

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Mobil Listrik

Mobil listrik adalah salah satu inovasi dalam bidang transportasi yang dirancang untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi dari minyak bumi. Tidak seperti mobil konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil seperti bensin atau solar, mobil listrik beroperasi menggunakan tenaga listrik yang disimpan dalam baterai. Energi listrik ini dapat diisi ulang sehingga membuat mobil listrik menjadi lebih ramah lingkungan dan efisien dalam jangka panjang. Sistem penggerak mobil listrik biasanya menggunakan motor listrik arus searah (DC), yang mampu memberikan performa yang cukup baik dan responsif saat berkendara. Keunggulan utama dari mobil listrik adalah kontribusinya dalam mengurangi emisi gas buang, karena tidak menghasilkan polusi udara selama digunakan. Hal ini tentu sangat penting untuk menjaga kualitas udara dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, terutama di kota-kota besar yang padat kendaraan. Selain itu, penggunaan mobil listrik juga membantu mengurangi konsumsi energi berbasis fosil yang jumlahnya semakin menipis. Dengan kata lain, mobil listrik merupakan salah satu solusi transportasi masa depan yang mendukung upaya pelestarian lingkungan sekaligus efisiensi energi (Fatmawati & Wahyudianto, 2022).



Gambar 2.1 Mobil Listrik
Sumber : (Kristianto purnomo, 2022)

2.2 Bagian-Bagian Mobil Listrik

Mobil listrik memiliki beberapa bagian-bagian penting yaitu *controller*, motor penggerak, *chasis*, *body* dan baterai :

2.2.1 *Controller*

Controller merupakan komponen elektronik yang berfungsi untuk mengatur aliran daya menuju motor listrik. Alat ini mengontrol berbagai aspek operasi motor, seperti kecepatan, torsi, arah putaran, dan dalam beberapa kasus juga berperan dalam proses pengereman. Komponen ini memegang peranan penting dalam berbagai aplikasi, seperti kendaraan listrik roda dua, mobil listrik, forklift, maupun mesin-mesin industri. Perangkat yang ditunjukkan adalah jenis motor *controller* yang dirancang untuk mengendalikan motor listrik tipe DC atau *Brushless DC* (BLDC). Umumnya, motor *controller* ini beroperasi pada tegangan antara 48V hingga 60V DC, dengan arus keluaran berkisar 30 hingga 100 ampere, tergantung dari spesifikasi dan ukuran sistem yang digunakan (Efendi dkk., 2021).



Gambar 2.2 *Controller*
Sumber : (evcomponents.com, 2020)

2.2.2 Motor penggerak

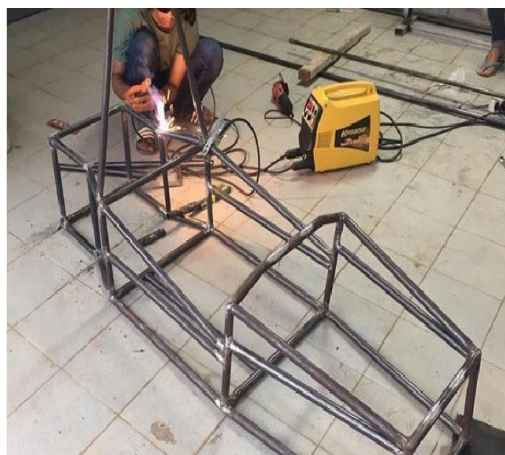
Motor induksi tipe sangkar tupai, dengan spesifikasi 48V 2000W dan 70km/jam dalam kecepatannya, sangat ideal untuk mobil listrik karena keandalannya, ketahanannya terhadap gangguan, minim perawatan, dan kemampuannya beroperasi di kondisi ekstrem. Di sisi lain, sepeda motor listrik umumnya menggunakan motor *Brushless* DC (BLDC) karena efisiensinya dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Penelitian ini berfokus pada kontrol kecepatan motor BLDC dengan metode *Field Oriented Control* (FOC), yang memungkinkan pengaturan torsi dan fluks secara terpisah guna meningkatkan efisiensi. Secara struktur, BLDC memiliki tiga belitan berbentuk Y dengan nilai resistansi dan induktansi yang setara (Amalia dkk., 2023).



Gambar 2.3 Motor Pengerak
Sumber : (Maulana, 2024)

2.2.3 Chasis

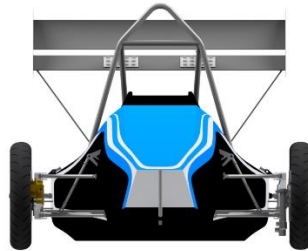
Chasis kendaraan merupakan rangka yang berfungsi sebagai penopang berat kendaraan, mesin penumpang, serta beban-beban lain. Biasanya *chasis* terbuat dari kerangka baja yang memegang *body* dan *engine* dari sebuah kendaraan. Saat proses manufaktur *body* kendaraan dibentuk sesuai dengan struktur *chasis*-nya. *Chasis* mobil biasanya terbuat dari logam atau pun komposit. Bahan non logam banyak digunakan sebagai bagian dari *body* kendaraan, salah satu bahan non logam tersebut adalah *fiberglass* (Toteles, 2021).



Gambar 2.4 *Chasis*
Sumber : (Herdy, 2020)

2.2.4 *Body*

Body pada mobil listrik ini dibuat menggunakan *Fiberglass* yang merupakan bahan paduan atau campuran beberapa bahan kimia (bahan komposit) yang terdiri dari cairan resin (*water glass*), *katalis*, *kalsium karbonat*, *met atau matt*, *cobalt blue*, dan *wax (mold release)* yang bereaksi dan mengeras dalam waktu tertentu. Bahan ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan bahan logam, diantaranya; lebih ringan, lebih mudah dibentuk dan lebih murah (Ramadan dkk., 2025).



Gambar 2.5 *Body*
Sumber : (YACARANDA, 2023)

2.2.5 *Baterai*

Baterai adalah salah satu komponen utama dalam sistem penyimpanan energi, yang berperan untuk menyimpan serta menyalurkan energi listrik melalui proses reaksi kimia di dalamnya. Secara struktur, baterai terdiri atas satu atau lebih sel elektrokimia yang menghasilkan arus listrik melalui mekanisme reaksi redoks, yakni proses kimia yang melibatkan reaksi reduksi (penerimaan elektron) dan oksidasi (pelepasan elektron). Energi listrik yang dihasilkan oleh baterai sangat vital dalam menunjang operasional berbagai perangkat yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaannya mencakup beragam skala dan kebutuhan, mulai dari perangkat elektronik kecil dan portabel seperti smartphone, komputer jinjing, dan kamera digital, hingga sistem energi yang lebih kompleks dan besar

seperti kendaraan listrik, fasilitas penyimpanan energi berbasis energi terbarukan, sistem tenaga cadangan (UPS), serta berbagai alat dan mesin industry (Fadilla dkk., 2020).



Gambar 2.6 Baterai
Sumber : (Herdianto, 2022)

2.3 Pengertian Baterai

Baterai, atau akumulator, merupakan sel elektrokimia yang menjalankan reaksi reversibel dengan tingkat efisiensi tinggi. Reaksi reversibel tersebut memungkinkan terjadinya konversi dua arah antara energi kimia dan energi listrik, di mana pada saat pengosongan muatan terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Baterai memiliki dua terminal, yaitu terminal positif (+) dan terminal negatif (-), yang dihubungkan ke perangkat yang ingin diaktifkan. Ketika baterai dihubungkan ke perangkat, reaksi kimia terjadi di dalam baterai, sehingga menghasilkan arus listrik yang dapat digunakan untuk mengaktifkan perangkat. Energi listrik yang dihasilkan oleh baterai sangat vital dalam menunjang operasional berbagai perangkat yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Baterai memiliki kelebihan seperti portabilitas dan kemudahan penggunaan, namun juga memiliki kelemahan seperti kapasitas terbatas dan risiko keamanan. Teknologi

baterai terus berkembang untuk meningkatkan efisiensi, keamanan, dan ramah lingkungan (Harjono dkk., 2022).

2.4 Fungsi baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi kimia yang dapat diubah menjadi listrik untuk mengaktifkan berbagai perangkat, seperti perangkat elektronik portabel, kendaraan listrik, dan sistem tenaga surya. Baterai juga dapat digunakan sebagai sumber daya cadangan dan penyimpan energi untuk penggunaan di masa depan. Tentunya pada baterai akan terjadi kekurangan daya baterai ketika digunakan secara terus menerus. Sehingga dibutuhkan sistem pengisian ulang pada energi baterai, baik menggunakan adaptor/charger maupun energi matahari. Dengan adanya sistem pengisian ulang melalui Charger dapat membantu manusia dalam menghemat energi dan biaya (Aminah dkk., 2022).

2.5 Jenis – Jenis Baterai Mobil listrik

Jenis-Jenis Baterai pada mobil listrik diantaranya baterai aki, baterai *Ion Litium*(*Li-on* atau *LIB*), baterai *Nickel-Metal Hydride*(*Ni-MH*), baterai *Lithium Polymer*(*Li-Po*), baterai :

2.5.1 Baterai aki

Baterai aki, atau yang juga dikenal sebagai accumulator (accu), merupakan jenis baterai yang paling umum digunakan pada kendaraan bermotor, seperti mobil dan sepeda motor. Baterai ini dikenal karena kemampuannya dalam menyimpan

dan menyediakan energi listrik dalam jumlah yang cukup besar untuk kebutuhan sistem kelistrikan kendaraan. Salah satu keunggulan utama baterai aki adalah sifatnya yang *rechargeable*, artinya dapat diisi ulang setelah energi di dalamnya habis, sehingga sangat praktis dan ekonomis untuk penggunaan jangka panjang. Secara teknis, baterai aki bekerja dengan cara menghasilkan arus listrik ketika dihubungkan dengan rangkaian eksternal. Reaksi kimia yang terjadi di dalam sel baterai menghasilkan tegangan yang dapat dimanfaatkan untuk menghidupkan sistem starter, lampu, klakson, dan perangkat elektronik lain dalam kendaraan. Tak hanya terbatas pada kendaraan berbahan bakar konvensional, baterai aki juga mulai dimanfaatkan dalam sistem kendaraan listrik, di mana baterai berperan sebagai sumber daya utama penggerak motor Listrik.

Kelebihan dan Kekurangan Baterai Aki sebagai berikut :

Kelebihan Baterai Aki:

1. Daya Tahan: Baterai aki memiliki daya tahan yang relatif lama dan dapat menahan beban listrik yang besar.
2. Biaya Rendah: Baterai aki relatif murah dibandingkan dengan jenis baterai lainnya.
3. Mudah Diganti: Baterai aki dapat diganti dengan mudah jika sudah habis atau rusak.
4. Tersedia Secara Luas: Baterai aki tersedia secara luas di pasaran dan dapat ditemukan di banyak tempat.

Kekurangan Baterai Aki:

1. Berat: Baterai aki relatif berat dan dapat mempengaruhi kinerja kendaraan atau perangkat yang menggunakan baterai tersebut.
2. Perlu Perawatan: Baterai aki memerlukan perawatan rutin untuk memastikan kinerjanya tetap optimal.
3. Dapat Meledak: Baterai aki dapat meledak jika tidak dirawat dengan baik atau jika terjadi kesalahan penggunaan.
4. Mengandung Asam: Baterai aki mengandung asam yang dapat berbahaya jika tidak ditangani dengan benar.
5. Siklus Hidup Terbatas: Baterai aki memiliki siklus hidup yang terbatas dan perlu diganti secara berkala (Achlison dkk., 2024).



Gambar 2.7 Baterai Aki
Sumber: (Syarif, 2022)

2.5.2 Baterai *ion litium* (Li-ion atau LIB)

Di dalam baterai ini, *ion litium* bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai *Li-ion* memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai litium non-isi ulang. Baterai *ion litium* umumnya

dijumpai pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, LIB juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara.

Kelebihan dan Kekurangan baterai *ion litium* (Li-ion atau LIB) sebagai berikut :

Kelebihan Baterai *Ion Litium* (Li-ion):

1. Daya Tahan Tinggi: Baterai *Li-ion* memiliki daya tahan yang tinggi dan dapat menyimpan energi listrik dalam jumlah besar.
2. Ringan: Baterai *Li-ion* relatif ringan dibandingkan dengan jenis baterai lainnya.
3. Siklus Hidup Panjang: Baterai *Li-ion* memiliki siklus hidup yang panjang dan dapat diisi ulang beberapa kali.
4. Pengisian Cepat: Baterai *Li-ion* dapat diisi ulang dengan cepat dan memiliki efisiensi pengisian yang tinggi.
5. Tidak Mengandung Logam Berat: Baterai *Li-ion* tidak mengandung logam berat seperti timbal atau merkuri, sehingga lebih ramah lingkungan.

Kekurangan Baterai *Ion Litium* (Li-ion):

1. Biaya Tinggi: Baterai *Li-ion* relatif mahal dibandingkan dengan jenis baterai lainnya.
2. Dapat Meledak: Baterai *Li-ion* dapat meledak jika tidak dirawat dengan baik atau jika terjadi kesalahan penggunaan.

3. Sensitif terhadap Suhu: Baterai *Li-ion* dapat dipengaruhi oleh suhu ekstrem dan dapat mengalami penurunan kinerja jika tidak dioperasikan dalam rentang suhu yang tepat.
4. Perlu Sistem Pengaman: Baterai *Li-ion* memerlukan sistem pengaman untuk mencegah *overcharging* atau *over-discharging* yang dapat menyebabkan kerusakan atau ledakan.
5. Dapat Mengalami Degradasi: Baterai *Li-ion* dapat mengalami degradasi seiring waktu dan penggunaan, yang dapat mempengaruhi kinerjanya (Maulana, 2024).



Gambar 2.8 *Li-ion*
Sumber: (Aszhari, 2021)

2.5.3 Baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH)

Baterai jenis ini dibuat dengan komponen yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan. Baterai Ni-MH menggunakan *ion* hidrogen untuk menyimpan energi, tidak seperti baterai lithium ion yang menggunakan *ion lithium*. Baterai Ni-MH terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium. Baterai ini biasanya mengandung pula komponen logam lain seperti mangan, aluminium, kobalt, *zirconium*, dan *vanadium*.

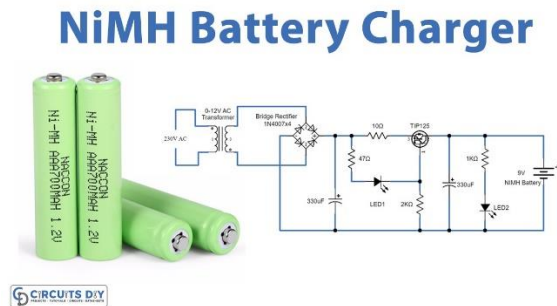
Kelebihan dan Kekurangan Baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH) sebagai berikut:

Kelebihan Baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH):

1. Daya Tahan Tinggi: Baterai Ni-MH memiliki daya tahan yang tinggi dan dapat menyimpan energi listrik dalam jumlah besar.
2. Ramah Lingkungan: Baterai Ni-MH tidak mengandung logam berat seperti timbal atau merkuri, sehingga lebih ramah lingkungan.
3. Siklus Hidup Panjang: Baterai Ni-MH memiliki siklus hidup yang panjang dan dapat diisi ulang beberapa kali.
4. Tahan terhadap *Overcharging*: Baterai Ni-MH dapat menahan *overcharging* dengan baik dan tidak mudah rusak jika diisi ulang secara berlebihan.
5. Biaya Lebih Rendah: Baterai Ni-MH relatif lebih murah dibandingkan dengan baterai *Li-ion*.

Kekurangan Baterai *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH):

1. Berat: Baterai Ni-MH relatif lebih berat dibandingkan dengan baterai *Li-ion*.
2. Pengisian Lambat: Baterai Ni-MH memerlukan waktu pengisian yang lebih lama dibandingkan dengan baterai *Li-ion*.
3. Memori Baterai: Baterai Ni-MH dapat mengalami efek "memori" jika tidak diisi ulang dengan benar, yang dapat mempengaruhi kinerjanya.
4. Daya Tahan Lebih Rendah: Baterai Ni-MH memiliki daya tahan yang lebih rendah dibandingkan dengan baterai *Li-ion*.
5. Suhu Pengoperasian Terbatas: Baterai Ni-MH memiliki rentang suhu pengoperasian yang terbatas dan dapat mengalami penurunan kinerja jika dioperasikan di luar rentang suhu yang tepat (Ramansyah, 2022).



Gambar 2.9 Baterai *NiMH*
Sumber : (Admin, 2024)

2.5.4 Baterai *Lithium Polymer* (Li-Po)

Hampir sama dengan baterai *Li-Ion* akan tetapi baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai LiPo dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai LiPo, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering.

Kelebihan dan Kekurangan Baterai *Lithium Polymer* (Li-Po) sebagai berikut:

Kelebihan baterai Li- Po:

1. Baterai *Lithium Polymer* memiliki massa yang lebih ringan, dan baterai ini dapat dibuat di hampir berbagai ukuran atau bentuk.
2. Baterai *Lithium Polymer* menawarkan kapasitas yang lebih tinggi, yang memungkinkan baterai ini memiliki daya berlebih.
3. Baterai *Lithium Polymer* menawarkan laju discharge yang jauh lebih tinggi.

4. Baterai *Lithium Polymer* memiliki *life-time* yang lebih pendek daripada baterai NiMH. Mereka rata-rata hanya 300- 400 siklus jika dirawat dengan baik.
5. Sifat sensitif dan kimia dari baterai dapat menyebabkan kebakaran, hendaknya baterai mendapatkan punctured dan melepaskannya ke udara.
6. Baterai *Lithium Polymer* membutuhkan perawatan khusus dalam cara mereka dibebankan, dibuang, dan disimpan. Peralatan dapat harga yang mahal.

Kekurangan Baterai *Lithium Polymer* (Li-Po):

1. Dapat Meledak: Baterai Li-Po dapat meledak jika tidak dirawat dengan baik atau jika terjadi kesalahan penggunaan.
2. Sensitif terhadap Suhu: Baterai Li-Po dapat dipengaruhi oleh suhu ekstrem dan dapat mengalami penurunan kinerja jika tidak dioperasikan dalam rentang suhu yang tepat.
3. Perlu Sistem Pengaman: Baterai Li-Po memerlukan sistem pengaman untuk mencegah *overcharging* atau *over-discharging* yang dapat menyebabkan kerusakan atau ledakan.
4. Dapat Mengalami Pembengkakan: Baterai Li-Po dapat mengalami pembengkakan jika diisi ulang secara berlebihan atau jika terjadi kesalahan penggunaan.
5. Biaya Tinggi: Baterai Li-Po relatif mahal dibandingkan dengan jenis baterai lainnya.
6. Siklus Hidup Terbatas: Baterai Li-Po memiliki siklus hidup yang terbatas dan dapat mengalami penurunan kinerja seiring waktu dan penggunaan.

7. Perlu Penanganan yang Hati-Hati: Baterai Li-Po memerlukan penanganan yang hati-hati untuk mencegah kerusakan atau ledakan (Kendali dkk., 2025).



Gambar 2.10 Baterai *Li-Po*
Sumber : (Luan, 2020)

2.5.5 Baterai *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄)

Baterai *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄) adalah salah satu jenis baterai lithium-ion yang menggunakan senyawa lithium iron phosphate (LiFePO₄) sebagai material katoda dan karbon (biasanya grafit) sebagai material anoda. Teknologi ini pertama kali dikembangkan pada awal tahun 1990-an dan kini menjadi salah satu pilihan paling populer dalam berbagai aplikasi energi karena karakteristiknya yang unggul dalam hal keamanan, stabilitas termal, dan masa pakai panjang. LiFePO₄ sering digunakan dalam sistem penyimpanan energi terbarukan (seperti panel surya), kendaraan listrik (EV), sistem cadangan daya (UPS), serta aplikasi industri dan rumah tangga lainnya. Dibandingkan dengan jenis baterai lithium-ion lain seperti NMC (*Nickel Manganese Cobalt*) atau LCO (*Lithium Cobalt Oxide*), baterai LiFePO₄ menonjol karena sifatnya yang lebih aman dan lebih tahan lama, meskipun memiliki kepadatan energi yang sedikit lebih rendah.

Kelebihan dan Kekurangan Baterai *Lithium Iron Phosphate*(LiFePO₄) sebagai berikut:

Kelebihan Baterai *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄):

1. Keamanan Tinggi: LiFePO₄ memiliki stabilitas termal yang tinggi dan tidak mudah terbakar atau meledak.
2. Siklus Hidup Panjang: LiFePO₄ memiliki siklus hidup yang panjang, sehingga dapat diisi ulang beberapa kali.
3. Ramah Lingkungan: LiFePO₄ tidak mengandung logam berat atau bahan kimia berbahaya.
4. Daya Tahan Tinggi: LiFePO₄ memiliki daya tahan yang tinggi dan dapat menyimpan energi listrik dalam jumlah besar.
5. Tahan terhadap *Overcharging*: LiFePO₄ dapat menahan *overcharging* dengan baik dan tidak mudah rusak jika diisi ulang secara berlebihan.

Kekurangan Baterai *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄):

1. Daya Tahan Lebih Rendah: LiFePO₄ memiliki daya tahan yang lebih rendah dibandingkan dengan beberapa jenis baterai *lithium-ion* lainnya.
2. Biaya Lebih Tinggi: LiFePO₄ relatif lebih mahal dibandingkan dengan beberapa jenis baterai lainnya.
3. Suhu Pengoperasian Terbatas: LiFePO₄ memiliki rentang suhu pengoperasian yang terbatas dan dapat mengalami penurunan kinerja jika dioperasikan di luar rentang suhu yang tepat.

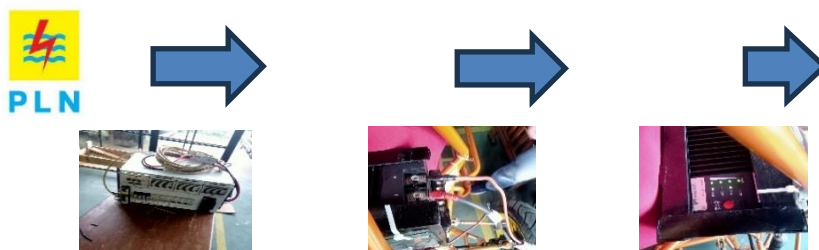
4. Kapasitas yang Terbatas: LiFePO_4 memiliki kapasitas yang terbatas dibandingkan dengan beberapa jenis baterai *lithium-ion* lainnya (Dalam dkk., 2025).



Gambar 2.11 Baterai LiFePO_4
Sumber : (Puspitasari, 2021)

2.6 Sistem Pengisian Daya Baterai

Proses pengisian baterai dimulai dengan masuknya arus listrik AC. Arus tersebut dialirkan ke *charger*, di mana arus AC dari PLN dikonversi menjadi arus searah (DC). Setelah dikonversi, arus DC kemudian disalurkan ke baterai. Ketika baterai telah terisi penuh, sistem relay akan secara otomatis menghentikan aliran listrik untuk mencegah pengisian berlebih. Mekanisme ini berfungsi untuk menjaga baterai tetap dalam kondisi optimal serta menghindari kerusakan akibat *overcharging*. Dengan sistem tersebut, proses pengisian berlangsung secara efisien, aman, dan turut memperpanjang masa pakai baterai (Krishna dkk., 2024).



Gambar 2.12 Sistem Pegisian Daya Baterai