

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

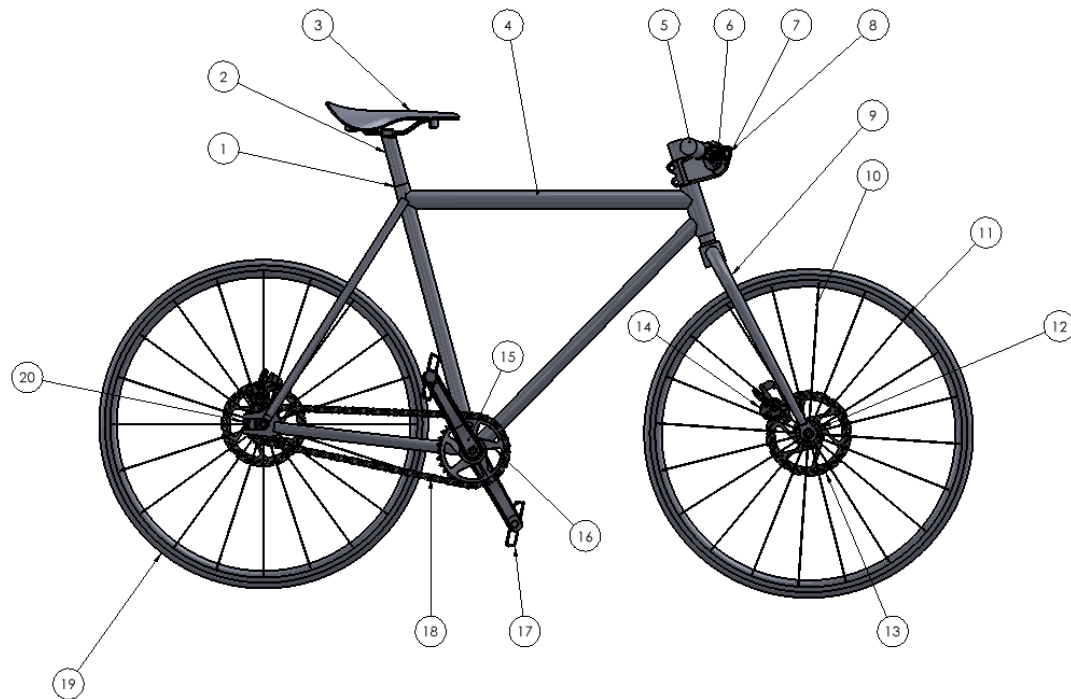
Pada tinjauan pustaka bertujuan untuk memberikan gambaran tentang literatur yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan dasar teori tentang topik yang dibahas yaitu ” Modifikasi sepeda manual menjadi sepeda Listrik”.

2.1 Sepeda Manual

Sepeda pertama kali ditemukan oleh Baron Karl Drais von Sauerbronn atau lebih dikenal dengan nama Karl Drais. Karl Drais lahir pada tanggal 29 April 1785 di Karlsruhe, Tepatnya di Negara Jerman. Sepeda mulai populer di masa kolonial Belanda. Saat penjajahan Indonesia, orang Belanda menggunakan sepeda buatan Eropa sebagai alat transportasi. Namun, sepeda tidak digunakan oleh semua orang sebagai alat transportasi; itu hanya digunakan oleh orang-orang tertentu, seperti para raja dan bangsawan. Di Indonesia, sepeda modern yang dimulai pada tahun 1980-an termasuk sepeda gunung (*mountain bike*), sepeda perkotaan (*road bike*), sepeda anak, dan sepeda lipat. Sepeda gunung masih merupakan sepeda modern yang sangat diminati oleh masyarakat Indonesia hingga saat ini. Sepeda gunung pertama kali diperkenalkan pada tahun 1977 oleh Joe Breeze dari Amerika Serikat.

Secara umum, sepeda manual memiliki dua roda yang disusun dalam posisi sejajar, rangka berfungsi sebagai struktur dasar, serta terdapat mekanisme kemudi dan penggerak. Pengendara mengoperasikan sepeda dengan mengayuh pedal yang terhubung dengan sistem transmisi, yang akan mengakibatkan roda belakang berputar. Keseimbangan sepeda dipelihara melalui gabungan gerakan roda, posisi pengendara,

dan pengendalian arah menggunakan setang. (Sentana et al., 2025)



Gambar 2.1 Sepeda Manual

Komponen utama pada sepeda antara lain:

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Penjepit Sadel | 11. Pelek Sepeda |
| 2. Dudukan Sadel | 12. Tromol Roda |
| 3. Sadel | 13. Piringan Cakram Rem |
| 4. Kerangka | 14. Rem Kaliper |
| 5. Grip Sepeda | 15. Lengan Pedal |
| 6. Setang Sepeda | 16. Gear Depan |
| 7. Penghubung Setang | 17. Pedal |
| 8. Tuas Rem | 18. Rantai Sepeda |
| 9. Fork | 19. Ban |
| 10. Jari-Jari Roda | 20. Sproket |

Sistem transmisi sepeda manual mentransfer tenaga dari pengendara ke roda belakang sepeda, memungkinkannya bergerak maju. Komponen utamanya terdiri dari pedal, rantai, dan sproket.

Bahan untuk rangka sepeda manual biasanya berasal dari baja, aluminium, atau campuran logam ringan lainnya yang dirancang supaya memiliki kekuatan struktur yang tinggi dengan berat yang cukup ringan. Di samping itu, kenyamanan dan efisiensi pengalaman berkendara sepeda manual juga dipengaruhi oleh faktor ergonomi, seperti posisi tempat duduk, panjang lengan crank, dan pengaturan sistem transmisi yang diterapkan. (Satria et al., 2017)

Meskipun sepeda manual menawarkan keuntungan seperti desain yang mudah, biaya perawatan yang rendah, dan tanpa emisi, kapasitas tenaga manusia menjadi tantangan utama, terutama saat ditempuh jarak yang panjang atau di medan yang menanjak. Oleh karena itu, sepeda manual pun mengalami pengembangan dengan penambahan sistem motor listrik untuk meningkatkan kenyamanan dan efisiensi saat berkendara, yang akhirnya menghasilkan konsep sepeda listrik. (Sentana et al., 2025)

2.2 Pengertian Sepeda Listrik



Gambar 2.2 Sepeda Listrik

(Sumber: <https://oto.detik.com/berita/d-5086314/modifikasi-sepeda-jadi-enggak-perlu-capek-gowes-lagi-siapkan-uang-rp-5-juta>)

Sepeda listrik adalah inovasi dari sepeda biasa yang memiliki motor listrik dan baterai sebagai sumber daya tambahan untuk mendukung pengendara selama berkendara. (Arsyad et al., 2021)

Sepeda listrik memberikan peluang baru bagi orang-orang yang sebelumnya tidak mempertimbangkan bersepeda konvensional untuk mulai menggunakan sepeda sebagai moda transportasi. (Jones et al., 2016)

Sepeda yang menggunakan tenaga listrik, atau yang dikenal sebagai sepeda listrik (e-bike), beroperasi dengan memanfaatkan tenaga listrik yang tersimpan pada baterai. Energi ini kemudian diteruskan melalui pengendali menuju motor listrik, yang kemudian menghasilkan tenaga mekanik dalam bentuk rotasi roda. Tingkat kecepatan serta kekuatan motor dapat diatur melalui gas atau sistem bantuan pedal, sesuai dengan tipe sepeda listrik yang digunakan. (Saputra et al., n.d.)

Penggunaan sepeda listrik memiliki berbagai keunggulan, antara lain lebih ramah lingkungan, efisien dari sisi energi, serta mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Oleh karena itu, sepeda listrik diakui sebagai pilihan transportasi untuk jarak pendek yang hemat biaya dan berkelanjutan, terutama di area perkotaan. (Sentana et al., 2025)

Selain memiliki berbagai kelebihan dalam hal efisiensi energi dan kemudahan penggunaan, sepeda listrik juga berkembang sebagai salah satu moda transportasi alternatif yang banyak digunakan di berbagai negara. Sepeda listrik memanfaatkan motor listrik dan baterai sebagai sumber tenaga tambahan untuk membantu pengendara saat mengayuh sehingga perjalanan menjadi lebih efisien dan nyaman. Perkembangan teknologi ini juga mendorong peningkatan penggunaan sepeda listrik sebagai solusi transportasi perkotaan yang lebih hemat energi. (Salmeron-Manzano &

Manzano-Agugliaro, 2018)

2.3 Baterai Listrik (Lithium-Ion)



Gambar 2.3 Baterai lithium-ion

(Sumber: <https://sentradaya.com/product/baterai-lithium-lifepo4-pack/>)

Baterai lithium-ion (Li-ion) merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang yang banyak dipakai pada gadget portabel, mobil listrik, dan sistem penyimpanan energi masa kini karena kelebihan yang dimilikinya dibandingkan baterai tradisional. Cara kerja baterai ini bergantung pada pergerakan ion litium yang bergerak antara elektroda positif (katoda) dan elektroda negatif (anoda) melalui elektrolit saat baterai diisi atau dikeluarkan energi. Komponen utama dari baterai Li-ion meliputi katoda yang biasanya terbuat dari senyawa oksida logam seperti Lithium Cobalt Oxide (LiCoO_2), Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4), atau Lithium Nickel Manganese Cobalt (NMC), anoda yang umumnya berbahan grafit, serta elektrolit yang bisa berupa cairan atau polimer yang menghantarkan, dan separator yang berfungsi untuk menghindari kontak langsung antara anoda dan katoda sembari memungkinkan ion berpindah. (Dewadi, 2021). Dalam penggunaannya pada sepeda listrik, baterai lithium-ion umumnya disertai dengan Sistem Manajemen Baterai (BMS). Sistem ini berfungsi

untuk melindungi baterai dari kondisi berbahaya seperti overcharge, overdischarge, arus berlebih, dan suhu berlebih, sehingga dapat meningkatkan keselamatan serta memperpanjang umur baterai. Selain itu, BMS juga berperan dalam menjaga kestabilan tegangan serta performa baterai saat sepeda listrik sedang digunakan. (Ishak, 2015)

Baterai lithium-ion banyak digunakan pada kendaraan listrik karena memiliki densitas energi yang tinggi, bobot yang relatif ringan, serta kemampuan pengisian ulang yang baik. Karakteristik tersebut menjadikan baterai lithium-ion sangat sesuai digunakan sebagai sumber energi pada sepeda listrik karena mampu memberikan daya yang stabil serta memiliki umur siklus yang lebih panjang dibandingkan jenis baterai lainnya. (Nitta et al., 2015)

2.4 Konsep Energi

Suatu sistem dikatakan mempunyai energi/tenaga, jika sistem tersebut mempunyai kemampuan untuk melakukan usaha. Besarnya energi suatu sistem sama dengan besarnya usaha yang mampu ditimbulkan oleh sistem tersebut. Oleh karena itu, satuan energi sama dengan satuan usaha dan energi juga merupakan besaran skala (prinsip usaha-energi: usaha adalah transfer energi yang dilakukan oleh gaya-gaya yang bekerja pada benda) (Serway & Jewett, 2004)

Dalam fisika terdapat energi yang dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Energi Mekanik

Adalah jumlah antara energi kinetik dan energi potensial suatu benda.

$$E_m = E_k + E_p \quad (2.1)$$

Hukum kekekalan energi berlaku karena energi mekanik tidak dapat diciptakan

dan dimusnahkan atau kekal. (Serway & Jewett, 2004)

$$Em^1 = Em^2$$
$$Ek^1 + Ep^1 = Ek^2 + Ep^2 \quad (2.2)$$

Energi Mekanik dibagi menjadi dua yaitu:

a. Energi Kinetik

Adalah energi yang dimiliki oleh benda yang bergerak. Energi kinetik suatu benda berbanding lurus dengan massanya dan kuadrat kecepatannya.

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.3)$$

Keterangan:

Ek = Energi Kinetik (Joule)

m = Massa benda (Kg)

v = Kecepatan

b. Energi Potensial

Adalah energi potensial yang dimiliki oleh suatu benda karena pengaruh tempatnya atau kedudukannya. Energi potensial ini juga dikenal sebagai energi diam, karena benda yang diam juga dapat memiliki energi potensial.

$$Ep = w \cdot h = m \cdot g \cdot h \quad (2.4)$$

Keterangan:

Ep = Energi Potensial (joule)

w = berat benda (N)

m = Massa benda (Kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

h = tinggi benda (m)

2. Energi Listrik

Energi Listrik adalah energi yang berasal dari akumulasi arus elektron, dan aliran elektron melalui konduktor tertentu adalah cara transisi atau transfer energi. Energi elektrostatis dan merupakan energi medan listrik yang dihasilkan oleh akumulasi muatan elektron pada pelat kapasitor. Energi medan listrik ini sama dengan energi medan magnet yang dihasilkan oleh aliran elektron melalui kumparan induksi. (Pratomo, 2013)

$$W = Q \cdot V \quad (2.5)$$

Keterangan:

W = Energi listrik (Joule)

Q = Muatan listrik (Coulomb)

V = Beda potensial (Volt)

Keberadaan energi listrik ini dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin. Energi yang digunakan alat listrik merupakan laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut digunakan.

$$W = P \cdot t \quad (2.6)$$

Keteranagan:

W = Usaha (Joule)

P = daya (watt)

t = waktu (s)

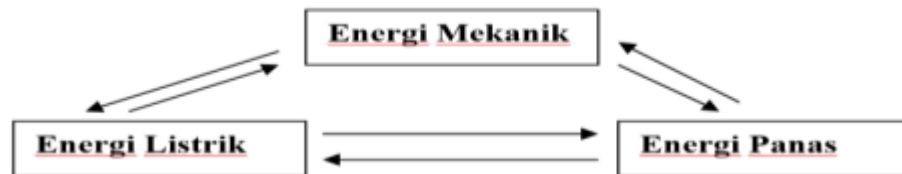
2.5 Prinsip konversi Energi

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa “Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, yang terjadi hanyalah transformasi atau perubahan suatu

bentuk energi ke bentuk lainnya”, sehingga energi dapat berubah menjadi energi lain.

Air terjun menghasilkan energi listrik dari mekanik. (Pratomo, 2013)

Energi yang dapat dikonversi seperti energi mekanik, energi listrik dan energi panas yang saling berhubungan dan dapat saling di konversi.



Gambar 2.4 Tiga energi konversi

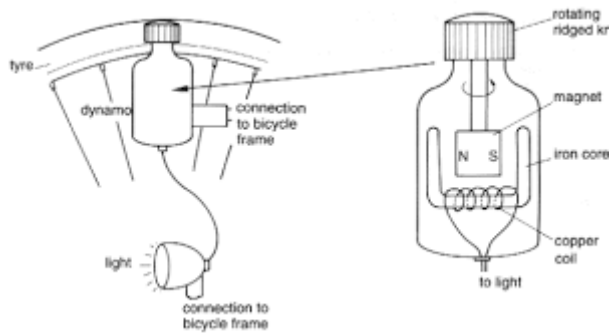
(Sumber: <https://rizkifaisal17.wordpress.com/2020/06/27/konversi-energi/>)

2.5.1 Energi Mekanik Menjadi Energi Listrik

Untuk menghasilkan energi, alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik adalah generator. Dinamo sepeda adalah contoh alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Prinsip kerja dinamo sepeda adalah mengubah energi gerak menjadi energi listrik; itu hanya menyalakan lampu depan dan belakang, dan kecepatan rotasi roda menentukan jumlah arus listrik yang dihasilkan.

Komponen inti dinamo sepeda terdiri dari kumparan tetap dan magnet yang dapat berputar. Saat roda sepeda diputar, magnet dinamo akan memutar, sehingga memutar roda sepeda. Dalam kebanyakan kasus, dinamo dapat menghasilkan elektrik.



Gambar 2.5 Bagian-bagian dinamo sepeda

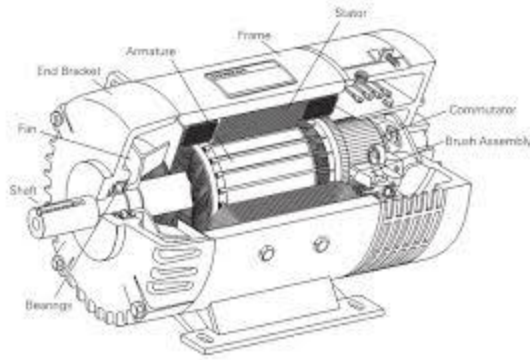
(Sumber: <https://www.unrang.com/2019/10/cara-kerja-dinamosepeda.html>)

2.5.2 Energi Listrik Menjadi Energi Mekanik

Energi listrik juga dapat diubah menjadi energi mekanik atau gerak. Seperti kebalikan dari energi mekanik yang diubah menjadi energi listrik. Alat yang biasanya digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi gerak juga dapat mengubahnya menjadi energi mekanik atau gerak adalah motor listrik, arus listrik mengalir melalui kumparan, menimbulkan medan magnet yang membuat as motor berputar. Putaran as motor ini digunakan untuk menggerakkan kipas angin, bor listrik, dan alat lainnya.

Pada Motor listrik mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik pada motor listrik dapat dicapai melalui penggunaan magnet yang dikenal sebagai elektromagnet. Sejauh yang kita ketahui: kutub-kutub.

Kutub magnet yang sama akan tolak-menolak dan kutub magnet yang berbeda akan tarik-menarik. Dengan menempatkan satu magnet pada poros yang dapat berputar dan yang lain pada posisi yang tetap, kita dapat mencapai gerakan. (Pratomo, 2013)



Gambar 2.6 Bagian-bagian motor listrik

(Sumber: <https://automation.or.id/2020/01/13/vsd-basic-4-motor-dc/>)

2.6 Energi Penggerak Sepeda Hibrida

Daya listrik masukan motor dihitung menggunakan rumus (Satria et al., 2017)

$$P_{in} = V \times I \quad (2.7)$$

Keterangan :

P_{in} = Daya listrik masuk motor (Watt)

V = Tegangan baterai (v)

I = Arus listrik (A)

Dimana energi mekanik dapat dihitung dengan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$P_{mekanik} = F_{em} \cdot v \quad (2.8)$$

Keterangan :

$P_{mekanik}$ = Daya mekanik (W)

F_{em} = Gaya elektromagnetik (N)

v = Kecepatan (m/s)

2.7 Sistem Kelistrikan Sepeda Hibrida

Sistem Kelistrikan ini memiliki tegangan arus yang dapat dihitung menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$P_k = u_k \cdot i_k \quad (2.9)$$

Keterangan :

P_k = Daya listrik (Watt)

u_k = Tegangan listrik (Volt)

i_k = Arus listrik (A)

2.8 Karakteristik Motor Listrik

Pada karakteristik ini dapat ditemukan daya menaik yang dimana dapat dihitung menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$P_{mekanik} = F_{em} \cdot v \quad (2.11)$$

Keterangan :

$P_{mekanik}$ = Daya mekanik (W)

F_{em} = Gaya elektromagnetik (N)

v = Kecepatan (m/s)

Dimana untuk menghitung torsi dan kecepatan dapat menggunakan rumus

$$P = T \cdot \omega \quad (2.12)$$

Keterangan :

P = Daya mekanik (W)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2.9 Model Dinamika Sepeda Hibrida

Pada model dinamika ini dapat ditemukan gaya keseluruhan yang dimana dapat dihitung menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$\sum F = m \cdot a \quad (2.13)$$

Keterangan :

$\sum F$ = Gaya total yang bekerja (N)

m = Massa total sepeda dan pengendara (kg)

a = Percepatan sepeda (m/s^2)

Sedangkan untuk menghitung gaya hambat tanjakan menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$F_t = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (2.14)$$

Keterangan :

F_t = Gaya hambat tanjakan (N)

θ = Sudut tanjakan

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Dimana untuk menghitung gaya hambatan angin menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (2.15)$$

Keterangan :

F_{drag} = Gaya hambat angin (N)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

C_d = Koefisien hambat Udara

A = Luas penampang depan sepeda (m^2)

v = Kecepatan sepeda (m/s)

Serta untuk menghitung gaya hambat gelinding bisa menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$F_r = C_r \cdot m \cdot g \quad (2.16)$$

Keterangan :

Fr = Gaya hambat gelinding (N)

Cr = Koefisien gelinding ban

m = Massa total (kg)

2.10 Performa dan Jarak Tempuh

Untuk menghitung performa sepeda listrik didapatkan gaya hubungan dorong dan torsi roda yang dapat dihitung menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$Tr = Ftrac \cdot r \quad (2.17)$$

Keterangan :

Tr = Torsi roda (Nm)

Fd = Gaya dorong pada roda (N)

r = Jari-jari roda (m)

Dimana gaya dorong total dapat dihitung menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$Ftotal = Ft + Ftrac + Fr \quad (2.18)$$

Keterangan :

$Ftotal$ = Gaya dorong total (N)

Serta Konsumsi energi per jarak tempuh dapat dihitung menggunakan rumus (Malozyomov et al., 2023)

$$Ejarak = \frac{P}{v} \quad (2.19)$$

Keterangan :

$Ejarak$ = Konsumsi energi per meter (J/m)

P = Daya yang dibutuhkan (W)

v = Kecepatan sepeda (m/s)