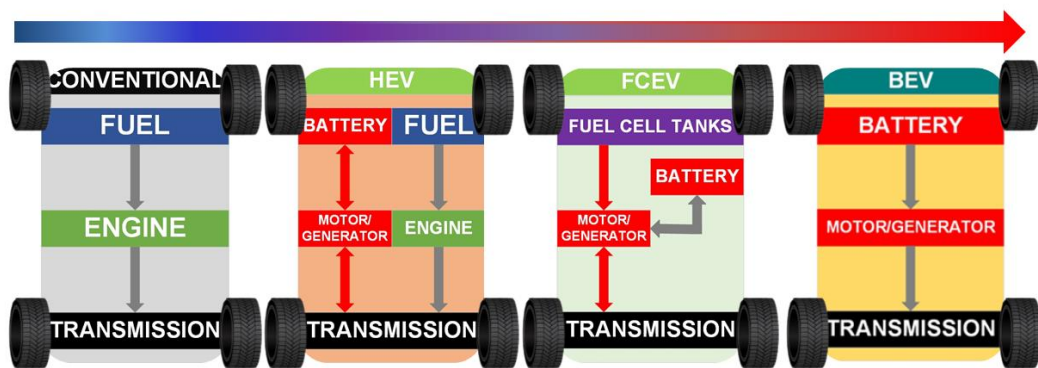


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jenis – Jenis *Electric Vehicle*

Berdasarkan sumber energinya, kendaraan dibagi menjadi empat kategori utama yaitu kendaraan konvensional, HEV, FCEV dan BEV. Kendaraan konvensional dan *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) mendapatkan sumber energi utamanya adalah bensin atau solar, yang merupakan penyumbang utama radiasi karbon di lingkungan. Namun, dibandingkan kendaraan konvensional, tingkat emisi karbon dari HEV lebih rendah karena selain bensin atau solar, karena HEV juga menggunakan baterai sebagai sumber energi. Tipe ketiga dan keempat dikenal sebagai kendaraan tanpa emisi yang masing-masing bergantung pada *hydrogen fuel cell* dan baterai[49]. Adapun kelebihan dan kekurangan dari masing – masing jenis EV ini dimuat pada Tabel 2.2.



**Gambar 2. 1** Jenis – Jenis Kendaraan Berdasarkan Sumber Energinya

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

Jenis	Kelebihan	Kekurangan
HEV[50], [51]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peningkatan efisiensi bahan bakar dan kinerja</li> <li>• Biaya konsumsi bahan bakar yang lebih rendah</li> <li>• Mengurangi emisi CO<sub>2</sub></li> <li>• Pemulihan beberapa energi melalui pengereman regeneratif</li> <li>• Mudah melakukan pengisian ulang dengan stasiun bahan bakar yang ada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biaya awal yang lebih tinggi karena baterai</li> <li>• Hanya mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, bukan menghilangkan sepenuhnya</li> </ul>
FCEV[52]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Zero emissions</i> (Hanya air &amp; panas)</li> <li>• Kendaraan berenergi sangat tinggi</li> <li>• efisiensi tinggi dibandingkan dengan ICE konvensional</li> <li>• Memulihkan energi dari pengereman regeneratif</li> <li>• Tidak ada ketergantungan pada minyak bumi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biaya awal yang lebih tinggi</li> <li>• <i>Hydrogen generation</i> dan masalah keamanan penyimpanan <i>onboard</i></li> <li>• Kurangnya ketersediaan dan keterjangkauan stasiun pengisian bahan bakar hidrogen</li> <li>• Pengembangan standar sedang berlangsung</li> <li>• Skalabilitas untuk pembuatan massal</li> </ul>
BEV[52], [53]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Zero toxic emissions</i></li> <li>• Tidak ada potensi emisi gas CO<sub>2</sub></li> <li>• Kemungkinan untuk memulihkan energi dari pengereman regeneratif</li> <li>• Biaya perawatan dan operasional yang lebih rendah</li> <li>• Lebih mudah untuk di produksi</li> <li>• <i>Quiet operation</i></li> <li>• Pasokan energi dapat dilokalisasi di sebagian besar dunia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harga baterai cukup mahal</li> <li>• Berat baterai berdampak pada berat kendaraan</li> <li>• Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi ulang</li> <li>• Kebutuhan infrastruktur baru (misalnya, pengisi daya)</li> </ul>

## 2.2 Baterai (Accumulator)

Baterai adalah sebuah sel listrik yang mengalami proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensi yang tinggi. Reaksi elektrokimia *reversible* adalah di dalam baterai terdapat proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya energi listrik menjadi energi kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel [15][46].

### 2.2.1 Jenis – Jenis Baterai

Terdapat dua jenis baterai berdasarkan proses yang terjadi, yaitu *primary battery* merupakan baterai yang hanya dapat digunakan sekali dan jika sudah habis masa pakai harus dibuang. Dimana Material elektrodanya tidak dapat berkebalikan arah saat dilepaskan. *Secondary battery* merupakan baterai yang dapat digunakan dan diisi berulang kali, proses kimia terjadi didalam baterai (*reversible*) dan bahan aktif dapat kembali ke kondisi semula pada saat pengisian sel. Baterai sekunder terdapat banyak jenis, diantaranya : *Lead-Acid, Li-Ion, dan Ni-MH*.

#### 2.2.1.1 Baterai Lead-Acid

Baterai *lead-acid* atau asam-timbal terdiri dari sejumlah sel galvanic asam-timbal (sel volta) yang dihubungkan secara seri antara satu sel dengan sel lainnya. Ketika sel asam-timbal menghasilkan listrik (pengosongan) itu mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Dimana 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 [17], [18]. Terdapat banyak jenis baterai lead-acid yang masing masing dirancang untuk aplikasi khusus dengan karakteristik pengosongan dan pengisian yang spesifik. Pada dasarnya baterai lead-acid yang terdapat dipasaran memiliki banyak kesamaan, baik dari sisi bahan aktif yang digunakan, cairan elektrolit, wadah,

proses elektrokimia, dan beberapa komponen lainnya. Baterai lead-acid dibagi menjadi 2 kategori berdasarkan konstruksi. [16][20][21].

**Tabel 2. 2** Karakteristik Baterai Lead Acid

<b>Harga (\$/kWh)[63]</b>	50-150
<b>Tegangan Nominal (V)[64]</b>	2.0
<b>Tingkat Energi (MWh)[63]</b>	0.001-40
<b>Rasio Energi (Wh/kg)[63]</b>	30-50
<b>Kepadatan Daya (W/kg)[64]</b>	180
<b>DOD (%) [63]</b>	70
<b>Efisiensi (%) [63]</b>	70-80
<b>Self-discharge rate (%/bulan)[64]</b>	5
<b>Suhu Kerja (°C)[64]</b>	-20 s/d 50
<b>Masa Pakai (Tahun)[63]</b>	5-15

Baterai VLA merupakan tipe baterai konstruksi dan baterai yang mengandung elektrolit yang bebas bergerak didalam wadah baterai. Saat dilakukan pengisi muatan, asam sulfat dan plat timbal bereaksi untuk menyimpan energi listrik [16]. Baterai VLA merupakan singkatan dari *Vented Lead Acid Battery* atau Baterai asam-timbal berventilasi [55].



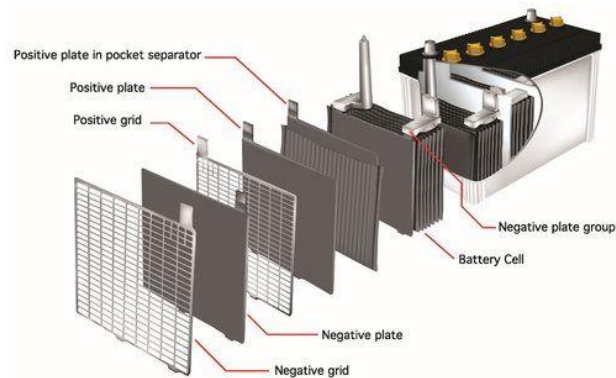
**Gambar 2. 2** Baterai VLA 6 V Deep Cycle [16]

Adapun kelebihan baterai VLA yaitu : harga yang murah, tahan lama (jika dirawat dengan baik dan benar), dan mampu mentoleransi pengisian yang

berlebihan atau *overcharging*. Sedangkan kekurangan baterai VLA yaitu : membutuhkan perawatan rutin yang baik dan benar, terjadi *self-charging* yang tinggi, kondisi peletakkan baterai VLA tidak boleh miring, dan tidak mampu menangani getaran dengan baik [10][16].

Baterai SLA atau *Sealed Lead Acid* umumnya dikenal dengan nama baterai VRLA atau *Valve Regulated Lead-Acid*. Baterai SLA merupakan jenis tipe berdasarkan kontruksi. Penggunaan nama *Sealed Lead-Acid* karena ruangan sel baterai benar-benar tertutup tanpa ada ventilasi atau saluran yang berhubungan dengan udara luar sehingga mampi menahan cairan elektrolit maupun gas hasil reaksi kimia [10][16][22].

Kelebihan baterai SLA yaitu :tidak memerlukan pengisian air sulingan, *self-charging* yang rendah jika dibandingkan dengan tipe VLA, mampu menahan getaran, memiliki waktu pengisian yang lebih singkat, dan lebih aman bagi lingkungan dan untuk digunakan. Adapun lekurangan yaitu : lebih mahal jika dibandingkan jenis VLA, sensitive terhadap pengisian cepat dan pengisian berlebihan, memiliki umur pakai yang pendek jika dibandingkan dengan baterai VLA jika dirawat dengan benar [4], [16], [19]. Baterai SLA terdapat dua tipe utama, yaitu Baterai AGM dan Baterai Gel.

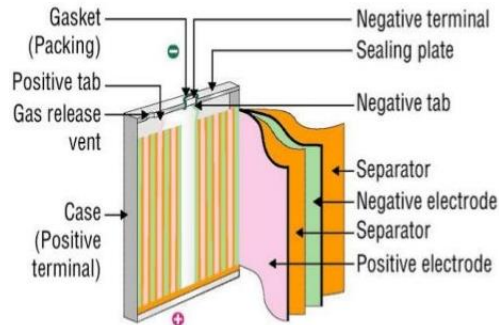


**Gambar 2. 3** Baterai SLA 12 V

### 2.2.1.2 Baterai Lithium-Ion (Li-Ion)

Baterai *Lithium-Ion* merupakan baterai yang digerakkan oleh ion lithium dan dapat diisi ulang yang dinilai sangat menjanjikan. Baterai *Li-Ion* memiliki kapasitas energi yang tinggi, siklus hidup yang Panjang, dan dampak lingkungan

yang rendah [10], [56], [57]. Implementasi baterai *li-ion* digunakan sebagai baterai laptop, *smartphone*, dan kendaraan listrik.



**Gambar 2. 4** Baterai Lithium Ion

### 2.2.1.3 Baterai Nickel-Metal Hydride (Ni-MH)

Baterai *Ni-MH* memiliki komponen yang lebih terjangkau dan ramah terhadap lingkungan [56]. Baterai *Ni-MH* menggunakan ion hydrogen untuk menyimpan energi, tidak seperti baterai *li-ion* yang menggunakan *ion lithium*, baterai *Ni-MH* terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium. Baterai ini mengandung komponen logam lain seperti, mangan, alumunium, kobalt, zirconium, dan vanadium. Logam tersebut memiliki fungsi sebagai penangkap hydrogen yang dilepaskan [10], [55], [58].

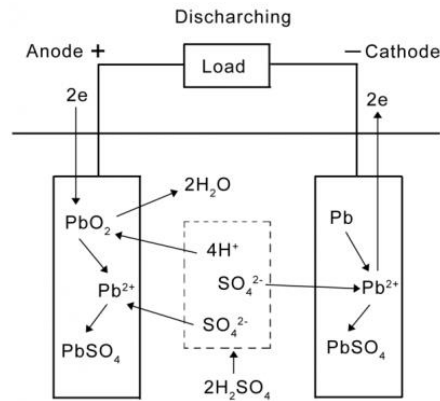


**Gambar 2. 5** Baterai NiMH

### 2.2.2 Cara Kerja Baterai

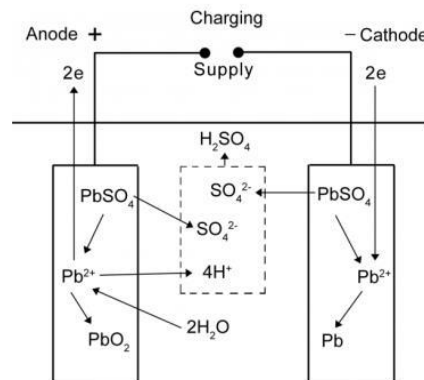
Pada pengisian ulang baterai terdapat dua reaksi kimia yaitu pengosongan (*discharge*) dan pengisian (*charge*). Reaksi kimia yang terjadi pada proses pengosongan adalah proses ketika baterai menghasilkan listrik. Proses

pengosongan merupakan proses dimana terjadi pergerakan electron, sedangkan pergerakan electron itulah disebut listrik. Ketika sel terisi penuh, maka plat positif menjadi timbal peroksida ( $\text{PbO}_2$ ) dan plat negative menjadi timbal ( $\text{Pb}$ ). Ketika elektroda dihubungkan ke suatu beban, sel akan melakukan pengosongan (*discharge*), electron mengalir ke arah yg berlawanan dengan proses pengisian (*charge*) [16][18][19].



**Gambar 2. 6** Reaksi Kimia pada Saat Pengosongan Baterai [16]

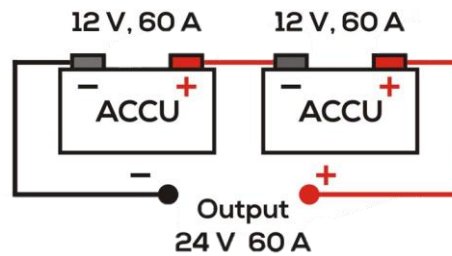
Selanjutnya reaksi kimia selama proses pengisian (*charge*) adalah reaksi redoks non-spontan ( $E_{(\text{redoks})}^{\text{negative}}$ ) yaitu proses elektrolitik. Reaksi yang terjadi membutuhkan input lebih dari 2 Volt per sel untuk menggerakkan reaksi spontan ke arah sebaliknya. Reaksi redoks non-spontan akan mengubah energi listrik kembali menjadi energi kimia yang disimpan di dalam timbal, timbal peroksida, dan asam sulfat di dalam sel [16][17][19]



**Gambar 2. 7** Reaksi Kimia pada Saat Pengisian Baterai [16]

### 2.2.3 Pengaplikasian Baterai Secara seri dan Pararel

Pada dasarnya alternator menghasilkan sumber listrik dengan arus DC dan di tamping oleh aki. Rangkaian listrik terdiri dari rangkaian seri, paralel, dan gabungan seri paralel. Untuk kendaraan rangkaian yang paling sering digunakan adalah rangkaian seri dan paralel tergantung kebutuhan.



**Gambar 2. 8** Rangkaian Baterai Secara Seri

Apabila dihubungkan secara seri seperti Gambar 2.8 maka tegangan akan bertambah yang dihasilkan dari perjumlahan tiap baterai. Berdasarkan gambar 2.x tegangan setiap aki 12V jika dihubungkan secara seri maka :

$$Vt = 12 V + 12 V = 24 V$$

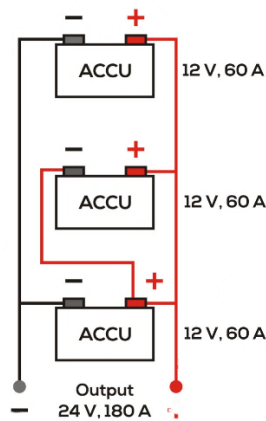
Pada rangkaian seri memiliki tegangan yang lebih besar tetapi arus yang dihasilkan tetap yang tertulis dalam Hukum Kirchoff I “Besaran arus listrik yang mengalir memasuki suatu titik ke suatu persimpangan atau simpul sama dengan besaran arus listrik yang keluar dari titik tersebut”. Pada gambar 2.9 merupakan rangkaian paralel. Jika rangkaian seri memiliki arus yang tetap, rangkaian paralel berkebalikan dengan rangkaian seri. Tegangan pada rangkaian paralel akan tetap dan arus yang akan bertambah seperti bunyi hukum kirchoff I :

$$\sum I_m = \sum I_k$$

Sehingga

$$I_k = 60 A + 60 A + 60 A = 180 A$$





**Gambar 2. 9** Rangkaian Baterai Secara Paralel

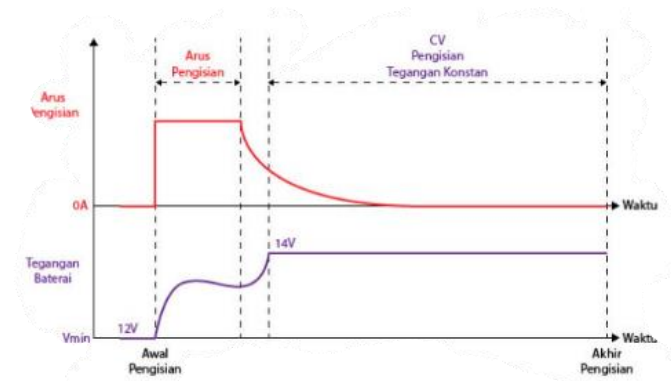
### 2.3 Charging

*Charging* merupakan proses pengisian daya dimana baterai akan dialiri oleh sumber listrik yang nilai tegangannya telah disesuaikan dengan spesifikasi pada baterai. Baterai harus dilakukan sebuah pengisian daya agar dapat digunakan secara terus menerus. Pada saat proses pengisian tegangan pada baterai akan naik hingga tegangan maksimum yang ditunjukkan pada lembar data baterai [59]–[61]. Kapasitas baterai semakin berkurang seiring dengan penggunaan listrik pada beban kelistrikan terutama pada kendaraan listrik. Jika kapasitas baterai rendah, baterai perlu diisi ulang menggunakan *charger* (kadang disebut pengisi daya). Pengisi daya baterai harus menghasilkan tegangan yang sesuai dengan persyaratan baterai, tetapi tidak boleh terlalu tinggi atau terlalu rendah untuk tegangan yang dihasilkan oleh pengisi daya. Untuk baterai timbal-asam umumnya 12 V, tegangan pengisian baterai ditetapkan antara 13,2 hingga 14,7 volt. Atau ada yang menetapkan bahwa tegangan pengisi daya baterai harus setidaknya 1 volt lebih tinggi dari tegangan baterai yang akan diisi. Misalnya, jika tegangan baterai 10 volt, pengisi daya setidaknya harus 11 volt. Jika tegangan suplai DC terlalu tinggi, air dalam sel baterai akan mengalami elektrolisis. Hal ini ditandai dengan munculnya gelembung yang mengandung gas hidrogen dan oksigen dalam jumlah berlebihan. Proses elektrolisis ini menghancurkan sel-sel baterai, sehingga memperpendek masa pakai baterai. Jika tegangan jaringan DC terlalu rendah, baterai tidak akan terisi daya [62]–[64].

### 2.3.1 Metode Charging

#### 2.3.1.1 Constant Voltage

*Constant Voltage* atau pengisian tegangan konstan yang disingkat menjadi CV. Metode pengisian tegangan konstan merupakan metode pengisian baterai *lead-acid* yang paling umum. Metode ini dapat mengurangi estimasi pengisian dan kapasitas baterai hingga 20% akan tetapi metode pengisian tegangan konstan dapat mengurangi efisiensi baterai sekitar 10%. Pada metode ini, tegangan akan dijaga agar tetap konstan pada saat proses pengisian. Arus akan mengalami kenaikan pada saat proses pengisian awal atau saat kondisi baterai kosong dan secara bertahap akan menurun setelah terdapat muatan dari *charger* karena terdapat peningkatan arus balik [16], [18], [19], [65].



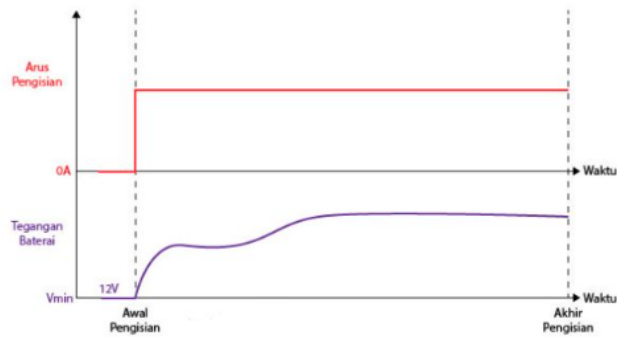
**Gambar 2. 10** Grafik Pengisian Daya Baterai Tegangan Konstan [16]

Pengisian tegangan konstan memiliki beberapa keuntungan, dimana memungkinkan sel dengan kapasitas yang berbeda dan pada saat tingkat pengosongan yang berbeda untuk diisi oleh muatan. Pada saat pengisian konstan arus pengisian akan besar di awal kemudian pada akhir pengisian arus turun menjadi hampir nol sebab tegangan baterai menjadi hampir sama dengan tegangan pengisian. Metode pengisian tegangan konstan memungkinkan untuk pengisian cepat dan layak untuk jenis baterai *lead-acid* tetapi tidak cocok untuk jenis *Ni-MH* atau *Li-Ion*.

#### 2.3.1.2 Constant Current

Pengisian arus konstan atau *constant current* merupakan metode pengisian yang jarang diimplementasikan pada baterai *lead-acid*. Dalam metode

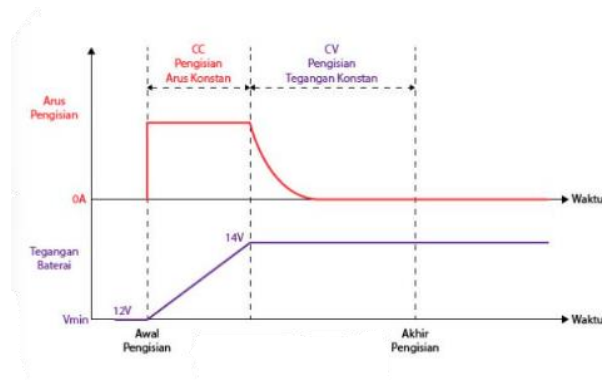
pengisian arus konstan baterai disusun secara seri sehingga membentuk suatu kelompok dari tiap kelompok diisi dari sumber DC yang dibebani oleh *rheostat* (tahanan listrik variabel) [65], [66]. Selama periode pengisian arus akan tetap konstan dengan mengurangi resistansi pada sirkuit saat tegangan baterai naik. 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 ampere pada baterai. Dalam proses pengisian dengan metode arus konstan membutuhkan estimasi waktu yang lebih lama serta berbahaya jika terjadi *overcharging* (pengisian daya berlebih). Metode pengisian ini cocok untuk jenis *Ni-MH* [16], [19], [56].



**Gambar 2. 11** Grafik Pengisian Daya Baterai Arus Konstan [16]

### 2.3.1.3 Constant Voltage-Constant Current

Metode *Constant Current-Constant Voltage (CC-CV)* merupakan metode yang sangat populer akhir-akhir ini. *CC-CV* merupakan kombinasi dari dua metode yang sudah dibahas sebelumnya [16], [26], [60]. Selama proses pengisian, arus dan tegangan dari *charger* harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan pengisian daya. Kemudian arus akan berkurang saat menjelang penuh. Metode *CC-CV* memungkinkan untuk pengisian cepat tanpa adanya resiko *overcharging* dan cocok untuk berbagai jenis baterai [18], [65], [67].



**Gambar 2. 12** Grafik Pengisian Daya Baterai Tegangan Konstan Arus Konstan [16]

## 2.3.2 Jenis Charging

### 2.3.2.1 *Slow Charging*

Proses pengisian baterai lambat atau *slow charging* merupakan jenis pengisian yang sangat direkomendasikan karena dapat memperpanjang umur baterai dan aman bagi baterai. Pengisian lambat biasanya disebut sebagai pengisian normal. Pada pengisian lambat telah ditetapkan arus yang digunakan 10% dari kapasitas baterai [16], [62], [68]. Untuk klasifikasi *slow charging* terdapat level 1 dan level 2. Pada level 1 daya yang dihasilkan 3,7 kW dengan estimasi pengisian 10-15 jam [29]. Penggunaan *charger* level 1 digunakan untuk pengisian mandiri di china, eropa, dan jepang untuk di amerika utara diterapkan pada *plug-in charging* SAE J1772 (*Type 1*) [29], [30], [69]. Sedangkan pada level 2 menghasilkan daya hingga 22 kW dengan estimasi pengisian 3,7-22 jam. Pengimplementasi *charging* level 2 telah diterapkan di China (GB/T 20234 (AC)), Eropa (IEC 62196 (*Type 2*)), Jepang (SAEJ1772 (*Type 1*)), dan Amerika Utara (SAEJ1772 (*Type 1*)) [29].

### 2.3.2.2 *Fast Charging*

Pengisian cepat perlu dihindari kecuali karena keterbatasan waktu yang tersedia. Pengisian cepat dapat mengurangi usia baterai. Walaupun demikian, *charger* terbaru mampu mengatasi efek buruk yang dihasilkan dari pengisian cepat dengan penambahan sistem kontrol atau *smart charger*. *Smart charger* dapat memantau SoC selama pengisian, suhu, dan waktu selama proses pengisian.

Tujuan pengimplementasi *smart charger* untuk menentukan arus pengisian dan menghentikan pengisian. *Fast charger* merupakan kombinasi dari pengisian arus konstan dan tegangan konstan [4], [16], [62]. Untuk klasifikasi *fast charging* terdapat level 3 yang diimplementasikan untuk AC dan DC. Pada level 3 untuk tegangan AC menghasilkan daya antara 22-43,5 kW dengan estimasi pengisian 10-30 menit. Pada *charger* level 3 untuk tegangan AC telah diimplementasikan di China.

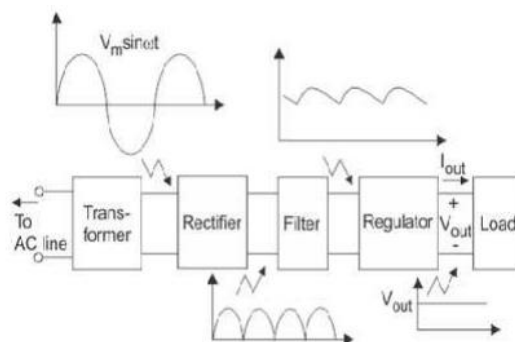
## 2.4 Power Supply

*Power Supply* atau catu daya adalah suatu alat listrik yang dapat menyediakan energi listrik untuk perangkat listrik ataupun elektronika lainnya. Pada dasarnya power supply atau catu daya ini memerlukan sumber energi listrik yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik yang dibutuhkan oleh perangkat elektronika lainnya. Oleh karena itu power supply kadang – kadang disebut juga dengan istilah Electric Power Converter. Berdasarkan fungsinya *power supply* dibedakan menjadi :

1. *Regulated Power Supply*
2. *Unregulated Power Supply*
3. *Adjustable Supply*

### 2.4.1 Regulated Power Supply

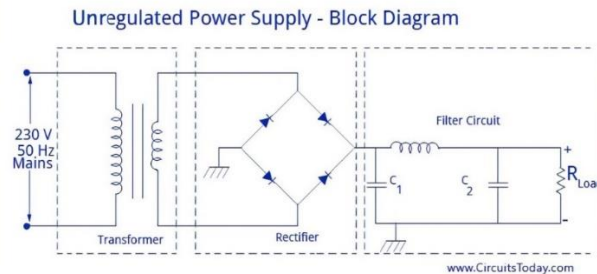
*Regulated Power Supply* adalah *power supply* yang dapat menjaga kestabilan tegangan dan arus listrik meskipun terdapat perubahan atau variasi pada beban atau sumber listrik (Tegangan dan Arus Input).



**Gambar 2. 13** Block Diagram *Regulated Power Supply*

## 2.4.2 Unregulated Power Supply

*Unregulated Power Supply* adalah *power supply* yang tegangan ataupun arus listriknya dapat berubah ketika beban berubah atau sumber listriknya mengalami perubahan.



**Gambar 2. 14** Block Diagram *Unregulated Power Supply*

Terdapat dua topologi pada *Unregulated Power Supply*, yaitu sebagai berikut.

1. *Half Wave Unregulated Power Supply*
2. *Full Wave Unregulated Power Supply*

## 2.4.3 Adjustable Supply

*Adjustable Power Supply* adalah *power supply* yang tegangan atau arusnya dapat diatur sesuai kebutuhan dengan menggunakan Knob Mekanik. Terdapat 2 jenis *Adjustable Power Supply*, yaitu *Regulated Adjustable Power Supply* dan *Unregulated Adjustable Power Supply*. Berdasarkan metode konversinya, power supply dapat dibedakan menjadi

1. DC Power Supply
2. AC to DC Power Supply
3. AC Power Supply
4. Programmable Power Supply
5. Uninterruptible Power Supply (UPS)
6. High Voltage Power Supply
7. Switch Mode Power Supply (SMPS)

## 2.5 *Switch Mode Power Supply (SMPS)*

*Switch-Mode Power Supply (SMPS)* adalah jenis dari *Adjust Power Supply* yang berfungsi untuk menyearahkan (rectify) dan menyaring (filter) tegangan

Input AC untuk mendapatkan tegangan DC. Kemudian, tegangan DC tersebut akan di-*switch ON* dan *OFF* pada frekuensi tinggi dengan sirkuit frekuensi tinggi sehingga menghasilkan arus AC yang dapat melewati Transformator Frekuensi Tinggi.

### **2.5.1 Prinsip Kerja SMPS**

Pertama penyearah dimana tegangan keluaran dari trafo masih berupa pulsa-pulsa frekwensi tinggi dan kemudian dirubah menjadi tegangan dc menggunakan diode penyearah dan filter elco. Kedua konverter, tegangan dc menjadi tegangan keluaran yang sesuai dengan kebutuhan. Ketiga regulasi yaitu membuat agar besarnya tegangan keluaran stabil terhadap perubahan tegangan masukan dan perubahan beban. Keempat isolasi adalah mengisolasi bagian sekunder dari bagian primer, dengan tujuan agar chasis bagian sekunder kalau dipegang tidak timbul bahaya kena sengatan listrik. dan proteksi adalah kemampuan melindungi peralatan dari tegangan keluaran yang over dan melindungi power supply dari kerusakan jika terjadi suatu kesalahan.

### **2.5.2 Kelebihan Penggunaan SMPS**

Power supply yang melakukan konversi daya melalui komponen-komponen yang bersifat rendah rugi-daya-nya (low loss components) seperti kapasitor, induktor, dan transformator dan yang memakai switch-switch yang selalu dalam kondisi on atau off.

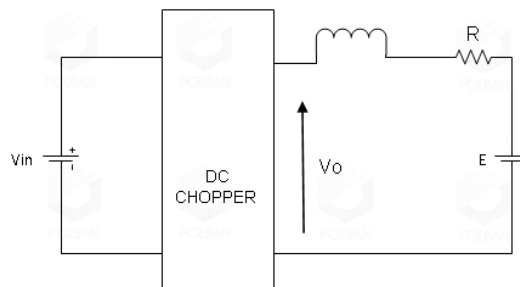
Keuntungan menggunakan power supply switching adalah konversi daya yang dapat dilakukan dengan kebocoran daya yang minimal, artinya efisiensinya tinggi. Seperti contoh di atas, efisiensinya mencapai 80%, artinya daya output adalah 80% dari daya input. Jika inputnya 100 watt, maka outputnya 80 watt. SMPS lainnya dapat mencapai efisiensi hingga 91%.

## **2.6 DC-DC Konverter**

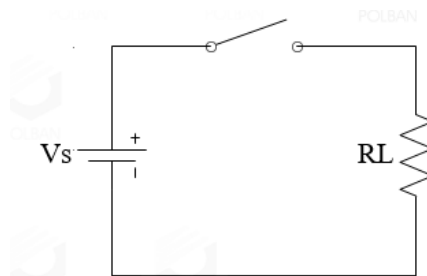
DC-DC konverter merupakan suatu device yang mengubah/mengkonversi energi listrik dari DC ke DC (menaikkan atau menurunkan), tanpa mengubah polaritas dari sumber. DC Konverter

memanfaatkan *charging* dan *discharging* pada inductor, dengan metode switching. *Switch* yang digunakan adalah semikonduktor yang dioperasikan pada frekuensi tinggi seperti transistor BJT atau FET. Penggunaan DC-DC sering diimplementasikan khususnya di industry karena memiliki efisiensi yang tinggi. Biasanya digunakan sebagai pengatur kecepatan motor atau EV dan *charger*.

Secara umum, ada tiga rangkaian (topologi) dasar konverter dc-dc, yaitu buck, boost, dan buck-boost. Rangkaian lain biasanya mempunyai kinerja mirip dengan topologi dasar ini sehingga sering disebut sebagai turunannya. Contoh dari konverter dc-dc yang dianggap sebagai turunan rangkaian buck adalah forward, push-pull, half-bridge, dan full-bridge. Contoh dari turunan rangkaian boost adalah konverter yang bekerja sebagai sumber arus. Contoh dari turunan rangkaian buck-boost adalah konverter flyback.



**Gambar 2. 15** Rangkaian Dasar Konverter DC DC



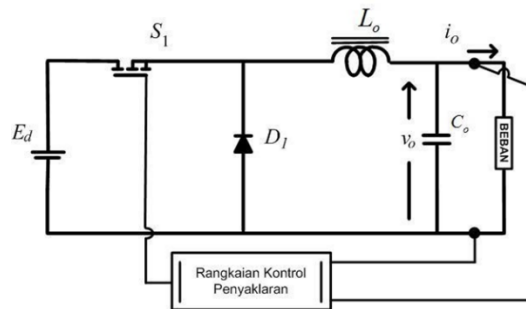
**Gambar 2. 16** Rangkaian Mode Switch Chopper

### 2.6.1 Buck Converter

Konverter jenis *buck* merupakan converter penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2, rangkaian ini terdiri atas satu

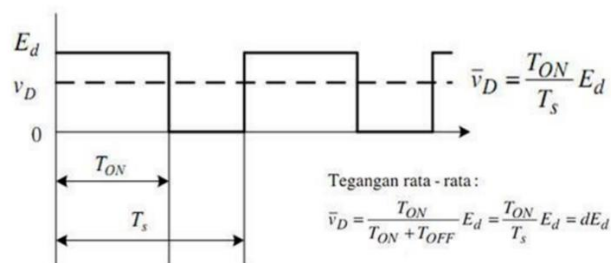


saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (diode), kapasitor dan induktor sebagai tapis keluarannya.



**Gambar 2. 17** Rangkaian *Buck Converter*

Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif (dioda) sering diganti dengan saklar aktif (MOSFET) sehingga susut daya pada saklar bisa dikurangi. Apabila menggunakan 2 saklar aktif, kedua saklar ini akan bekerja secara bergantian, dan hanya ada satu saklar yang menutup setiap saat. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar (saklar konduksi/ON) terhadap periode penyaklarannya. Biasanya nilai faktor daya ini tidak lebih kecil dari 0.2, karena jika dioperasikan pada rasio tegangan yang lebih tinggi, saklar akan bekerja dibawah keandalannya dan menyebabkan efisiensi konverter turun. Untuk rasio ( $V_d/E_d$ ) yang sangat tinggi, biasanya digunakan konverter DC-DC yang terisolasi atau topologi yang dilengkapi dengan trafo.

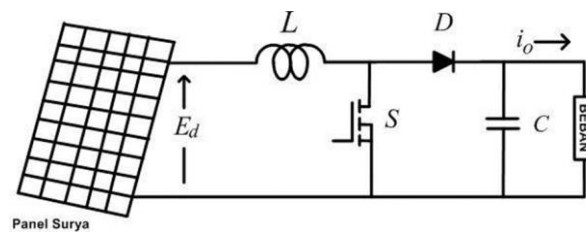


**Gambar 2. 18** Tegangan Rata-Rata *Buck Converter*

### 2.6.2 Boost Converter

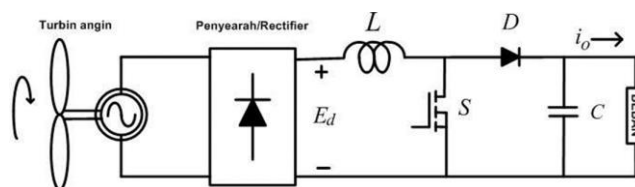
Konverter *boost* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya, atau biasa disebut dengan konverter penaik tegangan. Konverter ini banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pembangkit

listrik tenaga surya dan turbin angin. Skema konverter jenis ini dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4, dimana komponen utamanya terdiri atas MOSFET, dioda, induktor, dan kapasitor. Jika saklar MOSFET pada kondisi tertutup, arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di induktor naik. Saat saklar MOSFET terbuka, arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan converter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar. Keunggulan dari konverter boost adalah mampu menghasilkan arus masukan yang kontiniu.



**Gambar 2. 19** Rangkaian *Boost Converter*

Karena arus masukan konverter dapat dijaga kontinu, pada saat konverter ini diserikan dengan penyearah dioda, konverter ini tidak menimbulkan harmonisa pada arus sumber penyearah dioda. Atau dengan kata lain, arus sumber mempunyai bentuk gelombang mendekati sinusoidal dengan faktor daya sama dengan satu.

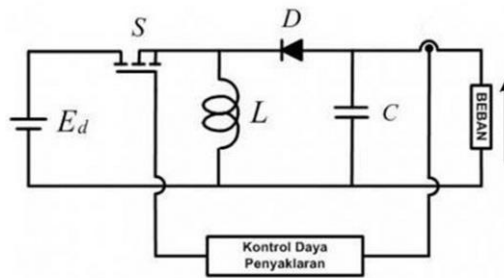


**Gambar 2. 20** Rangkaian konverter DC-DC tipe boost + penyearah dioda (faktor daya satu)

### 2.6.3 Buck-Boost Converter

Konverter *buck-boost* dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi daripada sumbernya. Skema konverter ini dapat dilihat

pada gambar 2.x. Rangkaian kontrol daya penyaklaran akan memberikan sinyal kepada MOSFET. Jika MOSFET OFF maka arus akan mengalir ke induktor, energi yang tersimpan di induktor akan naik. Saat saklar MOSFET ON energi di induktor akan turun dan arus mengalir menuju beban. Dengan cara seperti ini, nilai rata-rata tegangan keluaran akan sesuai dengan rasio antara waktu pembukaan dan waktu penutupan saklar. Hal inilah yang membuat topologi ini bisa menghasilkan nilai rata-rata tegangan keluaran/bebn bisa lebih tinggi maupun lebih rendah daripada tegangan sumbernya.

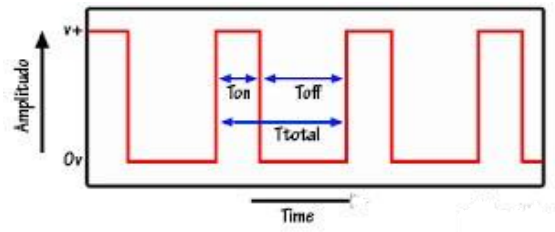


**Gambar 2. 21** Rangkaian *Buck-Boost Converter*

Masalah utama dari converter jenis *buck-boost* adalah membutuhkan tapis induktor dan kapasitor yang besar di kedua sisi masukan dan keluaran konverter, karena konverter dengan topologi seperti ini menghasilkan riak arus yang sangat tinggi. Adapun yang perlu diperhatikan juga disini adalah tegangan keluaran konverter buck-boost bernilai negative atau berkebalikan dengan sumber tegangan masukan.

## 2.7 Pulse Width Modulation (PWM)

*Pulse Width Modulation* (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa Contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa, pengendalian kecepatan motor DC, Pengendalian Motor Servo, Pengaturan nyala terang LED.

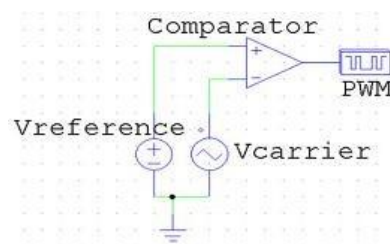


**Gambar 2. 22** Bentuk Sinyal PWM

Keuntungan utama dari PWM adalah bahwa daya yang hilang dalam perangkat switching sangat rendah. PWM juga bekerja dengan baik pada kontrol digital. PWM juga telah digunakan dalam beberapa sistem komunikasi dimana siklus tugasnya telah digunakan untuk menyampaikan informasi melalui saluran komunikasi. Dan keuntungan PWM menggunakan PLC adalah proses pengaturannya lebih mudah. Kekurangan dari PWM yang menggunakan PLC adalah, bahwa harga PLC lebih mahal.

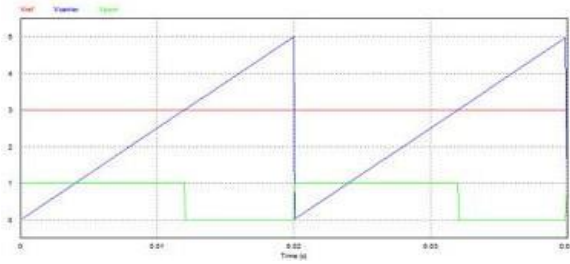
### 2.7.1 PWM Analog

Pembangkitan sinyal PWM yang paling sederhana adalah dengan cara membandingkan sinyal gigi gergaji sebagai tegangan carrier dengan tegangan referensi menggunakan rangkaian op- amp comparator.



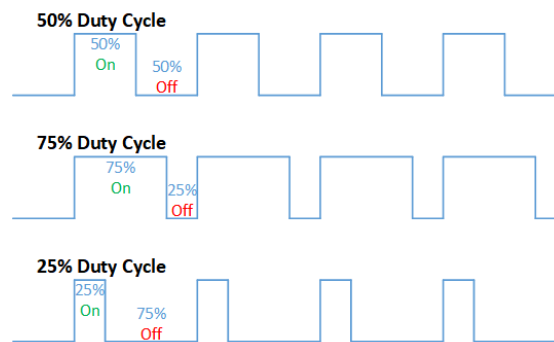
**Gambar 2. 23** Rangkaian PWM Analog

Cara kerja dari komparator analog ini adalah membandingkan gelombang tegangan gigi gergaji dengan tegangan referensi seperti yang terlihat pada Gambar dibawah.



**Gambar 2. 24** Pembentukan Sinyal PWM

Saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan carrier (gigi gergaji) maka output comparator akan bernilai high. Namun saat tegangan referensi bernilai lebih kecil dari tegangan carrier, maka output comparator akan bernilai low. Dengan memanfaatkan prinsip kerja dari komparator inilah, untuk mengubah duty cycle dari sinyal output cukup dengan mengubah- ubah besar tegangan referensi. Besarnya duty-cycle rangkaian PWM ini :



**Gambar 2. 25** Perhitungan *Duty Cycle* PWM

$$T_{Total} = T_{On} + T_{Off}$$

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{Total}}$$

$$V_{out} = \frac{T_{ON}}{T_{Total}} \times V_{in}$$

$T_{On}$  = Waktu Pulse “High”

$T_{Off}$  = Waktu Pulsa “Low”

$D$  = Duty Cycle adalah lamanya pulsa high dalam satu perioda

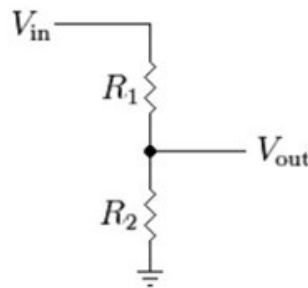
### 2.7.2 PWM Digital

Pada metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi  $2^8 = 256$ , maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili duty cycle 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.

## 2.8 Klasifikasi Sensor Berdasarkan Fungsi dan Penggunaannya

### 2.8.1 Sensor Tegangan DC

Sensor Tegangan DC merupakan sensor yang berfungsi untuk mengukur atau memantau nilai dari tegangan DC yang dihasilkan dari alat yang diukur. Sensor ini mampu mengukur tegangan 0 – 50 V. Sensor tegangan DC menerapkan sistem rangkaian pembagi tegangan.



**Gambar 2. 26** Rangkaian Pembagi Tegangan

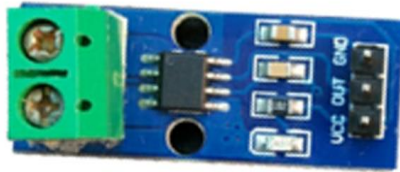
Adapun rumus perhitungan untuk menentukan tegangan output yang akan menjadi input untuk Arduino Uno. Pada penerapatan tegangan output tidak boleh melebihi 5 V sehingga berdasarkan penerapannya  $R_1$  dan  $R_2$  dapat diubah sesuai dengan tegangan maksimum yang akan diukur.

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

### 2.8.2 Sensor Arus ACS 712

Sensor Arus ACS 712 atau biasa disebut dengan *Hall Effect Current* Sensor adalah modul yang berfungsi untuk mendeteksi aliran arus listrik yang melewatinya. Prinsip kerja pada sensor ini yaitu arus yang mengalir melalui kabel

tembaga tersebut menghasilkan medan magnet dan kemudian ditangkap oleh *integrated hall IC* dan selanjutnya diubah menjadi tegangan proporsional.



**Gambar 2. 27** Sensor Arus ACS 712

Adapun spesifikasi dari Sensor Arus ACS 712, yaitu :

1. Sensitivitas output 185 mV/A
2. Bandwidth sampai dengan 80 kHz
3. Tahanan konduktor internal 1,2 m $\Omega$
4. Tegangan kerja 5 VDC
5. Mampu mengukur arus AC atau DC hingga 30 A
6. Rise time output = 5  $\mu$ s
7. Tegangan output proporsional terhadap input arus AC dan DC

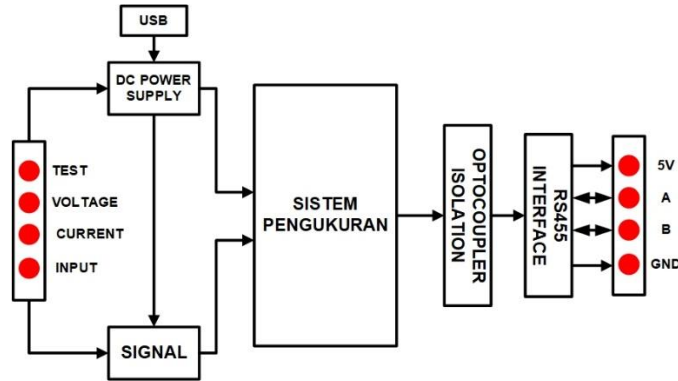
## **2.9 Sistem Monitoring**

Sistem *monitoring* merupakan sistem yang didesain untuk bisa memberikan *feedback* ketika program sedang menjalankan fungsinya. *Feedback* dimaksudkan untuk memberikan informasi atau keadaan sistem pada saat itu. *Monitoring* baterai sangat penting untuk sebagian besar EV, karena keselamatan, pengoperasian, dan bahkan kehidupan penumpang bergantung pada sistem baterai. Oleh karenanya, *monitoring* baterai adalah fungsi utama dari *Battery Management System* (BMS) yang bertujuan untuk memeriksa dan mengontrol status baterai agar tetap dalam kondisi operasi aman yang telah ditentukan[70].

### **2.9.1 PZEM 015 Module [71]**

Modul PZEM 015 digunakan untuk mengukur tegangan DC, arus, daya aktif, frekuensi dan konsumsi energi, dimana data dibaca melalui *display* pada module PZEM 015. ZEM 015 menampilkan 9 data hasil pengukuran diantaranya : arus, tegangan daya, *energy consumption*, impedansi, kapasitas baterai, hambatan dalam, dan durasi waktu pengisian. Untuk pengukuran arus PZEM-015 memiliki

rentang pengukuran 0-300 A. Untuk rentang pengukuran tegangannya 0-200 V. Dan untuk pengukuran daya memiliki rentang pengukuran 0-60 kW, untuk resolusi dan akurasi sama. Untuk konsumsi energi rentang pengukurannya 0-9999 kWh. *Wiring* untuk PZEM 015 *Module* dapat dilihat pada Gambar 2.28.

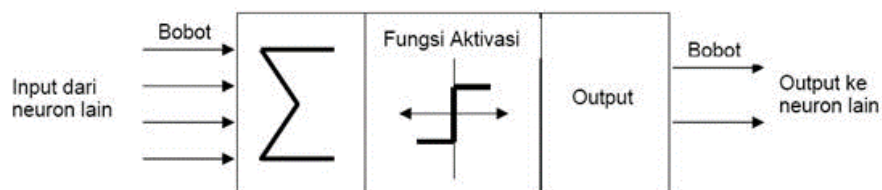


**Gambar 2. 28** *Wiring* PZEM 015

## 2.10 Metode Neural Network

*Neural Network* (NN) atau yang lebih dikenal dengan *Artificial Neural Network* (ANN) adalah alat kecerdasan komputasi yang banyak digunakan untuk pemodelan sistem, anomali, deteksi, prognostik dan klasifikasi [6]. NN terdiri dari neuron yang merupakan satu set pemroses sederhana yang berhubungan seperti kemampuan otak manusia saat memproses informasi dan akuisisi pengetahuan. Karakteristik NN yang menarik adalah dapat menyesuaikan fungsi non-linier pada neuron dan lapisan sehingga dapat mengolah data sistem yang kompleks [6][2].

Metode NN terdiri dari tiga layer, yaitu pertama input layer atau lapisan masukan yang terdiri dari node untuk mempresentasikan variabel masukan. Kedua hidden layer, hidden layer bisa terdiri dari satu atau lebih lapisan dengan node untuk meniru non linier antara masukan dan keluaran dan terakhir yaitu output layer atau lapisan keluaran yang mempresentasikan variable keluaran.



**Gambar 2. 29** Struktur *Neural Network*



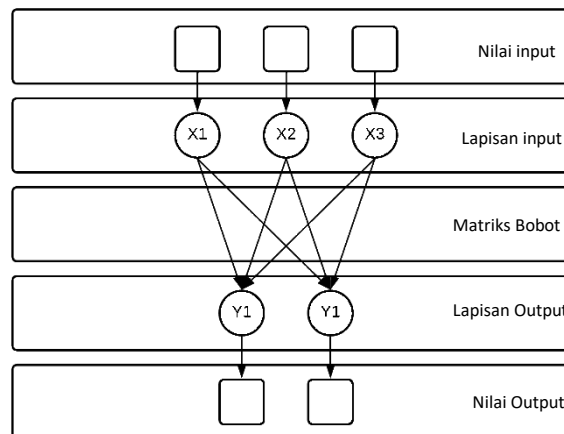
Pada umumnya metode NN di desain dengan tiga fase, yaitu pelatihan (training), pengujian (test) dan validasi (validation). Fase pelatihan dilakukan dengan memanfaatkan kumpulan data yang merepetisi rentang sistem dinamik seluas mungkin untuk menghasilkan pembelajaran (learning) yang akurat.

### 2.10.1 Arsitektur Neural Network

Arsitektur *neural network* merupakan struktur susunan komponen lapisan pada input, *hidden* dan output yang terhubung dengan bobot, fungsi aktivasi dan fungsi pembelajaran. Terdapat 3 macam arsitektur *neural network* sebagai berikut:

#### 1. *Single Layer Network*

Arsitektur single layer ini hanya terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan input dan lapisan output. Lapisan input merupakan lapisan yang menerima sinyal data input sedangkan lapisan output adalah lapisan yang berfungsi menjadi media untuk menghasilkan output. Meskipun memiliki dua lapisan arsitektur ini termasuk kategori arsitektur lapisan tunggal karena lapisan output secara tunggal melakukan komputasi tanpa bantuan lapisan lain antara lapisan input dan lapisan output.

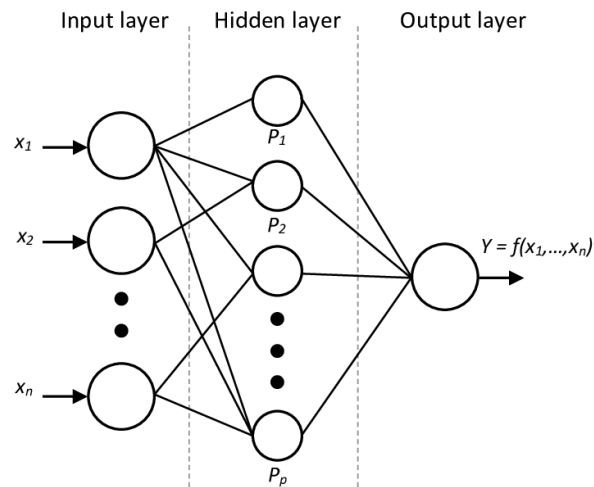


**Gambar 2. 30** Arsitektur *Single Layer Network*

#### 2. *Multi Layer Network*

Arsitektur *multi layer network* adalah salah satu arsitektur *neural network* yang memiliki nilai bobot yang lebih baik daripada arsitektur *single layer network*

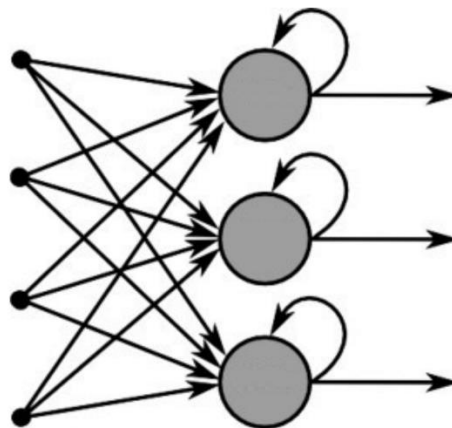
sehingga menghasilkan nilai output yang lebih akurat. Jaringan yang memiliki lapisan tambahan antara lapisan input dan lapisan output yang disebut lapisan tersembunyi (*hidden layer*), lapisan ini memiliki neuron tersembunyi yang melakukan komputasi dari lapisan input menuju lapisan output.



**Gambar 2. 31** Arsitektur *Multilayer Network*

### 3. *Recurrent Neural Network* (RNN)

Arsitektur *recurrent network* memiliki karakteristik yaitu minimal terdapat satu pengulangan umpan balik yang bertujuan meningkatkan kemampuan jaringan dalam mempelajari karakter sementara dari data set yang diberikan. RNN akan memproses data data seperti pada jaringan *multi layer* namun pada lapisan tersembunyi, data yang sudah diproses tidak langsung menuju lapisan output melainkan melewati sebuah loop yang berisi informasi data yang sudah diproses. Sehingga output yang dihasilkan dari jaringan ini tidak hanya mempertimbangkan data input saja namun juga mempertimbangkan data lain yang pernah diproses sebelumnya.



**Gambar 2. 32** Arsitektur *Recurrent Neural Network*

### 2.10.2 Metode Algoritma Pembelajaran

Algoritma pembelajaran adalah algoritma yang digunakan pada proses mesin pembelajaran, dimana system melakukan pembelajaran berdasarkan data. Ada terdapat 3 jenis metode algoritma pembelajaran, yaitu

#### 1. *Supervised Learning*

Algoritma *supervised learning* merupakan algoritma yang paling sering digunakan dalam mesin pembelajaran. Algoritma ini mengidentifikasi fitur secara gamblang dan melakukan prediksi atau klasifikasi yang sesuai. Pada algoritma ini nilai output yang diinginkan sudah diketahui, sehingga nilai output yang dihasilkan pada jaringan ini akan dibandingkan dengan nilai output yang diinginkan (nilai target) yang dimana selisih antara nilai output dan nilai target disebut eror atau galat. Ketika nilai eror yang dihasilkan masih besar, maka harus dilakukan *training* ulang sampai mendapatkan nilai eror yang kecil atau nilai output mendekati nilai target.

#### 2. *Unsupervised Learning*

Algoritma *unsupervised learning* adalah algoritma yang tidak membutuhkan nilai output yang diinginkan dan hanya membutuhkan nilai input. Algoritma ini salah satu tipe algoritma yang digunakan untuk menarik kesimpulan dari data set. Pada algoritma *unsupervised learning* akan mencari pola tersembunyi dari dataset yang tidak membutuhkan proses *training* dan *testing*. Untuk menemukan pola

tersembunyi *unsupervised learning* bekerja dengan menganalisa data yang tidak berlabel dan menentukan korelasinya.

### 3. *Reinforcement Learning*

*Reinforcement learning* merupakan algoritma *mechine learning* untuk mendapatkan sebuah aksi yang tepat. Tipe algoritma ini yang dapat membuat agen *software* dan mesin bekerja secara otomatis untuk mendapatkan aksi yang ideal atau tepat agar membuat performa yang maksimal terhadap algoritmanya. Karakteristik penting dalam algoritma *reinforcement learning* yaitu tidak memerlukan supervisor sehingga hanya menggunakan bilangan real atau disebut reward, pengambilan keputusan diambil secara beruntun. Selain itu, waktu sangat berperan penting dan *feedback* yang diterima selalu tertunda (*relay*). Algoritma ini memiliki dua tipe yaitu positif dan negatif. *Positive reinforcement learning* adalah proses ketika mesin bertindak atas suatu perintah yang diberikan, ini dapat digunakan untuk meningkatkan frekuensi dan kekuatan perilaku yang berdampak baik pada tindakan oleh mesin. *Negative reinforcement learning* adalah penguatan perilaku yang disebabkan kondisi negatif telah dihentikan, algoritma tipe ini membuat perilaku mesin meningkat, bekerja di atas standar minimum dan memaksimalkan kinerja sistem.

#### 2.10.3 Laju Pembelajaran (*Learning Rate*)

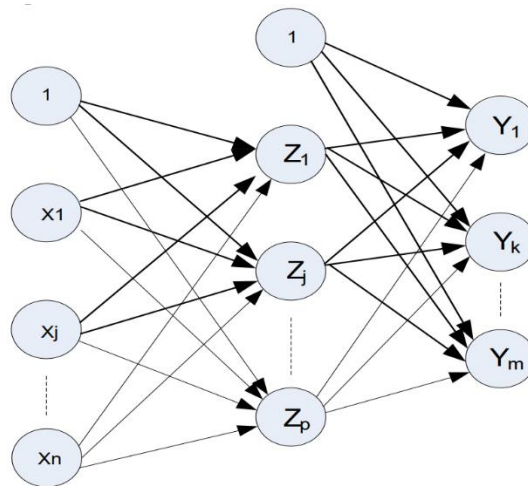
Laju Pembelajaran atau *learning rate* adalah parameter yang berpengaruh pada kinerja suatu jaringan terhadap waktu yang diperlukan dalam proses pelatihan agar mencapai nilai target yang optimal. Nilai *learning rate* ( $\alpha$ ) berada pada interval 0 sampai 1. Pengoptimalan yang dilakukan oleh *learning rate* yaitu merubah nilai bobot agar mendapatkan nilai eror yang kecil. beberapa kasus proses pelatihan membutuhkan iterasi atau pengulangan yang banyak sehingga memakan waktu yang cukup lama pada saat pelatihan. Oleh karena itu, diberikan suatu parameter seperti *learning rate* yang berguna untuk mempercepat iterasi dalam proses pelatihan.

Pertimbangan penting dalam kinerja jaringan adalah *learning rate* yang merupakan laju pembelajaran untuk perubahan bobot pada setiap langkah. Dalam proses pelatihan pemilihan *learning rate* yang besar akan menyebabkan tingkat

akurasi pada jaringan semakin kecil atau dengan kata lain nilai eror yang dihasilkan besar. Hal ini karena jumlah iterasi atau pengulangan pada jaringan semakin sedikit sehingga menyebabkan pola menjadi rusak karena kurangnya pemahaman. Namun sebaliknya jika nilai *learning rate* kecil maka tingkat akurasi semakin tinggi dan nilai eror yang semakin rendah tetapi dengan konsekuensi waktu yang dibutuhkan dalam proses pelatihan akan lama.

#### 2.10.4 Model Jaringan *Backpropagation*

Model *backpropagation* merupakan teknik pelatihan atau pembelajaran *supervised learning* atau pembelajaran terawasi yang digunakan untuk masalah pola-pola kompleks. Ketika jaringan ini diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan, selanjutnya pola tersebut diteruskan ke lapisan tersembunyi untuk menuju unit-unit dilapisan keluaran. Kemudian unit-unit lapisan keluaran akan memberikan respon sebagai keluaran dari jaringan. Ketika hasil keluaran tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka keluaran akan disebarkan secara mundur pada lapisan tersembunyi menuju lapisan masukan.



**Gambar 2. 33** Struktur Jaringan *Backpropagation*

Tahapan pelatihan ini merupakan tahapan untuk melatih jaringan dengan cara melakukan perubahan bobot, sedangkan penyelesaian masalah akan dilakukan pada fase pengujian.

Pada metode ini, lapisan input akan menerima sinyal input dan melakukan komputasi dengan bobot awal yang didapatkan secara acak. Jika nilai

output yang dihasilkan berbeda dengan nilai target maka jaringan akan melakukan penyesuaian terhadap bobot yang ada. Proses ini akan terus dilakukan sampai mendapatkan nilai output yang mendekati nilai target. Waktu yang diperlukan untuk melakukan proses pembelajaran tersebut cukup lama, sehingga pada proses pembelajaran akan dibatasi dan berhenti ketika selisih nilai output dan target sudah mencapai nilai *error* yang kecil. *Learning rate* adalah besarnya penyesuaian nilai bobot pada setiap siklus pembelajaran yang ditentukan oleh parameter.

Adapun pelatihan *backpropagation* adalah dengan tahapan berikut ini :

1. Langkah ke – 0 : Inisialisasi bobot.
2. Langkah ke – 1 : Selama kondisi berhenti bernilai salah, kerjakan Langkah 2 – 9.
3. Langkah ke – 2 : untuk setiap data *training*, lakukan Langkah 3 – 8.

***Feedforward (Umpan Maju)***

4. Langkah ke – 3 : Setiap unit input ( $x_i, i = 1, \dots, n$ ) menerima sinyal input  $x_i$  dan menyebarkan sinyal tersebut ke seluruh unit tersembunyi. Perlu diketahui input  $x_i$  yang digunakan adalah data input *training* yang sudah diskalakan.
5. Langkah ke – 4 : Setiap unit tersembunyi ( $z_j, j = 1, \dots, p$ ) menjumlahkan sinyal input yang sudah bebobot termasuk biasnya.

$$X\_in_j = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \dots\dots\dots (3.1)$$

Selanjutnya menggunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output dari unit tersembunyi.

$$X_j = f(X\_in_j) \dots\dots\dots (3.2)$$

Kemudian mengirimkan sinyal output ke seluruh unit pada unit output.

6. Langkah ke – 5 : Tiap unit output ( $y_k, k = 1, \dots, m$ ), menjumlahkan bobot sinyal input :

$$y\_in_k = w_{0k} + \sum_{i=1}^n x_i w_{ik} \dots\dots\dots (3.3)$$

Selanjutnya menggunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output dari unit output

$$y_k = f(Y\_in_k) \dots\dots\dots (3.4)$$

***Backpropagation of Error (Propagasi Kesalahan)***

7. Langkah ke – 6 : Setiap unit output ( $y_k$ ,  $k = 1, \dots, m$ ) menerima suatu pola target yang sesuai dengan pola input *training* untuk menghitung kesalahan antara target dan output yang dihasilkan.

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{in_k}) \dots\dots\dots (3.5)$$

Faktor  $\delta_k$  digunakan untuk menghitung koreksi *error* ( $\Delta w_{jk}$ ) yang akan dipakai untuk memperbarui  $w_{jk}$ , dimana

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j \dots\dots\dots (3.6)$$

Faktor  $\delta_k$  kemudian dikirimkan ke lapisan yang berbeda pada langkah ke – 7,

8. Langkah ke – 7 : Setiap unit tersembunyi ( $z_j$ ,  $j = 1, \dots, p$ ) menerima input delta yang sudah berbobot

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^n \delta_k w_{jk} \dots\dots\dots (3.7)$$

Kemudian hasilnya dikalikan dengan turunan dari fungsi aktivasi yang digunakan jaringan untuk menghitung koreksi kesalahan, dimana

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad (3.8)$$

Faktor  $\delta_j$  digunakan untuk menghitung koreksi bobot ( $\Delta v_{ij}$ ) untuk memperbarui  $v_{ij}$

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i \quad (3.9)$$

Selain itu juga dihitung koreksi bias ( $\Delta v_{0j}$ ) yang dipakai untuk memperbarui  $v_{0j}$ , dimana

$$\Delta v_{0j} = \alpha \delta_j \quad (3.10)$$

**Adjustment**

9. Langkah ke – 8 : Setiap unit output ( $y_k$ ,  $k = 1, \dots, m$ ) memperbaiki bobot dan bias dari setiap unit tersembunyi.

$$w_{jk\text{baru}} = w_{jk\text{lama}} + \Delta w_{jk} \quad (3.11)$$

Demikian pula untuk setiap unit tersembunyi ( $z_j$ ,  $j = 1, \dots, p$ ) akan memperbarui bobot dan bias dari setiap unit input.

$$v_{ij\text{baru}} = v_{ij\text{lama}} + \Delta v_{ij} \quad (3.12)$$

10. Langkah ke – 9 : Jika *stop condition* telah terpenuhi, maka pelatihan jaringan dapat dihentikan.

Keterangan :

$x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) : Neuron lapisan input

$x_i$	: Sinyal input
$z_j$ ( $j = 1, \dots, p$ )	: Neuron lapisan tersembunyi
$z_j$	: Sinyal lapisan tersembunyi
$y_k$ ( $k = 1, \dots, m$ )	: Neuron lapisan output
$y_k$	: Sinyal output
$v_{0j}$	: Bias dari lapisan input
$v_{ij}$	: Bobot dari lapisan input
$w_{0k}$	: Bias dari lapisan tersembunyi
$w_{jk}$	: Bobot dari lapisan tersembunyi
$t_k$	: Target output
$\delta_k$	: Informasi error lapisan output
$\delta_j$	: Informasi error lapisan tersembunyi
$\alpha$	: Laju pembelajaran

### 2.11 Penelitian Sebelumnya *State of Art (SOTA)*

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan beberapa jurnal sebagai acuan dalam penelitian, yang dimuat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 3** *State of Art* Penelitian Tentang *Fast Charging*

Penulis	Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
Chen <i>et al.</i>	2020	<i>A Fast Charging–Cooling Coupled Scheduling Method for a Liquid Cooling-Based Thermal Management System for Lithium-ion Batteries</i> [41]	Penggunaan metode <i>Neural Network</i> yang digunakan sebagai klasifikasi data atau prediksi data dalam sistem Manajemen Termal Berbasis Pendingin Cairan	Pada penelitian yang mengusulkan model regresi dengan <i>Neural Network</i> untuk penggabungan antara pengisian dan pendinginan cepat mampu menghemat waktu dan biaya selama proses tersebut. Dengan hasil uji regresi mencapai kinerja yang tinggi dengan akurasi 99,353%, 97,332%, dan 98,381%. Serta dari hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai SOC modul baterai meningkat 0,5 setelah 15 menit dari proses <i>fast charging</i> .



Penulis	Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
Tahir <i>et al.</i>	2021	<i>A state-of-the-art review on topologies and control techniques of solid-state transformers for electric vehicle extreme fast charging</i> [32]	Penggunaan Solid State Transormator merupakan salah satu metode untuk melakukan pengisian cepat ekstrim. SST menggantikan metode sebelumnya dengan menggunakan Low Frequency Transformator (LST) yang dinilai lambat dalam pengisian daya	Jika dibandingkan dengan LFT dan HFT biaya yang dibutuhkan SST cenderung relative lebih kecil dari LFT. SST memberikan efisiensi, ukuranm dan biaya yang tinggi. Yang menjadi pertimbangan yaitu perlindungan dan keamanan karena daya yang dihasilkan pada sistem XFC SST sangat tinngi.
Ronanki <i>et al.</i>	2019	<i>Extreme Fast Charging Technology—Prospects to Enhance Sustainable Electric Transportation</i> [29]	Penggunaan <i>Solid State Transformator</i> (SST) yang ditargetkan untuk menjadi Sistem pada XFT. Dengan menampilkan perbandingan antara XFT dan LFT.	Penggunaan SST merupakan salah satu Langkah yang tepat untuk diterapkan dalam XFC karena jika dibandingkan dengan LFT yang memiliki biaya lebih tinggi dibandingkan SST. Serta SST diperkirakan mampu meniru pengisian bahan bakar bensin karena memiliki efisiensi waktu yang tinggi.
Guo <i>et al.</i>	2011	<i>Study on the Fast Charging Method of Lead-Acid Battery with Negative Pulse Discharge</i> [33]	Menggunakan metode pengisian dengan debit pulsa negative, dengan menentukan negative amplitude pulsa serta durasi pulsa negative.	Dengan mengubah muatan arus menjadi pulsa negative memiliki depolarisasi yang lebih baik. Saat menggunakan metode ini amplitude sebesar 85%-115%. Dan durasi pulsa negative 100ms-600ms.

Penulis	Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
Khan <i>et al.</i>	2018	<i>A Comprehensive Review of Fast Charging Infrastructure for Electric Vehicles</i> [34]	Penelitian ini membandingkan metode pengisian secara konduktif dan induktif yang mengikuti tinjauan standarisasi pengisian tentang stasiun <i>fast charging</i>	Terdapat banyak tantangan yang berkaitan dengan integrasi stasiun FC berbasis V2G. Tingginya daya, peningkatan rugi-rugi distribusi dan penurunan kualitas daya. Selain itu juga muncul masalah peningkatan beban jaringan yang muncul pada sifat volatil dari pengisian EV. Berdasarkan banyaknya dampak yang dihasilkan maka dapat disimpulkan bahwa perlu untuk mengembangkan dan memperluas infrastruktur untuk kepentingan pengguna
Al-Ogaili <i>et al.</i>	2020	<i>Integrating internal model controller (IMC) into electric vehicle charger of multiple charging mode: DC and AC fast charging</i> [35]	Metode yang digunakan dalam pengolahan data disimulasikan dalam platform MATLAB/Simulink 2018a. Serta verifikasi dalam bentuk eksperimental menggunakan prosesor sinyal digital (TMS320F28335)	Dari penelitian ini, <i>charging</i> mampu melakukan pengisian cepat AC dan DC. Selain itu, nilai distorsi harmonik total yang di input adalah 1,55% yang harus dipertahankan dalam batas standar. Berdasarkan hasil simulasi dan eksperimental, IMC yang diusulkan dengan algoritma pengontrol tersinkronisasi mampu memberikan tegangan dan arus yang konstan
De Simone <i>et al.</i>	2019	<i>Integration of Stationary Batteries for Fast Charge EV Charging Stations</i> [36]	Konfigurasi ini untuk memisahkan daya jaringan dari daya kendaraan menggunakan beberapa modul baterai. Pengolahan data menggunakan Simulink	Dari penelitian ini sistem tersebut mampu meningkatkan tegangan keluaran DC menggunakan modul baterai dengan tegangan rendah, menyeimbangkan modul baterai dengan mengontrol secara terpisah. Dengan sistem kontrol yang diusulkan mampu untuk meningkatkan daya

Penulis	Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
Sandova <i>et al.</i>	2015	<i>A Bidirectional Series Resonant Matrix Converter Topology for Electric Vehicle DC Fast Charging</i> [37]	Metode dengan converter matriks 3x1 front-end, tangka resonansi seri LrCr dan transformator frekuensi tinggi. Penyearah PWM 1 fasa	Pada penelitian daya baterai MC EV 30kW/500 V disajikan dan mendapatkan hasil berupa pada percobaan awal pada transformator frekuensi tinggi yang diperkecil 500W. Hal tersebut menunjukkan bahwa perangkat semikonduktor dioperasikan dibawah kondisi switching lembut memungkinkan efisiensi tinggi
Chakraborty <i>et al.</i>	2019	<i>DC-DC Converter Topologies for Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Fast Charging Stations: State of the Art and Future Trends</i> [38]	Melakukan perbandingan dari berbagai macam DC-DC Konverter Desain dan evaluasi converter DC-DC untuk BEV dan PHEV.	Adapun hasil dari penelitian ini bahawa <i>Multidevice Interleaved DC-DC Bidirectional Converter (MDIBC)</i> merupakan topologi yang paling cocok untuk BEV dan PHEV berdaya tinggi >10kW. Sedangkan untuk dibawah <10 kW disarankan menggunakan jenis converter Amplitudi sinusoidal, converter DC-DC Z-Source, converter DC-DC Boost
Alhamrouni <i>et al.</i>	2017	<i>Application of DC-DC Converter for E.V Battery Charger Using PWM Technique and Hybrid Resonant</i> [42]	Disimulasikan dengan Matlab Simulink. Penerapan DC Converter serta pengaturan PWM.	Berdasarkan hasil percobaan converter DC-DC dengan Teknik hybrid resonant dan PWM dalam pengoperasiannya membutuhkan kepadatan daya yang tinggi. Kepadatan daya yang tinggi membutuhkan frekuensi yang tinggi dan tegangan yang tinggi selama operasi switching. Untuk menerapkan soft switching masih memerlukan converter resonansi tetapi jika terjadi lonjakan arus hal tersebut tidak dapat dikurangi oleh converter resonansi.

Penulis	Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
Domínguez et al.	2018	<i>Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems</i> [43]	Metode Monte Carlo untuk memodelkan permintaan EV, Algoritme Genetika (GA) mengoptimalkan pemasangan dan pengoperasian stasiun	Dari penelitian tersebut terdapat tiga kasus, simulasi pertama menegaskan bahwa stasiun pengisian EV dapat menguntungkan. Tetapi terdapat ketidaknyamanan utamanya yaitu daya tinggi yang diminta EV. Pemasangan generator terbarukan dapat meningkatkan profitabilitas tetapi memerlukan koneksi ke jaringan atau sistem penyimpanan.
Shi et al.	2017	<i>Constant Current Fast Charging of Electric Vehicles via DC Grid Using Dual Inverter Drive</i> [44]	Metode yang digunakan menghubungkan saluran masuk pengisi daya ke ujung diferensial dari inverter traksi. Dengan pengaturan eksperimental 11kW menggunakan kontrol arus kontan dan penyeimbang energi dari media penyimpanan ganda. Terdapat metode switching yang ditargetkan mampu melemahkan harmonic switching	Pengisian daya terintegrasi yang diusulkan berdasarkan inverter ganda memungkinkan pengisian daya pada rentang tegangan yang lebar. Prototipe laboratorium 11 kW memverifikasi pengisian DC untuk superkapasitor. Adapun hasil berupa kontrol arus dan keseimbangan energi yang efektif diantara kedua bank superkapasitor. Metode switching yang diusulkan mampu melemahkan harmonic switching.
Lu et al.	2019	<i>Device and System-Level Transient Analysis in a Modular Designed Sub-MW EV Fast</i>	Metode melihat Wide-BandGap (WBG) diyakini sebagai salah satu kandidat converter elektrik daya	Dalam penelitian mengusulkan menggunakan pendekatan desain modulan yang mengharuskan untuk membangun modul pengisian 6,6 kW fase

		<i>Charging Station Using Hybrid GaN HEMTs + Si MOSFETs</i> [45]	<p>berefisiensi tinggi dan densitas tinggi digenerasi mendatang tetapi terdapat tantangan berupa biaya tinggi (2x Si). Daya maksimum hanya dimiliki GaN 650 V/60 A. GaN memiliki kelebihan kinerja switching superior dan Si kemampuan arus tinggi.</p>	<p>tunggal. Solusi dari GaN+Si Switch Hybrid telah dievaluasi sepenuhnya. Dimana, waktu tunda antara sinyal GaN dan Si dengan ZVS diamankan, sehingga efisiensi sistem tidak turun dibandingkan penggunaan GaN murni. Selain itu penelitian ini menggandakan driver gerbang, menambah chip penundaan, dan menggunakan tegangan gerbang yg berbeda dan mengadopsi saklar berbeda mengakibatkan keandalannya turun dibanding menggunakan desai Si atau GaN murni. Solusi ini menghasilkan pembuangan panas yang lebih besar</p>
Kim et al.	2000	<i>Fast-charging of a lead-acid cell: effect of rest period and depolarization pulse</i> [46]	<p>Model yang dikembangkan untuk memprediksi kinerja sel dengan mempertimbangkan reaksi solid state pada elektroda negative. Dengan menggabungkan periode istirahat dan pulsa depolarisasi pada biaya tingkat tinggi adalah mungkin untuk menghindari penurunan kinerja sel</p>	<p>Adapun hasil dari penelitian ini yaitu : muatan arus konstan, hambatan dalam sel memiliki efek yang lebih besar pada kinerja muatan dan tegangan sel naik pada akhir pengisian, pada saat waktu istirahat disertakan kenaikan tegangan lebih rendah dengan bertambahnya waktu istirahat menyebabkan nilainya bekurang, dan resistansi internal berkurang dan penerimaan muatan meningkat dengan menggunakan arus berdenyut pulsa depolarisasi</p>

Penulis	Tahun	Judul	Metode	Hasil Penelitian
Sbordone et al	2014	<i>EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm</i> [47]	Metode Energy Saving System (ESS)	Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa tipe prototipe termasuk stasiun pengisian EV dan ESS yang dikelola melalui sistem komunikasi dan kontrol, menunjukkan kinerja yang baik.
Liang et al.	2019	<i>A 12.47 kV Medium Voltage Input 350 kW EV Fast Charger using 10 kV SiC MOSFET</i> [48]	<i>Fast charging</i> dengan tegangan menengah (MV) (12,47 kV) 350 kW menggunakan MOSFET SiC 10 kV.	Pengisian daya cepat EV 350 kW input 12,47 kV menggunakan 10 kV SiC MOSFET dengan kinerja switching yang telah dikarakterisasi melalui uji ganda dan model rugi semikonduktor telah dikembangkan untuk simulasi termal. Sebuah optimasi sistem berbasis simulasi membantu menentukan komponen pasif, frekuensi switching, dan simulasi termal fidelitas tinggi berdasarkan model kerugian serta menunjukkan efisiensi melebihi 98%