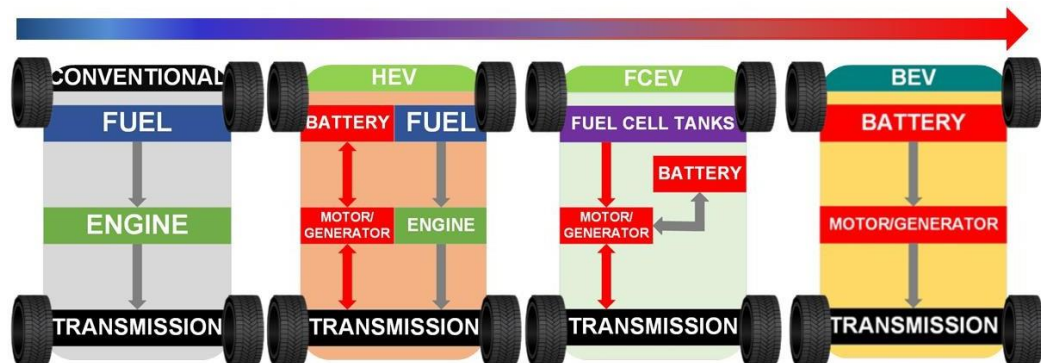


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mobil Listrik

*Electric Vehicle* (EV) merupakan kendaraan listrik yang ditenagai oleh motor listrik dan memperoleh energi dari sumber listrik berupa baterai[2]. Mobil listrik merupakan salah satu contoh kendaraan listrik yang menggunakan motor listrik untuk traksi, serta menggunakan baterai sebagai sumber energi[3]. Mobil listrik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kendaraan mesin pembakaran internal, *Internal Combustion Engine* (ICE), di antaranya mobil listrik tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai penggerak utamanya sehingga dapat mengurangi efek rumah kaca. Selain itu, mobil listrik juga tidak mengeluarkan polusi udara berupa gas emisi yang dapat menyebabkan pemanasan global. Mobil listrik terdiri atas beberapa jenis, yaitu *Battery Electrical Vehicle* (BEV), *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), dan *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV)[4].



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Mobil Listrik

Jenis mobil BEV merupakan kendaraan listrik yang beroperasi dengan menggunakan 100% tenaga listrik yang tersimpan pada baterai, salah satunya adalah baterai aki. HEV merupakan jenis kendaraan *hybrid* yang memiliki dua sistem penggerak, yaitu kombinasi dari mesin pembakaran internal konvensional (ICE) dan mesin listrik atau motor. Jenis mobil PHEV merupakan jenis kendaraan

listrik hibrida yang memiliki mesin pembakaran internal (ICE) dan motor traksi listrik. Jenis mobil listrik ini dapat ditenagai oleh sumber energi fosil seperti bensin, sumber alternatif seperti biodiesel, serta baterai. Berbeda dengan HEV, baterai pada *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) ini dapat diisi ulang dengan menghubungkannya ke sumber listrik eksternal di sebuah stasiun pengisian mobil listrik (EVCS). Jenis mobil FCEV atau dikenal sebagai kendaraan Zero Emission, menggunakan teknologi *fuel-cell* untuk menghasilkan listrik. mesin listrik yang menggunakan campuran hidrogen dan oksigen terkompresi yang diperoleh dari udara, dengan air sebagai satu-satunya limbah yang dihasilkan dari proses ini. Listrik dipakai untuk mengaktifkan motor agar dapat menjalankan kendaraan. Prinsip kerja mobil listrik jenis FCEV hampir mirip dengan cara kerja mobil listrik jenis BEV. Hanya saja jenis ini memiliki sistem yang mengkonversi energi kimia pada *fuel-cell* menjadi listrik[4].

Pada penelitian ini, jenis mobil listrik yang digunakan dalam mobil listrik SECA adalah jenis *Battery Electric Vehicle* (BEV), kendaraan listrik yang beroperasi dengan menggunakan 100% tenaga listrik yang tersimpan pada baterai.

**Tabel 2. 1** Kelebihan dan Kekurangan BEV

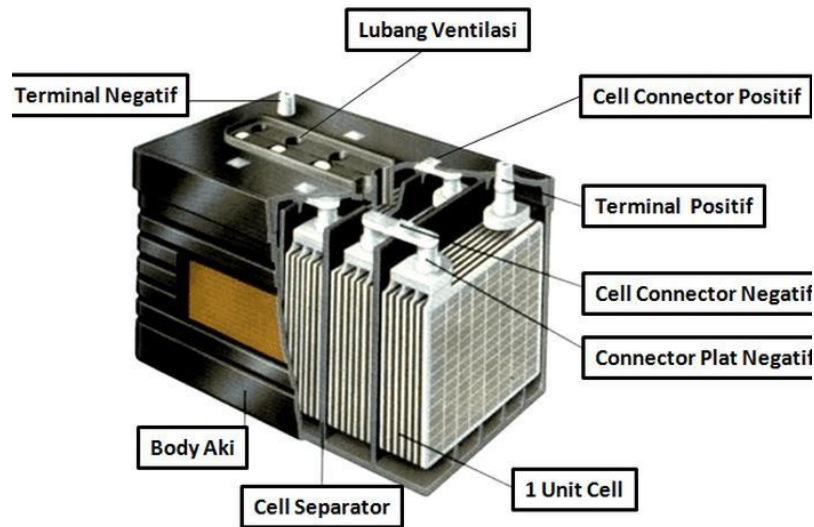
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tidak menghasilkan emisi gas CO<sub>2</sub>, dan tidak menyebabkan emisi gas rumah kaca (<i>zero toxic emissions</i> [31])</li> <li>– Kemungkinan untuk mengisi daya baterai dengan teknologi seperti pengereman regeneratif [32]</li> <li>– Tidak menimbulkan suara mesin yang bising (<i>quite operation</i>)</li> <li>– Biaya perawatan lebih rendah dibandingkan kendaraan ICE</li> <li>– Memiliki keamanan berkendara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Harga kendaraan BEV relatif mahal</li> <li>– Penggantian baterai cukup sulit karena harganya mahal</li> <li>– Berat baterai cukup besar sehingga berdampak pada berat kendaraan dan kecepatan kendaraan</li> <li>– Dibutuhkan waktu pengisian daya</li> <li>– Stasiun <i>charging</i> baterai masih terbatas</li> <li>– Jarak tempuh yang pendek dan kecepatan rendah [31]</li> </ul>

<p>lebih tinggi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Efisiensi daya lebih tinggi</li> <li>– Lebih mudah diproduksi</li> </ul>	
---	--

## 2.2 Baterai

Baterai adalah sebuah perangkat yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia, dan biasanya dirancang dalam beberapa sel yang terhubung untuk menyimpan dan melepaskan energi listrik dalam bentuk arus listrik[5]. Baterai terdiri dari beberapa komponen utama. Salah satunya adalah anoda, yang merupakan terminal positif baterai dan bertindak sebagai elektroda tempat reaksi kimia berlangsung. Komponen lainnya adalah katoda, yang merupakan terminal negatif baterai dan berpartisipasi dalam reaksi kimia yang berlawanan dengan anoda. Terdapat juga elektrolit, yaitu larutan atau bahan yang mengandung ion dan memungkinkan aliran arus listrik antara anoda dan katoda. Pada umumnya, terdapat dua jenis utama baterai antara lain *single use battery* yang tidak dapat diisi ulang sehingga hanya dipakai sekali dan *rechargeable battery* yang dapat diisi ulang. Pada *rechargeable battery*, terdapat dua kondisi baterai yakni pengisian atau *charging*, reaksi kimia terjadi di dalamnya dan energi listrik disimpan dalam bentuk kimia, dan ketika baterai digunakan (*discharging*), reaksi kimia tersebut diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk menggerakkan perangkat atau sistem elektronik. Jenis baterai yang digunakan pada mobil listrik adalah baterai sekunder, antara lain baterai AKI[6]. Hal ini terjadi ketika elektroda dihubungkan ke suatu beban dan sel akan melakukan pengosongan, elektron mengalir ke arah yang berlawanan dengan proses pengisian [7]–[9]

### 2.2.1 Baterai AKI



**Gambar 2.2** Struktur Baterai AKI

Baterai aki (*accu*) termasuk dalam kategori baterai *lead acid*. Baterai *lead acid* adalah jenis baterai yang menggunakan elektrolit asam sulfat dan terdiri dari elektroda timbal (Pb) dan timbal dioksida (PbO<sub>2</sub>) yang terendam dalam larutan asam sulfat. Baterai *lead acid* atau asam timbal terdiri dari sejumlah sel galvanic (sel volta) yang dihubungkan secara seri antara satu sel dengan sel lainnya. Ketika sel asam timbal menghasilkan energi listrik (*discharging*) maka baterai mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Proses pengosongan muatan baterai *lead acid* merupakan reaksi redoks spontan. Saat proses pengosongan akan menghasilkan tegangan sekitar 2 V. Sehingga untuk menghasilkan tegangan sebesar 12 V dibutuhkan 6 sel *lead acid* yang dihubungkan secara seri [7], [10].

Keuntungan dari baterai aki adalah harga yang relatif terjangkau, daya tahan yang baik, serta kemampuan untuk memberikan daya yang tinggi dalam waktu singkat (misalnya saat menghidupkan mesin kendaraan). Namun, baterai aki juga memiliki kelemahan, seperti bentuk yang relatif lebih berat dan kapasitas energi yang lebih rendah dibandingkan dengan beberapa jenis baterai lainnya. Perawatan yang baik diperlukan untuk mempertahankan kinerja baterai aki. Hal ini meliputi pemeriksaan dan pemeliharaan terhadap tingkat air elektrolit, membersihkan terminal baterai, dan memastikan pengisian ulang yang teratur (*charging*). Kesalahan perawatan atau *overcharging* dapat merusak baterai aki dan

mengurangi umur pakainya. Oleh karena itu, diperlukan sistem *charging* yang dapat menghindari terjadinya *overcharged* pada saat pengisian daya baterai aki.

**Tabel 2.2** Karakteristik Baterai Aki[6]

Karakteristik	Baterai Aki
Suhu <i>charging</i> (°C)	0-25
Ukuran	Besar
Masa pakai (tahun)	2-3
Efisiensi (%)	70-80
Self discharged (%)	5
Berat (Kg)	10
<i>Specific Energy</i> (Wh/Kg)	40
<i>Initial Cost</i> (\$/kWh)	100
Efisiensi(%)	60
Ramah lingkungan	Mengandung Pb dan asam

### 2.3 Charging

*Charging* adalah proses mengisi ulang energi listrik ke dalam baterai, sehingga baterai dapat digunakan kembali seperti semula[11]. Pengisi daya baterai (*charger*) harus menghasilkan tegangan yang sesuai dengan spesifikasi *datasheet* baterai, tetapi tegangan *charging* tidak boleh terlalu tinggi atau terlalu rendah. Untuk baterai AKI yang berkapasitas 12 V, umumnya tegangan pengisian baterai ditetapkan antara 13,2 V hingga 14,7 V, atau setidaknya satu volt diatas kapasitas baterai. Jika tegangan terlalu tinggi, maka sel baterai aki akan mengalami elektrolisis[12]. Peristiwa elektrolisis ditandai dengan munculnya gelembung hidrogen dan oksigen pada baterai dan hal tersebut dapat merusak baterai[13]. Namun, jika tegangan *charging* terlalu rendah maka baterai tidak akan terisi daya[14]–[16].

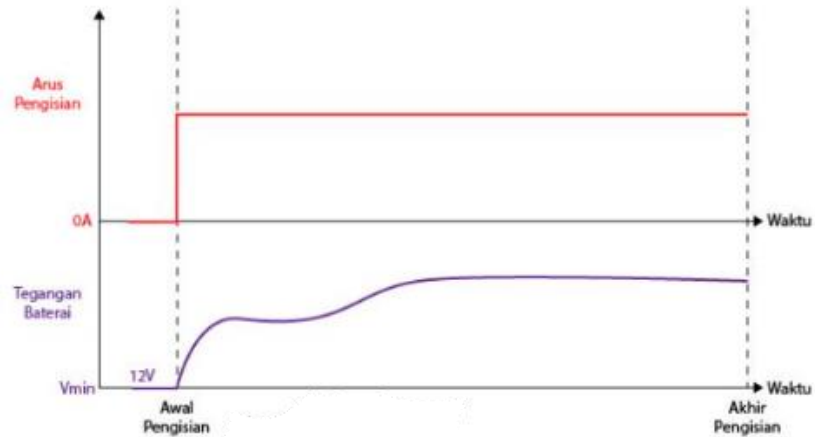
Selain tegangan, hal penting yang harus diperhatikan pada sistem pengisi daya adalah arus *charging*. Arus akan berpengaruh pada durasi pengisian baterai, jika arus terlalu rendah maka *charging* proses akan memerlukan durasi yang lama. Namun, jika arus terlalu tinggi maka akan berbahaya bagi baterai, baterai akan mengalami *overheat* dan *overcharge* [13].

### 2.3.1 Metode Pengisian Baterai

Metode pengisian daya baterai aki adalah teknik yang digunakan pada sistem pengisian daya baterai. Metode inilah yang akan berpengaruh kepada kecepatan pengisian dan pengontrolan kondisi baterai pada saat proses *charging* termasuk menghindari *overcharged*. Terdapat beberapa metode pada sistem charging baterai aki, diantaranya adalah *Constant Current Charging* (CC), *Constant Voltage Charging* (CV), *Constant Current-Constant Voltage Charging* (CC-CV)[17].

#### 2.3.1.1 *Constant Current Charging* (CC)

Pengisian arus konstan atau *constant current* merupakan metode pengisian yang jarang diimplementasikan pada baterai aki. Metode pengisian ini terdiri dari pengisian baterai dengan arus konstan/*constant current* (CC) dengan menggunakan arus yang konstan hingga tegangan pada baterai mencapai maksimum. Untuk menghindari panas yang berlebihan atau *overheating*, proses pengisian dilakukan secara dua tahapan. Pada saat awal arus yang disalurkan lebih tinggi dan ketika mendekati pengisian akhir diturunkan. Pada metode ini arus pengisian yang ditetapkan sekitar seperdelapan atau 10% dari kapasitas arus pada baterai (AH). Keuntungan dalam menggunakan metode ini adalah menghasilkan durasi *charging* yang singkat. Namun, apabila arus yang digunakan terlalu tinggi atau tidak sesuai dengan kapasitas baterai, maka dapat berpotensi menyebabkan *overheating*, *overcharging*, dan mengakibatkan baterai cepat rusak[18]–[20]. Berdasarkan pada **Gambar 2.3**, proses *charging* berakhir apabila kapasitas baterai yang ditentukan telah terpenuhi.

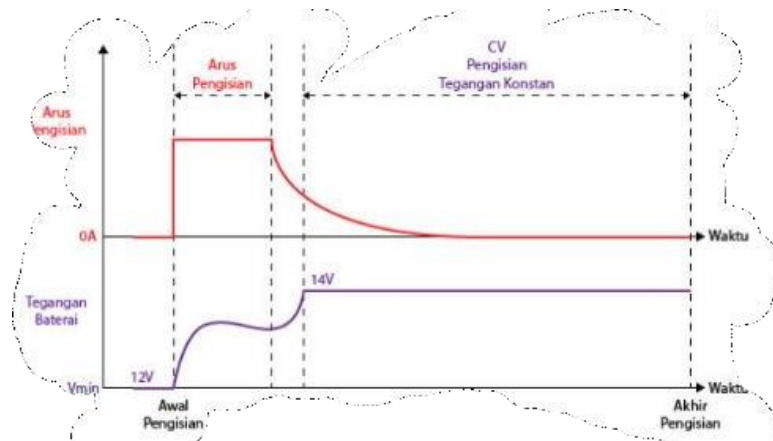


**Gambar 2.3** Grafik Arus dan Tegangan *Charging* dengan Metode CC[21]

### 2.3.1.2 *Constant Voltage Charging (CV)*

*Constant Voltage charging (CV)* merupakan metode pengisian baterai aki yang paling umum. Pada metode ini, tegangan akan dijaga agar tetap konstan pada saat proses pengisian dan arus akan mengalami kenaikan pada saat proses pengisian awal atau saat kondisi baterai kosong dan secara bertahap akan menurun setelah terdapat muatan dari *charger*[19].

Metode pengisian *Constant Voltage* cenderung lebih aman karena tegangan pengisian diatur pada tingkat yang ditentukan dan arus menurun secara bertahap, sehingga membantu mencegah *overcharging* yang dapat merusak komponen internal dan berpengaruh pada umur pakai. Namun, Metode ini dapat mengurangi kapasitas baterai hingga 20% dan mengurangi efisiensi baterai sekitar 10%. Selain itu, metode pengisian tegangan konstan cenderung memerlukan waktu pengisian yang lebih lama dibandingkan metode pengisian lainnya[23]. Hal ini disebabkan karena arus pengisian berkurang secara bertahap dan sangat kecil saat baterai mendekati tingkat SOC penuh.



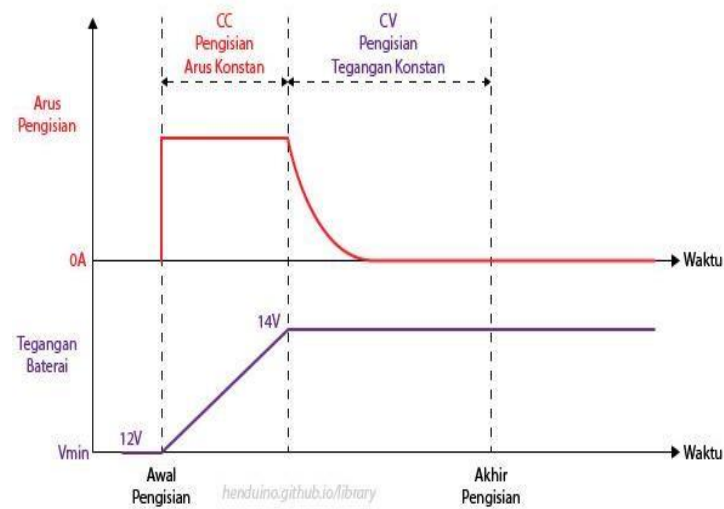
**Gambar 2.4** Grafik Arus dan Tegangan *Charging* dengan Metode CV[21]

### 2.3.1.3 Constant Current-Constant Voltage Charging (CC-CV)

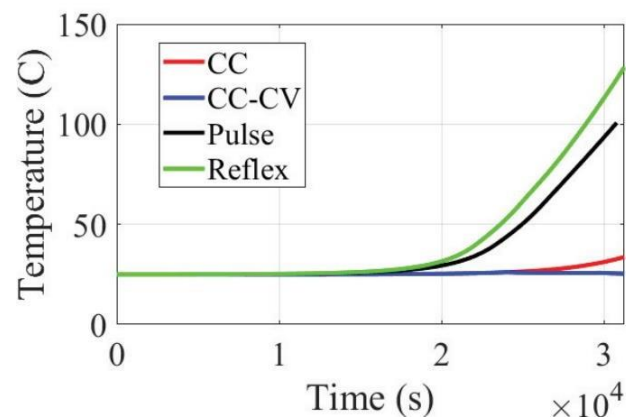
Metode CC-CV merupakan kombinasi dari teknik pengisian *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV)[21]. Prinsip kerja metode ini adalah pada periode awal pengisian baterai, digunakan metode CC. Periode awal tersebut dipilih untuk mengisi baterai dengan arus yang tinggi, karena periode awal merupakan waktu yang tidak memberikan dampak negatif pada baterai seperti *overheating* dan *overcharging*, sehingga baterai akan lebih aman dan awet untuk digunakan. Setelah itu, dilanjutkan ke mode CV hingga baterai penuh, pada tahapan ini arus *charging* akan menurun hingga mendekati nol. Pada proses pengisian CC-CV, fase CC dan fase CV dapat saling melengkapi dengan cara tertentu, rugi-rugi kapasitas yang disebabkan oleh besarnya polarisasi elektrokimia pada fase CC dapat dikompensasi secara efektif pada fase CV. Sehingga, pengisian CC-CV menjadi lebih baik dibandingkan pengisian CC ataupun pengisian CV saja. Sedangkan, untuk lama waktu untuk proses pengisian ditentukan dari besarnya arus yang dialirkan pada proses CC dan CV.

Metode CC-CV memungkinkan untuk pengisian cepat tanpa adanya resiko *overcharging* dan cocok untuk berbagai jenis baterai[21][24]. Dengan menggunakan metode ini, pengisian baterai akan sesuai dengan kapasitas penuhnya. Tegangan baterai akan meningkat sesuai tegangan dan arus *charging* yang diberikan. Dengan menerapkan strategi ini, baterai akan terisi penuh sesuai kapasitasnya dan terhindar dari *overcharge*.





**Gambar 2.5** Grafik Arus dan Tegangan CC-CV Charging[21]



**Gambar 2. 6** Perbandingan Temperatur *Charging* Baterai Dengan Metode CC, CC-CV, *Pulse*, dan *Reflex*[20]

Berdasarkan review beberapa metode *charging*, Pada **Gambar 2.6** diketahui bahwa metode CC-CV menghasilkan temperatur *charging* yang paling kecil diantara beberapa metode *charging* lainnya, hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya *overheat* baterai pada saat *charging* dan baterai akan rusak. Perbandingan metode *fast charging* Ini membuktikan bahwa metode CC-CV adalah metode *fast charging* yang paling aman digunakan dan dapat meminimalisir resiko *overcharging*[20].

### 2.3.2 *State of Charge (SOC)*

*State of Charge (SOC)* merupakan besaran energi listrik yang tersisa di dalam baterai[25]. Hasil *State of Charge (SOC)* baterai sangat membantu dalam manajemen energi baterai mobil listrik, sebagai gambaran sisa energi yang dapat dipakai sebelum melakukan pengisian daya baterai kembali [26]. *State of Charge (SOC)* adalah perbandingan energi yang tersisa dengan kapasitas energi maksimum pada baterai. Nilai SOC biasa dinyatakan dalam bentuk persentase, 0%-100%. Penulis menentukan nilai SOC baterai AKI adalah 0% = 11 Volt dan SOC 100% = 14,05 Volt.

SOC sangat penting dalam pemantauan dan pengelolaan baterai karena membantu menentukan berapa lama baterai akan bertahan dan memastikan penggunaan energi yang efisien. Pemantauan SOC memungkinkan pengguna untuk mengetahui kapan baterai perlu diisi ulang atau diganti. Pada proses *charging*, perhitungan estimasi SOC baterai berperan untuk menghindari terjadinya *overcharge* pada baterai yang berakibat pada masa pakai baterai serta *rapid aging* atau kerusakan pada baterai[27]. Cara yang paling umum memperkirakan persentase SOC adalah dengan *voltage method*, dimana tegangan baterai menjadi parameter perhitungan estimasi SOC[25]. Metode ini melibatkan perkiraan SOC berdasarkan hubungan linier antara tegangan dan SOC. Tegangan initial pada baterai dibandingkan dengan tegangan saat baterai kondisi penuh. Estimasi SOC dengan metode ini dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$SOC = \frac{V_t - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100\% \quad (2.1)$$

### 2.3.3 *Overcharging*

*Overcharge* didefinisikan sebagai pengisian dengan arus dan tegangan yang terlalu besar atau berlebih pada baterai secara terus menerus meskipun baterai telah terisi penuh[13]. *Overcharging* merupakan kondisi di mana baterai menerima daya pengisian secara terus-menerus dan melebihi kapasitas maksimumnya. Ini terjadi ketika pengisian terus dilakukan setelah baterai mencapai tingkat pengisian penuh. Adapun akibat yang ditimbulkan karena *overcharging* adalah baterai menjadi rusak dan mengurangi masa pakai baterai.

*Overcharging* dapat menyebabkan kerusakan pada komponen internal baterai, seperti elektroda dan elektrolit, yang dapat mengurangi kapasitas penyimpanan. Pengisian berlebihan juga dapat menyebabkan peningkatan suhu dalam baterai, yang dapat mempengaruhi performa baterai dan bahkan menyebabkan kondisi yang berbahaya seperti risiko ledakan. Rusaknya baterai yang diakibatkan karena *overcharging* disebabkan karena pada setiap sel baterai pada bagian plat positif akan mendapatkan tekanan yang diakibatkan oleh suhu yang tinggi selama terjadinya proses *overcharging*. Karena tekanan ini, maka plat-plat positif akan berubah bentuk sehingga oksigen bebas dapat masuk ke dalam plat-plat positif sampai seluruh lead sulfat atau  $PbSO_4$  berubah menjadi *lead-peroxide* atau  $PbO_2$ . Ketika sel belum terisi penuh, energi listrik dari arus muatan diubah menjadi energi kimia di dalam sel melalui reaksi pengisian.

*Overcharging* dapat terjadi karena beberapa alasan, termasuk penggunaan charger yang tidak sesuai, adanya masalah pada sirkuit pengisian atau kontrol pengisian, atau kurangnya mekanisme pengaturan otomatis yang efektif pada perangkat. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengisian daya baterai yang dapat meminimalisir potensi *overcharging*.

#### **2.3.4 Sistem Kontrol Charging**

Sistem kontrol *charging* merupakan kumpulan perangkat yang berfungsi untuk mengendalikan dan mengatur keadaan pada proses pengisian daya baterai. Sistem kontrol terdiri dari masukan (input), kontroler, proses, dan keluaran (output). Masukan dari sistem kontrol *charging* ini adalah tegangan dan arus baterai yang dideteksi oleh sensor pzem, lalu masuk menuju kontroler berupa NodeMCU ESP8266, dan NodeMCU yang terhubung dengan relay akan mengendalikan nilai tegangan dan arus keluaran dari *charger*.

Tegangan baterai akan dibaca oleh sensor PZEM-017, sensor Pzem adalah sensor yang dapat mengukur tegangan, arus, daya, dan frekuensi. Sensor akan dihubungkan dengan konverter RS485, dan konverter akan menyalurkan sinyal digital ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Mikrokontroler akan

mengendalikan sistem pemantauan tegangan *charging*, arus *charging*, dan persentase SOC baterai aki.

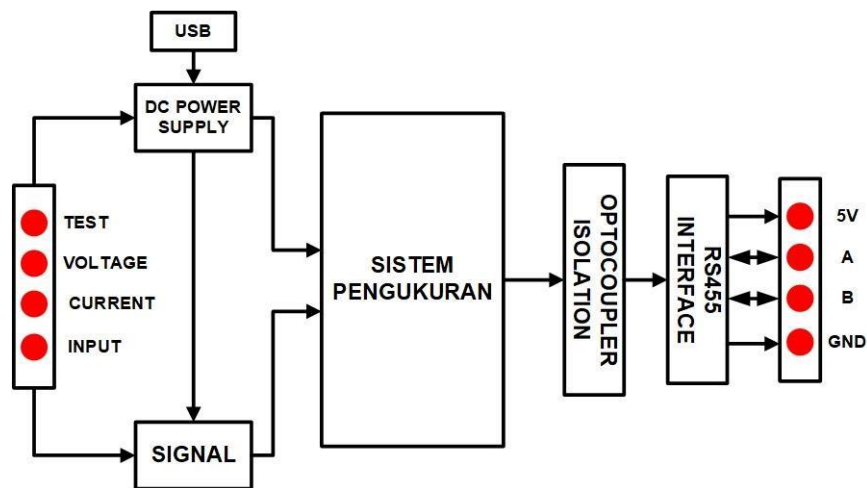
#### **2.3.4.1 CC-CV Buck Converter**

Konverter jenis *buck* merupakan *converter* penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. *buck converter* terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (*diode*), kapasitor, dan induktor sebagai tapis keluarannya. CC-CV *buck converter* merupakan modul konverter DC to DC dengan frekuensi tetap 180 KHz, yang mampu menggerakkan beban 5A dengan efisiensi tinggi, riak rendah, dan regulasi saluran dan beban yang sangat baik. Modul ini dilengkapi dengan kontrol penyesuaian Tegangan konstan (CV) dan arus konstan (CC).

Komponen utama pada board CC-CV *buck converter* adalah IC *buck converter* XL4015, yaitu IC 5pin yang dirancang dan dikembangkan oleh XLSEMI. Pada CC-CV *converter* ini terdapat konektor input DC, yang menghubungkan ke sumber daya yang tidak diatur. Modul ini memiliki trimpot untuk mengatur tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dua trimpot 10K yang digunakan untuk mengatur tingkat arus dan tegangan konstan. Ketika trimpot penyesuaian tegangan (V-ADJ) diputar perlahan searah jarum jam, itu akan menaikkan tegangan output secara bertahap, dan rotasi berlawanan arah jarum jam, akan menurunkannya. Demikian juga, putaran searah jarum jam dari trimpot penyetelan arus (I-ADJ) meningkatkan batas arus, sementara tindakan berlawanan arah jarum jam mengurangi batas arus. Selanjutnya, ada tiga indikator LED di papan; yang pertama di dekat konektor input menunjukkan saat modul dalam mode arus konstan, sedangkan dua lainnya di dekat output terutama untuk aplikasi pengisian baterai (pengisian baterai dan indikator baterai penuh). Selain itu, IC ini memiliki rentang tegangan input 8V hingga 36V, dan tegangan output perangkat adalah 1,25V hingga 32V dan dapat mencapai efisiensi hingga 96% saat bekerja.

### 2.3.4.2 PZEM

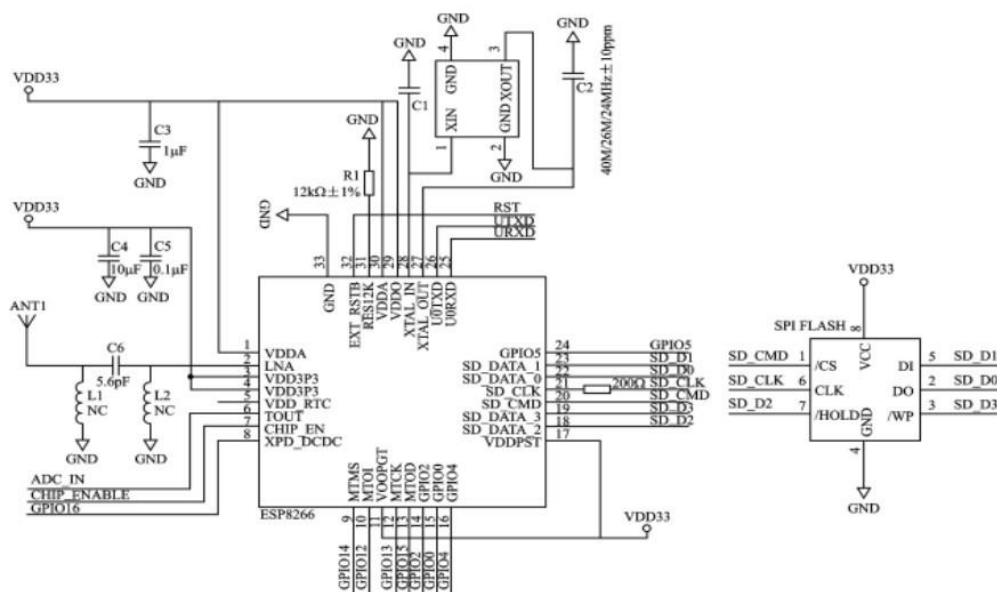
Sensor PZEM adalah sensor yang digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya pada sistem listrik[28]. Sensor ini digunakan untuk mengukur tegangan dan arus *charging*, sehingga proses *charging* serta SOC baterai dapat terpantau secara langsung. banyak jenis sensor PZEM, salah satunya adalah sensor PZEM-017.



**Gambar 2.7** Wiring Modul PZEM 017

Sensor PZEM-017 adalah sebuah sensor komunikasi DC yang dapat mengukur daya DC hingga 300 VDC dan pengukuran arus pada range berdasarkan shunt eksternal terpasang yakni 50 A, 100 A, 200 A, dan 300 A. PZEM-017 dapat digunakan untuk mengukur daya, tegangan, arus dan energi yang terdapat pada sebuah aliran listrik DC. Meskipun PZEM-017 tidak memiliki display, tetapi PZEM-017 ini memiliki komunikasi serial menggunakan protokol Modbus-RTU RS485. komunikasi serial ini, membuat sensor dapat terhubung dengan Modul UART TTL *Converter* atau konverter RS-485 dan konverter ini dapat terhubung langsung dengan mikrokontroler, sehingga nilai yang terukur oleh modul ini dapat ditampilkan pada HMI dan PC/Laptop.

### 2.3.4.3 Mikrokontroler



**Gambar 2.8** ESP8266 *Circuit Design*[29]

Dalam penelitian ini, mikrokontroler digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem kontrol charging CC-CV pada baterai aki. Mikrokontroler adalah sebuah sirkuit terpadu (IC) tunggal yang biasanya digunakan untuk aplikasi tertentu dan dirancang untuk mengimplementasikan tugas-tugas tertentu. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah NodeMCU ESP8266. ESP8266 dipilih karena harga yang relatif murah dan ukuran fisik yang relatif kecil. Selain itu, mikrokontroler ini juga terintegrasi dengan modul Wi-Fi, yang memungkinkan sistem terhubung ke jaringan Wi-Fi dan berkomunikasi dengan perangkat lain melalui jaringan internet[30]. *Pinout* yang dimiliki oleh ESP8266 ditampilkan pada **Gambar 2.7**, pin tersebut antara lain termasuk VCC (3,3 V) dan GND (*Ground*), TX/RX (*Transmit/Receive*) untuk komunikasi serial, dan empat pin kontrol RST (*Reset*), CH\_PD (*Chip Power Down*), GPIO0 dan GPIO2 (*General Purpose Input/Output*).

### 2.3.4.4 Monitoring

Sistem *monitoring* adalah perangkat yang bertujuan untuk memberikan *feedback* ketika alat sedang menjalankan fungsi. Sistem ini akan membantu melindungi baterai dari berbagai kondisi dan faktor pengoperasian dengan terus

memantau dan mengukur informasi penting tentang baterai selama pengoperasiannya. Oleh karena itu, *monitoring* baterai merupakan fungsi utama dari *Battery Management System* (BMS) yang bertujuan untuk memeriksa dan mengontrol status *real time* baterai saat proses *charging* agar tetap dalam kondisi operasi yang aman[27].

Parameter yang diperlihatkan pada *monitoring* baterai adalah data tegangan, arus, dan suhu. Parameter tersebut didapatkan dengan menggunakan sensor Pzem. Pzem merupakan sensor untuk mengukur tegangan DC, arus, daya aktif, frekuensi, dan konsumsi energi[28]. Pzem akan menyalurkan sinyal ke rangkaian kontrol yakni mikrokontroler berupa NodeMCU ESP8266, selain untuk *monitoring* NodeMCU juga digunakan untuk mengatur keseluruhan sistem *charging*. Pada sistem *monitoring*, mikrokontroler akan mengubah data fisik menjadi data digital yang dapat dihitung dengan mudah. Proses ini akan menghitung SOC baterai dengan informasi yang diberikan berdasarkan algoritma yang akan diunggah ke pengontrol melalui kode tertentu. Data – data yang telah didapat tersebut kemudian akan ditampilkan melalui layar HMI yang terhubung ke mikrokontroler sebagai tampilan *monitoring*-nya.



**Gambar 2.9** HMI Display[31]

## 2.4 Fuzzy Logic

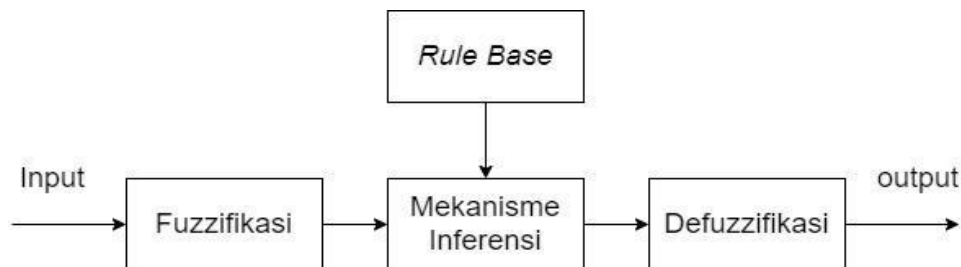
Logika *fuzzy* merupakan sistem Kendali dengan ketidakpastian yang menggunakan konsep himpunan *fuzzy* dalam perancangannya[32]. Ide logika *fuzzy* ini pertama kali ditemukan oleh Profesor L.A. Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada tahun 1965. Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Kelebihan dari *fuzzy logic* salah satunya adalah tidak diperlukannya model matematis dari plant yang akan dikendalikan dan

mekanisme pengambilan keputusan ditanamkan pada pengendali sebagai aturan dasar ketika pengendalian berlangsung. Semua mesin atau perangkat dapat memproses data yang tajam (*crisp*) atau klasik seperti '0' atau '1'. Agar mesin atau perangkat dapat menangani input bahasa yang tidak jelas, input dan output yang tajam (*crisp*) harus dikonversi ke variabel linguistik dengan logika fuzzy[33]

*Fuzzy Logic Controller* (FLC) merupakan salah satu aplikasi dari logika *fuzzy* di bidang sistem kendali. FLC telah digunakan di beberapa sistem dinamik dari mulai yang sederhana sampai yang kompleks. Kelebihan dari FLC salah satunya adalah tidak diperlukannya model matematis dari plant yang akan dikendalikan. Mekanisme pengambilan keputusan ditanamkan pada pengendali sebagai aturan dasar ketika pengendalian berlangsung[34]. FLC lebih tepat digunakan pada sistem yang sulit didefinisikan, yang dapat dikendalikan oleh operator tanpa mengetahui karakteristik dinamis dalam sistem[35].

#### 2.4.1 Tahapan *Fuzzy Logic*

Dalam *Fuzzy Logic* terdapat 3 tahap yakni fuzzifikasi, mekanisme inferensi dan defuzzifikasi seperti pada gambar dibawah ini:



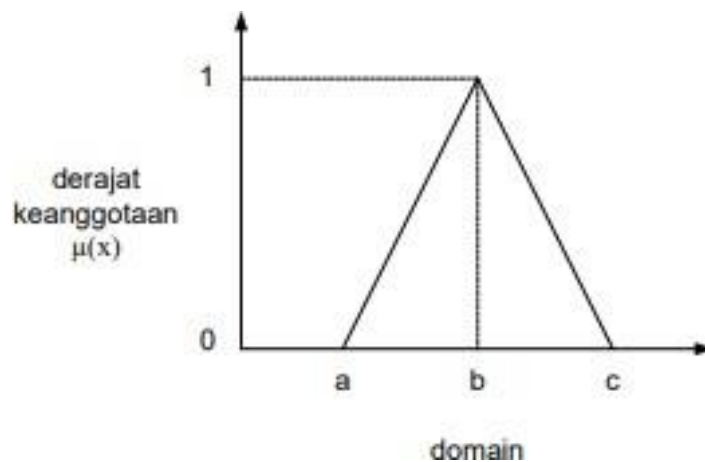
**Gambar 2. 10** Tahap *Fuzzy Logic*

##### 2.4.1.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan tahap awal yang bekerja dengan cara mengubah nilai tegas (*crisp*) dari suatu variabel menjadi nilai *fuzzy* yang biasanya disajikan berupa himpunan- himpunan *fuzzy* yang memiliki fungsi keanggotaannya masing-masing. Tingkat keanggotaan ini dapat berada di mana saja dalam interval  $[0,1]$ . Fungsi keanggotaan dapat berupa tipe segitiga, eksponensial, atau Gaussian. Selain itu, untuk sistem yang lebih rumit, lebih dari satu fungsi keanggotaan dalam kombinasi dapat digunakan. Nilai yang telah berbentuk *fuzzy* ini



selanjutnya digunakan sebagai masukan dari mekanisme inferensi. Pada tahap ini, akan dilakukan pengambilan keputusan dari masukan yang ada berdasarkan basis aturan logika yang dirancang[34]. Ada beberapa jenis fungsi keanggotaan yang sering digunakan yakni kurva linear, kurva linear turun, kurva s, segitiga, trapesium, dan kurva lonceng. Pada penelitian ini fungsi keanggotaan yang dipakai yakni fungsi keanggotaan kurva segitiga seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



**Gambar 2.11** Kurva segitiga keanggotaan fuzzy

$$\text{Fungsi Keanggotaan} = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \end{cases}$$

#### 2.4.1.2 Mekanisme Inferensi

Mekanisme inferensi adalah proses mengubah input *fuzzy* dengan mengikuti aturan (*IF-THEN*) yang ditentukan berdasarkan pengetahuan *fuzzy*. Dengan kata lain, dilakukan agregasi yang menggabungkan keluaran *fuzzy IF-THEN* menjadi satu himpunan[35]. Pengambilan keputusan untuk input dan *rule base* yang diberikan berisi dua macam informasi utama [36], yaitu :

1. Basis data, yang berisi tentang definisi-definisi yang perlu dari parameter *fuzzy* yang digunakan untuk masing-masing variabel sistem. Membangun basis data *fuzzy* termasuk di dalamnya menentukan semesta wacana masing-masing variabel masukan, menentukan jumlah himpunan *fuzzy* dan merancang fungsi keanggotaan;

2. Pemrosesan aturan *fuzzy*, merupakan kumpulan aturan kendali *fuzzy*. Pemrosesan aturan *fuzzy* disusun berdasarkan pengetahuan pakar dan kawasan aplikasi dan tujuan pengendalian yang dilakukan. Berdasarkan pemrosesan aturan *fuzzy* ini, mesin inferensi akan memetakan himpunan *fuzzy* ke dalam himpunan *fuzzy* lain yang ditentukan oleh sekumpulan kaidah deskripsi linguistik yang disusun berdasarkan pengetahuan pakar tersebut.

#### 2.4.1.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses mengubah keluaran yang diperoleh dari inferensi *fuzzy* menjadi suatu nilai tegas (*crisp*)[35]. Dimana hasil akhir ini akan dikirimkan ke peralatan pengendalian. Pada tahap defuzzifikasi, terdapat beberapa metode yang seringkali digunakan yaitu metode rerata maksimum (*mean of maximum*) dan metode titik berat (*center of area*). metode rerata maksimum (*mean of maximum*) yaitu mengambil nilai rata-rata kawasan yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Defuzzifikasi rerata maksimum kadang-kadang disebut juga defuzzifikasi tinggi. Strategi MOM membangkitkan aksi kendali yang mewakili nilai rerata semua aksi kendali lokal dengan fungsi keanggotaan mencapai maksimum. metode titik berat (*center of area*) yaitu membangkitkan pusat gravitasi dari distribusi peluang aksi kendali[36].

### 2.5 State of the Art (SOTA)

Dalam penulisan laporan akhir ini penulis menggunakan beberapa jurnal sebagai acuan dalam penelitian, yang dimuat pada **Tabel 2.2**

**Tabel 2. 3** Tabel *State of The Art* (SOTA)

Judul	Metode	Hasil Penelitian
<i>Advanced electric vehicle fast-charging technologies</i> [37]	Pengisian daya baterai dengan metode Metode CC-CV	Menekankan bahwa sistem pengisian cepat dan aman yang tidak merusak baterai, dan tidak berdampak negatif pada jaringan listrik harus dikembangkan. Menjelaskan masalah yang terkait dengan pengisian cepat,

		termasuk dampak pada sistem baterai terkait manajemen dan batasan panas, mepersentasikan solusi.
<b><i>Design and Development of Fast Charging Battery Using Fuzzy Logic Control Technique</i></b> [38]	Pengisian daya baterai dengan metode CC-CV dan algoritma <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)	Pada Penelitian ini Sistem kontrol pada charging CC-CV dengan menggunakan <i>fuzzy logic controller</i> (FLC) dapat mempercepat waktu pengisian hingga 37,8% pada laju 2C dengan efisiensi yang lebih baik dan meningkatkan kapasitas pengisian lebih besar, yakni 82%.
<b><i>Fuzzy Controlled Fast Charging System for Lithium-Ion Batteries</i></b> [39]	Sistem pengisian cepat pada beteraai dengan metode <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)	Metode yang diusulkan mengurangi waktu pengisian dan ruang sirkuit. Kontrol penyeimbangan sel sangat penting dalam memperpanjang masa pakai baterai dan keamanan pengisian tumpukan baterai serta meningkatkan efisiensi pengisian baterai. Dibandingkan dengan pengisian daya 1C, dimungkinkan untuk mempersingkat waktu pengisian hingga 15 menit. Sistem pengisian yang diusulkan dapat mempersingkat waktu pengisian dan memastikan bahwa setiap sel dalam rangkaian baterai akan dioperasikan dalam rentang tegangan yang aman.
<b><i>A review on battery charging and discharging control strategies: Application to renewable energy systems</i></b> [40]	Metode pegisian dan pengosongan dengan (CC-CV) dan Metode manajemen baterai dengan <i>Fuzzy Logic Control</i> (FLC) dan kontrol prediktif model (MPC)	Penelitian ini menunjukkan bahwa CC-CV merupakan metode kontrol yang paling banyak digunakan untuk pengisian dan pengosongan baterai, metode lain seperti FLC atau MPC telah menunjukkan kinerja yang lebih baik. Manfaat utamanya adalah pengurangan waktu pengisian, peningkatan efisiensi pengisian, mitigasi kenaikan suhu, dan menjaga SOC baterai dalam batas aman.

<p><b><i>A Novel Supercapacitor/Lithium-Ion Hybrid Energy System with a Fuzzy Logic-Controlled Fast Charging and Intelligent Energy Management System</i></b>[41]</p>	<p>Sistem pengisian cepat pada baterai dan sistem manajemen energi cerdas dengan metode <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC)</p>	<p>Sistem pengisian Li-ion diisi menggunakan FLC. Metode pengisian kontrol FLC mempersingkat waktu pengisian. Penyeimbangan tegangan sel <i>Bypass Equalization</i> (BPE) berbasis FLC telah digunakan untuk mengurangi perbedaan tegangan, menghindari pengisian yang berlebihan, dan meningkatkan efisiensi pengisian baterai.</p>
<p><b><i>Effect of the different charging techniques on battery life-time: Review</i></b> [8]</p>	<p><i>Constant Current</i> (CC), <i>Constant Voltage</i> (CV), dan <i>Constant Current-Constant Voltage</i> (CC-CV) using Matlab</p>	<p>Penelitian ini diujikan pada baterai <i>lead acid</i> 50Ah dengan metode pengisian konvensional. Dalam penelitian ini, metode CC menyebabkan kenaikan suhu selama pengisian, namun disisi lain metode CV tidak menyebabkan kenaikan suhu tapi menyebabkan arus besar pada awal pengisian yang membahayakan <i>lifetime</i> baterai. CC-CV konvensional mampu mengendalikan arus awal, namun menyebabkan kenaikan suhu pada tahap awal dan menyebabkan pengisian yang berlebihan.</p>
<p><b><i>Comparison of voltage charging techniques to increase the life of lead acid batteries</i></b>[42]</p>	<p>Mereview tentang pengisian daya baterai <i>lead acid</i> menggunakan metode <i>constant voltage</i></p>	<p><i>constant voltage</i> dengan tegangan 16V menghasilkan waktu pengisian yang lambat, tetapi metode ini disukai karena dapat menghindari kerusakan baterai akibat <i>overcharge</i> karena arus yang terus berkurang secara bertahap.</p>