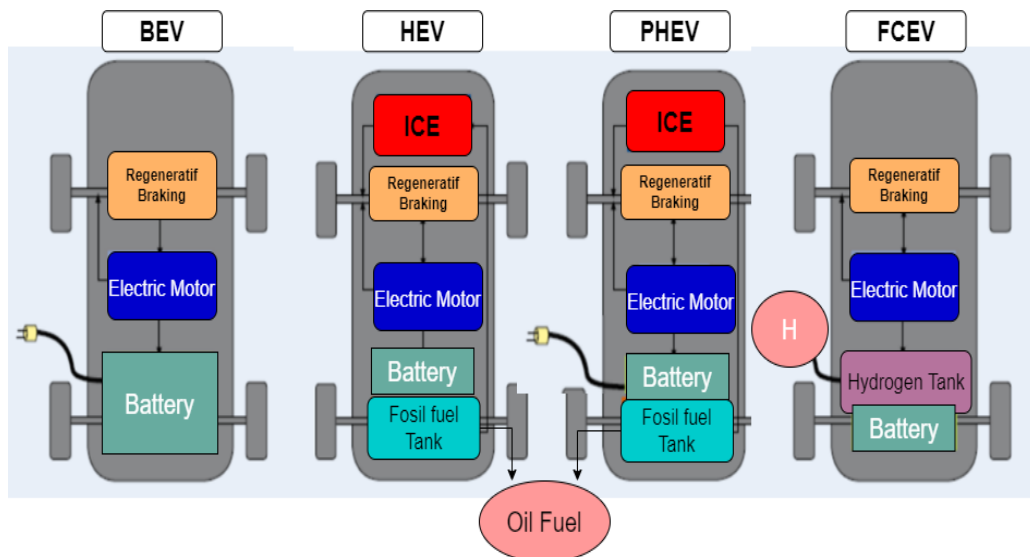


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mobil Listrik

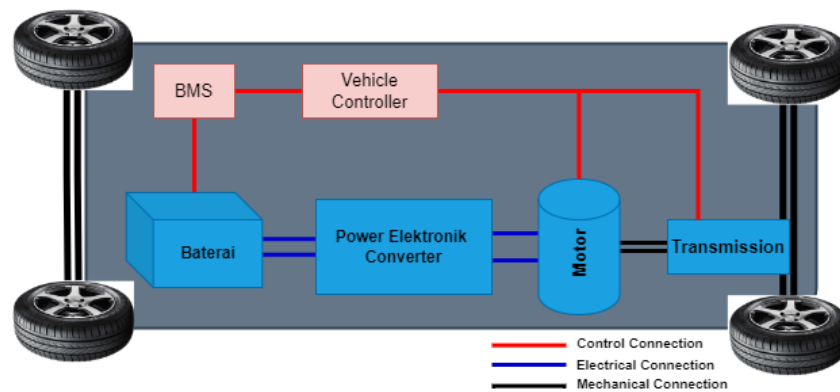
Mobil listrik atau *electric vehicle* adalah kendaraan yang menggunakan sumber energi berupa energi listrik yang tersimpan di dalam baterai dan energi tersebut dapat diisi ulang[27]. Dibanding kendaraan *Internal Combustion Engine* (ICE), mobil listrik memiliki keunggulan yaitu mengurangi efek gas rumah kaca karena tidak menggunakan bahan bakar fosil dan kendaraan ini juga tidak menghasilkan polusi udara akibat dari pembakaran pada mesin. Selain itu, mobil listrik memiliki mesin yang lebih sederhana karena tidak memerlukan pendingin mesin, kopling, sehingga tidak memerlukan biaya penangan yang besar. Mobil listrik juga tidak menimbulkan suara bising pada mesin dan menghasilkan torsi yang konstan, hal ini disebabkan oleh tenaga pergerakan mesin diperoleh dari sel baterai[28]. Berdasarkan sumber energinya jenis mobil listrik dibagi menjadi *Battery Electrical Vehicle* (BEV), *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), dan *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV).



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Mobil Listrik

Hybrid Electric Vehicle (HEV) adalah jenis mobil listrik hibrida yang memiliki dua sistem penggerak yang berbeda antara lain *Internal Combustion Engine* (ICE) dan mesin/motor listrik. Dikarenakan memiliki dua sistem penggerak, maka HEV memerlukan dua jenis sumber energi yaitu bahan bakar fosil untuk mesin pembakaran internal dan energi listrik baterai sebagai sumber energi motor listrik. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) adalah jenis mobil listrik yang hampir sama dengan HEV yakni kendaraan hibrida, karena memiliki dua jenis sistem penggerak yakni ICE dan motor listrik. Akan tetapi, baterai pada PHEV dapat diisi ulang dengan menghubungkan baterai ke sumber listrik pada stasiun pengisian daya mobil listrik. *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV) adalah mobil listrik yang menggunakan teknologi *fuel-cell* untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip mobil FCEV hampir sama dengan BEV, hanya memiliki satu sistem penggerak yang berasal dari motor listrik, namun mobil ini memiliki sistem yang dapat mengkonversi energi kimia *fuel-cell* berupa hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik[28].

Battery Electric Vehicle (BEV) adalah jenis mobil listrik murni yang 100% sumber tenaganya berasal dari energi listrik, mobil ini tidak memiliki campuran bahan bakar lainnya. BEV hanya menggunakan motor listrik sebagai tenaga penggerak tanpa mesin pembakaran internal tambahan. Baterai pada mobil listrik ini dapat diisi ulang melalui teknologi pengereman regeneratif secara internal ataupun dihubungkan dengan stasiun pengisian daya baterai secara eksternal[29]. Pada **Gambar 2.2** terdapat skematik BEV yang terdiri dari baterai sebagai sumber energi mobil, *converter* DC-DC, motor listrik jenis BLDC, transmisi mekanis yang terdapat pengereman regeneratif, *Battery Management System* (BMS) yang terhubung dengan *controller* [30].



Gambar 2.2 Skematik Diagram BEV

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan BEV

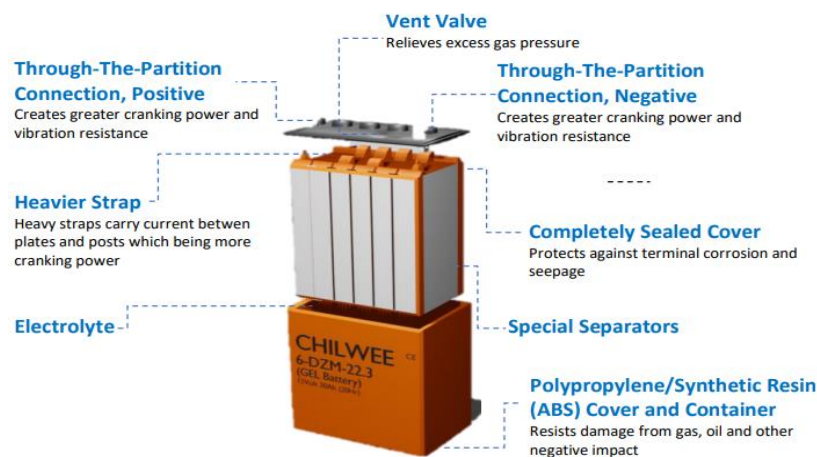
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> – Tidak menghasilkan emisi gas CO₂, dan tidak menyebabkan emisi gas rumah kaca (<i>zero toxic emissions</i>) [31] – Kemungkinan untuk mengisi daya baterai dengan teknologi seperti pengereman regeneratif [32] – Tidak menimbulkan suara mesin yang bising (<i>quite operation</i>) – Biaya perawatan lebih rendah dibandingkan kendaraan ICE – Memiliki keamanan berkendara lebih tinggi – Efisiensi daya lebih tinggi – Lebih mudah diproduksi 	<ul style="list-style-type: none"> – Harga kendaraan BEV relatif mahal – Penggantian baterai cukup sulit karena harganya mahal – Berat baterai cukup besar sehingga berdampak pada berat kendaraan dan kecepatan kendaraan – Dibutuhkan waktu pengisian daya – Stasiun <i>charging</i> baterai masih terbatas – Jarak tempuh yang pendek dan kecepatan rendah [31]

2.2 Baterai Mobil Listrik

Baterai adalah alat penyimpan energi listrik melalui proses elektro-kimia, energi kimia dikonversi menjadi energi listrik (*discharging*) dan energi listrik

dikonversi menjadi energi kimia (*charging*) [33]. Terdapat dua jenis baterai antara lain baterai primer yang tidak dapat diisi ulang sehingga hanya dipakai sekali dan baterai sekunder yang dapat diisi ulang. Jenis baterai yang umumnya digunakan pada mobil listrik adalah baterai *lead acid*[34].

2.2.1 Baterai *Lead Acid*



Gambar 2.3 Struktur Baterai *Lead Acid*

Baterai *lead acid* adalah *rechargeable battery* yang terdiri dari sel galvanic asam timbal yaitu timbal peroksida (PbO_2), timbal spons (Pb), dan asam sulfat encer (H_2SO_4)[35]. Prinsip kerja dari pengosongan (*discharging*) baterai *lead acid* adalah material aktif pada elektroda akan bereaksi dengan elektrolit dan menghasilkan timbal(II) sulfat (PbSO_4) dan air. Pada proses pengisian daya, timbal(II) sulfat kembali menjadi timbal(II) oksida di positif elektroda dan timbal di negatif elektroda[36].

2.3 *Charging*

Charging adalah proses mengalir arus listrik ke baterai, sehingga baterai dapat mengisi kembali energinya dan dapat digunakan kembali seperti semula[37]. Besar arus listrik yang dialirkan bergantung pada kapasitas baterai dan teknologi *charger*. Untuk baterai *lead acid* berkapasitas 12 V, tegangan *charging* ditetapkan antara 13,2 V hingga 14,7 V, atau setidaknya satu volt diatas kapasitas baterai. Tegangan pengisi daya tidak boleh terlalu tinggi ataupun

rendah, jika tegangan terlalu tinggi maka sel baterai akan mengalami elektrolisis[38]. Peristiwa elektrolisis ditandai dengan munculnya gelembung hidrogen dan oksigen pada baterai, hal ini dapat merusak baterai[39]. Namun, jika tegangan *charging* terlalu rendah maka baterai tidak akan terisi daya.

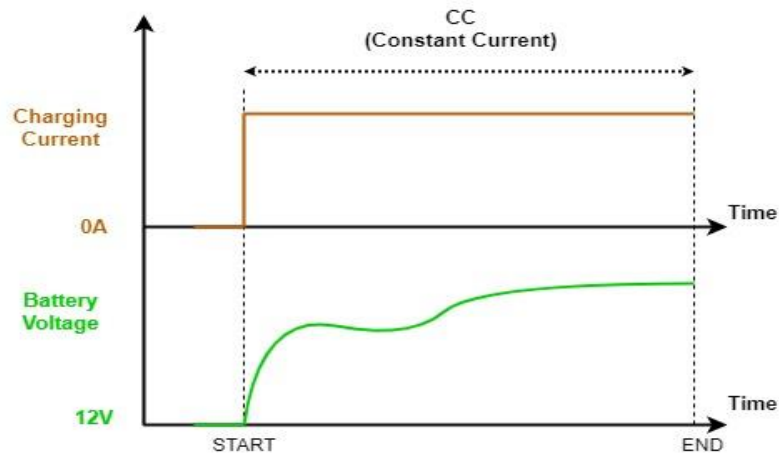
Selain tegangan, hal penting yang harus diperhatikan saat mengisi daya baterai adalah arus *charging*. Arus akan berpengaruh pada durasi pengisian baterai, jika arus terlalu rendah maka *charging* proses akan memerlukan waktu yang lama. Namun, jika arus terlalu tinggi maka akan berbahaya bagi baterai, baterai akan mengalami *overheat* dan *overcharge*, maka dengan alasan keamanan arus pengisian daya ditetapkan 50% dari kapasitas AH baterai[39].

2.3.1 Metode Pengisian Baterai

Metode *charging* adalah teknik yang digunakan pada sistem pengisian daya baterai. Metode inilah yang akan berpengaruh kepada kecepatan pengisian dan pengontrolan baterai. Terdapat beberapa metode pada sistem *charging* kendaraan listrik, di antaranya adalah *Constant Current Charging* (CC), *Constant Voltage Charging* (CV), *Constant Current-Constant Voltage Charging* (CC-CV), *Pulse Current Charging* (PC), dan *Reflex Current Charging* (RC). Diantara kelima metode ini, metode yang termasuk *fast charging* adalah metode CC, CC-CV, PC, dan RC.

2.3.1.1 Constant Current Charging (CC)

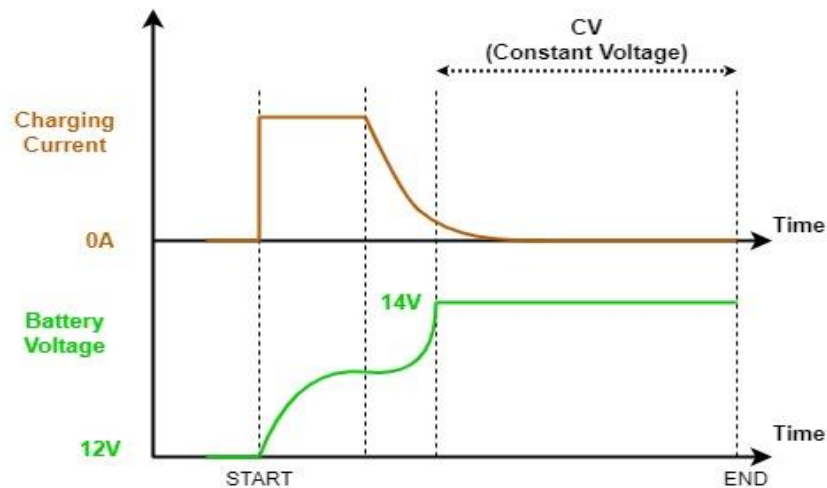
Metode *Constant Current* (CC) adalah teknik pengisian daya baterai yang menggunakan arus yang konstan selama pengisian baterai, hingga tegangan baterai terisi penuh (maksimal). Teknik ini diimplementasikan untuk menguragngi waktu pengisian daya baterai. Namun, metode ini dapat menyebabkan *overcharging* pada baterai[40]. Selain itu, metode ini dapat menghasilkan *overheat* yang akan berpengaruh pada *lifetime battery* Jika arus yang digunakan terlalu besar[11].



Gambar 2.4 Grafik Arus dan Tegangan *Charging* dengan Metode CC[40]

2.3.1.2 *Constant Voltage Charging (CV)*

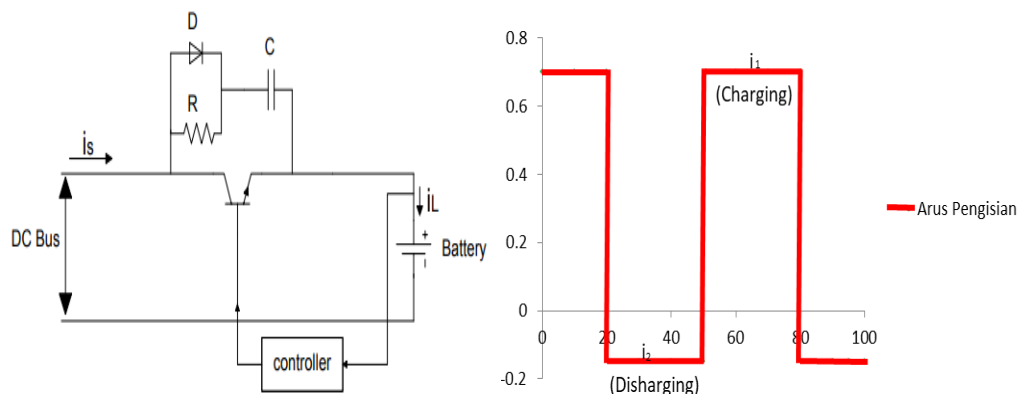
Metode *constant voltage* adalah teknik pengisian daya baterai dimana tegangan pengisian di jaga agar tetap konstan, biasanya menggunakan catu daya. Prinsip kerja metode ini adalah Arus *charging* akan tinggi di awal dan arus secara bertahap turun saat baterai telah mengambil tegangan pada *charger*. Keuntungan dari metode ini adalah metode ini tidak menyebabkan *overheat* karena tegangan pengisian disesuaikan dengan tegangan maksimum baterai dan dijaga konstan. Namun, metode ini dapat merusak baterai jika arus awal pengisian terlalu besar. Metode ini dapat menyebabkan korosi pada baterai akibat dari *float current* (arus yang mengalir pada baterai yang telah terisi penuh demi menjaga baterai dari *discarging* sebelum dipakai) dan menghasilkan durasi *charging* yang lama[40]. Metode CV *charging* cocok digunakan untuk pengisian baterai *lithium* dan *nickle-metal*.



Gambar 2.5 Grafik Arus dan Tegangan *Charging* dengan Metode CV[40]

2.3.1.3 Pulse Charging

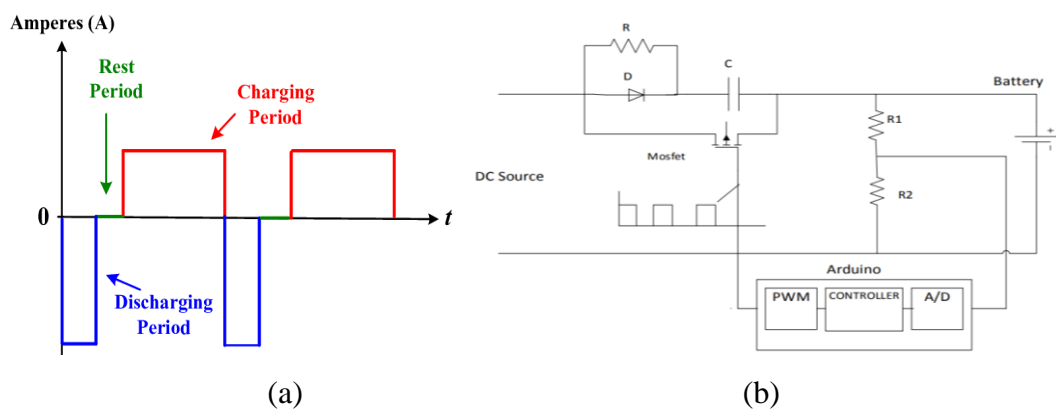
Metode ini merupakan teknik pengisian pada baterai yang memberikan *pulse current* berkala ke baterai[40]. Pada metode ini terdapat dua tahapan yakni tahapan pertama baterai dialiri arus tinggi positif dan tahapan kedua yakni tahapan istirahat dimana tidak ada arus yang dialiri ke baterai demi peningkatan elektrolit proses. Kedua tahapan ini berulang terus menerus sehingga membentuk *pulsed*. Metode *pulsed* ini dapat menggantikan plat sulfat yang diperlukan pada frekuensi tinggi[11]. Metode ini juga dapat digunakan untuk memulihkan baterai yang mati. Namun, kekurangan dari metode ini adalah efisiensi pengisian daya.



Gambar 2.6 Sirkuit dan Grafik Arus *Charging* dengan Metode *pulse*[11]

2.3.1.4 Reflex Method

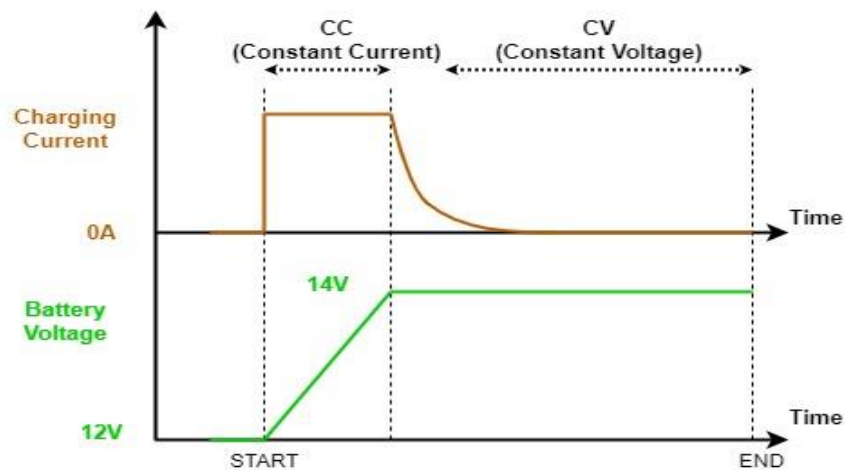
Hampir sama dengan *pulsed charging*, metode *reflex* menggunakan tiga tahapan yakni tahapan pertama baterai dialiri arus positif, tahapan kedua arus keluar dari baterai (*discharging*), dan tahapan ketiga adalah tahapan istirahat dimana tidak ada arus yang mengalir masuk ataupun keluar dari baterai. Metode ini memiliki kelebihan antara lain dapat meningkatkan reaksi kimia elektrolit, mengurangi tekanan internal sehingga dapat meningkatkan *life time* dari baterai [11]. Namun, pengaplikasian metode jarang digunakan karena dapat mengurangi efisiensi *charging* dan memerlukan circuit yang rumit.



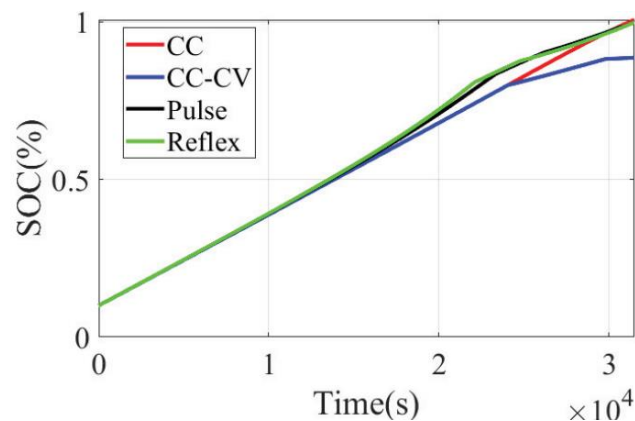
Gambar 2.7 Metode *Reflex* (a) Sirkuit (b) Grafik Arus Metode *Reflex*[11]

2.3.1.5 Constant Current-Constant Voltage Charging (CC-CV)

Metode CC-CV atau biasa di sebut *two step method* adalah kombinasi dari teknik pengisian *constant current* dan *constant voltage*. Prinsip kerja metode ini adalah pada awal pengisian baterai hingga mencapai tegangan maksimum baterai (preset voltage), digunakan mode CC. Setelah baterai penuh metode berganti ke mode CV. Meskipun metode pengisian baterai CC-CV umumnya efektif dan banyak digunakan untuk mengisi baterai *lead acid* dan beberapa jenis baterai lainnya, ada beberapa kekurangan yang terkait dengan ketidakstabilan arus yang dapat terjadi sehingga menyebabkan suhu baterai menjadi tidak terkendali dan dapat mengakibatkan kerusakan pada baterai[40].



Gambar 2. 8 Grafik Arus dan Tegangan CC-CV *Charging*[40]



Gambar 2.9 Perbandingan Durasi *Charging* dengan Metode CC, CC-CV, *Pulse*, dan *Reflex* [18]

Berdasarkan **Gambar 2.9**, yakni perbandingan kecepatan *charging* menurut SOC, metode *reflex* adalah pengisian daya yang paling cepat dan metode CC-CV adalah yang terlama [40]. Metode CC-CV menghasilkan waktu pengisian yang lama karena saat mendekati SOC 100% metode ini berganti ke mode CV sehingga terjadi penurunan arus, pergantian ini bertujuan untuk menghindari *overcharge*, *overheat*, dan kerusakan pada baterai [18].

2.3.2 *State of Charge (SOC)*

State of Charge (SOC) adalah parameter penting dalam pemantauan dan pengelolaan baterai. *State of Charge (SOC)* merupakan persentase parameter besaran energi listrik yang tersimpan di dalam baterai[41]. SOC menggambarkan persentase kapasitas baterai yang masih tersedia saat ini, dan menjadi faktor kritis dalam menentukan kinerja, umur pakai, dan keandalan baterai. Hasil *State of Charge (SOC)* baterai sangat membantu dalam penggunaan mobil listrik sebagai gambaran sisa energi yang dapat dipakai sebelum melakukan pengisian daya baterai kembali[42]. *State of Charge (SOC)* adalah perbandingan energi yang tersisa dengan kapasitas energi maksimum pada baterai. Nilai SOC memiliki rentan nilai 0-1, dengan 0 menyatakan baterai dalam keadaan kosong, sedangkan 1 merupakan kondisi baterai dengan keadaan penuh. Selain itu, nilai *state of charge* juga bisa dinyatakan dalam bentuk persentase, 0%-100%. Penulis menentukan nilai SOC baterai *lead acid* adalah 0% = 11 Volt dan SOC 100% = 14,5 Volt.

Perhitungan estimasi SOC berperan dalam kinerja baterai untuk menghindari *overcharge* dan *overdischarge* pada baterai yang berakibat pada masa pakai baterai serta *rapid aging* atau kerusakan[43]. Oleh karena itu, pemantauan SOC yang tepat dapat membantu memaksimalkan kinerja baterai karena siklus pengisian dan pengosongan baterai yang berlebihan dapat mempengaruhi umur pakai baterai. Dengan mengetahui SOC, pengguna dapat mengelola pengisian dan pengosongan baterai dengan bijak untuk memperpanjang umur pakai baterai[44], [45]. Selain itu, SOC yang terukur dengan akurat dapat membantu penggunaan energi yang lebih efisien sehingga pemborosan energi dapat dihindari.

Cara yang paling umum memperkirakan persentasi SOC adalah dengan *voltage method*, dimana tegangan baterai menjadi parameter perhitungan estimasi SOC[41]. Dalam metode ini, SOC diestimasi dengan membandingkan selisih tegangan yang telah diukur dengan tegangan minimum baterai (ΔV_{soc}) dengan selisih tegangan total (ΔV) antara V_{min} dan V_{max} . Persamaan ini

mengasumsikan bahwa hubungan antara tegangan dan SOC adalah linier dalam rentang yang digunakan. Tegangan initial pada baterai dibandingkan dengan tegangan saat baterai kondisi penuh. Estimasi SOC dengan metode ini dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$SOC_{(t)} = \frac{\Delta V_{soc}}{\Delta V} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$SOC_{(t)} = \frac{V_t - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana:

V_t = Tegangan intial baterai yang terukur

V_{min} = Tegangan minimal baterai (saat SOC 0%)

V_{max} = Tegangan maksimal baterai (saat SOC 100%)

2.3.3 Smart Charging

Charging adalah proses pengisian kembali energi listrik yang tersimpan di dalam baterai, *battery charger* adalah perangkat yang digunakan untuk mengganti dan mengisi kembali muatan listrik pada baterai[46]. proses tersebut dilakukan dengan cara menghubungkan baterai atau perangkat ke sumber daya eksternal, seperti pengisi daya, sehingga energi dapat mengalir ke dalam baterai dan meningkatkan kapasitas atau tingkat pengisian.

Smart charging adalah pendekatan atau teknologi yang digunakan untuk mengelola dan mengoptimalkan pengisian baterai dengan cerdas. suatu alat pengisi daya dapat dikatakan sebagai *smart charging* apabila memiliki fitur seperti kemudahan pemantauan baterai, estimasi SOC, *life-cycle* baterai, *fast charging*, dll. Dengan menggunakan teknologi dan konsep *smart charging*, proses pengisian baterai dapat dilakukan secara lebih efisien.

Pada laporan akhir ini, *Smart Charging* (SC) diimplementasikan dengan pendekatan algoritma *Ant Colony* berbasis *supervised machine learning*. Hal ini melibatkan pengisian daya empat baterai sekaligus, pemantauan SOC masing-

masing baterai secara *real-time*, dan penemuan pola pengisian arus *charging* yang optimal, sehingga menghasilkan pengisian daya baterai yang cepat dan terkontrol.

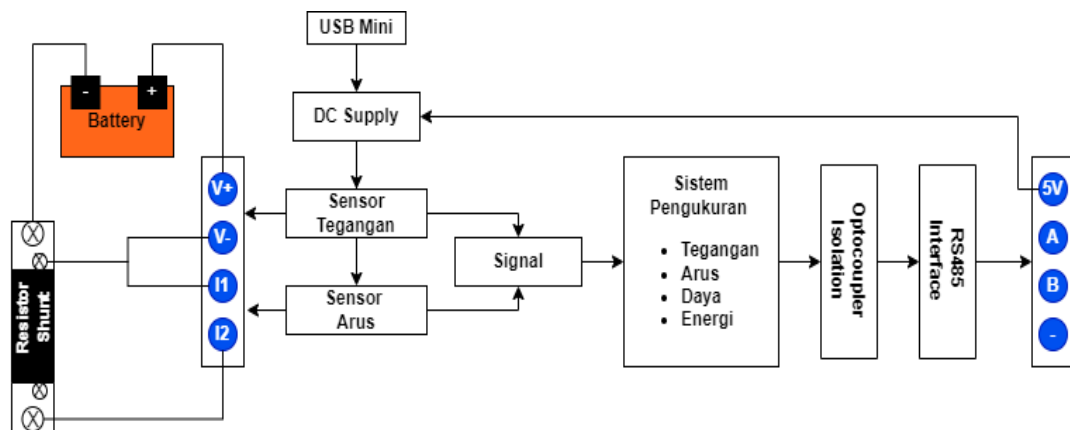
2.3.4 Sistem Kontrol *Charging*

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

2.3.4.1 PZEM-017

PZEM adalah singkatan dari "*Power Zero Energy Monitor*", yang merupakan serangkaian modul sensor energi listrik yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi[47]. Proses pengukuran pada modul PZEM melibatkan pengambilan tegangan dan arus listrik dari sumber yang diukur, kemudian data ini diolah untuk menghasilkan nilai tegangan, arus, daya, energi, dan parameter lainnya yang relevan. Oleh karena itu, di dalam modul pzem terdapat dua jenis sensor yakni sensor tegangan dan sensor arus. Ada banyak jenis modul PZEM dan pada laporan akhir ini sensor PZEM yang digunakan adalah PZEM 017T

Tegangan baterai akan terbaca oleh sensor tegangan pada PZEM dan arus baterai akan terbaca oleh sensor arus modul PZEM. Sinyal analog yang dihasilkan oleh pembacaan tegangan serta arus akan dikonversikan menjadi sinyal digital menggunakan komponen ADC (*Analog-to-Digital Converter*) sehingga sinyal dapat diterima oleh mikrokontroler.



Gambar 2.10 Fungsional Diagram Blok PZEM-017

2.3.4.2 NodeMCU ESP 8266

NodeMCU ESP8266 adalah *system on a chip microcontroller* atau sebuah mikrokontroler yang memiliki semua komponen yang diperlukan untuk menjalankan sistem tertentu di dalam satu *chip* tunggal. ESP8266 memiliki 17 pin GPIO, power dan GND pin, dan I2C pin.

ESP8266 memiliki keunggulan daripada mikrokontroler jenis lainnya yaitu terintegrasi dengan modul Wi-Fi (*Wi-Fi onboard*), sehingga memungkinkan perangkat terhubung ke jaringan Wi-Fi dan memungkinkan penerimaan dan pemantauan data melalui jaringan internet atau dengan prinsip IoT (*Internet of Things*). Selain itu, ESP8266 juga memiliki kapasitas memori yang lebih besar dibandingkan dengan board Arduino, sehingga menyediakan lebih banyak ruang untuk menyimpan program dan data.

2.4 *Root Mean Square Error (RMSE)*

Root Mean Squared Error (RMSE) adalah akar kuadrat dari rata-rata kuadrat semua error[48]. RMSE adalah salah satu metrik evaluasi yang umum digunakan dalam statistika, ilmu data, dan pembelajaran mesin untuk mengukur sejauh mana model prediksi dan estimasi mendekati nilai-nilai sebenarnya. RMSE mengukur perbedaan antara nilai-nilai yang diprediksi oleh sistem dengan nilai-nilai sebenarnya dalam perhitungan atau *datasheet*. Lebih spesifik, RMSE

menghitung akar rata-rata dari kuadrat selisih antara nilai-nilai prediksi dan nilai-nilai sebenarnya. Semakin rendah nilai RMSE, semakin baik model prediksi dalam menyesuaikan data. Dalam rumus matematis, RMSE didefinisikan sebagai:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (X - Y)^2} \quad (2.3)$$

Di mana ;

n : Jumlah total data

X : Nilai yang sebenarnya

Y : Nilai estimasi (prediksi)

Dalam laporan akhir ini, RMSE digunakan untuk mengukur besar *error* estimasi SOC baterai dengan SOC baterai yang sebenarnya. Rentang RMSE yang diperbolehkan dalam estimasi SOC baterai dapat bervariasi tergantung pada aplikasi dan tingkat akurasi yang diperlukan. Namun, Semakin mendekati nilai RMSE ke angka nol, maka semakin baik performa model estimasi SOC tersebut.

2.5 Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) adalah salah satu metrik yang digunakan dalam statistik dan *machine learning* untuk mengukur kesalahan atau deviasi antara nilai yang diprediksi (estimasi) dan nilai yang sebenarnya. Skor MAE diukur sebagai rata-rata dari nilai kesalahan absolut. Absolut adalah fungsi matematika yang membuat bilangan menjadi positif atau biasa disebut mutlak. Perbedaan antara nilai yang diharapkan dan nilai yang diprediksi bisa positif atau negatif, namun baik nilai positif ataupun negatif akan menjadi positif saat menghitung MAE[49].

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |(X - Y)| \quad (2.4)$$

Perbedaan utama antara MAE dan RMSE adalah dari cara pengukuran, MAE mengukur kesalahan dengan menggunakan selisih absolut antara nilai prediksi dan nilai sebenarnya, sehingga setiap kesalahan dihitung secara

independen dan tidak ada perluasan kesalahan ke arah positif atau negatif. Sementara RMSE, mengukur kesalahan dengan menggunakan selisih kuadrat antara nilai prediksi dan nilai sebenarnya, sehingga metrik ini memberikan bobot yang lebih besar pada kesalahan yang lebih besar. Maka dari itu biasanya nilai RMSE suatu sistem akan lebih besar daripada nilai MAE.

2.6 Algoritma *Ant Colony*

Algoritma *Ant Colony* (AC) adalah algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh perilaku semut dalam mencari makanan. Algoritma ini digunakan untuk memecahkan masalah optimasi yang memiliki himpunan solusi lebih dari satu. Algoritma AC banyak digunakan dalam penyelesaian berbagai masalah dalam hal masalah perutean kendaraan (*vehicle routing problem*), penjadwalan tugas (*job scheduling*), desain jaringan (*network design*), dan lainnya. Salah satu keunggulan dari penggunaan algoritma AC terletak pada kemampuannya untuk menemukan solusi terbaik dengan masalah kompleks yang terdiri dari banyak kemungkinan solusi

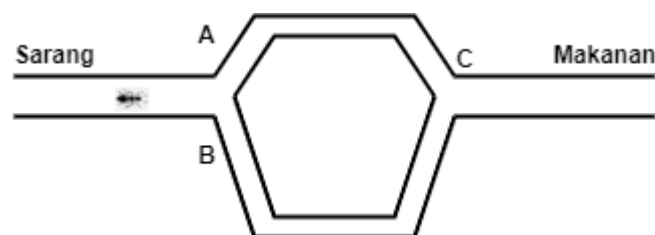
Algoritma *Ant Colony* termasuk pada jenis *swarm intelligence*, algoritma yang menyelesaikan masalah berdasarkan perilaku serangga[21][50]. Sesuai dengan namanya algoritma *Ant Colony* terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam mencari sumber makanan berdasarkan feromon. Semut dapat menemukan jarak terpendek antara sumber makanan dan tempat tinggal mereka karena setiap semut akan meninggalkan zat kimia yang disebut feromon pada jalur yang telah dilalui, feromon inilah menjadi sinyal untuk semut lainnya. Jalur yang terpendek akan menyisakan feromon yang lebih kuat, sehingga semut lainnya akan memilih jalan tersebut. Feromon adalah zat yang berasal dari kelenjar endokrin semut, yang dapat digunakan untuk mengetahui sesama koloninya, mengingat jalan pulang, dan mencari jalan tercepat menuju makanan[22]. Lama-kelamaan feromon pada jalur tersebut menguap, tetapi jalur terbaik akan sering dilalui semut sehingga feromon pada jalur terbaik semakin besar dan feromon pada jalur lainnya menguap sampai habis. Konsep inilah yang banyak diterapkan untuk memecahkan permasalahan yang terdiri dari banyak variabel.

2.6.1 Tahapan Algoritma *Ant Colony*

Tahapan penyelesaian masalah berdasarkan algoritma *Ant Colony* terdiri dari beberapa langkah. Langkah pertama yakni inisialisasi permodelan masalah, langkah kedua yakni pemilihan jalur, ketiga penguapan dan penambahan feromon, tahapan terakhir yakni *update* feromon, langkah tersebut dilakukan secara berulang, hingga didapatkan terminasi jalur terbaik.

2.6.1.1 Inisialisasi

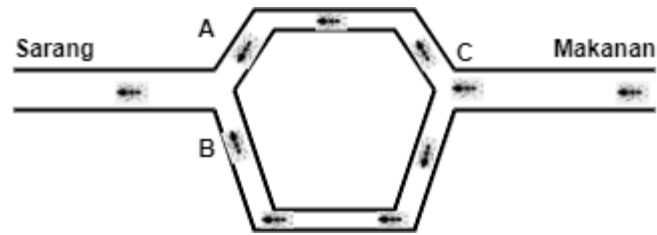
Tahap inisialisasi merupakan tahapan paling awal dalam pemecahan masalah menggunakan algoritma *Ant Colony*, pada tahap ini juga meliputi *problem representation* yakni merepresentasikan masalah yang ingin dipecahkan kedalam bentuk pemetaan jalur semut seperti parameter algoritma, jalur semut, jumlah semut, jumlah iterasi, tingkat feromon awal, dan parameter lain yang relevan. Inisialisasi merupakan tahapan persiapan semua titik dan jalur yang dapat dilalui oleh semut (i,j). Jalur tersebut pasti memiliki jarak antara titik i dan titik j (L_{ij}). Jarak tersebut dapat berupa panjang jalur (m) atau waktu yang digunakan untuk mengetahui jalur tersebut dengan asumsi setiap semut memiliki kecepatan yang sama.



Gambar 2.11 Jalur Semut pada Tahap Inisialisasi *Algoritma Ant Colony*

2.6.1.2 Penyebaran Semut

Semut sejumlah m disebar untuk menganalisa setiap jalur dari titik i ke titik j sehingga meninggalkan feromon awal yang akan digunakan untuk semut lainnya.



Gambar 2.12 Jalur Pesebaran Semut *Algoritma Ant Colony*

2.6.1.3 Pemilihan Jalur

Semut dapat mendeteksi tingkat feromon pada jalur percabangan dan semut cenderung memilih jalur dengan tingkat feromon tinggi. Proses pemilihan jalur tersebut berdasarkan faktor probabilitas. Rumus probabilitas faktor pemilihan jalur tersebut adalah:

$$P_{ij} = \frac{(\tau_{ij}^{\alpha})\eta_{ij}^{\beta}}{\sum(\tau_{ij}^{\alpha})(\eta_{ij}^{\beta})} \quad (2.5)$$

Dimana;

P_{ij} = Peluang terpilihnya jalur i,j

τ_{ij} = Jumlah feromon pada jalur i,j

η_{ij} = *desirability* jalur i,j (biasanya $1/L_{ij}$)

L_{ij} = Jarak jalur i,j

α = Parameter pengontrol pengaruh τ_{ij}

β = Parameter pengontrol pengaruh η_{ij}

Proses pemilihan jalur menggunakan teknik probabilitas ini akan dilakukan secara berulang, sampai ditemukan terminasi jalur terbaik dari permodelan masalah yang akan diselesaikan. Proses pemilihan jalur yang berulang juga diikuti dengan proses penambahan dan penguapan feromon.

2.6.1.4 Penambahan dan Penguapan Feromon

Seiring waktu, feromon pada tiap jalur akan berkurang akibat dari penguapan (*pheromone evaporation*). Proses penguapan akan mengurangi tingkat feromon pada jalur tersebut. Besar penguapan feromon dapat di rumuskan dalam persamaan berikut;

$$\Delta\tau_{ij(a)} = (1 - \rho)\tau_{ij(a)} \quad (2.6)$$

Dimana, ρ merupakan parameter penguapan feromon yang ditetapkan. Setelah penguapan feromon dilakukan ke seluruh jalur, pada jalur yang dipilih oleh semut feromon sejumlah $\Delta\tau^k$ ditambahkan pada jalur yang dipilih. Semut akan menambahkan feromon sejumlah feromon yang dibawanya, yakni kebalikan dari panjang jalur yang dilewatinya

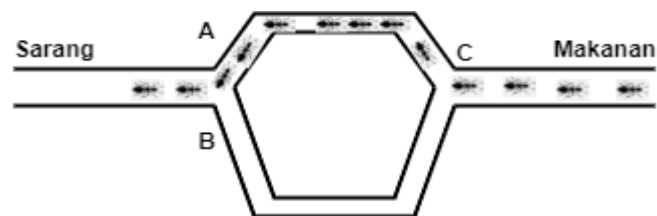
$$\Delta\tau^k = 1/L_{ij} \quad (2.7)$$

2.6.1.5 Update Feromon

Update feromon atau pembaruan tingkat feromon merupakan tahapan yang digunakan untuk menyeleksi dan memilih jalur yang terbaik berdasarkan tingkat feromon baru yang telah menguap dan ditambahkan, sehingga tingkat feromon pada jalur tersebut dapat direpresentasikan pada rumus berikut;

$$\tau_{ij(a+1)} = \Delta\tau_{ij(a)} + \Delta\tau^k \quad (2.8)$$

Proses pencarian jalur dengan algoritma *Ant Colony* selesai jika didapatkan terminasi jalur terbaik yang merupakan jalur yang memiliki tingkat feromon yang tertinggi dan menjadi pilihan semut lainnya untuk dilalui, sehingga jalur lain akan diabaikan.

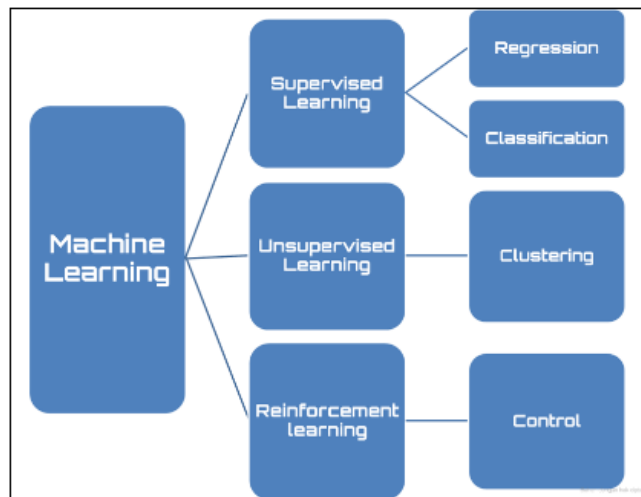


Gambar 2.13 Jalur Terbaik yang Dipilih Semut

2.7 Machine Learning

Machine Learning (ML) atau biasa disebut pembelajaran mesin merupakan sub dari bidang keilmuan kecerdasan buatan. *Machine learning* adalah ilmu mengenai algoritma yang digunakan oleh sistem komputer untuk membuat data tanpa instruksi eksplisit[25]. Metode ML adalah cara membuat komputer

atau perangkat yang dapat belajar dari lingkungan sekitar (*experience*) sehingga memiliki pengetahuan yang berkembang. Algoritma *machine learning* terbagi menjadi tiga kategori yakni *supervised learning*, *unsupervised learning*, dan *reinforcement learning*[51].



Gambar 2. 14 Jenis-Jenis Algoritma *Machine Learning*

2.7.1 *Supervised Learning*

Supervised learning merupakan subkategori *machine learning* yang menggunakan data-data berlabel pada inputnya. Kumpulan sampel data tersebut digunakan untuk mendapatkan karakteristik distribusi perilaku dalam setiap jenis aplikasi sehingga membentuk model perilaku dari data. Metode ini menghasilkan fungsi yang menghubungkan nilai input ke nilai output yang diinginkan melalui pengamatan beberapa contoh (*experince*), dimana setiap data input memiliki data output relatifnya yang digunakan untuk membuat sebuah model prediksi.

Untuk memprogram komputer dengan metode ini, input data dimasukan kedalam set I (vektor), dan data output ditetapkan sebagai set O, kemudian algoritma akan mendefinisikan fungsi (f) yang menghubungkan setiap input dengan jawaban yang sesuai. Alur kerja dari algoritma *supervised learning* dapat dilihat pada gambar berikut.

Berdasarkan sifat data *supervised learning* dikategorikan menjadi dua yaitu *classification* dan *regression*. *Classification* adalah jenis algoritma pemecahan masalah klasifikasi, dimana nilai output data bersifat keanggotaan/non-keanggotaan dari suatu kelas. Namun, jika keluaran berbentuk nilai riil kontinyu dalam rentang tertentu, maka algoritma yang digunakan adalah regresi.

2.7.1.1 Regresi Linier

Regresi adalah suatu metode analisis statistik yang digunakan agar dapat melihat pengaruh antara dua variabel atau lebih. Pada analisa menggunakan metode regresi, variabel dibagi menjadi dua jenis yaitu variabel respons atau biasa disebut variabel dependen (data estimasi atau prediksi) dan variabel independen (data asli). Ada beberapa jenis analisis regresi yaitu regresi sederhana meliputi regresi linier sederhana dan non-linier sederhana dan regresi berganda meliputi linier berganda atau non-linier berganda.

Dalam laporan akhir ini, digunakan regresi linier. Regresi linier adalah salah satu dari jenis analisis prediksi yang sering digunakan pada data berskala kuantitatif (interval atau rasio). Analisis ini berfungsi untuk membuktikan apakah sekumpulan variabel bebas memiliki pengaruh signifikan dalam memprediksi variabel terikat. Regresi jenis ini mencoba untuk memodelkan hubungan linier antara variabel independen dan variabel dependen dengan menggunakan garis regresi. Regresi linier sederhana digunakan sebagai metode analisa, untuk mendapatkan nilai RMSE (*Root Mean Squared Error*) pada estimasi SOC. Pada analisa ini didapatkan persamaan garis linier permodelan regresi linier yakni;

$$y = mx + b \quad (2.10)$$

dimana;

y = Variabel Bergantung

x = Variabel Independen

m = *Coefficient*

b = *Intercept* (Bias)

2.8 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 2.2 Tabel State Of The Art (SOTA)

Penulis	Judul	Metode	Pembahasan	Hasil
Liu, et al. 2005 [23]	<i>Search for an optimal rapid charging pattern for lithium-ion batteries using ant colony system algorithm</i>	<i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	ACO digunakan untuk menemukan pola arus pengisian tercepat pada proses <i>charging</i> baterai <i>lithium-ion</i> Handphone	Sistem dengan ACO dapat mengisi daya baterai lebih cepat dibanding dengan konvensional CC-CV. Selain itu, sistem juga mampu meningkatkan 25% <i>cycle life</i> baterai. [58] [59] [60]
Kumar, et al. 2017 [24]	<i>Search for an optimal rapid charging pattern for lithium-ion batteries using ant colony system algorithm</i>	<i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	ACO digunakan pada sistem <i>fast charging</i> untuk mengurangi jumlah pemakaian daya pada panel surya.	Penerapan ACO pada sistem <i>fast charging</i> menghasilkan peningkatan SOC baterai 0.5% dan pengurangan pemakaian daya sebesar 500W.
Ali, et al. 2022 [52]	<i>A real-time simulink interfaced fast-charging methodology of lithium-ion</i>	<i>Fuzzy Logic Control (FLC)</i>	Pada penelitian ini digunakan metode FLC untuk mengatur besar arus <i>charging</i> dengan membagi nilai arus dan	Penelitian ini menghasilkan sistem <i>charging</i> yang dapat mengisi daya baterai dalam waktu 9,76% lebih cepat daripada

	<i>batteries under temperature feedback with fuzzy logic control</i>		tegangan menjadi 5 <i>membership function</i> . Sehingga dihasilkan sistem <i>fast charging</i> baterai <i>lithium-ion</i>	metode arus-konstan-tegangan-konstan (CC/CV) konvensional
Zheng, et al. 2019 [53]	<i>State of charge Estimation for Power Lithium-ion Battery using a Fuzzy Logic Sliding Mode Observer</i>	<i>Fuzzy Logic Sliding Mode Observer (FLSMO)</i>	Membandingkan metode memprediksi Estimasi SOC yakni FLSMO, <i>Sliding Mode Observer</i> (SMO), dan <i>Extended Kalman Filter</i> (EKF)	Hasil uji perbandingan menunjukkan bahwa algoritma FLSMO lebih unggul daripada SMO dan EKF dalam memprediksi SOC, dengan MAE = 0,82 RMSE =0,97
Tejaswi, et al. 2020 [54]	<i>Artificial Intelligence Based State of Charge Estimation of Li-Ion Battery for EV Applications</i>	<i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	Mengimplementasi metode ANN dalam menentukan estimasi SOC baterai <i>lithium-ion</i>	Metode yang diusulkan mampu menghasilkan estimasi SOC yang akurat dari baterai yang digunakan dalam EV, dengan MAE = 0,5-1,4
Feng, et al. [55]	<i>Improved Sliding Mode Based EKF</i>	kombinasi <i>Weighted Innovation</i>	Menggabungkan <i>second-order RC equivalent circuit</i>	Algoritma yang diusulkan efektif dan dapat meningkatkan

	<i>for the SOC Estimation of Lithium-Ion Batteries</i>	<i>Extended Kalman Filter (WI-EKF) dan Discrete Sliding Mode Observer (DSMO)</i>	<i>model dari baterai lithium-ion dengan kombinasi WI-EKF dan DSMO dalam menentukan estimasi SOC</i>	akurasi estimasi SOC dengan MAE = 0.1276 RMSE = 0.0968
Ren, et al. [56]	<i>A method for state-of-charge estimation of lithium-ion batteries based on PSO-LSTM</i>	<i>long shortterm memory neural network based on particle swarm optimization (PSO-LSTM)</i>	Menggunakan algoritma PSO-LSTM dalam menentukan estimasi SOC dengan membandingkan estimasi tanpa pengaruh kebisingan dan estimasi dengan pengaruh kebisingan	Algoritma yang diusulkan memiliki nilai error yang lebih kecil jika parameter kebisingan digunakan. Hasil sistem tersebut menghasilkan; -Estimasi dengan pengaruh kebisingan MAE = 0.4307 RMSE = 0.5813 -Estimasi tanpa pengaruh kebisingan MAE = 0.3493 RMSE = 0.4540