

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas telah menimbulkan pelepasan besar-besaran gas CO₂ atau karbon dioksida ke atmosfer. Konsentrasi karbon dioksida atau CO₂ rata-rata bulanan di atmosfer pada bulan April 2024 mencapai rekor tertinggi sebesar 427 bagian per juta (ppm). Angka ini menunjukkan peningkatan sekitar 20% dibandingkan dengan rata-rata tingkat CO₂ yang tercatat pada bulan April 1990. Pada tahun 2023, rata-rata CO₂ tahunan global konsentrasi mencapai 421 ppm [1]. Sektor transportasi menjadi penyumbang utama meningkatnya emisi, polutan udara, dan emisi gas rumah kaca global [2]. Di Indonesia sendiri, jumlah kendaraan bermotor sebagai salah satu penyumbang utama meningkatnya emisi CO₂ mengalami peningkatan per tahunnya. Badan Pusat Statistik pada penghujung tahun 2023 melaporkan bahwa di Indonesia terdapat sekitar 125,3 juta unit motor [3].

Kendaraan dengan sumber energi fosil memiliki minimal tiga hambatan utama, yaitu efisiensi yang kurang optimal, memberikan kontribusi terhadap pencemaran udara melalui emisi gas buang, dan penggunaan energi yang tidak berkelanjutan. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dengan bahan bakar fosil dalam jangka waktu beberapa tahun ke depan dapat memberikan dampak pada intensitas gas rumah kaca yang terakumulasi di atmosfer. Bloomberg memproyeksikan bahwa tren masa depan akan ditandai dengan semakin meluasnya penggunaan teknologi ramah lingkungan dan energi terbarukan yang akan mendominasi perpaduan penggunaan energi dan transportasi [4]. Sejumlah negara mulai mengadopsi kendaraan listrik secara masif sebagai respon terhadap tantangan energi dan isu lingkungan karena lebih efisien, bebas emisi dan memiliki kinerja lebih baik.

Pengembangan kendaraan listrik di Indonesia telah menjadi perhatian pemerintah dalam upaya meningkatkan kemandirian energi nasional dan mengurangi emisi karbon dan efek rumah kaca. Dukungan nyata dari Pemerintah

menanggapi isu global terkait polusi dari kendaraan adalah dengan diterbitkannya kebijakan percepatan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai pada Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019. Peraturan ini menjadi dasar hukum bagi pengembangan *Battery Electric Vehicle* (BEV) di Indonesia. Kendaraan listrik mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan kendaraan berbasis mesin pembakaran internal atau *internal combustion engine* (ICE) karena dapat menekan pencemaran udara dan menurunkan emisi karbon. Kendaraan listrik menghasilkan tingkat polusi udara jauh lebih rendah dengan mendekati angka nol jika dibandingkan dengan kendaraan dengan basis ICE [5]. Kinerja kendaraan listrik yang bagus dapat digunakan sebagai alternatif yang sesuai untuk menekan polusi udara di kawasan perkotaan.

Kendaraan listrik walaupun memiliki dampak positif terhadap lingkungan dan kinerja yang lebih baik, juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain: waktu pengisian *battery* yang lama sehingga bergantung pada baterai *onboard*, memiliki jarak tempuh yang terbatas serta tidak dapat dilakukan pengisian bahan bakar sewaktu-waktu selama dalam perjalanan [6]. Sistem penggerak ganda dikembangkan untuk menjawab kekurangan kendaraan berbasis ICE maupun kendaraan listrik dengan mengembangkan teknologi yang dapat mengintegrasikan mesin sistem ICE dan listrik. Sistem penggerak ganda pada kendaraan diharapkan dapat meminimalisir kekurangan dan meningkatkan kelebihan pada kendaraan berbasis ICE maupun listrik.

Sistem penggerak ganda berasal dari mesin konvensional berbasis ICE dan motor traksi yang bekerja secara terpadu. ICE mendapat energi dari bahan bakar minyak (BBM) sedangkan motor traksi mendapat suplai energi dari baterai. Mesin serta motor secara bersamaan memutar transmisi untuk menggerakkan roda. Sistem penggerak ganda tidak terlepas pada *hybrid electric vehicles* (HEVs). Pada HEVs, baterai dapat diisi dari adanya perputaran mesin pembakaran dalam ICE, gerakan roda, atau kombinasi dari keduanya [7]. HEVs memiliki proyeksi sebagai teknologi yang potensial di masa depan dengan dukungan penerapan standar *Corporate Average Fuel Economy* (CAFE) yang semakin ketat dan kesadaran masyarakat terhadap keberlanjutan lingkungan semakin meningkat [8]. Penerapan teknologi

sistem penggerak *hybrid* telah banyak digunakan pada kendaraan roda empat. Sedangkan penerapan pada kendaraan roda dua atau sepeda motor masih relatif terbatas, tetapi memiliki potensi untuk berkembang secara luas.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah melakukan riset pada sepeda motor *hybrid* dengan basis pada listrik terutama terkait mengintegrasikan sistem *hybrid* pada sepeda motor konvensional berupa desain dan uji performa *power-train* pada prototipe. Penelitian terdahulu mengenai sepeda motor *hybrid* lebih banyak difokuskan pada uji coba *power train* yang dipasangkan menyatu pada blok mesin ataupun di roda. Sejumlah studi telah melakukan simulasi dan uji jalan dengan menambahkan motor BLDC dengan konfigurasi *parallel hybrid electric motorcycle*. Penelitian yang dilakukan Chen, dkk. tentang pengembangan sepeda motor listrik *hybrid* dengan menyesuaikan efisiensi energi dan pengendalian melalui gigi diferensial terbalik dan mode daya peralihan kontrol yang menemukan bahwa sepeda motor listrik *hybrid* yang dikembangkan memiliki tiga jenis peralihan mode tenaga, yaitu mode penggerak motor; mode penggerak/generator *internal combustion engine* (ICE); dan mode penggerak daya ganda. Sepeda motor listrik *hybrid* memiliki tiga keunggulan, pertama: *idle-stop* dapat dilakukan untuk menekan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang/polusi. Pengoperasian ICE dapat dipertahankan dalam jangkauan yang lebih baik. Selain itu, ketahanan berkendara sepeda motor ini dapat ditingkatkan dengan daur ulang energi saat pengereman atau deselerasi. Keunggulan tersebut menjelaskan mengapa sepeda motor ini mengalami penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 41,4% dan penurunan emisi HC dan CO masing-masing sebesar 58,6% dan 53,55% [9].

Pada penelitian yang dilakukan Tahoori dan Mashadi tentang desain sepeda motor listrik *hybrid* untuk konsumsi bahan bakar dan performa optimal ditemukan bahwa motor listrik 1,5 kW mampu meningkatkan performa dan *grading* sepeda motor serta mengurangi konsumsi bahan bakar sepeda motor [10]. Anggadewi dan Sutantra dalam penelitiannya memaparkan perancangan dan hasil analisis sistem tenaga dan *drivetrain* pada sepeda motor *hybrid* dengan kapasitas mesin 110 cc, yang didukung dengan sistem tenaga penggerak dari motor listrik tipe QS 10 inch 3000 W 205 50H. Motor BLDC digunakan sebagai penggerak utama dengan suplai

dari baterai Li-Ion 60 V 15 Ah sebagai sumber energi. Hasil penelitian Anggadewi dan Sutantra dapat dipaparkan bahwa gaya dorong pada mode murni listrik maupun *hybrid* memiliki karakteristik lebih unggul dibandingkan mode penggerak mesin ICE sekaligus pengisi baterai. Kendaraan mampu mencapai kecepatan maksimum 118,243 km/jam pada mode murni listrik maupun *hybrid*, sedangkan pada mode mesin ICE yang disertai pengisian baterai didapatkan kecepatan maksimum hanya 94,37 km/jam. Konsumsi energi listrik pada sepeda motor *hybrid* seri tercatat sebesar 0,0305 kWh/km, sedangkan konsumsi bahan bakar mencapai 94,33 km/liter [11]. Sinaga dan Pranoto telah melaksanakan penelitian pada analisis kebutuhan energi motor listrik pada kendaraan *hybrid* urban KMHE 2018 yang memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik konsumsi daya serta efisiensi sistem penggerak listrik dengan melakukan variasi injakan pedal gas dari 10° – 50° pada kendaraan mobil *hybrid*. Hasil penelitian Sinaga dan Pranoto menunjukkan bahwa peningkatan sudut injakan pedal gas berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan putaran motor listrik, arus dan daya dan berbanding terbalik dengan tegangan yang akan mengalami penurunan [12].

Penelitian ini dirancang berdasarkan tindak lanjut beberapa penelitian sebelumnya dengan fokus pada sistem penggerak ganda pada kendaraan sepeda motor berbahan bakar minyak (BBM) Pertalite yang dikombinasikan dengan motor BLDC. Penelitian ini memilih sistem penggerak ganda dibanding dengan *hybrid* karena sistem kendali masih menggunakan sistem manual bukan perpindahan secara otomatis. Penelitian menggunakan sepeda motor Honda Revo AT 110 cc dengan mempertimbangkan bahwa jenis sepeda motor ini merupakan salah satu tipe kendaraan roda dua dengan volume penggunaan di masyarakat Indonesia paling banyak sehingga memiliki relevansi tinggi dalam konteks penelitian maupun pengembangan teknologi otomotif. Motor BLDC yang digunakan adalah BLDC 500 W dan baterai berkapasitas 48 volt. Motor BLDC memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan jenis motor listrik lainnya, sehingga menjadi pilihan yang tepat untuk mendapatkan hasil kinerja optimal dan konsumsi energi yang rendah. Pengoperasian motor BLDC menggunakan sistem kontrol 3 (tiga) fasa untuk mengatur nilai tegangan *Back Electro-Motive Force* (BEMF), sehingga

memiliki perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan motor DC pada umumnya[13]. Motor BLDC diklasifikasikan sebagai motor sinkron dengan medan magnet dari stator dan rotor berputar dengan nilai yang selaras pada frekuensi. Motor BLDC dikategorikan sebagai motor sinkron yang tidak mengalami slip sehingga memiliki perbedaan dengan motor induksi atau asinkron yang membutuhkan perbedaan kecepatan antara medan magnet stator dan rotor. Motor BLDC menggunakan komponen utama berupa rotor dengan magnet permanen dan stator yang terdiri atas kumparan elektromagnet. Rangkaian sederhana berbasis sistem komputer akan mengatur arus elektromagnetik secara dinamis seiring dengan rotor yang berputar. Motor BLDC walaupun bekerja dengan sinkron AC tiga fasa, namun tetap disebut BLDC karena arus yang masuk ke unit berasal dari tegangan DC. Tegangan DC pada sisi input unit BLDC akan diubah menjadi tegangan AC tiga fasa menggunakan unit inverter sehingga dihasilkan proses komutasi elektronik dan pengendalian motor secara presisi menggunakan tegangan AC [14].

Motor BLDC merupakan jenis motor listrik yang memiliki performa kecepatan dan torsi unggul dengan respon dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan motor konvensional. Baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis lithium-ion yang memiliki stabilitas tinggi dan kemampuan penyimpanan energi yang sangat baik. Rancang bangun sepeda motor dalam penelitian ini difokuskan pada sistem penggerak ganda dengan mengintegrasikan dua sumber tenaga yaitu mesin ICE dengan BBM Pertalite dan motor listrik BLDC. Mesin ICE berfungsi sebagai penggerak utama, sedangkan motor listrik berperan sebagai motor traksi. Pola operasi yang dipilih untuk mendapatkan efisiensi maksimal adalah model paralel dengan cara mesin ICE dan motor listrik dihubungkan ke roda dan dioperasikan secara bergantian. Motor listrik digunakan pada fase awal hingga baterai mencapai tegangan minimum dan sistem penggerak sepeda motor akan dilanjutkan atau digantikan oleh mesin ICE.

Permasalahan yang muncul dalam proses konversi sepeda motor konvensional ke sepeda motor dengan penggerak ganda adalah pada aspek perencanaan sistem kontrol untuk daya. Fungsi utama sistem kontrol daya adalah

untuk menentukan kondisi operasi motor listrik, apakah difungsikan sebagai motor penggerak ataukah difungsikan sebagai generator untuk pengisian baterai. Sistem kontrol juga mengontrol kecepatan putaran motor. Aspek penting yang perlu mendapatkan perhatian yaitu bagaimana mengendalikan tegangan output motor listrik saat beroperasi sebagai generator agar dapat berfungsi secara optimal untuk proses mengisi energi pada baterai. Energi yang telah tersimpan di dalam baterai dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya bagi motor listrik. Spesifikasi baterai tidak hanya terkait kapasitas, tetapi juga batas tegangan maksimum saat proses pengisian sehingga tegangan dari generator harus dibatasi untuk mencegah terjadinya kondisi tegangan berlebih (*over voltage*). Masalah lain yang perlu diperhatikan dalam sistem kendali daya adalah pengaturan kontrol terhadap putaran motor listrik yang menjadi sumber tenaga untuk menggerakkan sepeda motor. Putaran motor listrik harus dikendalikan karena kebutuhan kecepatan sepeda motor saat berjalan tidak konstan menyesuaikan kondisi jalan dan beban yang dihadapi sehingga perlu putaran rendah ataupun tinggi. Permasalahan lain yang harus diatasi adalah pengembangan sistem *on-off* untuk mengatur waktu kerja motor listrik dan mesin ICE agar sesuai dengan kondisi sepeda motor dan penggunaan [15].

Kontrol motor listrik pada sepeda motor memiliki perbedaan mendasar jika dibandingkan sistem kontrol mesin ICE. Motor listrik dikontrol melalui unit inverter dengan PWM dan sensor posisi rotor, sedangkan mesin ICE dikontrol menggunakan throttle, sistem injeksi bahan bakar, dan pengaturan pengapian. Transisi dari sistem penggerak motor listrik ke mesin ICE ataupun sebaliknya perlu dirancang sedemikian rupa agar optimal dengan mempertimbangkan aspek kenyamanan dan keselamatan pengendara. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa sepeda motor dapat dilakukan terhadap pengujian tenaga (*horse power*), torsi, kecepatan, dan jarak tempuh.

1.2. Rumusan Masalah

Pemaparan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan menjadi sejumlah permasalahan penelitian, antara lain:

- 1) Bagaimana merancang sistem penggerak ganda berbasis motor bakar dan

motor listrik pada sepeda motor Honda Revo AT 110 cc?

- 2) Bagaimana proses integrasi sistem penggerak ganda berbasis motor bakar dan motor listrik pada sepeda motor Honda Revo AT 110 cc?
- 3) Bagaimana performa sepeda motor hasil rekayasa dengan sistem penggerak ganda pada sepeda motor Honda Revo AT 110 cc?

1.3. Batasan Masalah

Peneliti melakukan pembatasan masalah yang telah teridentifikasi diatas untuk memfokuskan penelitian, sebagai berikut:

- 1) Objek penelitian dibatasi pada sepeda motor Honda Revo AT 110 cc Tahun 2010.
- 2) Jenis motor listrik yang digunakan adalah Brushless DC Motor (BLDC) 500 Watt sebagai penggerak kedua pada objek penelitian.
- 3) Sistem penggerak ganda hanya meliputi integrasi motor bakar 4 langkah dengan motor listrik.
- 4) Parameter performa yang dianalisis meliputi kecepatan, daya, putaran mesin, rasio dan jarak tempuh (*total track*).
- 5) Sistem kendali penggerak ganda dibatasi pada pengaturan sederhana dengan kendali manual menggunakan saklar.
- 6) Penelitian hanya fokus pada aspek teknis dan performa sehingga biaya produksi, analisis pasar dan regulasi kendaraan bermotor tidak dibahas.

1.4. Tujuan Penelitian

- 1) Merancang sistem penggerak ganda berbasis motor bakar dan motor listrik pada sepeda motor Honda Revo AT 110 cc.
- 2) Mengintegrasikan sistem penggerak ganda berbasis motor bakar dan motor listrik pada sepeda motor Honda Revo AT 110 cc.
- 3) Menguji performa sepeda motor hasil rekayasa dengan sistem penggerak ganda pada sepeda motor Honda Revo AT 110 cc.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan sejumlah manfaat nyata

dengan relevansi pada pengembangan ilmu pengetahuan maupun aplikasi praktis serta solutif, antara lain sebagai berikut.:

1) Bagi Universitas

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menambah fasilitas kampus sehingga dapat mendukung pengembangan teknologi sepeda motor dengan sistem penggerak ganda berbasis motor bakar dan motor listrik.

2) Bagi penulis

Penelitian ini dilaksanakan sebagai media untuk mengaplikasikan metode dan pengetahuan yang diperoleh selama menempuh perkuliahan. Manfaat lainnya yaitu untuk mengasah kemampuan analisis dan solutif terhadap permasalahan yang muncul selama proses penelitian. Hasil penelitian ini juga untuk mengembangkan kompetensi tentang sistem penggerak ganda pada sepeda motor berbasis motor bakar dan motor listrik.

3) Bagi akademisi

Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan dasar pengembangan bagi peneliti berikutnya dalam mengembangkan kajian sejenis di bidang teknologi sepeda motor dengan sistem penggerak ganda.

4) Bagi kalayak umum

Hasil penelitian ini dapat menjadi sumber informasi yang akurat kepada masyarakat umum untuk bahan pertimbangan mengurangi penggunaan bahan bakar minyak melalui pengembangan atau konversi sepeda motor konvensional menjadi sepeda motor dengan sistem penggerak ganda menggunakan motor listrik BLDC sebagai penggerak kedua.