

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor listrik memainkan peran krusial dalam sistem industri dan otomasi, terutama dalam aplikasi yang menuntut keandalan dan efisiensi tinggi. Salah satu jenis motor yang banyak digunakan adalah Motor Sinkron Magnet Permanen (PMSM), khususnya dalam sistem servo yang memerlukan performa presisi (Guo et al., 2020). PMSM memiliki berbagai keunggulan seperti dimensi ringkas, efisiensi tinggi karena kerugian rotor rendah, kepadatan daya yang besar, serta rasio torsi terhadap berat yang tinggi (Wali et al., 2020). Motor ini juga mampu memberikan rotasi mulus pada berbagai kecepatan, torsi penuh pada kecepatan nol, serta akselerasi dan deselerasi yang cepat (Jung et al., 2023). Karakteristik ini membuat PMSM sangat cocok untuk aplikasi servo seperti robotika, mesin presisi, dan sistem otomasi industri yang membutuhkan kontrol posisi dan kecepatan akurat (Wali et al., 2020). Oleh karena itu, PMSM dipilih sebagai objek penelitian karena kemampuannya memenuhi tuntutan performa tinggi yang sulit dicapai oleh jenis motor lain.

Untuk mengoptimalkan kinerja PMSM dalam sistem servo, diperlukan metode kontrol yang canggih. Salah satu teknik paling efektif adalah Field-Oriented Control (FOC), atau kontrol vektor, yang mampu mengatur fluks dan torsi secara terpisah. FOC bekerja dengan memproyeksikan arus stator ke dalam kerangka acuan berputar menjadi dua komponen utama: d-axis untuk fluks dan q-axis untuk torsi (Ghanayem et al., 2024). Pendekatan ini menyerupai karakteristik kontrol

motor DC tereksitasi terpisah dan memungkinkan respons dinamis yang cepat serta torsi penuh pada kecepatan nol. Selain itu, metode ini mendukung efisiensi tinggi karena meminimalkan arus pada saat starting dan mampu mereduksi riak torsi (Nicola et al., 2024). Dalam implementasinya, FOC biasanya dikombinasikan dengan teknik modulasi Space Vector PWM (SVPWM) untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan tegangan DC serta mengurangi distorsi harmonik dan riak torsi (MathWorks, 2024).

Validasi strategi kontrol pada PMSM membutuhkan pendekatan yang menggabungkan simulasi dan pengujian langsung. Simulasi dengan MATLAB/Simulink menyediakan platform efisien untuk memodelkan dan menganalisis kinerja motor, baik dari sisi kecepatan, torsi, maupun arus, tanpa harus melakukan eksperimen fisik yang kompleks dan mahal. Meski begitu, simulasi bersifat ideal dan seringkali tidak merepresentasikan kondisi nyata, seperti efek termal, saturasi magnetik, dan noise sensor. Oleh sebab itu, pengujian langsung tetap dibutuhkan untuk memperoleh hasil yang lebih realistis. Modul pengujian seperti Lucas Nuelle EPE 42-3 mendukung integrasi MATLAB/Simulink dan memiliki fitur seperti Hardware-in-the-Loop (HIL) dan DSP, memungkinkan sinkronisasi antara simulasi dan perangkat fisik (Linnertz, 2024).

Pendekatan kombinasi antara simulasi dan pengujian langsung menjadi strategi terbaik untuk memastikan sistem kontrol yang dirancang tidak hanya tepat secara teoritis tetapi juga aplikatif secara praktis. Simulasi digunakan untuk eksplorasi dan optimasi, sedangkan pengujian fisik digunakan untuk verifikasi akhir. Dengan demikian, solusi yang dihasilkan lebih andal dan siap diterapkan di

dunia nyata. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini diberi judul: **“ANALISIS KARAKTERISTIK TORSI DAN KECEPATAN PADA MOTOR SERVO AC DENGAN EKSITASI MEDAN PERMANEN MENGGUNAKAN METODE FIELD-ORIENTED CONTROL (FOC)”**.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik torsi, kecepatan, dan arus motor servo AC PMSM bervariasi terhadap perubahan kecepatan putaran di bawah kontrol Field Oriented-Control (FOC)?
2. Bagaimana respons kecepatan dan torsi motor servo AC PMSM terhadap perubahan beban di bawah kontrol Field Oriented-Control (FOC)?
3. Bagaimana perbandingan kinerja motor servo AC PMSM yang dikendalikan FOC antara hasil simulasi Simulink dan pengujian langsung menggunakan modul Lucas Nuelle?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik torsi, kecepatan, dan arus motor servo AC PMSM pada berbagai variasi kecepatan putaran di bawah kontrol Field Oriented Control (FOC).
2. Menganalisis respons kecepatan dan torsi motor servo AC PMSM terhadap perubahan beban di bawah kontrol Field Oriented Control (FOC).

3. Melakukan analisis komparatif antara hasil simulasi Simulink dan pengujian langsung menggunakan modul Lucas Nuelle untuk validasi kinerja FOC pada PMSM.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, antara lain:

1. Hasil penelitian ini akan memperkaya khazanah keilmuan di bidang kontrol motor listrik, khususnya pada aplikasi motor servo AC PMSM. Ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik dan respons motor pada kontrol open-loop dan FOC
2. Menyediakan data empiris dan komparatif yang dapat digunakan sebagai referensi dan dasar validasi bagi penelitian selanjutnya yang melibatkan simulasi atau pengembangan algoritma kontrol FOC untuk PMSM.
3. Membantu mahasiswa dan peneliti lain memahami implementasi FOC pada motor PMSM, baik melalui simulasi maupun pengujian langsung, sehingga dapat memfasilitasi pengembangan dan penerapan teknologi ini di lapangan.
4. Mendemonstrasikan potensi dan kapabilitas modul Lucas Nuelle sebagai platform efektif untuk studi dan eksperimen terkait kontrol motor listrik, mendorong pemanfaatannya dalam kegiatan pendidikan dan riset.

1.5 Batasan Penelitian

Berdasarkan permasalahan di atas, terdapat batasan penelitian sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini motor yang digunakan adalah motor servo AC Magnet Permanen 3 Fasa dengan daya 0,37 kW.

2. Dalam implementasi FOC, penelitian ini akan berfokus pada penggunaan kontroler PI (Proporsional-Integral) untuk regulasi arus (*d-q axis*) dan kecepatan. Metode tuning parameter K_p dan K_i untuk kontroler PI akan didasarkan pada metode standar yaitu, *trial and error*.
3. Variasi yang dianalisis terbatas pada torsi, kecepatan, dan arus. Parameter kinerja motor lainnya (misalnya, efisiensi, suhu operasi, tingkat harmonisa) tidak akan menjadi fokus utama penelitian ini.
4. Pengujian langsung hanya akan dilakukan menggunakan modul Lucas Nuelle sebagai platform eksperimen. Konfigurasi dan batasan perangkat keras dari modul tersebut akan menjadi acuan.
5. Simulasi kinerja FOC akan dilakukan menggunakan Simulink di lingkungan MATLAB. Model simulasi akan dikembangkan berdasarkan parameter motor yang sama dengan yang digunakan pada pengujian fisik. Validasi model simulasi akan terbatas pada perbandingan dengan hasil pengujian Lucas Nuelle.
6. Perubahan beban akan diimplementasikan secara diskrit atau bertahap, bukan beban dinamis yang sangat kompleks atau acak. Jenis beban yang digunakan adalah beban mekanis yang disimulasikan atau diterapkan pada modul Lucas Nuelle.
7. Perbandingan antara simulasi Simulink dan pengujian langsung akan berfokus pada respons kecepatan dan torsi serta karakteristik arus motor dalam kondisi tanpa beban,beban dan perubahan kecepatan, khususnya dalam konteks kinerja FOC