

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan teknologi otomasi industri di Indonesia terus mengalami peningkatan bersamaan dengan meningkatnya kebutuhan terhadap sistem logistik yang lebih efisien. Salah satu teknologi yang telah banyak dikembangkan pada bidang otomasi seperti *material handling* adalah *Autonomous Guided Vehicle* (AGV). AGV adalah alat pengangkat otomatis yang memiliki kemampuan melakukan perpindahan material tanpa pengoperasian secara langsung oleh manusia sehingga dapat meningkatkan produktivitas, mengurangi risiko kesalahan manusia (*human error*), dan mendukung sistem industri modern yang membutuhkan proses kerja secara *continue* dan berkelanjutan [1]. Pada penerapannya salah satu jenis AGV yang sering digunakan dalam industri adalah AGV *forklift*, yang mana mampu untuk melakukan pemindahan serta pengangkatan material secara otomatis. Namun, kemampuan operasi AGV *forklift* juga dipengaruhi performa sistem penggerak yang digunakan, terutama dalam menjaga kestabilan kecepatan dan menghasilkan torsi yang sesuai terhadap perubahan beban. Sistem penggerak pada AGV *forklift* sangat berperan penting dalam keberjalanan sistem selama beroperasi karena harus mampu menghasilkan gaya traksi yang stabil ketika AGV *forklift* membawa variasi beban. Perubahan beban selama proses operasional menyebabkan perubahan kebutuhan gaya traksi dan torsi motor sehingga sistem penggerak harus mampu mempertahankan respon kecepatan serta kestabilan arus motor sesuai kondisi operasi. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan sistem penggerak yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan torsi sesuai kebutuhan operasi serta mampu untuk mempertahankan performa pengendalian ketika terjadi perubahan kondisi operasi. Salah satu jenis sistem penggerak yang banyak dipakai pada kendaraan listrik dan sistem otomasi adalah *Brushless Direct Current* (BLDC). BLDC digunakan karena memiliki karakteristik tanpa sikat (*brushless*), efisiensi energi yang tinggi, densitas daya yang besar, torsi awal yang tinggi, dan *preventive maintenance* yang rendah dibandingkan dengan motor DC [2] BLDC memiliki banyak keunggulan, akan tetapi performa motor sangat bergantung pada metode pengendalian yang digunakan. Pengendalian BLDC biasanya menggunakan metode *six-step commutation*, yang mana masih memiliki keterbatasan dalam menghasilkan respon

yang optimal apabila motor mengalami perubahan beban. Metode tersebut menghasilkan bentuk arus yang tidak sepenuhnya sinusoidal sehingga dapat meningkatkan *current ripple* dan menyebabkan keterbatasan dalam pengendalian arus motor, terutama Ketika sistem mengalami perubahan kondisi operasi [3]. Disisi lain sistem pengendalian tanpa memiliki umpan balik arus dan posisi rotor yang baik memiliki keterbatasan dalam menjaga performa motor apabila terjadi perubahan kondisi saat beroperasi.

Metode pengendalian yang dapat menangani keterbatasan tersebut adalah *Field Oriented Control* (FOC). Metode FOC adalah metode pengendalian motor yang dapat mengubah sistem koordinat tiga fasa menjadi sistem koordinat dua sumbu yaitu sumbu-d (*direct axis*) dan sumbu-q (*quadrature axis*). Pada FOC, arus I_d dipakai untuk mengendalikan fluks magnet motor, sementara arus I_q dipakai untuk mendapatkan torsi elektromagnetik [4]. Melalui pemisahan kedua komponen arus tersebut, metode FOC memungkinkan pengendalian BLDC dilakukan secara lebih presisi melalui pengaturan komponen arus pembentuk fluks dan torsi. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi respon pengendalian motor berdasarkan karakteristik arus dan kecepatan.

Banyak penelitian terkait penerapan FOC pada BLDC dan menunjukkan metode tersebut mampu meningkatkan kemampuan pengendalian motor melalui pengaturan arus dua sumbu $d - q$ axis serta meningkatkan kestabilan respon motor terhadap perubahan referensi pengendalian. Akan tetapi, Sebagian penelitian masih dilakukan menggunakan validasi melalui MATLAB/Simulink sehingga belum sepenuhnya mampu menggambarkan performa apabila FOC diterapkan secara langsung pada komponen yang nyata [5]. Berdasarkan hal itu, diperlukan penerapan FOC secara langsung pada *controller* motor yang mampu memiliki pemrosesan secara real-time serta perangkat pendukung yang memiliki kesesuaian untuk aplikasi kendaraan listrik.

Salah satu jenis perangkat yang dapat digunakan untuk penerapan FOC adalah *controller hoverboard* berbasis mikrokontroller STM32F103RCT6. *Controller* ini telah terintegrasi dengan rangkaian inverter tiga fasa, MOSFET *driver*, sensor arus, sensor posisi rotor, serta peripheral mikrokontroller yang mendukung penerapan algoritma FOC seperti ADC, timer PWM, DMA, dan komunikasi UART. Selain itu juga, desain *controller hoverboard* berbasis STM32F103RCT6 banyak dipakai sebagai platform pengembangan sistem pengendalian BLDC karena mempunyai kemampuan dalam mengendalikan dua motor secara independent melalui konfigurasi timer PWM berbeda. Melalui pemanfaatan *controller* tersebut, penerapan system penggerak BLDC berbasis FOC bisa diimplementasikan lebih efektif tanpa harus merancang rangkaian inverter dari awal.

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan, penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem penggerak BLDC berbasis *Field Oriented Control* (FOC) menggunakan *controller hoverboard* STM32F103RCT6 pada *AGV forklift*. Penelitian ini berfokus terhadap penerapan algoritma FOC secara langsung pada *hardware*, konfigurasi komunikasi *controller*, serta pengujian performa system berdasarkan respon kecepatan dan karakteristik arus motor. Hasil penelitian yang diharapkan mampu menjadi dasar pengembangan sistem penggerak AGV berbasis BLDC dengan metode FOC melalui evaluasi karakteristik arus dan respon kecepatan motor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, didapatkan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem penggerak motor BLDC berbasis FOC menggunakan *controller hoverboard* STM32F103RCT6 pada AGV *forklift*?
2. Bagaimana penerapan algoritma FOC pada *controller hoverboard* STM32F103RCT6?
3. Bagaimana respon kecepatan dan arus I_q sistem penggerak terhadap perubahan setpoint pada AGV *forklift*?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

1. Merancang sistem penggerak motor BLDC berbasis FOC menggunakan *controller hoverboard* STM32F103RCT6 pada AGV *forklift*.
2. Mengimplementasikan algoritma FOC pada *controller hoverboard* STM32F103RCT6 sebagai penggerak motor BLDC pada AGV *forklift*.
3. Menganalisis respon kecepatan dan arus I_q sistem penggerak motor BLDC berbasis FOC terhadap perubahan setpoint pada AGV *forklift*.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

1. Bagi Penulis

Penelitian ini memberikan manfaat bagi penulis dalam memperdalam pemahaman teoritis dan praktis mengenai sistem penggerak motor BLDC berbasis *Field-Oriented Control* (FOC), khususnya dalam implementasi secara real-time menggunakan *controller hoverboard* STM32F103RCT6.

2. Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem penggerak yang lebih efisien, stabil, dan presisi pada AGV *forklift*, sehingga dapat mendukung peningkatan produktivitas dan keselamatan kerja di sektor industri dan logistik.

3. Bagi Pembaca

Penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa, peneliti, maupun akademisi yang tertarik pada pengembangan sistem penggerak motor BLDC berbasis FOC, khususnya dalam implementasi menggunakan *controller hoverboard* STM32F103RCT6. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan penelitian lanjutan di bidang kendaraan otonom dan sistem penggerak elektrik.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan memiliki batasan masalah agar tidak menyimpang dari fokus tujuan semula, yaitu:

1. Penelitian ini terbatas pada perancangan dan implementasi sistem penggerak motor BLDC berbasis FOC menggunakan *controller hoverboard* STM32F103RCT6.
2. Jenis motor yang digunakan adalah motor BLDC 36V berdaya 300 Watt, tanpa melakukan perbandingan dengan jenis motor lain maupun spesifikasi daya yang berbeda.
3. Penelitian tidak membahas metode pengendalian lain seperti *Six-Step Commutation* serta tidak melakukan studi komparatif performa antar metode kontrol.
4. Penelitian tidak membahas sistem navigasi AGV seperti SLAM, *path planning*, sensor LIDAR maupun sistem *steering*.
5. Penelitian tidak meliputi analisis terkait efisiensi baterai, manajemen energi maupun optimasi konsumsi daya sistem secara keseluruhan.
6. Parameter yang dianalisis terbatas pada karakteristik respons sistem penggerak BLDC berbasis FOC yang meliputi arus sumbu-d (I_d), arus sumbu-q (I_q), serta respons kecepatan

motor berdasarkan parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, *steady-state error*, dan RMSE.

7. Pengujian dilakukan pada prototipe AGV *forklift* dalam skala terbatas dan di lingkungan gedung yang telah ditentukan.
8. Penelitian tidak membahas aspek desain mekanik AGV *forklift* secara detail seperti struktur rangka, sistem pengangkat beban maupun analisis kekuatan material.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Pada penulisan laporan tugas akhir ini, terdapat beberapa sistematika sebagai pedoman laporan diantaranya:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika laporan tugas akhir sesuai topik yang diangkat oleh penulis.

BAB II DASAR TEORI

Bagian ini berisi tentang teori-teori yang dikaitkan dengan topik yang diangkat pada laporan tugas akhir.

BAB III METODE PENELITIAN

Bagian ini berisi tentang metode penelitian yang akan digunakan oleh penulis.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Bagian ini berisi tentang pengujian dan analisa dari alat yang telah dibuat oleh penulis.

BAB V PENUTUP

Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari alat yang telah dibuat oleh penulis.