

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sepeda Motor Konvensional

Sepeda motor konvensional merupakan kendaraan roda dua yang menggunakan mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine/ICE*) sebagai sumber penggerak utama. Mesin ini mengubah energi kimia dari bahan bakar (biasanya bensin) menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran. Energi hasil pembakaran digunakan untuk menggerakkan piston yang selanjutnya menghasilkan putaran pada poros engkol (*crankshaft*) dan diteruskan ke roda penggerak melalui sistem transmisi.

Efisiensi termal mesin pembakaran bensin pada sepeda motor berkisar antara 25-35%, dengan sekitar 60-70% energi bahan bakar terbuang sebagai panas akibat gesekan internal dan gas buang. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pendukung seperti pelumasan dan pendinginan memiliki peran penting dalam menjaga efisiensi dan umur pakai mesin (Wang, C., Liu, J., & Zhang, 2021).

Secara umum, sepeda motor konvensional dibedakan berdasarkan jenis mesin, sistem bahan bakar, serta sistem transmisi yang digunakan. Komponen utama dari sepeda motor konvensional meliputi mesin, sistem pengapian, sistem bahan bakar, sistem pelumasan, sistem pendinginan, dan sistem transmisi. Masing-masing komponen ini bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan daya dorong yang efisien.

2.1.1 Klasifikasi Mesin Sepeda Motor Berdasarkan Siklus Kerja (Motor Dua Langkah dan Empat Langkah)

Berdasarkan jumlah langkah piston untuk menyelesaikan satu siklus kerja, mesin sepeda motor diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu mesin dua langkah (*two-stroke engine*) dan mesin empat langkah (*four-stroke engine*).

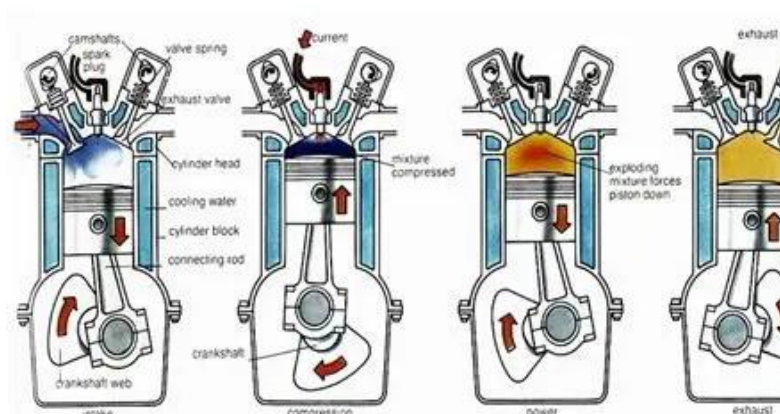
a. Mesin Dua Langkah (2-Tak)



Gambar 2. 1 Mesin Dua Langkah (2-Tak)

Mesin dua langkah menyelesaikan satu siklus pembakaran dalam dua langkah piston dan satu putaran poros engkol. Pada mesin ini, langkah hisap dan buang terjadi hampir bersamaan. Keunggulan mesin dua langkah adalah memiliki rasio daya terhadap berat yang tinggi, konstruksi sederhana, dan menghasilkan daya lebih cepat. Namun, mesin ini memiliki kelemahan berupa efisiensi bahan bakar rendah serta tingginya emisi gas buang karena sebagian bahan bakar ikut keluar bersama gas buang.

b. Mesin Empat Langkah (4-Tak)



Gambar 2. 2 Mesin Empat Langkah (4-Tak)

Mesin empat langkah menyelesaikan satu siklus pembakaran dalam empat langkah piston (hisap, kompresi, pembakaran, dan buang) dan dua putaran poros engkol. Keunggulan utama mesin ini adalah efisiensi termal lebih tinggi, pembakaran lebih sempurna, serta emisi gas buang lebih rendah dibandingkan mesin dua langkah. Namun, mesin empat langkah memiliki konstruksi lebih kompleks dan berat lebih besar.

Menurut (Dahham, O. S., 2022) hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa mesin empat langkah memiliki efisiensi bahan bakar 18% lebih tinggi dan emisi CO₂ lebih rendah hingga 25% dibanding mesin dua langkah. Studi ini juga menemukan bahwa peningkatan rasio kompresi dan penggunaan sistem injeksi bahan bakar elektronik (EFI) secara signifikan meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan konsumsi bahan bakar.

2.1. 2 Komponen Utama dan Sistem Pendukung Mesin Sepeda Motor

Komponen utama mesin pembakaran dalam terdiri atas beberapa bagian penting yang bekerja secara bersamaan untuk mengubah energi bahan bakar menjadi tenaga mekanik.

- a. Silinder dan Kepala Silinder (*Cylinder and Cylinder Head*)
Merupakan ruang tempat terjadinya proses pembakaran. Kepala silinder berfungsi menutup bagian atas silinder dan menampung mekanisme katup serta busi.
- b. Piston dan Batang Penghubung (*Piston and Connecting Rod*)
Piston menerima tekanan hasil pembakaran dan mengubahnya menjadi gerakan translasi. Batang penghubung mentransfer gerak piston ke poros engkol.
- c. Poros Engkol (*Crankshaft*)
Mengubah gerak bolak-balik piston menjadi gerak rotasi yang digunakan untuk menggerakkan roda.
- d. Katup (*Valve System*)
Mengatur aliran masuk campuran bahan bakar dan udara ke ruang bakar serta keluarnya gas buang.

e. Sistem Pelumasan (*Lubrication System*)

Berfungsi untuk mengurangi gesekan antar komponen, mengurangi keausan, serta membantu pembuangan panas.

f. Sistem Pendinginan (*Cooling System*)

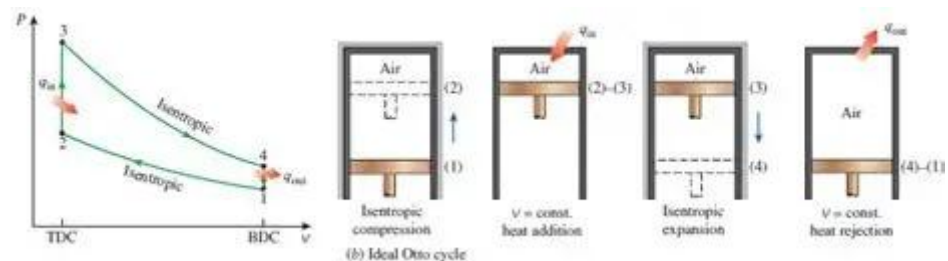
Menjaga suhu kerja mesin agar tetap stabil pada kisaran 75–90°C.

g. Sistem Bahan Bakar dan Pengapian

Bertugas mencampur bahan bakar dengan udara dan menyalakan campuran tersebut pada saat yang tepat.

Melalui simulasi *3D CFD thermal modeling* menemukan bahwa 60% energi hasil pembakaran dilepaskan dalam bentuk panas, di mana 30% diserap oleh pendingin cairan dan 30% oleh oli mesin. Distribusi panas yang tidak merata dapat menyebabkan deformasi termal pada kepala silinder dan menurunkan efisiensi mesin. Oleh karena itu, material paduan aluminium dengan konduktivitas termal tinggi direkomendasikan untuk meningkatkan disipasi panas (Corti, A., 2018).

2.1.3 Prinsip Kerja Mesin Pembakaran Dalam pada Sepeda Motor



Gambar 2.3 Siklus Termodinamika Otto

Mesin pembakaran dalam bekerja berdasarkan siklus termodinamika Otto, yang terdiri dari empat proses utama:

- Hisap (*Intake*) Piston bergerak ke bawah, katup masuk terbuka, udara dan bahan bakar masuk ke ruang silinder.
- Kompresi (*Compression*) Katup tertutup, piston bergerak ke atas dan menekan campuran bahan bakar-udara.
- Pembakaran dan Ekspansi (*Power Stroke*) Percikan busi menyalakan campuran yang telah dikompresi, menghasilkan gaya dorong piston ke bawah.

- d. Buang (*Exhaust*) Gas sisa pembakaran dikeluarkan dari ruang silinder melalui katup buang.

Efisiensi termal teoritis dari siklus Otto dinyatakan dengan rumus:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)}}$$

Dengan r adalah rasio kompresi dan γ adalah rasio panas spesifik udara. Penelitian mengenai pemanfaatan panas buang mesin 150 cc dengan *Thermoelectric Generator* (TEG) menunjukkan peningkatan efisiensi total mesin dari 32% menjadi 38%. Panas buang yang sebelumnya terbuang diubah menjadi energi listrik tambahan yang dapat digunakan untuk sistem kelistrikan sepeda motor (Osman et al., 2021).

2.1. 4 Sistem Pembakaran dan Pengapian pada Mesin Sepeda Motor

Sistem pembakaran dan pengapian merupakan bagian yang menentukan performa mesin. Tugas utamanya adalah menciptakan percikan api pada waktu yang tepat untuk menyalakan campuran bahan bakar-udara dalam ruang bakar.

Dua jenis sistem pengapian yang umum digunakan:

- a. Sistem Konvensional (*Platina-Coil*) menggunakan kontak mekanis untuk memutus arus primer pada koil pengapian.
- b. Sistem CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) menggunakan kapasitor untuk menyimpan dan melepaskan energi ke koil pengapian sehingga percikan lebih kuat dan stabil.

Menurut (Chen, Y., 2025), penggunaan sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) dengan pengendali suhu bahan bakar mampu menurunkan emisi karbon monoksida (CO) sebesar 12% dan meningkatkan kestabilan idle mesin hingga 30% dibanding sistem karburator. Hal ini terjadi karena EFI mengatur rasio udara-bahan bakar secara presisi menggunakan sensor oksigen dan suhu.

2.1. 5 Sistem Pelumasan Mesin Sepeda Motor

Sistem pelumasan berfungsi mengurangi gesekan antara komponen bergerak, menyalurkan panas, dan mencegah korosi. Jenis

pelumasan yang digunakan pada sepeda motor meliputi sistem pelumasan basah (*wet sump*) dan pelumasan kering (*dry sump*).

Penelitian Magnani & Andrade (2018) menunjukkan bahwa oli sintetis mampu menurunkan gaya gesek hingga 18%, meningkatkan efisiensi mekanik 7%, serta memperpanjang umur piston ring hingga 25% dibanding oli mineral. Viskositas yang stabil pada suhu tinggi menjadi faktor utama dalam menjaga performa pelumasan (Magnani, G., & Andrade, 2018).

2.1. 6 Sistem Pendinginan Mesin Sepeda Motor

Pendinginan menjaga suhu mesin agar tidak melebihi batas kerja optimal (sekitar 90°C). Sistem pendingin terbagi menjadi:

- a. Pendinginan Udara (*Air Cooling*) panas dilepas melalui sirip-sirip silinder yang berinteraksi dengan udara luar.
- b. Pendinginan Cairan (*Liquid Cooling*) menggunakan cairan pendingin (*coolant*) yang bersirkulasi melalui mantel air (*water jacket*) di sekitar silinder.

Menurut (Himel, S., 2021), mesin dengan pendinginan cair mampu mempertahankan suhu kerja lebih stabil (75-85°C) dan meningkatkan umur pakai komponen silinder hingga 20% lebih lama dibanding pendinginan udara. Namun, sistem ini menambah kompleksitas dan bobot total mesin.

2.2 Sepeda Motor Listrik

Sepeda motor listrik merupakan kendaraan roda dua yang menggunakan motor listrik sebagai sumber tenaga penggerak utama, bukan mesin pembakaran dalam. Energi listrik disimpan dalam baterai dan dikonversi menjadi energi mekanik melalui prinsip induksi elektromagnetik.

Sistem penggerak sepeda motor listrik memiliki efisiensi energi mencapai 85-92%, jauh lebih tinggi dibandingkan sepeda motor konvensional yang berkisar 25-35%. Efisiensi tinggi ini membuat motor listrik menjadi solusi utama dalam mendukung transisi menuju sistem transportasi rendah emisi (Lee, S., 2020).Keunggulan utama sepeda motor listrik meliputi:

- a. Tidak menghasilkan emisi gas buang langsung, sehingga ramah lingkungan.
- b. Konsumsi energi lebih hemat, karena konversi energi lebih efisien.
- c. Tingkat kebisingan rendah, meningkatkan kenyamanan pengguna.
- d. Biaya perawatan lebih rendah, karena tidak memerlukan sistem pelumasan kompleks atau pergantian oli.

Kelemahannya antara lain adalah kapasitas baterai yang terbatas, waktu pengisian yang relatif lama, serta kebutuhan sistem pendinginan tambahan untuk menjaga suhu motor dan baterai tetap stabil, terutama pada beban kerja tinggi seperti pada transmisi CVT.

2.3. 1 Prinsip Elektromagnetik dan Mekanisme Kerja Motor Listrik

Motor listrik bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang pertama kali dijelaskan oleh Michael Faraday pada tahun 1831. Prinsip ini menyatakan bahwa arus listrik yang mengalir melalui suatu penghantar di dalam medan magnet akan menghasilkan gaya gerak (*Lorentz Force*) yang menyebabkan penghantar tersebut bergerak. Hubungan gaya elektromagnetik dinyatakan dengan persamaan:

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin(\theta)$$

di mana:

F = gaya (N),

B = kerapatan fluks magnet (T),

I = arus listrik (A),

L = panjang penghantar (m),

θ = sudut antara arah arus dan medan magnet.

Motor listrik yang digunakan pada sepeda motor listrik umumnya menggunakan prinsip rotasi elektromagnetik, di mana rotor berputar akibat interaksi antara medan magnet stator dan arus listrik yang diinduksikan. Semakin kuat fluks magnetik dan arus listrik, semakin besar torsi yang dihasilkan. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa efisiensi sistem penggerak dapat meningkat hingga 94% dengan penggunaan motor *Brushless DC* (BLDC) karena minim gesekan dan kehilangan arus induksi (Zhang, T., Liu, F., & Chen, 2019). Dengan demikian, prinsip elektromagnetik menjadi dasar konversi energi listrik

menjadi energi mekanik rotasi yang digunakan untuk menggerakkan roda kendaraan.

2.2.2 Komponen Utama Sistem Penggerak Sepeda Motor Listrik

Sistem penggerak sepeda motor listrik terdiri atas beberapa komponen penting yang saling terintegrasi. Setiap komponen berperan dalam proses konversi energi, pengendalian torsi, serta manajemen energi selama operasi.

a. Motor Listrik



Gambar 2. 4 Brushless DC

Motor listrik merupakan aktuator utama yang menghasilkan gaya putar. Jenis motor yang umum digunakan pada sepeda motor listrik adalah *Brushless DC Motor* (BLDC) dan *Permanent Magnet Synchronous Motor* (PMSM). Motor BLDC lebih efisien karena tidak menggunakan sikat karbon, menghasilkan gesekan minimal, serta lebih tahan lama. Motor BLDC mampu mencapai efisiensi mekanik hingga 93% dengan torsi tinggi pada kecepatan rendah. Hal ini membuat BLDC cocok untuk aplikasi kendaraan roda dua yang memerlukan akselerasi cepat di kondisi lalu lintas perkotaan (Chaudhari, S., 2022).

b. Baterai



Gambar 2. 5 Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi utama. Jenis yang umum digunakan adalah *Lithium-Ion* (Li-ion) dan *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4) karena memiliki densitas energi tinggi, siklus hidup panjang, dan efisiensi pengisian tinggi. Kapasitas baterai menentukan jarak tempuh, sedangkan sistem manajemen baterai (*Battery Management System/BMS*) menjaga agar suhu, arus, dan tegangan tetap dalam batas aman.

Penelitian (Bui et al., 2020) menunjukkan bahwa suhu kerja optimal baterai Li-ion berada pada kisaran 25-40°C. Peningkatan suhu di atas 50°C mempercepat degradasi sel hingga 40% lebih cepat, sedangkan suhu rendah (<10°C) menurunkan kapasitas pelepasan daya hingga 30% .

c. *Controller (Motor Driver)*



Gambar 2. 6 Controller (Motor Driver)

Controller merupakan unit pengendali yang mengatur besarnya arus dan tegangan yang masuk ke motor listrik. Fungsi utama controller adalah untuk:

1. Mengontrol kecepatan dan arah rotasi motor,
2. Menyesuaikan torsi berdasarkan beban,
3. Mengoptimalkan efisiensi daya.

Studi (Li, H., & Song, 2020) mengembangkan *fuzzy logic controller* untuk sepeda motor listrik dan menunjukkan peningkatan efisiensi energi sebesar 8,2% dibandingkan kontrol konvensional berbasis PWM. Sistem ini mampu menyesuaikan arus input secara adaptif terhadap perubahan beban dan kondisi jalan.

d. *Sensor*

Sensor berfungsi memberikan umpan balik kepada controller untuk memastikan sistem bekerja dalam kondisi optimal. Sensor yang digunakan meliputi:

1. Sensor kecepatan (*Hall Effect sensor*) untuk mendeteksi posisi rotor,
2. Sensor arus dan tegangan,

3. Sensor suhu, terutama pada motor dan baterai untuk mencegah *overheating*.

Integrasi sensor suhu pada motor BLDC penting untuk sistem pendingin aktif. Menurut (Ibrahim, M., 2023), penambahan sensor suhu berbasis *thermistor NTC* dapat menurunkan risiko kerusakan isolasi kumparan hingga 35%, karena sistem pendingin dapat diaktifkan lebih cepat

2.2.3 Klasifikasi dan Karakteristik Motor Listrik untuk Kendaraan Roda Dua

Motor listrik untuk kendaraan roda dua diklasifikasikan berdasarkan jenis arus dan struktur elektromagnetiknya:

Tabel 2. 1 Klasifikasi dan Karakteristik Motor Listrik

Jenis Motor	Tipe Arus	Keunggulan Utama	Kelemahan	Aplikasi Umum
DC Brushed	DC	Sederhana, biaya murah	Cepat aus karena sikat	Motor listrik entry level
<i>Brushless DC (BLDC)</i>	DC	Efisiensi tinggi, torsi besar, minim perawatan	Perlu kontrol elektronik kompleks	Skuter listrik, konversi motor bensin
<i>PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor)</i>	AC	Efisiensi tinggi, torsi halus	Harga tinggi, butuh inverter	Sepeda motor performa tinggi
<i>Induction Motor</i>	AC	Tahan lama, murah	Efisiensi sedikit lebih rendah	Motor listrik menengah
<i>Switched Reluctance Motor</i>	AC	Struktur sederhana, tanpa magnet	Getaran dan kebisingan tinggi	Aplikasi kendaraan hemat biaya

(Kumar, R., 2020) dan (Park, Y., & Kim, 2022).

Motor BLDC dan PMSM menjadi pilihan paling umum untuk sepeda motor listrik karena memiliki rasio daya terhadap berat yang

tinggi dan efisiensi energi yang stabil di berbagai kecepatan. Penggunaan *motor in-wheel* (terintegrasi pada roda belakang) juga semakin populer karena menghilangkan kebutuhan transmisi konvensional, meskipun menimbulkan tantangan baru dalam disipasi panas dan penempatan sistem pendingin.

2.3 Sistem Konversi Sepeda Motor Konvensional Menjadi Sepeda Motor Listrik

Konversi sepeda motor konvensional menjadi sepeda motor listrik merupakan proses modifikasi sistem penggerak dengan menggantikan mesin pembakaran dalam (ICE) menjadi motor listrik sebagai sumber tenaga utama. Proses ini mencakup tahap mekanik, elektrik, dan termal agar kendaraan tetap memiliki performa dan efisiensi optimal.

Menurut (Mulyana, 2021), konversi motor bensin ke motor listrik tidak hanya mengurangi emisi CO₂ hingga 80%, tetapi juga menurunkan biaya operasional kendaraan hingga 70% karena hilangnya kebutuhan bahan bakar dan pelumasan rutin.

Konversi ini dilakukan tidak hanya untuk efisiensi energi, tetapi juga sebagai bagian dari upaya transisi menuju transportasi berkelanjutan yang didorong oleh kebijakan pemerintah Indonesia dalam *Peraturan Menteri Perhubungan No. 65 Tahun 2020* tentang Konversi Kendaraan Bermotor Menjadi Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai.

2.3.1 Tahapan Teknis Konversi Sepeda Motor

Proses konversi sepeda motor konvensional menjadi listrik secara umum melalui empat tahapan utama:

a. *Dismantling* (Pembongkaran Mesin Konvensional)

Pada tahap ini, seluruh komponen pembakaran dalam seperti mesin, sistem bahan bakar, knalpot, dan radiator dilepaskan. Komponen yang masih relevan seperti rangka, sistem pengereman, roda, dan CVT dapat dipertahankan.

Menjaga integritas mekanik rangka penting untuk menghindari ketidakseimbangan distribusi massa setelah konversi. Posisi motor

listrik dan baterai harus memperhatikan pusat gravitasi agar stabilitas kendaraan tetap terjaga (Kumar, A., & Singh, 2019)

b. Pemasangan Motor Listrik

Motor listrik dipasang menggantikan posisi mesin konvensional. Penempatan ini dapat langsung terhubung ke sistem transmisi CVT agar tenaga rotasi dari motor listrik dapat disalurkan ke roda belakang dengan efisien. Penelitian konversi motor Honda Beat menunjukkan bahwa penggunaan motor BLDC 3 kW dengan transmisi CVT menghasilkan torsi 14,6 Nm dan efisiensi transmisi 89%. Dengan rasio *pulley* standar (20:14), kendaraan mampu mencapai kecepatan 80 km/jam dengan konsumsi energi 35 Wh/km (Santoso, Y., & Wirawan, 2022).

c. Integrasi Sistem Baterai dan *Controller*

Baterai dipasang sedemikian rupa agar distribusi berat tetap seimbang. Biasanya, baterai ditempatkan di bawah jok atau di tengah rangka. *Controller* dihubungkan antara baterai dan motor untuk mengatur suplai arus dan torsi.

Penelitian oleh (Nugroho, A., 2023) menunjukkan bahwa dengan menempatkan baterai pada bagian tengah rangka dan *controller* di dekat motor, suhu kerja sistem dapat berkurang hingga 6°C dibandingkan dengan penempatan acak. Hal ini karena jarak kabel yang lebih pendek mengurangi resistansi dan kehilangan daya.

d. Pengujian dan Kalibrasi

Tahapan terakhir adalah pengujian sistem untuk memastikan performa kendaraan, kestabilan termal, dan keamanan listrik. Pengujian meliputi pengukuran torsi, kecepatan, suhu motor, suhu CVT, dan efisiensi energi.

2.3. 2 Modifikasi Sistem Penggerak dan Integrasi Transmisi CVT

Sistem *Continuously Variable Transmission* (CVT) pada sepeda motor konvensional berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran dan torsi dari mesin menuju roda belakang tanpa tahapan gigi tetap. Ketika dikonversi menjadi sepeda motor listrik, CVT tetap dapat digunakan untuk menyesuaikan torsi motor listrik yang umumnya sangat besar pada kecepatan rendah.

Menurut (Okafor, C., 2021) penggunaan CVT pada sistem penggerak motor listrik membantu menjaga torsi motor di bawah batas termal, sehingga mengurangi panas yang dihasilkan kumparan motor hingga 15%. Hal ini menjadikan CVT bukan hanya elemen transmisi, tetapi juga bagian dari sistem *thermal protection*.

2.3. 3 Kebutuhan Sistem Pendinginan CVT

Salah satu masalah yang muncul pada konversi adalah kenaikan suhu pada sistem *Continuously Variable Transmission* (CVT). Motor listrik menghasilkan torsi yang besar secara instan (*instant torque*), sehingga beban gesek pada puli dan sabuk CVT meningkat. Jika tidak dikontrol, hal ini dapat menyebabkan:

- a. Overheating pada puli primer dan sekunder,
- b. Peningkatan keausan sabuk CVT,
- c. Penurunan efisiensi transmisi.

Penelitian (Raharjo, B., 2022) menunjukkan bahwa suhu CVT pada sepeda motor listrik konversi dapat meningkat hingga 95°C saat beban penuh tanpa pendinginan tambahan. Dengan penambahan pendinginan aktif berbasis kipas DC 12V, suhu dapat ditekan hingga 68°C, meningkatkan efisiensi CVT sebesar 12%.

2.4 Sistem *Continuously Variable Transmission* (CVT)

Continuously Variable Transmission (CVT) merupakan jenis transmisi otomatis yang memiliki kemampuan untuk mengubah rasio transmisi secara kontinu tanpa tahapan gigi tetap. CVT banyak digunakan pada kendaraan roda dua karena mampu memberikan perpindahan daya yang halus, efisiensi bahan bakar yang lebih baik, serta kenyamanan berkendara yang tinggi.

Menurut (Hosseinzadeh, N., 2019), sistem CVT bekerja dengan prinsip perubahan diameter efektif puli primer dan sekunder yang dihubungkan oleh sabuk (*belt*). Dengan perubahan diameter ini, torsi dan kecepatan keluaran dapat disesuaikan secara otomatis sesuai kondisi beban dan kecepatan kendaraan.

Sistem CVT juga banyak dipertahankan pada sepeda motor listrik hasil konversi karena memberikan pengaturan torsi yang adaptif terhadap motor listrik, yang umumnya menghasilkan torsi tinggi secara instan. Hal ini membantu menjaga kehalusan akselerasi serta mengurangi tekanan termal pada motor dan transmisi.

2.4. 1 Klasifikasi Sistem *Continuously Variable Transmission*

CVT dapat diklasifikasikan berdasarkan mekanisme transmisi torsi dan energi. Secara umum, terdapat tiga jenis utama:

1. *Belt-Driven* CVT (Sabuk dan Puli)

Jenis yang paling umum digunakan pada sepeda motor skuter seperti Honda Vario. Sistem ini terdiri dari dua puli (primer dan sekunder) yang dihubungkan oleh sabuk baja atau sabuk karet khusus diantaranya yaitu:

- a. Puli primer terhubung dengan poros engkol motor listrik.
- b. Puli sekunder terhubung dengan roda belakang melalui kopling sentrifugal.

Rasio transmisi berubah dengan pergerakan puli yang mengubah diameter efektif sabuk.

Menurut Sato et al. (2020), efisiensi transmisi *belt-driven* CVT dapat mencapai 90-94% pada kondisi ideal, tetapi dapat turun hingga 80% saat suhu CVT melebihi 90°C, akibat penurunan koefisien gesek sabuk (Sato, M., 2020).

2. *Chain-Driven* CVT

Menggunakan rantai logam khusus sebagai pengganti sabuk. Biasanya digunakan pada kendaraan dengan torsi tinggi seperti mobil atau sepeda motor sport listrik. Keunggulannya

adalah tahan slip, tetapi menghasilkan kebisingan dan getaran lebih tinggi.

3. *Toroidal* CVT

Menggunakan mekanisme cakram toroidal dengan bola penghubung yang mentransfer torsi melalui gaya geser. Jenis ini jarang digunakan pada kendaraan roda dua karena kompleksitas dan biaya tinggi, tetapi efisiensi mekaniknya tinggi (hingga 96%).

Dari ketiga jenis tersebut, *belt-driven* CVT paling banyak diterapkan pada sepeda motor konvensional maupun konversi listrik karena kesederhanaan desain dan kemudahan perawatan.

2.4.2 Prinsip Kerja dan Mekanisme Perubahan Rasio Transmisi CVT

Sistem *Continuously Variable Transmission* (CVT) bekerja berdasarkan perubahan diameter efektif puli primer dan sekunder melalui gaya sentrifugal dan gaya pegas. Pada kondisi awal (*low speed*), puli primer memiliki diameter kecil sementara puli sekunder besar, menghasilkan rasio transmisi tinggi (torsi besar). Ketika kecepatan meningkat, gaya sentrifugal mendorong puli primer menutup dan memperbesar diameter efektifnya, sementara puli sekunder membuka, menghasilkan rasio transmisi rendah (kecepatan tinggi).

Menurut Jung & Park (2021), sistem CVT yang diatur dengan berat roller optimal dan pegas sekunder adaptif dapat meningkatkan efisiensi akselerasi sebesar 11,3% tanpa mempengaruhi stabilitas torsi motor listrik. Penelitian ini juga menyoroti bahwa pendinginan CVT diperlukan untuk mempertahankan kestabilan rasio transmisi (Jung, H., & Park, 2021).

2.4.3 Komponen Utama Pada Sistem *Continuously Variable Transmission* (CVT)

Komponen utama *Continuously Variable Transmission* (CVT) terdiri dari:

Tabel 2. 2 Komponen Utama *Continuously Variable Transmission* (CVT)

Komponen	Fungsi	Potensi Sumber Panas
Puli Primer (<i>Drive Pulley</i>)	Mengatur rasio transmisi berdasarkan kecepatan motor listrik.	Gesekan antara puli dan sabuk.
Puli Sekunder (<i>Driven Pulley</i>)	Menyediakan torsi keluaran ke roda belakang.	Gesekan antar permukaan puli dan sabuk.
Sabuk (V-Belt)	Media transmisi torsi antara kedua puli.	Slip gesek pada kecepatan tinggi.
Roller Weight	Mengatur gaya sentrifugal pada puli primer.	Tidak signifikan, namun sensitif terhadap suhu tinggi.
Kopling Sentrifugal	Menghubungkan daya ke roda belakang berdasarkan kecepatan putaran.	Panas akibat gesekan kopling.
Rumah CVT (<i>CVT Casing</i>)	Melindungi sistem dari debu dan kotoran serta membantu konduksi panas.	Akumulasi panas dari seluruh sistem.

Menurut Rahman et al. (2020), suhu kerja *Continuously Variable Transmission* (CVT) umumnya berada pada kisaran 60-90°C dalam kondisi normal. Namun, pada beban berat dan kecepatan tinggi, suhu dapat mencapai 110°C. Kenaikan suhu tersebut menurunkan koefisien gesek sabuk sebesar 0,05-0,1, yang berpengaruh langsung terhadap penurunan efisiensi transmisi (Rahman, A., 2020).

2.5 Konsumsi Daya Listrik pada Sistem Pendingin CVT

Sistem pendingin *Continuously Variable Transmission* (CVT) pada sepeda motor listrik berfungsi untuk mengatur temperatur kerja transmisi agar tetap dalam batas aman operasi (60-80°C). Pada sistem konversi seperti Honda Vario 110 Listrik, pendinginan aktif umumnya menggunakan kipas DC 12 V atau mini blower untuk membantu sirkulasi udara di sekitar rumah CVT.

Menurut Setyawan et al. (2023), peningkatan suhu di atas 90°C pada puli CVT dapat menurunkan efisiensi transmisi hingga 10% dan mempercepat keausan sabuk. Oleh karena itu, sistem pendingin aktif sangat diperlukan meskipun memerlukan tambahan daya listrik dari baterai kendaraan (Setyawan, A., 2023).

2.5.1 Prinsip Dasar Konsumsi Daya Sistem Pendingin CVT

Daya listrik yang dikonsumsi oleh sistem pendingin ditentukan oleh jenis dan spesifikasi komponen yang digunakan, seperti motor kipas, sensor suhu, serta sistem kontrol otomatisnya.

Rumus dasar konsumsi daya listrik adalah:

$$P = V \times I$$

di mana:

P = daya listrik (Watt),

V = tegangan (Volt),

I = arus (Ampere).