

BAB II

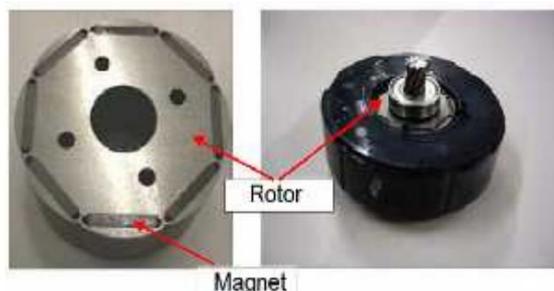
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mobil Listrik

Kemajuan sarana transportasi senantiasa beriringan dengan perkembangan zaman, termasuk penggunaan kendaraan dengan tenaga listrik sebagai sumber energi utama. Mobil listrik, sebagai contoh, dianggap sebagai opsi ramah lingkungan yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Beberapa keunggulan mobil listrik dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar cair meliputi tingkat kebisingan yang rendah, tidak mengeluarkan bau, dan bebas dari emisi asap (Efendi, 2020).

2.2 Motor Listrik BLDC

Motor *Brushless* DC, yang sering disebut sebagai *Motor Electronically Commutated*, merupakan jenis motor sinkron yang menggunakan sumber tenaga dari arus searah. Arus searah ini biasanya diperoleh dari arus bolak-balik yang kemudian diarahkan. Motor *Brushless* DC juga dikenal sebagai Motor DC tanpa sikat, dimana medan magnet dihasilkan oleh rotor dan stator pada frekuensi yang seragam (Masudi, 2014). Rotor BLDC ditunjukkan pada gambar 2.1. Stator BLDC ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.1 Rotor BLDC



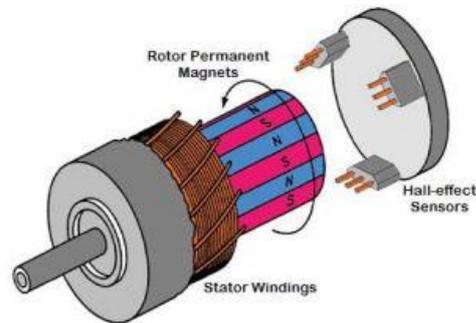
Gambar 2.2 Stator BLDC

Sumber : (Masudi, 2014)

Motor BLDC dengan 12 belitan pada stator dan 8 kutub magnet pada rotor. Menggerakkan motor BLDC, pengetahuan mengenai posisi rotor di dalamnya sangat penting. Posisi rotor ini digunakan untuk mengatur belitan pada stator, yang kemudian diberikan tegangan sesuai dengan polaritasnya untuk menarik atau mendorong magnet pada rotor, sehingga rotor dapat bergerak atau berputar.

Motor BLDC sering diterapkan dalam berbagai sektor, termasuk industri otomotif, kesehatan, dan otomasi *robotic*. Motor ini memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan motor DC konvensional dan motor induksi standar. Motor *Brushless* DC (BLDC) menjadi opsi yang optimal untuk aplikasi yang memerlukan tingkat keandalan tinggi, efisiensi yang optimal, dan rasio daya-volume yang tinggi. (Masudi, 2014).

Motor BLDC berfungsi melalui interaksi gaya tarik antara dua magnet dengan kutub yang berlawanan atau gaya tolak antara dua magnet dengan kutub yang sejenis. Rotor motor BLDC terdiri dari magnet permanen yang tetap, sedangkan stator memiliki belitan yang memungkinkan perubahan kutub magnet tergantung pada polaritas arus yang diberikan pada belitan stator. Ilustrasi konstruksi motor BLDC dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konstruksi Motor BLDC

Sumber : (Masudi, 2014)

Motor BLDC memiliki dua komponen utama, yakni stator dan rotor. Stator adalah elemen yang tidak bergerak dan terdiri dari kumparan 3 fasa yang terlamina pada inti besi, sementara rotor merupakan bagian yang berputar dan terdiri dari sejumlah magnet permanen. (Rizky, 2017).

Perbedaan kunci antara motor DC magnet permanen dan motor sinkron terletak pada cara medan magnet dihasilkan untuk menghasilkan gaya gerak. Pada motor DC magnet permanen, medan magnet yang dapat dikendalikan terletak di rotor, sementara medan magnet yang tetap ada di stator. Sebaliknya, motor BLDC menggunakan pembangkitan medan magnet di stator untuk mengatur gerakannya, dengan medan magnet yang tetap terdapat di rotor.

Kelebihan dari Motor BLDC adalah sebagai berikut :

1. Tingkat efisiensi yang tinggi karena tidak ada kerugian tegangan melalui cincin komutator dan sikat.
2. Perawatan lebih ekonomis karena tidak memerlukan penggunaan sikat seperti pada motor konvensional.

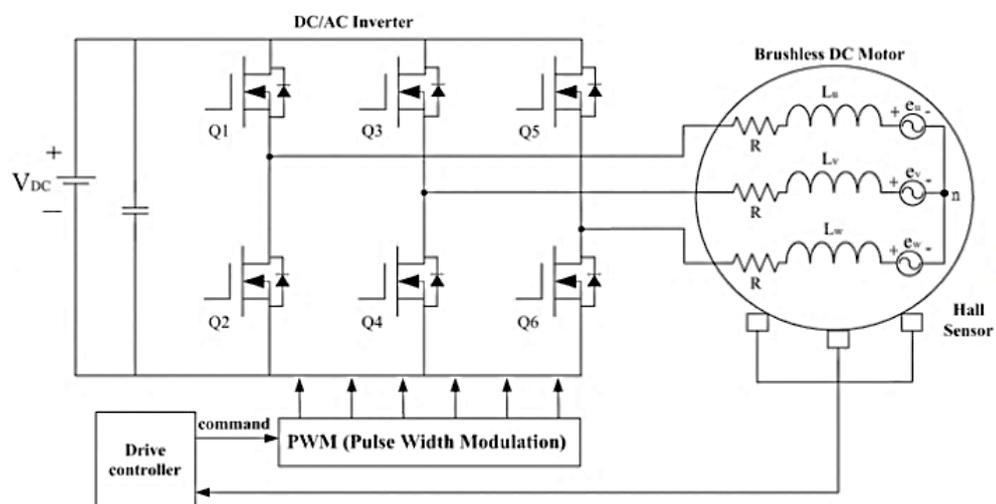
3. Rasio torsi terhadap ukuran lebih besar karena gaya tarik yang dihasilkan oleh stator sepenuhnya diterima oleh rotor yang terbentuk dari magnet permanen.
4. Reduksi tingkat kebisingan karena eliminasi gesekan yang dihasilkan oleh sikat pada motor konvensional.
5. Proses pendinginan lebih sederhana karena kabel pada motor BLDC melekat pada casing, mempermudah implementasi sistem pendinginan. Ini menjadi alasan utama dalam pemilihan motor BLDC untuk operasi jangka panjang seperti pada mobil listrik.
6. Tidak adanya resiko percikan api karena hubungan longgar antara sikat dan komutator pada motor konvensional dapat menyebabkan bahaya, terutama ketika motor digunakan di industri yang rentan terhadap percikan api. Namun, dengan penggunaan motor BLDC yang tidak memiliki komutator dan sikat, risiko percikan api dapat dieliminasi.

Kekurangan dari Motor BLDC adalah :

1. Biaya produksi tinggi karena Motor BLDC melibatkan banyak komponen yang mahal.
2. Pengendalian motor yang kompleks dan memerlukan biaya tinggi karena menggunakan komutator elektronik sebagai pengganti komutator mekanik pada Motor BLDC. Selain itu, sistem pengaturan kecepatan motor BLDC lebih kompleks daripada motor DC konvensional, sehingga juga berdampak pada kenaikan biaya.

2.3 Kontroler Motor BLDC

Pentingnya kontroler dalam motor BLDC mencerminkan perannya sebagai elemen krusial yang mendukung operasi motor tersebut. Kontroler ini bertindak sebagai penyedia sinyal pemicu yang diterapkan pada bagian elektromagnetik (stator) motor BLDC, yang bertujuan untuk mengatur intensitas arus secara tepat sehingga putaran motor dapat dikontrol dengan presisi. Ilustrasi diagram sistem kontroler motor BLDC dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Sistem Kontroler Motor BLDC

Sumber : (Masudi, 2014)

2.4 Baterai

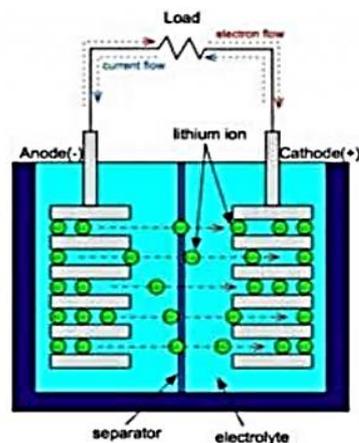
Baterai merupakan suatu unit sel listrik yang mengalami proses elektrokimia yang dapat berbalik dengan tingkat efisiensi yang tinggi, dapat diubah secara reversibel. Proses elektrokimia reversibel ini mencakup konversi bahan kimia menjadi energi listrik saat pengosongan baterai, dan sebaliknya, yaitu transformasi energi listrik menjadi bahan kimia saat pengisian ulang melalui regenerasi

elektroda yang telah digunakan. Hal ini dilakukan dengan mengalirkan arus listrik dalam arah yang berlawanan di dalam sel.

Tipe sel baterai ini dikenal sebagai penyimpanan energi baterai, merupakan baterai yang dapat dipakai secara berulang pada kondisi sumber listrik arus bolak-balik (AC). Setiap sel baterai terdiri dari dua jenis elektroda yang berbeda, yaitu elektroda positif dan elektroda negatif yang direndam dalam larutan kimia.

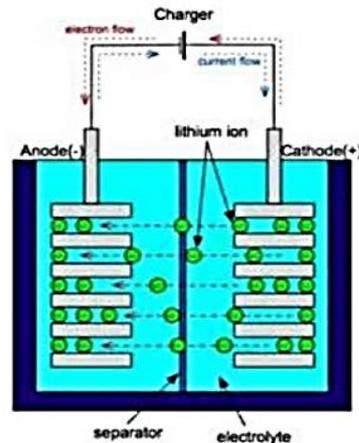
2.4.1 Prinsip Kerja Baterai

Pengosongan sel berjalan sesuai dengan skema yang dilihat pada gambar 2.5. Elektron bergerak dari anoda melalui beban menuju katoda apabila sel terhubung dengan beban disertai dengan pergerakan ion negatif menuju anoda dan ion positif menuju katoda.



Gambar 2.5 Proses Pengosongan Baterai
Sumber : (Bayu, 2015)

Pengisian sesuai dengan skema pada gambar 2.6, Sel dihubungkan dengan sumber daya listrik, elektroda positif berfungsi sebagai anoda, elektroda negatif berperan sebagai katoda. Proses kimia yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 2.6 Proses Pengisian Baterai
Sumber : (Bayu, 2015)

Arus elektron berbalik mengalir dari anoda melalui sumber daya ke katoda. Ion-ion bermuatan negatif bergerak dari katoda ke anoda, ion-ion bermuatan positif berpindah dari anoda ke katoda. Reaksi kimia selama pengisian (*Charging*) merupakan kebalikan dari pengosongan (*Discharging*) (Bayu, 2015).

2.4.2 Jenis-jenis Baterai

Ada dua kategori baterai berdasarkan proses yang terjadi, yakni:

1. *Primary battery*

Baterai yang bersifat disposabel dan hanya dapat digunakan sekali. Material elektrodanya tidak dapat mengalami proses pembalikan arah setelah digunakan.

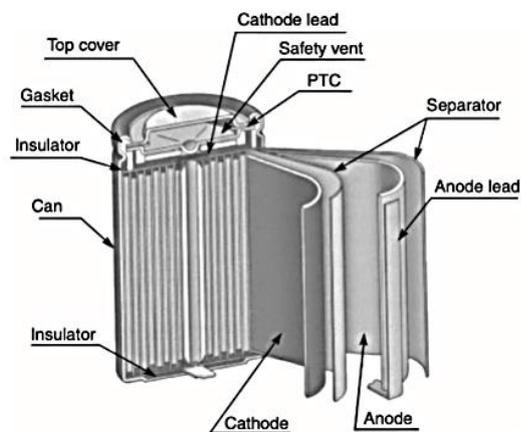
2. *Secondary battery*

Baterai yang dapat dipakai berulang kali dan diisi ulang, proses kimia di dalamnya yang bersifat *reversibel* memungkinkan bahan aktif untuk kembali ke kondisi awal melalui pengisian sel. Ada berbagai jenis baterai sekunder yang tersedia di pasar, yakni :

1) Baterai *Lithium Ion* (*Li-ion*)

Ion Litium berpindah dari elektroda negatif ke elektroda positif selama penggunaan, kembali selama proses pengisian ulang. Baterai *Lithium ion* memanfaatkan senyawa *Lithium* interkalasi sebagai bahan elektroda, berbeda dengan penggunaan *Lithium* logam pada baterai *Lithium* yang tidak dapat di *recharge*.

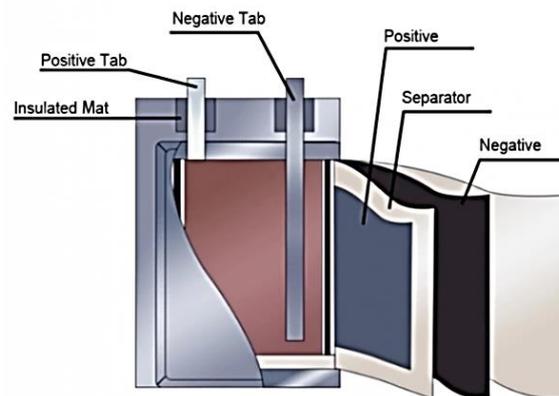
Baterai *Lithium ion* ditemui dalam perangkat elektronik konsumen. Tipe baterai isi ulang ini sangat sering dipakai untuk peralatan elektronik portabel karena mempunyai kepadatan energi yang tinggi, tidak mengalami efek memori, dan mengalami penurunan kapasitas yang lambat ketika tidak dipakai. Baterai ini menjadi pilihan utama untuk peralatan elektronik konsumen, baterai *Lithium ion* juga sering dipakai dalam industri militer, kendaraan listrik, dan bidang dirgantara. Penelitian lainnya bertujuan untuk meningkatkan teknologi baterai *Lithium ion* dengan fokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keamanan. Gambaran baterai *Lithium ion* dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Muhammad Thowil dkk, 2015).



Gambar 2.7 Skema Baterai *Lithium Ion*
Sumber : (Muhammad Thowil dkk, 2015)

2) Baterai *Lithium Polymer (Li-Po)*

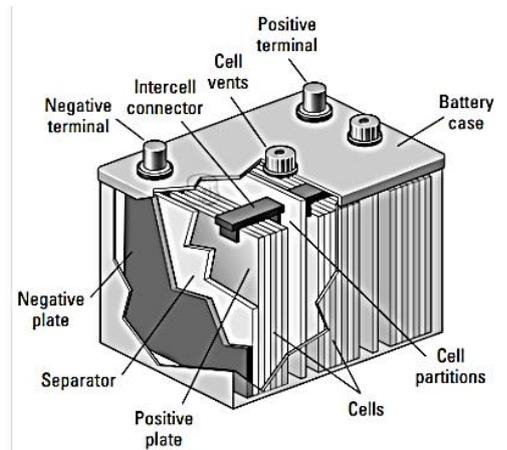
Baterai *Li-Po* tidak memakai cairan sebagai elektrolit, baterai ini memakai elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini dibentuk berlapis-lapis di antara anoda dan katoda yang menghasilkan pertukaran ion. Baterai *Lithium Polymer* dapat diproduksi dalam berbagai bentuk dan ukuran. Baterai ini memiliki kelebihan dalam arsitektur, baterai *Lithium Polymer* juga memiliki kelemahan, yaitu kurangnya aliran pertukaran ion melalui elektrolit polimer kering. Kelemahan ini mengakibatkan penurunan dalam tingkat pengisian dan pengosongan. Ilustrasi baterai *Lithium Polymer* dapat dilihat pada Gambar 2.7 (Muhammad Thowil dkk, 2015).



Gambar 2.8 Skema Baterai *Lithium Polymer*
Sumber : (Muhammad Thowil dkk, 2015)

3) Baterai *Lead Acid*

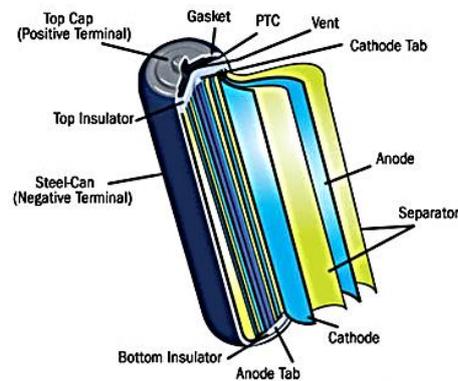
Baterai *Lead Acid* umumnya dikenal sebagai aki adalah salah satu tipe baterai yang memakai asam timbal (*Lead Acid*) sebagai zat kimianya. Ilustrasi baterai *Lead Acid* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.9 Skema Baterai *Lead Acid*
 Sumber : (Muhammad Thowil dkk, 2015)

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

Baterai tipe ini di desain dengan menggunakan komponen yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Baterai *Ni-MH* memakai ion hidrogen sebagai media penyimpanan energi berbeda dengan baterai *Lithium Ion* yang menggunakan *Ion Lithium*. Komposisi baterai *Ni-MH* terdiri dari campuran nikel dan logam lain seperti titanium. Baterai ini juga mengandung logam tambahan seperti *Mangan, Aluminium, Kobalt, Zirconium, dan Vanadium*. Logam-logam tersebut umumnya berfungsi sebagai penangkap ion hidrogen yang dilepaskan untuk menegaskan agar ion tersebut tidak berubah menjadi fase gas. Ilustrasi Baterai *Nickel-Metal Hydride* dapat dilihat pada gambar 2.9 (Muhammad Thowil dkk, 2015).



Gambar 2.10 Skema Baterai *Nickel-Metal Hydride*

Sumber : (Muhammad Thowil dkk, 2015)

Tabel 2.1 Kelebihan Baterai *Lithium-Ion*, *Lithium-Polymer*, *Lead Acid*, dan *Nickel Metal Hydrade* (Muhammad Thowil dkk, 2015)

<i>Lithium-Ion</i>	<i>Lithium-Polymer</i>	<i>Lead Acid</i>	<i>Nickel-Metal Hydrade</i>
Baterai <i>Lithium-Ion</i> yang ringan dibandingkan dengan baterai isi ulang lain dari berat yang sama.	Baterai <i>Lithium Polymer</i> memiliki massa yang lebih ringan, dan baterai ini dapat dibuat di hampir berbagai ukuran atau bentuk	Baterai <i>Lead Acid</i> adalah salah satu yang terbaik dalam hal kehandalan dan kemampuan bekerja.	Baterai <i>Nickel-Metal Hydrade</i> memiliki kapasitas yang cukup besar, kurang lebih 30% - 40% lebih tinggi.
Memiliki kepadatan energi yang	Baterai <i>Lithium Polymer</i> menawarkan	Mampu untuk menghadapi kondisi	Baterai <i>Nickel-Metal Hydrade</i> kurang rentan

sangat tinggi, sehingga banyak energi dapat disimpan di dalamnya.	kapasitas yang lebih tinggi, yang memungkinkan baterai ini memiliki daya berlebih.	lambat, cepat dan perngisian daya berlebihan.	terhadap memori, dapat diremajakan.
Biaya hilang oleh Baterai <i>Lithium-Ion</i> adalah serendah 5% per bulan	Baterai <i>Lithium Polymer</i> menawarkan laju discharge yang jauh lebih tinggi.	Mampu untuk bertahan tidak aktif dalam jangka panjang tanpa larutan elektrolit	Baterai <i>Nickel-Metal Hydrade</i> ramah lingkungan, racun yang dikandung pun ringan saja

Tabel 2.2 Kekurangan Baterai *Lithium-Ion*, *Lithium-Polymer*, *Lead Acid*, dan *Nickel Metal Hydrade* (Muhammad Thowil dkk, 2015)

<i>Lithium-Ion</i>	<i>Lithium-Polymer</i>	<i>Lead Acid</i>	<i>Nickel-Metal Hydrade</i>
Baterai <i>Lithium-Ion</i> memiliki life time yang pendek	Baterai <i>Lithium Polymer</i> memiliki <i>life time</i> yang lebih	Pada iklim panas dimana suhu rata-rata adalah 92° F,	Baterai <i>Nickel-Metal Hydrade</i> memiliki

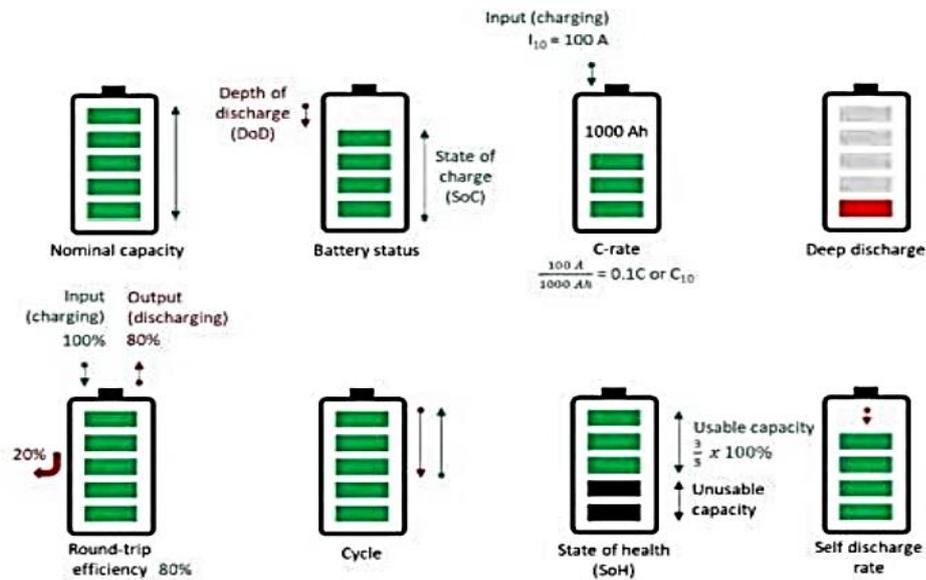
dari 2 sampai 3 tahun dari tanggal pembuatan.	pendek daripada baterai <i>NiMH</i> . Mereka rata-rata hanya 300- 400 siklus jika dirawat dengan baik.	siklus hidup Baterai <i>Lead Acid</i> akan turun menjadi 50%.	<i>limited service life, deep discharge</i> mengurangi layanan hidup.
Baterai <i>Lithium-Ion</i> mengalami degradasi lebih cepat jika mereka terkena panas dibandingkan dengan paparan suhu normal karena mereka sangat <i>sensitive</i> terhadap suhu tinggi.	Sifat sensitif dan kimia dari baterai dapat menyebabkan kebakaran, hendaknya baterai mendapatkan <i>punctured</i> dan melepaskannya ke udara.	Baterai <i>Lead Acid</i> meskipun relatif lebih aman dari baterai lain tetapi mereka menyebabkan banyak kerusakan lingkungan pada skala pendek.	Baterai <i>Nickel-Metal Hydrade</i> membutuhkan algoritma biaya yang kompleks. Sensitif untuk menjual, karena mahal.
Baterai <i>Lithium-Ion</i> hancur jika mereka benar-benar habis.	Baterai <i>Lithium Polymer</i> membutuhkan perawatan khusus	Baterai <i>Lead Acid</i> rentan terhadap korosi yang sering terjadi baik	Baterai <i>Nickel-Metal Hydrade</i> tidak menyerap overcharge

	dalam cara mereka dibebankan, dibuang, dan disimpan. Peralatan dapat harga yang mahal.	karena elektrolisis atau <i>overflowing</i> . Korosi memiliki potensi untuk mengurangi masa pakai baterai dan perlu dihindari melalui tindakan perawatan yang sesuai.	dengan baik, <i>trickle charge</i> harus tetap rendah.
--	--	---	--

2.4.3 Kondisi Baterai

1. Kapasitas Normal

Kondisi ini jumlah pengisian yang dapat disimpan dalam baterai secara keseluruhan dan dalam pemakaian tertentu. Kapasitas normal bisa dibilang sebagai total kapasitas baterai yang terinstal.



Gambar 2.11 Kondisi-kondisi Baterai

Sumber : (Ramadhani, 2018)

2. SoC (*State of Charge*)

State of Charge (SoC) diartikan sebagai perbandingan dari total kapasitas energi yang dapat dimanfaatkan oleh baterai dengan kapasitas penuhnya. SoC juga mencerminkan sejauh mana energi yang masih tersedia dan diukur dalam bentuk persentase, yang mencerminkan sisa arus listrik setelah digunakan (Alwan Farras, 2019).

3. DoD (*Depth of Discharge*)

Depth of Discharge (DoD) memiliki dampak signifikan pada umur baterai dan merupakan aspek yang kritis untuk diperhatikan, terutama karena baterai merupakan komponen termahal dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). DoD mengindikasikan total energi atau jumlah energi yang ditarik dari baterai, dan kebalikannya dari keadaan *State of Charge* (SoC). Spesifikasi baterai menyebutkan siklus hidup lebih dari 1500 siklus

dengan DoD 80%, hal tersebut hanya dapat tercapai jika penggunaan energi tidak melebihi 80% dari kapasitas nominal baterai tersebut (Ramadhani, 2018).

4. *Deep Discharge*

Kondisi apabila baterai sudah hampir habis dan sudah melewati batas *end of discharge*. Artinya baterai sudah tidak bisa digunakan lagi dan harus segera di *charging*.

5. *Overcharge*

Kondisi saat baterai sudah dalam keadaan penuh 100% dan arus berlebih masih terhubung pada baterai saat pengisian. Kondisi ini dapat menyebabkan reaksi kimia elektrolisis yang mengakibatkan timbulnya gas di dalam baterai serta hilangnya kandungan (H_2O) atau air.

6. *Cycle/Siklus*

Baterai menjalani satu kali siklus penuh pengisian dan pengosongan sebelum menurun dari kapasitas nominalnya yang sudah ditetapkan pada kisaran 70-80% dari kapasitas maksimum. Baterai *Lead Acid*, biasanya mencapai sekitar 2000 siklus atau sekitar 5 tahun operasi jika dihitung dalam hari. Jumlah siklus yang digunakan dipengaruhi oleh tingkat *Depth of Discharge* (DoD) pada baterai. Untuk memperkirakan jumlah siklus yang telah dilewati, langkah pertama adalah menghitung rata-rata siklus baterai per hari selama digunakan (Yantoro, 2019).

7. *SoH (State of Health)*

SoH adalah presentase dari tingkat kesehatan baterai yang diukur dari kondisi baterai sekarang dibandingkan dengan kondisi awal baterai. Satuan dari SoH adalah 100% ini menandakan bahwa baterai masih dalam keadaan baru dan akan mengalami penurunan sejalan dengan berjalannya waktu dan durasi penggunaan.

2.5 Kapasitas Baterai

Menentukan kapasitas minimum suatu baterai, terlebih dahulu mencari kebutuhan daya minimum untuk menjalankan sebuah mobil listrik. Motor listrik yang digunakan berkapasitas 48 Volt 1000 Watt. Menentukan kapasitas minimal baterai yang diperlukan, digunakan persamaan berikut (Susanti, 2019).

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{\text{Kebutuhan daya}}{\text{Tegangan baterai}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Memperpanjang usia pakai, baterai harus memiliki kedalaman pengosongan minimum (DoD). 80% DoD diasumsikan untuk jenis baterai *LiFePo₄*. Mencari ukuran baterai minimal dapat dihitung pada persamaan berikut :

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{\text{ukuran minimal baterai}}{\text{DoD}} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.6 Daya

Perhitungan daya keluaran baterai merupakan daya konsumsi motor listrik yang melibatkan arus dan tegangan yang berasal dari baterai. Rumusnya dapat dijelaskan sebagai berikut (Prasetyo, 2018).

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

P : Daya (W)

V : Tegangan (V)

I : Arus (A)

Mengetahui nilai daya ada 2 variabel yang diperlukan yaitu :

1. Tegangan (Volt)

Tegangan merujuk pada perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik, yang diukur dalam satuan volt. Besaran ini menunjukkan energi potensial dari medan listrik yang dapat menyebabkan aliran listrik melalui konduktor. *Voltase* umum yang digunakan dalam kendaraan listrik meliputi 24V, 36V, 48V, 60V, dan 72V. Mengukur *voltase*, digunakan alat bernama Voltmeter, yang dipasang secara paralel. Pemasangan Voltmeter melibatkan penyambungan satu pin pada titik positif dan satu pin pada titik negatif.

2. Arus (Amper)

Arus listrik adalah sejumlah muatan listrik yang melewati suatu titik dalam suatu rangkaian selama satu unit waktu, diukur dalam Satuan Internasional dengan lambang I dan satuan Amper. Prinsip yang perlu dipahami tentang arus listrik adalah bahwa arus mengalir sesuai dengan kebutuhan beban. Semakin besar permintaan beban, arus mengalir juga semakin besar dan sebaliknya. Amperemeter digunakan sebagai alat untuk mengukur arus listrik, dan pemasangan amperemeter dilakukan secara seri, yaitu dengan memutus jalur rangkaian.

2.7 Energi

Konsumsi energi listrik adalah jumlah energi listrik yang dipakai selama periode waktu tertentu. Konsumsi energi listrik dapat dicari dengan mengalikan daya listrik suatu peralatan dengan lama waktu penggunaan listrik. Penggunaan energi listrik pada suatu beban ditentukan oleh daya listrik peralatan dan durasi operasionalnya. Semakin lama peralatan elektronik beroperasi, semakin besar energi yang dikonsumsi. Persamaan untuk konsumsi energi listrik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$W = P \times t \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

W = Energi (Wh)

P = Daya (Watt)

t = Satuan waktu (Jam)

2.8 Hubungan Antara Kecepatan Sudut dan Kecepatan Linear

Sebuah hubungan sederhana antara kecepatan linear sumbu putar (v) dan kecepatan sudut (ω) dari roda yang berotasi dengan persamaan sebagai berikut (John Bird, 2002).

$$v = \omega \times r$$

Dimana : v = Kecepatan linear (m/s)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

r = jari-jari (m)

Satuan kecepatan sudut adalah radian per detik (rad/s). Objek yang berputar pada kecepatan konstan n rotasi per detik dengan sudut $2\pi n$ radian dalam satuan detik, sehingga kecepatan sudutnya adalah :

$$\omega = 2\pi n$$

Kecepatan sudut $\omega = 2\pi n$, dimana n adalah rotasi per detik (rps). Mendapatkan n dalam satuan rpm menggunakan persamaan dibawah ini :

$$n = \frac{60 \omega}{2\pi}$$

Dimana : n = Putaran (rpm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2π = Satu putaran penuh (derajat)

2.9 Torsi

Torsi merupakan parameter yang mengukur kemampuan mesin untuk melakukan tugas tertentu seperti menginisiasi pergerakan mobil atau motor dari keadaan diam hingga bergerak. Besarnya torsi merupakan parameter turunan yang sering digunakan untuk mengestimasi energi yang dihasilkan oleh objek yang berputar pada sumbu porosnya. Rumus torsi dapat dijelaskan sebagai berikut (Prasetyo, 2018).

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \pi n} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana: T = Torsi benda berputar (N.m)

P = Daya (Watt)

n = Putaran (r/min)

2.10 Waktu Pemakaian Baterai dan jarak tempuh

Waktu pemakaian baterai dan jarak tempuh merupakan hal penting pada mobil listrik, semakin lama pemakaian baterai maka jarak tempuh juga semakin jauh. Persamaan waktu pemakaian baterai yaitu (Susanti, 2019).

$$\text{Waktu pemakaian baterai} = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Arus kerja motor}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Kecepatan dan lama waktu pemakaian baterai maka akan didapatkan jarak tempuh. Hubungan kecepatan dan waktu pemakaian baterai ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$\text{Jarak} = \text{kecepatan} \times \text{waktu pemakaian baterai} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.11 Penelitian Yang Relevan

Penelitian Rusaldi, dkk (2021). melakukan pengujian evaluasi penggunaan daya pada kendaraan listrik yang menggunakan Motor Brushed DC. Pengujian ini menggunakan baterai jenis *Lead Acid* 48 Volt 30 Ah. Pengujian dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian stasioner dan uji jalan. Hasil pengujian menyebutkan Pemanfaatan arus listrik yang signifikan pada fase awal mampu menambah daya dorong kendaraan, meskipun besaran daya yang digunakan relatif tinggi mencapai kecepatan rata-rata 4 m/s, jarak yang ditempuh hampir dua kali lipat dibandingkan dengan perjalanan pada kecepatan 2 m/s, dengan peningkatan daya sekitar 11%.

Penelitian yang dilakukan oleh Eko Prasetyo pada tahun 2015 menguji kinerja sepeda motor listrik berdaya 1 kW dengan menggunakan motor *Brushless* DC 48 Volt 1000 Watt dan baterai 48 Volt 30 Ah. Hasil uji jalan menunjukkan variasi beban I (57 kg), daya rata-rata terbesar tercapai pada kecepatan 25 km/jam,

yakni sebesar 923,26 Watt, kecepatan 30 km/jam daya mengalami penurunan menjadi 908,47 Watt. Variasi beban II (59,5 kg), daya rata-rata tertinggi ditemukan kecepatan 25 km/jam, mencapai 1115,78 Watt, kecepatan 30 km/jam daya menurun menjadi 977,9 Watt.

Wahyu Dwi Yantoro (2017) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Efisiensi Penggunaan Baterai *Lithium Polymer* 48 Volt 25 Ah Pada Sepeda Motor Listrik Yang Di Rancang Bangun Dengan Daya 3 kW merancang sepeda motor listrik dengan menggunakan motor BLDC 3 kW dan baterai *Lithium Polymer* 48 Volt 25 Ah. Dua pengujian dilakukan, yaitu dengan beban dan tanpa beban. Hasilnya menunjukkan efisiensi tanpa beban sebesar 12,35% kecepatan maksimum 40 km/jam, dan efisiensi 17,2% pada kecepatan yang sama dengan kondisi berbeban.

Penelitian oleh Indah Susanti, Rumiasih, Carlos RS, dan Anton Firmansyah (2019) berjudul Analisa Penentuan Kapasitas Baterai Dan Pengisiannya Pada Mobil Listrik membahas aspek pemilihan kapasitas baterai dan pengisian pada mobil listrik. Penelitian ini menggunakan baterai *Lead Acid* 12 Volt 70 Ah dan motor BLDC 48 Volt 350 Watt. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu menentukan waktu pemakaian untuk mobil listrik, menentukan waktu pengisian untuk mobil listrik dengan metode *fast charging* dan *slow charging*.

2.12 Kerangka Berpikir

Kendaraan listrik adalah jenis mobil yang efisien energi dan tidak memerlukan penggunaan bahan bakar minyak untuk operasionalnya. Diperlukan beberapa komponen agar mobil listrik berjalan seperti baterai sebagai tempat untuk menyimpan listrik sebagai sumber energi, motor BLDC sebagai perangkat penggerak, panel surya untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik, dan scc yang digunakan untuk mengontrol keluaran yang dihasilkan panel surya. Baterai merupakan salah satu komponen penting yang dibutuhkan dari beberapa komponen lainnya. Baterai ini yang nantinya akan menanggung beban dari motor BLDC untuk dapat menggerakkan motor dan menyuplai ke semua bagian mobil listrik yang memerlukan energi listrik.

Baterai *LifePo₄* merupakan baterai yang mempunyai kepadatan energi listrik yang baik sehingga dapat menyimpan energi listrik dengan baik juga. Baterai ini memiliki bobot yang rendah dan dimensi yang *compact* jika dibandingkan dengan jenis baterai lainnya, sehingga cocok untuk mobil listrik yang memiliki ukuran kompleks. Baterai ini nantinya yang akan di analisis performanya dalam studi ini.

Metode pengujian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah melalui uji jalan. Pengujian uji jalan adalah mobil berjalan yang digerakkan oleh motor berputar melalui roda gigi dan rantai pada roda belakang. Mobil listrik di uji jalan untuk mengetahui konsumsi daya yang dihabiskan oleh penggerak motor BLDC. setelah diketahui konsumsinya maka akan diketahui estimasi jarak tempuh dan waktu pemakaian baterai mobil listrik.