

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformasi menuju mobilitas rendah emisi mendorong percepatan adopsi kendaraan listrik (EV) di berbagai negara, ditopang penurunan harga baterai, kompetisi produsen, dan kebijakan insentif dengan pangsa pasar EV 2024 yang meningkat signifikan di Tiongkok, Eropa, dan Amerika Serikat[1]. Di Indonesia, pertumbuhan kendaraan listrik juga mulai meningkat seiring diterbitkannya Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) menunjukkan bahwa hingga akhir 2023 jumlah kendaraan listrik roda dua dan roda empat telah melampaui 100 ribu unit, dan diproyeksikan terus bertambah dengan dukungan insentif pajak serta program konversi motor berbahan bakar minyak menjadi motor listrik[2]. Kondisi ini menegaskan pentingnya pengembangan teknologi motor listrik sebagai komponen utama penggerak EV di Indonesia.

Kendaraan listrik mengandalkan sistem penggerak elektrik, di mana komponen utama yang memengaruhi performa dan efisiensinya adalah motor listrik. Berbagai jenis motor telah digunakan dalam sistem kendaraan listrik, seperti motor induksi (IM), motor sinkron magnet permanen (PMSM), dan motor DC tanpa sikat (*Brushless DC Motor* atau BLDC). Di antara jenis-jenis tersebut, motor BLDC semakin populer karena efisiensi tinggi, torka awal yang besar, kepadatan daya tinggi, serta kebutuhan perawatan yang rendah [3], [4].

Motor BLDC memiliki struktur di mana magnet permanen dipasang pada rotor, sedangkan stator dengan kumparan tiga fasa. Tidak seperti motor DC konvensional yang menggunakan sikat (*brush*) dan komutator mekanik, BLDC menggunakan komutasi elektronik yang lebih presisi dan minim kehilangan energi[5]. Efisiensi BLDC dilaporkan umumnya di atas 85% pada rancangan yang baik, menjadikannya pilihan utama untuk pengaplikasian ringan hingga menengah[6]. Namun, performa BLDC tidak hanya ditentukan oleh karakteristik mesin, melainkan juga metode pengoperasian (komutasi) inverter *drive*-nya.

Metode yang paling umum diterapkan adalah komutasi enam langkah (*six-step*). Selain itu juga ada modulasi inverter dengan *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM), dan *space vector pulse width modulation* (SVPWM). Metode *six-step* bekerja dengan mengaktifkan dua dari tiga fasa motor secara bergantian setiap 60° sudut listrik sehingga menghasilkan bentuk arus dan tegangan trapezoidal. Metode ini memiliki struktur kontrol yang sederhana dan efisien secara komputasi, namun menghasilkan riak torka dan harmonisa yang relatif tinggi[7], [8]. Maka dari itu, analisis terhadap karakteristik elektrik dan mekanik dari bentuk

gelombang trapezoidal ini perlu dilakukan lebih mendalam di bawah kondisi perubahan beban mekanis.

Dalam kondisi nyata, performa motor BLDC sangat dipengaruhi oleh variasi beban mekanis yang bekerja pada poros. Kenaikan beban cenderung menurunkan kecepatan putaran dan efisiensi, serta meningkatkan konsumsi arus[9]. Oleh karena itu, diperlukan kajian untuk mengidentifikasi karakteristik operasi seperti pembebanan, dinamika arus dan tegangan yang terjadi dan batas kemampuan kinerja metode *Six-Step Commutation* dalam menghadapi variasi pembebanan nyata tersebut.

Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi pembebanan terhadap kinerja motor BLDC dengan menerapkan metode pengoperasian *Six-Step Commutation*. Variasi pembebanan diberikan untuk merepresentasikan perubahan kondisi kerja yang umum pada kendaraan listrik, sehingga karakteristik respon motor dapat diamati secara menyeluruh. Analisis dilakukan terhadap beberapa parameter performa motor, seperti kecepatan putar, torka elektromagnetik, dan arus stator. Dengan penelitian ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik dan performa sistem pengoperasian tersebut, baik pada aspek kecepatan, torka, dan arus, yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman yang lebih dalam bagi pengembangan sistem penggerak kendaraan listrik serta menjadi referensi dalam perancangan kontrol motor BLDC berbasis *Six-Step*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan, maka rumusan masalah pada penelitian ini di antaranya :

1. Bagaimana pengaruh variasi pembebanan terhadap karakteristik operasi motor BLDC yang dioperasikan menggunakan metode *Six-Step Commutation*?
2. Bagaimana perubahan karakteristik kecepatan putar, torka elektromagnetik, dan arus fasa motor BLDC pada setiap variasi pembebanan?
3. Bagaimana kemampuan metode *Six-Step Commutation* dalam mempertahankan performa motor BLDC ketika terjadi perubahan beban?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, tujuan dari dilakukannya penelitian ini sebagai berikut.

1. Membangun simulasi perangkat lunak untuk dapat menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap karakteristik operasi motor BLDC yang dioperasikan menggunakan metode *Six-Step Commutation*.
2. Melakukan analisis terhadap perubahan karakteristik kecepatan putar, torka elektromagnetik, dan arus fasa motor BLDC pada setiap variasi pembebanan.

3. Menganalisis kemampuan metode *Six-Step Commutation* dalam mempertahankan performa motor BLDC ketika terjadi perubahan beban.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Pengujian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* MATLAB/Simulink.
2. Sistem pembebanan pada motor BLDC direpresentasikan melalui mekanisme *Pulley-Belt Drive* dan *Vehicle System*.
3. Parameter yang diukur meliputi, kecepatan motor (RPM), arus stator (A), dan torka elektromagnetik (Nm).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa data mengenai karakteristik dan performa motor BLDC dengan metode *switching* inverter *six-step* pada berbagai kondisi pembebanan mekanis. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan ilmiah serta referensi tambahan bagi pengembangan sistem pembelajaran dan penelitian di bidang sistem penggerak listrik, sehingga dapat meningkatkan pemahaman serta penerapan teknologi pengoperasian motor secara lebih efektif dan efisien.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan akhir disusun menjadi beberapa bagian sesuai dengan pedoman tugas akhir Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas agar lebih mudah dibaca dan dipahami oleh pembaca. Adapun penjabaran sistematika penulisan laporan akhir sebagai berikut.

Tabel 1. 1 Sistematika Penulisan

BAB	PENJELASAN
BAB I	PENDAHULUAN Bab ini berisi terkait uraian latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan penelitian.
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA Bab ini berisi teori dasar yang mendukung penelitian Tugas Akhir.
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN Bab ini memuat tentang prosedur penelitian, metode penelitian, rencana tabel yang akan digunakan pada penelitian, rancangan alat yang akan dibuat, dan flowchart penelitian.

BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN
	Pada bab ini membahas terkait implementasi dan hasil yang telah diujikan pada saat penelitian.
BAB V	PENUTUP
	Pada bab ini berisikan tentang penarikan kesimpulan berdasarkan hasil yang sudah didapatkan dan saran yang disampaikan penulis.

