

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor *BLDC* banyak digunakan pada bidang otomotif dan industri, karena memiliki efisiensi tinggi, torsi besar, dan perawatan mudah. Beberapa sistem penggerak yang menggunakan motor *BLDC* terkadang membutuhkan kecepatan motor yang konstan. Akan tetapi ketika diberi beban lebih maka kecepatan akan menurun. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pengaturan kecepatan motor agar kecepatan menjadi konstan walaupun diberi beban [1]. Penggunaan *BLDC* tidak lepas dari controller untuk mengatur torsi dan kecepatan. Pada aplikasinya controller yang dipakai belum memiliki metode kontrol yang bagus dan efisien sehingga konsumsi baterai menjadi lebih boros. Metode kontrol *FOC* (*Field Oriented Control*) merupakan salah satu metode kontrol yang dapat dipakai untuk dapat mengatur torsi dan flux secara terpisah sehingga daya yang dikeluarkan oleh baterai akan diubah menjadi flux secara optimal. Motor *Brushless Direct Current* (*BLDC*) banyak digunakan sebagai penggerak pada motor listrik. Motor *BLDC* tidak menggunakan *brush* untuk mengalirkan arus ke rotor sehingga membuat motor ini lebih minim perawatan [2].

Belakangan ini, motor *BLDC* banyak digunakan pada beberapa sektor khususnya industri dan transportasi. Penggunaan motor jenis ini dilandasi beberapa pertimbangan terutama pertimbangan pada upaya penghematan energi dengan *output* kinerja motor yang lebih andal dibandingkan dengan jenis motor lain. Hal ini juga didukung dengan perkembangan kendaraan listrik yang menggunakan motor *BLDC* sebagai mesin penggerak utama. Motor *BLDC* merupakan salah satu jenis motor arus searah. Pada motor *BLDC*, belitan jangkar ditempatkan pada sisi stator dan magnet permanen ditempatkan pada sisi rotor untuk menghilangkan sikat. Hasilnya, motor *BLDC* memiliki konfigurasi yang berbeda dengan motor DC lainnya. Motor DC tanpa sikat (*BLDC*) didefinisikan sebagai mesin sinkron permanen dengan posisi rotor sebagai umpan balik [3].

Motor *BLDC* (*Brushless Direct Current*) memiliki dua komponen kunci, yaitu rotor yang didorong oleh permanen magnet, dan stator yang statis dengan tiga gulungan fasa. Walaupun dalam prinsip beroperasi sebagai motor listrik sinkronus AC tiga fasa, motor ini disebut sebagai *BLDC* karena menggunakan tegangan DC sebagai sumber energi, yang kemudian diubah menjadi tegangan AC melalui *inverter* tiga fasa. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan medan magnet putar pada stator yang akan menarik rotor tanpa memerlukan penggunaan sikat (*brushless*) [4]. Pada penggerak yang menggunakan motor *BLDC* dibutuhkan kecepatan *engine* yang konstan walaupun bebannya berubah. *FOC* adalah metode pengaturan medan pada motor AC dari sistem kopel diubah menjadi sistem dekopel. Dengan sistem ini arus *gain* dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, sehingga pengaturan fluks dan torsi dapat dilakukan secara otomatis terpisah. Namun, pada tugas akhir ini hanya mengatur arus torsi karena motor *BLDC* memiliki magnet permanen yang tidak dapat diatur [5].

Pengendalian motor Brushless DC (*BLDC*) memanfaatkan beberapa metode yang disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi spesifik. Metode-metode dasar seperti PWM, komutasi 6-langkah (6-step commutation), dan kendali trapezoidal menawarkan implementasi yang sederhana, namun memiliki keterbatasan seperti getaran yang signifikan, putaran motor yang kasar, dan fluktuasi torsi yang membuatnya kurang presisi. Sebaliknya, metode *Field Oriented Control* (*FOC*) menyajikan solusi unggul dengan mengatur arus berdasarkan orientasi rotor melalui transformasi Clarke dan Park. Implementasi *FOC* menghasilkan putaran motor yang lebih halus, efisiensi tinggi, dan torsi yang stabil, meskipun memerlukan pemrosesan komputasi yang kompleks menggunakan platform seperti *Digital Signal Processor* (*DSP*).

Pemilihan metode pengendalian ini sangat bergantung pada karakteristik aplikasi motor *BLDC* yang berbeda secara signifikan di sektor kendaraan listrik, industri, dan robotika. Dalam sektor kendaraan listrik, motor *BLDC* diandalkan karena kemampuannya menghasilkan torsi tinggi pada kecepatan rendah untuk mendukung akselerasi, dengan sistem kendali yang umumnya mengadopsi metode *FOC* untuk presisi dan fitur pengereman regeneratif. Motor pada aplikasi ini

beroperasi pada rentang kecepatan 1.000–6.000 RPM dan sering kali dilengkapi sistem pendingin untuk menahan suhu tinggi. Di sisi lain, kebutuhan industri memprioritaskan keandalan dan operasi kontinu, sehingga motor *BLDC* dirancang dengan konstruksi kokoh dan diintegrasikan dengan sistem kontrol tertutup seperti PLC atau *DSP* yang dilengkapi sensor posisi presisi.

Motor industri ini lazimnya bekerja pada kecepatan 1.500–3.000 RPM pada aplikasi seperti konveyor dan mesin CNC. Sementara itu, bidang robotika memilih motor *BLDC* karena ukurannya yang ringkas, ringan, serta mampu memberikan respons gerak yang cepat dan presisi. Aplikasi robotika seperti lengan robot atau drone sangat mengutamakan kestabilan dan ketepatan posisi, dengan sistem kendali berbasis mikrokontroler atau ROS dan kecepatan operasional yang lebih rendah, yaitu sekitar 30–1.000 RPM.

Penelitian terkait pengendalian motor *BLDC* telah banyak dilakukan sebelumnya. Sholikha (2022) telah meneliti pengaturan kecepatan motor *BLDC sensorless* menggunakan metode FOC. Di sisi lain, Achmadiyah (2023) berfokus pada desain pemodelan dan simulasi FOC menggunakan motor *BLDC*. Terdapat *gap* penelitian yang jelas dari studi-studi tersebut; penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada metode tanpa sensor (*sensorless*) yang memiliki tantangan kestabilan pada kecepatan ekstrem, atau sebatas pada tahap simulasi perangkat lunak menggunakan MATLAB/Simulink. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengimplementasikan kendali FOC secara langsung pada perangkat keras menggunakan mikrokontroler STM32F411CEU6, serta menggunakan umpan balik posisi rotor absolut dari sensor magnetik AS5600. Hal ini bertujuan untuk membuktikan kinerja aktual dan presisi metode FOC dalam meredam *ripple* torsi secara *real-time*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pengukur dan pengendali kecepatan putaran motor *BLDC* secara presisi menggunakan metode *Field Oriented Control*

(FOC) pada mikrokontroler *STM32F411CEU6*?

2. Bagaimana mekanisme pengukuran dan pengendalian torsi yang dihasilkan oleh motor BLDC untuk meminimalkan fluktuasi atau torque ripple?
3. Bagaimana mengatur serta mendeteksi arah putaran motor BLDC agar dapat dikendalikan secara digital dengan baik sesuai perintah?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan sistem pengendali motor *BLDC* yang mampu menghasilkan putaran yang lancar dan stabil.
2. Mengembangkan sistem kendali motor BLDC berbasis mikrokontroler *DSP* menggunakan metode *Field Oriented Control (FOC)*.
3. Menghasilkan sistem yang dapat mengatur dan memantau arah putaran motor *BLDC* secara akurat dalam berbagai kondisi operasi.

1.4 Batasan Penelitian

Dari uraian permasalahan yang telah dijelaskan, penulis membuat pembatasan ruang lingkup pembahasan yaitu sebagai berikut:

1. Sistem hanya digunakan untuk mengendalikan tiga buah motor *BLDC* berdaya rendah.
2. Implementasi tidak mencakup keamanan tambahan seperti proteksi overcurrent, overvoltage, atau pemantauan suhu motor.
3. Sistem tidak dilengkapi dengan antARMuka pengguna seperti LCD atau komunikasi Bluetooth.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki berbagai manfaat yaitu sebagai berikut.

1. Menjadi referensi dalam penerapan metode *FOC* untuk pengendalian motor *BLDC*.
2. Memberikan solusi pengendalian motor yang lebih efisien dan presisi untuk robotika.

3. Memberikan pengalaman praktis dalam implementasi algoritma kontrol berbasis *DSP*.