

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yoga Prastya H yang berjudul “Karakteristik Kendaraan Konversi Sepeda Motor Listrik Motor BLDC 2000W Type Hub Drive” adalah hasil pengujian menunjukkan hasil pengujian Menggunakan metode eksperimental dengan dynamometer test, performa motor dievaluasi di bawah variasi kecepatan (10-50 km/jam) dan tiga kondisi beban (0 kg, 72 kg, dan 139 kg). Parameter kunci seperti arus, tegangan, daya, suhu, torsi, dan tenaga kuda (HP) diukur secara sistematis menggunakan sistem akuisisi data berbasis Arduino. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan dan beban secara signifikan meningkatkan kebutuhan arus dan daya. Terbukti, pada beban terberat (139 kg), konsumsi daya melonjak dari hanya 51,61 W pada 10 km/jam menjadi 1.162 W pada 50 km/jam, menunjukkan hubungan yang eksponensial (Prastya et al., 2025).

Kemudian berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan, Miftahuddin yang berjudul “Implementation of Conventional Motorcycle Conversion into Electric Motorcycle Using BLDC Motor and LiFePO₄ Battery” adalah Penelitian ini dilakukan dengan metode R & D. Hasil penelitian berupa terwujudnya sebuah sepeda motor listrik konversi dengan motor hub BLDC 3KW dan baterai Lifepo₄ 48V 15 Ah, dengan kemampuan jarak tempuh rata-rata 30 Km sekali pengisian full baterai dan kecepatan maksimum 56,7 Km/Jam (Ramadhan et al., 2024).

Lalu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Adhi Prasetya, Fuad yang berjudul “Pengaruh Gear Ratio pada Motor BLDC Mid Drive 2 kW terhadap Kinerja Sepeda Motor Listrik Konversi” Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis performa motor BLDC tipe mid-drive berdaya 2 kW pada aplikasi konversi sepeda motor listrik. Perubahan menjadi kendaraan listrik memerlukan komponen untuk konversi, seperti motor BLDC. Perancangan dilakukan dengan memvariasikan gear ratio 0,68; 0,72; dan 1,34 untuk mendapatkan kecepatan konversi sepeda motor listrik yang sesuai digunakan di

jalan perkotaan. Hasil pengujian menggunakan Dynotest menunjukkan bahwa variasi gear ratio 0,68 memberikan kinerja terbaik pada roda gigi 30T dan 20T. Kecepatan maksimum pada variasi tersebut adalah 78,8 km/jam dengan torsi 24,18 Nm pada 987 rpm dan daya keluaran sebesar 2,8 kW pada 1526 rpm (Adhi Prasetya et al., 2026).

Tabel 2.1 Perbandingan variabel penelitian

No	Peneliti	Judul	Komponen	Hasil
1	Yoga Prastya, Hendy Yan Dewantara, Belly Iradiratu Diah (2025)	Karakteristik Kendaraan Konversi Sepeda Motor Listrik Motor BLDC 2000W Type Hub Drive	Mesin Motor Listrik Tipe Hub Drive, Kontroler, Battery lithium-ion, Arduino, Kendaraan Motor Listrik.	Motor BLDC 2000 W mampu bekerja dengan baik pada berbagai kondisi beban. Semakin tinggi kecepatan kendaraan, konsumsi arus, daya, torsi, suhu, dan HP meningkat, sedangkan tegangan baterai mengalami sedikit penurunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa motor BLDC layak digunakan sebagai sistem penggerak pada konversi sepeda motor listrik.
2	Ramadhan, Miftahuddin Putra, Dwi Sudarno Purwanto, Wawan Setiawan, M. Yasep Muslikhin, Muslikhin (2024)	Implementation of Conventional Motorcycle Conversion into Electric Motorcycle Using BLDC Motor and LiFePO ₄ Battery	Mesin Motor Listrik Tipe Hub Drive, Kontroler, Battery lithium-ion, Kendaraan Motor Listrik.	Penelitian berhasil mengimplementasikan konversi sepeda motor konvensional menjadi sepeda motor listrik menggunakan motor BLDC 3 kW dan baterai LiFePO ₄ 48 V 15 Ah. Hasil pengujian menunjukkan kecepatan maksimum rata-rata sebesar 55,5 km/jam, jarak tempuh rata-rata 30 km dalam sekali pengisian penuh baterai, serta waktu pengisian sekitar 7 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa konversi sepeda motor menjadi kendaraan listrik dapat menjadi alternatif transportasi yang ramah lingkungan dan layak diterapkan.

No	Peneliti	Judul	Komponen	Hasil
3	Adhi Prasetya, Fuad Basuki, Budi Tulung, Benidiktus P Winarno, Agustinus Janthinus Kristianto, Daniel (2026)	Pengaruh Gear Ratio pada Motor BLDC Mid Drive 2 kW terhadap Kinerja Sepeda Motor Listrik Konversi	Mesin Motor Listrik Tipe Hub Drive, Kontroler, Battery lithium-ion, Gear Ratio Kendaraan Motor Listrik.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi gear ratio 1:0,67 memberikan performa terbaik dengan kecepatan maksimum 78,8 km/jam, torsi maksimum 24,18 Nm pada 987 rpm, dan daya keluaran 2,8 kW pada 1526 rpm. Penambahan internal gear dengan gear ratio yang tepat terbukti mampu meningkatkan performa sepeda motor listrik konversi sehingga lebih sesuai untuk penggunaan di jalan perkotaan.

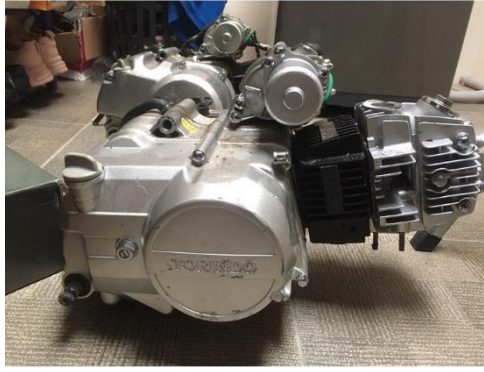
2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Motor Bahan Bakar Bensin

Motor bensin merupakan salah satu dari mesin pembakaran dalam atau internal combustion engine, sangat umum digunakan dalam dunia kehidupan kita. Penggunaan mesin ini sebagai alat transportasi, sumber penggerak alat produksi, generator listrik dan sebagainya. Motor bensin memiliki karakteristik seperti berikut:

- 1) Pengapian dilakukan oleh busi yang dikendalikan platina atau CDI.
- 2) Rasio kompresi pada ruang bakar rendah antara 8-11: 1.
- 3) Putaran mesin tinggi, tenaga dan torsi yang dihasilkan lebih tinggi dari mesin diesel dengan kapasitas yang sama.
- 4) Suhu mesin yang relatif lebih rendah.

Motor bakar adalah motor yang memanfaatkan prinsip penyesuaian panas untuk diubah menjadi energi mekanik (Alfi Ferizqo Munawar et al., 2023). Prinsip kerja motor bensin adalah mesin yang bekerja memanfaatkan energi dari gas panas hasil proses pembakaran, di mana proses pembakaran berlangsung di dalam silinder mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja menjadi tenaga atau energi panas. Berikut contoh gambar mesin bensin ditunjukkan oleh gambar 2.1 dibawa ini:



Gambar 2.1 Mesin Besin

2.2.2 Motor Bebek

Sepeda motor bebek, adalah sepeda motor yang dibangun di atas kerangka yang sebagian besar terdiri dari sebuah pipa berdiameter besar. Desain ini kadang-kadang dikenal sebagai "step-through" di negara barat. Meskipun posisi tangki bahan bakar, dan penahan percikan air pada sepeda motor bebek membuatnya mirip dengan skuter, tetapi roda, posisi mesin, dan transmisi lebih mirip dengan desain sepeda motor konvensional atau sport.

2.2.3 Dinamo Motor Listrik

Dinamo motor listrik adalah komponen utama dalam motor listrik yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menghasilkan putaran atau gerakan. Dinamo ini sangat penting dalam berbagai aplikasi kendaraan listrik dan hybrid, termasuk sepeda motor hybrid, karena memungkinkan motor untuk bergerak tanpa menggunakan bahan bakar fosil, yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Pada kali ini menggunakan dinamo berjenis BLDC (Brushless DC Motor), Dinamo BLDC atau Brushless DC (BLDC) adalah motor magnet permanen akan tetapi proses comutator dan sikat digantikan oleh solid state switch (Teknik Elektro et al., n.d.). Jenis motor listrik tanpa sikat (brushless) yang menggunakan arus searah (DC) untuk menghasilkan energi mekanik berupa putaran. Motor BLDC banyak digunakan pada kendaraan listrik, termasuk sepeda motor listrik dan hybrid, karena menawarkan efisiensi. tinggi, torsi besar, dan umur pemakaian yang lebih panjang dibandingkan motor DC yang memiliki sikat. Berikut contoh gambar motor BLDC ditunjukkan oleh gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2 Motor BLDC

Motor *Brushless Direct Current* yang digunakan pada penelitian ini adalah Motor BLDC 60 V 1500 W dengan spesifikasi pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.2 Spesifikasi Motor BLDC

Motor type	Brushless DC motor
Max. Power	1500W
Rated voltage	60V DC
Speed RPM	3300 RPM
Installation position	Front
Color	silver
Weight	5kg

2.2.4 Baterai

Baterai pada motor listrik adalah komponen vital yang berfungsi sebagai sumber daya utama untuk menggerakkan motor listrik. Seiring dengan peningkatan popularitas kendaraan listrik, baterai untuk motor listrik juga mengalami perkembangan dalam hal kapasitas, efisiensi, dan daya tahan. Baterai motor listrik harus mampu menyimpan dan mengalirkan energi yang cukup untuk memberikan daya, kecepatan, dan jarak tempuh yang memadai. Pemilihan baterai LiFePO₄ ini didasarkan beberapa kelebihan yang dimiliki diantaranya: umur panjang hingga 2000-5000 siklus pengisian, stabilitas termal yang lebih tinggi, yang membuatnya lebih aman dan tidak mudah meledak atau terbakar, dan ramah lingkungan karena tidak mengandung logam beracun seperti kobalt dan nikel. Selain itu, baterai ini terus memberikan daya yang konsisten sepanjang siklus penggunaannya dan mampu bekerja pada suhu yang sangat tinggi (Ramadhan et al., 2024) Berikut adalah contoh baterai ditunjukkan oleh gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Baterai

Tabel 2.3 Spesifikasi Baterai

battery type	LiFePO4
Max. Power	1080W
Rated voltage	60V DC
Current	18A
Installation position	middle
Color	Biru
Weight	3kg

2.2.5 BMS (Battery Management System)

Battery Management System (BMS) merupakan sistem elektronik yang berfungsi mengelola, memantau, dan melindungi baterai selama proses pengisian maupun penggunaan energi. Pada sepeda motor listrik, BMS berperan penting dalam menjaga agar setiap sel baterai bekerja pada batas tegangan, arus, dan suhu yang aman. Dengan adanya BMS, baterai dapat beroperasi secara optimal, memiliki umur pakai yang lebih panjang, serta terhindar dari kerusakan akibat pengisian berlebih (overcharge), pengosongan berlebih (overdischarge), arus berlebih (overcurrent), hubungan singkat (short circuit), maupun suhu yang terlalu tinggi.

Pada penelitian ini digunakan Smart BMS 16S yang dirancang untuk baterai LiFePO₄ 60 Volt. BMS ini mampu memantau kondisi setiap sel baterai secara individual serta melakukan cell balancing untuk menjaga keseragaman tegangan antar sel selama proses pengisian. Selain itu, Smart BMS dapat dihubungkan dengan aplikasi pada smartphone melalui komunikasi Bluetooth sehingga pengguna dapat memantau tegangan total baterai, tegangan masing-masing sel, arus, kapasitas baterai, suhu, dan kondisi sistem secara real-time.

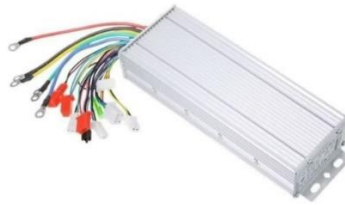
Penggunaan Smart BMS pada sistem konversi sepeda motor listrik memberikan tingkat keamanan yang lebih tinggi karena mampu memutus aliran listrik secara otomatis apabila tegangan baterai melebihi batas maksimum atau turun di bawah batas minimum yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, tegangan pengisian penuh baterai diatur hingga 65 Volt, sedangkan sistem akan melakukan cut-off ketika tegangan baterai mencapai 52 Volt untuk mencegah kerusakan akibat pengosongan yang berlebihan. Berikut adalah gambar *BMS* ditunjukkan oleh gambar 2.4 dibawah:



Gambar 2.4 BMS

2.2.6 Kontroler

Kontroler pada motor listrik adalah komponen penting yang bertanggung jawab untuk sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda (Alti et al., 2020). sehingga memungkinkan kendaraan beroperasi dengan efisien dan aman. Pada motor listrik, kontroler bertindak sebagai "otak" yang mengendalikan kecepatan, torsi, arah, serta manajemen energi, terutama dalam kendaraan listrik seperti motor listrik. Berikut adalah contoh Kontroler ditunjukkan oleh gambar 2.5 dibawah:



Gambar 2.5 Kontroler

Pada kontroler yang saya gunakan menggunakan spesifikasi 60v, 50A dan 1500W. Untuk kontroler tersebut memiliki beberapa fungsi dan fitur di mana pada tabel berikut akan dijelaskan:

Tabel 2.4 Spesifikasi Kabel

No.	Nama Kabel	Fungsi
1	Kabel B+ (Merah)	Menghubungkan terminal positif baterai ke kontroler sebagai sumber tegangan utama.
2	Kabel B- (Hitam)	Menghubungkan terminal negatif baterai ke kontroler sebagai jalur balik arus.
3	Kabel Fasa U (Kuning)	Menyalurkan arus dari kontroler ke fasa U motor BLDC.
4	Kabel Fasa V (Hijau)	Menyalurkan arus dari kontroler ke fasa V motor BLDC.
5	Kabel Fasa W (Biru)	Menyalurkan arus dari kontroler ke fasa W motor BLDC.
6	Kabel Hall Sensor (+5 V)	Memberikan catu daya 5 Volt ke sensor Hall pada motor BLDC.
7	Kabel Hall Sensor (GND)	Sebagai ground atau referensi tegangan sensor Hall.
8	Kabel Hall Sensor U	Mengirimkan sinyal posisi rotor fasa U ke kontroler.
9	Kabel Hall Sensor V	Mengirimkan sinyal posisi rotor fasa V ke kontroler.

No.	Nama Kabel	Fungsi
10	Kabel Hall Sensor W	Mengirimkan sinyal posisi rotor fasa W ke kontroler.
11	Kabel Throttle (+5 V)	Menyuplai tegangan ke throttle Hall Effect.
12	Kabel Throttle (Signal)	Mengirimkan sinyal bukaan throttle ke kontroler untuk mengatur kecepatan motor.
13	Kabel Throttle (GND)	Ground untuk throttle.
14	Kabel Power Lock / Electric Lock	Mengaktifkan atau mematikan kontroler melalui kunci kontak.
15	Kabel Brake Cut-Off	Menghentikan suplai daya ke motor saat tuas rem ditekan.
16	Kabel Reverse (Jika tersedia)	Mengaktifkan putaran motor ke arah mundur.
17	Kabel Three Speed	Mengatur pilihan kecepatan rendah, sedang, dan tinggi.
18	Kabel Cruise Control (Jika tersedia)	Mempertahankan kecepatan kendaraan secara otomatis.
19	Kabel Self Learning	Digunakan untuk proses pembelajaran arah putaran motor dan sinkronisasi sensor Hall dengan kontroler.
20	Kabel Speed Output	Mengirimkan sinyal ke speedometer digital atau panel instrumen.

2.2.7 Throttle/Tuas Gas

Throttle atau tuas gas pada motor listrik adalah *Throttle* Gas berfungsi sebagai pengatur kecepatan motor BLDC dengan menghasilkan denyut sinyal PWM sesuai dengan putaran handel gas, yang akan diteruskan menuju Kontroler (P et al., 2021). *Throttle* mengirimkan sinyal ke kontroler untuk menyesuaikan daya yang diberikan ke motor listrik, memungkinkan pengendara untuk mempercepat atau memperlambat sesuai kebutuhan. Pada motor listrik, *Throttle* berfungsi dengan cara

mengubah sinyal elektronik menjadi instruksi yang kemudian diproses oleh kontroler. Berikut contoh tuas gas pada motor Listrik ditunjukkan oleh gambar 2.6 dibawah:



Gambar 2.6 Tuas Gas

2.2.8 Converter Step Down

Converter DC-DC Step Down atau buck converter merupakan perangkat elektronika daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan arus searah (Direct Current/DC) dari nilai yang lebih tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah sesuai kebutuhan beban. Pada sistem sepeda motor listrik, converter digunakan untuk menyediakan suplai tegangan yang stabil bagi komponen kelistrikan kendaraan yang tidak dapat langsung menggunakan tegangan dari baterai utama. Dengan adanya converter, seluruh sistem kelistrikan 12 Volt seperti lampu utama, lampu sein, lampu rem, klakson, dan indikator dapat beroperasi secara normal tanpa memerlukan baterai 12 Volt terpisah. Berikut contoh converter step down pada motor Listrik ditunjukkan oleh gambar 2.7 dibawah:



Gambar 2.7 converter step down

Pada penelitian ini, sumber energi utama berasal dari baterai LiFePO₄ 60 Volt 18 Ah. Tegangan keluaran baterai kemudian diturunkan oleh converter menjadi 12

Volt DC untuk memenuhi kebutuhan sistem kelistrikan kendaraan. Penggunaan converter DC-DC step down juga meningkatkan efisiensi sistem karena proses penurunan tegangan dilakukan secara elektronik dengan rugi-rugi daya yang relatif kecil serta menghasilkan tegangan keluaran yang stabil.

Tabel 2.5 Spesifikasi Converter DC-DC Step Down

Parameter	Spesifikasi
Jenis	DC-DC Step Down (Buck Converter)
Tegangan Masukan (Input)	60 V DC
Tegangan Keluaran (Output)	12 V DC
Fungsi	Menurunkan tegangan baterai 60 V menjadi 12 V
Aplikasi	Menyuplai daya untuk lampu, klakson, sein, dan sistem kelistrikan 12 V
Sumber Daya	Baterai LiFePO ₄ 60 V 18 Ah

2.2.9 PZEM 015

PZEM-015 (Peacefair Energy Monitor) merupakan alat ukur digital multifungsi yang digunakan untuk memantau parameter kelistrikan pada sistem DC, khususnya pada baterai kendaraan listrik. Pada penelitian ini, PZEM-015 digunakan untuk memonitor kinerja baterai LiFePO₄ 60 V secara real-time selama proses pengujian kendaraan. Alat ini mampu menampilkan berbagai parameter seperti tegangan (Voltage), arus (Current), daya (Power), energi yang digunakan (Energy), kapasitas baterai (Capacity), persentase kapasitas baterai (State of Charge/SOC), resistansi, serta waktu operasi (Running Time) melalui layar LCD. Data yang ditampilkan oleh PZEM-015 digunakan sebagai dasar analisis konsumsi energi, daya rata-rata, serta performa sistem kelistrikan pada sepeda motor listrik hasil konversi. Pengukuran arus dilakukan menggunakan external shunt, sehingga PZEM-015 dapat digunakan untuk pengukuran arus yang besar dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 1\%$.



Gambar 2.8 PZEM-015 (Peacefair Energy Monitor)

Dimana pada PZEM-015 ini terdapat beberapa spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.6 Spesifikasi PZEM-015 (Peacefair Energy Monitor)

Parameter	Spesifikasi
Model	PZEM-015 DC Battery Monitor
Tegangan kerja	DC 8–120 V (pengukuran hingga 200 V)
Rentang arus	0–300 A (menggunakan external shunt)
Rentang daya	0,2–60.000 W
Rentang energi	0–9.999 kWh
Kapasitas baterai	0–1.000 Ah
State of Charge (SOC)	0–100 %
Running Time	0–999 jam
Akurasi pengukuran	± 1 %
Suhu operasi	-20 °C hingga 60 °C
Tampilan	LCD digital multifungsi