kebutuhan dari pengguna PLTS sendiri. Secara umum sistem penyimpanan energi listrik pada PLTS terbagi atas 2 jenis yaitu *Battery Energy Storage System (BESS)* dan *Hybrid Energy Storage System (HESS)*.

### 2.5.1. Battery Energy Storage System (BESS)

Menurut K. C. Divya dan J. Ostergaard, (2009). Ada sejarah panjang dalam mengintegrasikan baterai ke dalam aplikasi jaringan, dan saat sistem penyimpanan energi baterai (BESS) saat ini hanya menyumbang sebagian kecil dari penyimpanan

energi di dalam jaringan, mereka telah melihat pertumbuhan yang luar biasa baru-baru ini karena keserbagunaannya, kepadatan energi yang tinggi, dan efisiensi (Lawder et al., 2014).

Menurut H. S. Chen et. Al (2009). BESS dapat bereaksi terhadap permintaan jaringan hampir secara instan, tetapi juga memiliki kapasitas untuk berfungsi dengan durasi yang lebih lama dan memiliki penyimpanan dan kapasitas daya yang lebih luas. Karena kematangan teknologinya, kimia asam timbal telah melihat penggunaan yang paling luas diantara BESS skala besar (Lawder et al., 2014).

Menurut U.S. *Energy Storage Project Activities-Demonstrations & commercial installations* (2012). kemajuan signifikan dalam kimia baterai yang lebih baru telah memungkinkan berbagai pilihan baterai untuk aplikasi penyimpanan baru dan telah meningkatkan ketangguhan dan fungsionalitas dari baterai dalam jaringan listrik. Dalam lima tahun terakhir, proyek BESS skala percontohan telah dilakukan banyak pengujian bahan kimia baru seperti: natrium-sulfur; ion litium (Li) (termasuk Li-titanat dan Li-besi-fosfat); nikel- kadmium; natrium-nikel klorida; ion natrium; Li-sulfur; ion magnesium; logam-udara; dan beberapa bahan kimia aliran baterai, yang menyimpan energi dalam elektrolit dan memompa elektrolit melalui sel untuk *charge* atau *discharge*. (Lawder et al., 2014).

### **2.5.2. Hybrid Energy Storage System (HESS)**

Dalam HESS biasanya penyimpanan energi 1 (ES1) didedikasikan untuk memenuhi permintaan daya tinggi, transien, dan pemuatan cepat fluktuasi dan karena itu ditandai dengan waktu respon yang cepat, efisiensi tinggi dan siklus hidup yang tinggi. Penyimpanan energi 2 (ES2) akan menjadi penyimpanan energi

tinggi dengan tingkat pelepasan sendiri yang rendah dan instalasi khusus energi yang lebih rendah biaya. Keuntungan utama dari HESS adalah (Bocklisch, 2015):

- 1) Pengurangan total biaya investasi dibandingkan dengan sistem penyimpanan tunggal (karena pemisahan energi dan daya, ES2 hanya harus mencakup permintaan daya rata-rata).
- 2) Peningkatan efisiensi sistem total (karena pengoperasian ES2 pada titik operasi efisiensi tinggi yang dioptimalkan dan pengurangan kerugian dinamis ES2).
- 3) Peningkatan penyimpanan dan masa pakai sistem (operasi yang dioptimalkan dan pengurangan tekanan dinamis ES2).

Salah satu penyimpanan yang sering digunakan dalam sistem penyimpanan energi *hybrid* adalah penggabungan antara penyimpanan energi baterai dan superkapasitor. Dimana superkapasitor bertindak sebagai perangkat penyimpanan yang bisa memenuhi permintaan daya yang tinggi, sementara baterai bertindak sebagai perangkat penyimpanan yang bisa memenuhi permintaan energi yang tinggi.

## **2.6. Mobil listrik**

Mobil listrik merupakan suatu pengembangan dari mobil konvensional yang sudah ada saat ini. Mobil listrik diciptakan dengan tujuan mengurangi polusi yang disebabkan oleh kendaraan bahan bakar minyak (BBM) yang pada saat ini banyak digunakan oleh masyarakat. Selain itu mobil listrik pula bertujuan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang semakin lama akan semakin habis di alam.

Mobil listrik jauh lebih hemat energi dibandingkan dengan mobil berbahan bakar konvensional. Efisiensi keseluruhan mobil listrik adalah 48%, secara signifikan lebih baik dibandingkan dengan mobil berbahan bakar konvensional yang mencapai efisiensi sekitar 25%. Tidak seperti mobil tradisional, mesin mobil listrik sangat halus sehingga mereka tidak menyebabkan masalah polusi suara. Mobil listrik juga menjamin keamanan maksimum karena tidak melibatkan bahan bakar minyak sehingga tidak akan terbakar atau meledak jika menabrak sesuatu (Khoirul, 2015).



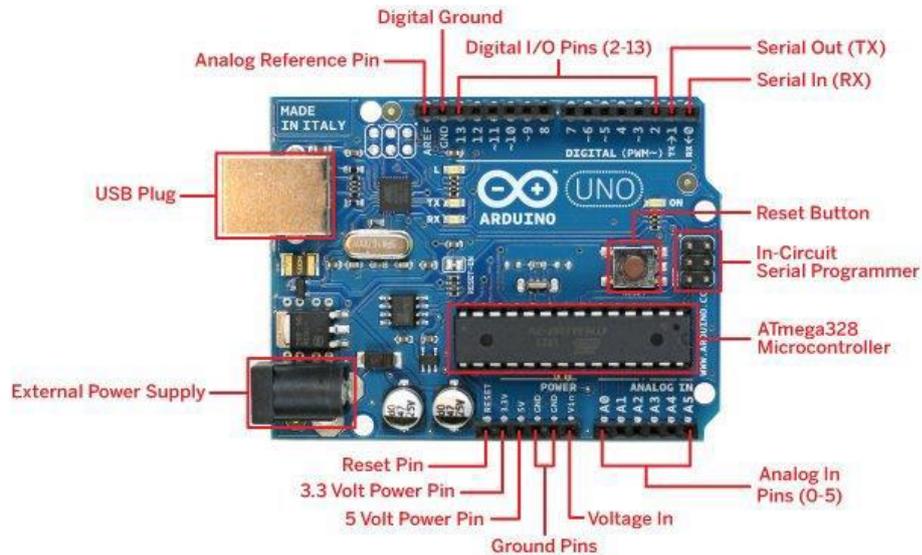
Gambar 2.13. Mobil Listrik

Gambar 2.13 menunjukkan wujud mobil listrik yang digunakan untuk penelitian.

### **2.7. Arduino Uno**

Arduino adalah sebuah mikrokontroler yang bekerja berdasarkan IC Atmega328P. Mikrokontroler ini memiliki 14 masukan digital 6 masukan analog, sebuah kristal osilator 16 MHz. Arduino bekerja dengan tegangan minimal 5volt.

Arduino uno sering digunakan dalam pengujian karena harganya yang cukup terjangkau dengan fitur yang banyak.



Gambar 2.14. Arduino Uno

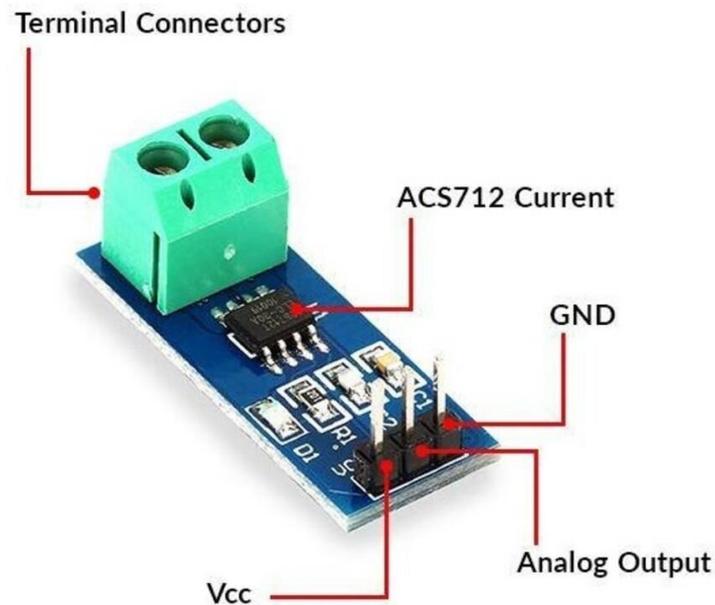
Gambar 2.14 menunjukkan gambar dari arduino uno yang akan digunakan dalam penelitian.

## 2.8. Sensor Arus

Menurut Alegro (2007). Sensor arus merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik. Metode yang digunakan dalam sensor arus ini yakni, *Hall Effect Sensor*. Cara kerja sensor ini yakni dari arus yang terbaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya dan menghasilkan medan magnet yang tertangkap oleh *Hall Effect* lalu diubah menjadi tegangan proporsional. (Nurul, 2020).

ACS712 adalah sebuah modul sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ACS712 dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor arus ACS712 telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional,

sehingga sensitivitas untuk pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang relatif kecil. Sensor jenis ini juga sering digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri komersial, maupun komunikasi. (Dwi, 2018)



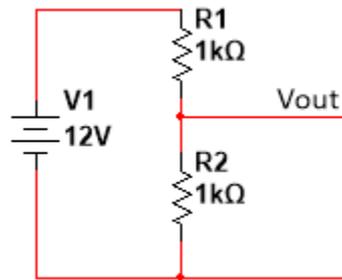
Gambar 2.15. Sensor Arus ACS712

Gambar 2.15 menunjukkan sensor arus ACS712 yang biasa digunakan pada arduino. Bagian-bagiannya terdiri dari arus input dari rangkaian, tegangan *input* untuk sensor (VCC), pin *output* hasil pada arduino (*Data output*), dan *ground* yang harus dihubungkan pada Arduino (GND).

## 2.9. Pembagi Tegangan

Hambatan atau yang bisa disebut juga sebagai resistor memiliki fungsi untuk mengontrol aliran arus yang ada pada suatu rangkaian. Selain berfungsi sebagai pengontrol arus, resistor juga memiliki fungsi sebagai pembagi tegangan. Sehingga terciptalah suatu rangkaian yang disebut dengan rangkaian pembagi tegangan (*Voltage Divider*). Rangkaian pembagi tegangan atau *voltage divider* ini merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk mengubah nilai tegangan yang awalnya besar

menjadi kecil. Atau bisa juga dijelaskan sebagai rangkaian yang dapat menyesuaikan tegangan(Satrio et al., 2021).



Gambar 2.16. Rangkaian Pembagi Tegangan

Gambar 2.16 menunjukkan contoh rangkaian pembagi tegangan yang digunakan sebagai sensor tegangan pada arduino. Berikut merupakan rumus untuk perhitungan pembagi tegangan.

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.1)$$

$$I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

Pada penelitian ini resistor digunakan sebagai sensor tegangan dengan menggunakan metode pembagi tegangan. Berikut merupakan perhitungan dari resistor untuk rangkaian pembagi tegangan.

Kita asumsikan bahwa nilai R2 adalah 1000Ohm. untuk nilai Vin disesuaikan dengan nilai tegangan keluaran maksimum dari alat yang akan diukur, disini nilai tegangan yang akan diukur adalah baterai dan panel surya, sehingga harus membuat 2 buah sensor tegangan yang bisa mendeteksi kedua data tersebut

Nilai Vout disesuaikan dengan nilai maksimal yang bisa diterima oleh arduino, pada arduino tegangan maksimalnya adalah 5 volt.

- 1) Perhitungan R1 untuk panel surya

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$5 = 80 * \frac{1000}{R_1 + 1000}$$

$$5(R_1 + 1000) = 80 * 1000$$

$$5R_1 + 5000 = 80.000$$

$$5R_1 = 75.000$$

$$R_1 = \frac{75000}{5}$$

$$R_1 = 15.000 \text{ ohm}$$

2) Perhitungan R1 untuk baterai

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$5 = 60 * \frac{1000}{R_1 + 1000}$$

$$5(R_1 + 1000) = 60 * 1000$$

$$5R_1 + 5000 = 60.000$$

$$5R_1 = 55.000$$

$$R_1 = \frac{55000}{5}$$

$$R_1 = 11.000 \text{ ohm}$$

Dari perhitungan resistor maka dapat disimpulkan kebutuhan resistor sebagai sensor tegangan untuk mengukur tegangan panel surya adalah R2 sebesar 1000 ohm dan R1 sebesar 15.000 ohm. Sementara itu besar resistor untuk mengukur tegangan menuju baterai adalah R2 sebesar 1000 ohm dan R1 sebesar 11.000 ohm.

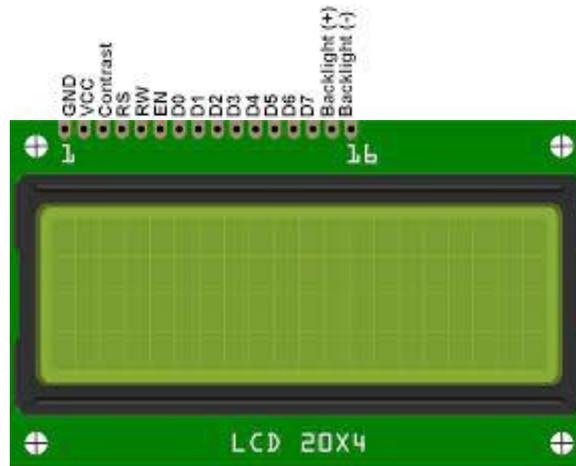
## 2.10. *Liquid Crystal Display (LCD)*

*Display* elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid*

*Crystal Display*) adalah salah satu jenis *display* elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik (Yulistiarni, 2020).

Pin kaki atau jalur input dan kontrol dalam suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) diantaranya adalah:

1. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.
2. Pin RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika *low* menunjukan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika *high* menunjukan data.
3. Pin R/W (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data sedangkan *high* baca data.
4. Pin E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
5. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5k ohm, jika tidak digunakan dihubungkan ke *ground*, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.



Gambar 2.17. *Liquid Crystal Display (LCD)*

Gambar 2.17 menunjukkan gambar dari LCD yang berfungsi untuk menampilkan hasil dari data pengukuran yang dihasilkan dari sensor arus, sensor tegangan dan sensor suhu.

### 2.11. Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan dalam penelitian ini sensor suhu tipe MLX90614. Sensor suhu digunakan untuk mendapatkan data suhu pada baterai. Sensor MLX90614 adalah sensor suhu nirsentuh, dimana pengukur temperatur tidak perlu adanya kontak langsung terhadap benda yang di ukur.

Menurut S. R. Sokku dan S. F. Harun “Radiasi gelombang inframerah dimanfaatkan oleh Sensor MLX90614 untuk mengetahui suhu yang diarahkan pada sensor. Sensor MLX90614 didesain untuk mendeteksi energi radiasi inframerah dan mengubah radiasi inframerah menjadi skala temperatur”(Reno Saputra Elsi et al., 2021).

Sensor ini mempunyai keakuratan yang tinggi dan mempunyai *range* pengukuran suhu yang luas: -40 sampai 125°C untuk suhu sensor dan -70 sampai 380°C untuk suhu objek.



Gambar 2.18. Sensor Suhu

Sumber: (Reno Saputra Elsi et al., 2021)

Gambar 2.18 menunjukkan sensor suhu mlx90614 yang digunakan untuk mengukur suhu baterai.

## 2.12. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor adalah kegiatan untuk memprogram sensor supaya bisa mengeluarkan pembacaan yang akurat. Kalibrasi sensor ini biasanya dilakukan dengan membandingkan nilai yang dibaca sensor dengan alat ukur yang sudah sesuai standar pabrikasi.

Klasifikasi alat ukur listrik menurut Standar IEC no. 13B-23 menspesifikasikan bahwa ketelitian alat ukur dibagi menjadi 8 kelas atau 4 golongan. Kelas-kelas tersebut artinya bahwa besarnya kesalahan dari alat ukur pada batas-batas ukur masing-masing  $\pm 0,05 \%$ ,  $\pm 0,1 \%$ ,  $\pm 0,2 \%$ ,  $\pm 0,5 \%$ ,  $\pm 1,0 \%$ ,  $\pm 1,5 \%$ ,  $\pm 2,5 \%$ ,  $\pm 5 \%$  dari relatif harga maksimum (Afrizal & Kunang, 2022). Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mengukur kesalahan atau eror untuk alat ukur:

$$\% \text{Akurasi} = 100\% - \% \text{Eror} \quad (2.3)$$

$$\% \text{Eror} = \left| \frac{\text{nilai sebenarnya} - \text{nilai sensor}}{\text{nilai sebenarnya}} \right| \times 100\% \quad (2.4)$$

Nilai sebenarnya merupakan nilai yang dialirkan pada sebuah sumber listrik atau bisa juga dengan menggunakan alat ukur yang kompatibel untuk digunakan sebagai pembanding sensor.

### 2.13. *State of Charge (SOC)*

Menurut W.-Y. Chang (2013) *State of charge (SOC)* digunakan untuk menggambarkan kapasitas baterai yang tersisa, merupakan parameter yang sangat penting untuk strategi *control*. Karena SOC merupakan parameter penting, yang mencerminkan kinerja baterai, maka estimasi SOC yang akurat tidak hanya dapat melindungi baterai, mencegah pengisian daya berlebih dan meningkatkan masa pakai baterai, tetapi juga memungkinkan aplikasi membuat strategi kontrol rasional untuk menghemat energi (Maulidina et al., 2021). Besaran SOC dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{SOC} = \frac{E_{bat}}{C_{bat} \cdot V} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

SOC: *State of Charge* (%)

Ebat: Energi yang tersimpan dalam baterai (Wh)

Cbat: Kapasitas Maksimum baterai (Ah)

V: Tegangan Nominal Baterai (V)

#### 2.14. Penulisan Terkait

Berdasarkan studi tentang monitoring pengisian baterai lithium ion yang pernah dilakukan. Terdapat beberapa penelitian yang berhubungan penelitian ini, penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Penelitian Terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal
1	Pemodelan dan analisis baterai lithium ion 3,2v Lifepo4 single cells	Nadia Alifia Hadiyahati	Universitas Brawijaya, 2018	Penelitian ini membahas tentang analisis karakteristik untuk baterai lfepo4
2	Analisis efisiensi pengisian muatan baterai lithium iron phosphate (lifepo4)	Irfan Zidni	Universitas Islam Indonesia, 2020	Penelitian ini membahas tentang analisis pada baterai lifepo4 pada saat <i>charging</i> dan <i>discharging</i>
3	Analisis Kapasitas Dan Pengisian Baterai Pada Mobil Listrik Ponocar	Dwi Harjono, Wahyu Widodo, Hadi Sugiarto, Abu Bakar	Politeknik negeri Pontianak, 2022	Penelitian ini membahas tentang penentuan kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk mobil listrik dan estimasi lamanya waktu pengisian untuk baterai tersebut.

Tabel 2.7 menunjukkan penelitian yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.