

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan motor listrik, khususnya motor BLDC (Brushless DC), semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi kendaraan listrik (EV) [12]. Motor BLDC dipilih karena memiliki efisiensi yang tinggi, dan kerugian daya pada sumber listrik lebih sedikit dibandingkan dengan jenis motor listrik yang lain [1]. Penggunaan motor BLDC dalam aplikasi kendaraan listrik tidak hanya memberikan kinerja dengan efisiensi yang tinggi, tetapi juga dapat meningkatkan keandalan secara keseluruhan, yang merupakan faktor penting dalam memperpanjang jarak tempuh kendaraan.

Salah satu tantangan dalam penggunaan motor BLDC adalah mengoptimalkan proses *regenerative braking*. Teknologi *regenerative braking* adalah mekanisme yang mengurangi kecepatan kendaraan dengan mengubah sebagian energi kinetiknya menjadi bentuk energi lain yang berguna, seperti arus listrik [13]. Motor BLDC, dalam mode *regenerative braking*, dapat bertindak sebagai generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [2]. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan *regenerative braking* dapat meningkatkan efisiensi jarak tempuh yang lebih efisien dibandingkan dengan kendaraan listrik tanpa sistem *regenerative braking* [3].

Pengendalian motor BLDC dengan *regenerative braking* memerlukan sistem pengontrol yang mampu mengelola aliran energi secara efektif antara motor dan baterai. Hal ini penting untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan selama pengereman tidak menyebabkan kelebihan beban pada baterai atau komponen lain, serta untuk menjaga transisi yang halus antara mode pengereman dan akselerasi. Pada penelitian ini, sensor Hall digunakan untuk membaca posisi rotor motor BLDC, yang memungkinkan pengontrol untuk mengatur arus dan tegangan secara presisi berdasarkan posisi rotor [4]. Sensor ini telah terbukti efektif dalam menjaga sinkronisasi arus dengan posisi rotor, sehingga meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang kontroler motor BLDC dengan *regenerative braking*. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi dan memperpanjang masa pakai komponen, terutama pada kendaraan listrik yang sangat bergantung pada optimalisasi energi.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam perancangan kontroler motor BLDC berdaya dengan regeneratif braking, terdapat beberapa permasalahan teknis dan fungsional yang harus dipecahkan. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan oleh sistem *regenerative braking* saat motor BLDC beroperasi dalam mode regeneratif selama 5 detik?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan putaran (RPM) motor BLDC terhadap jumlah energi yang diregenerasikan selama pengereman regeneratif?

1.3. Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama yang hendak dicapai, yaitu:

1. Mengetahui peningkatan efisiensi energi ketika mengimplementasikan sistem *regeneratif braking* pada kontroler motor BLDC dalam rentang waktu 5 detik.
2. Menganalisis pengaruh kecepatan RPM pada saat proses *regenerative braking*, serta menghitung jumlah energi yang dapat diregenerasi dan disimpan kembali.

1.4. Manfaat

Berikut adalah manfaat praktis dari penelitian dengan judul "Perancangan Kontroler Motor BLDC (Brushless Direct Current) dengan Regeneratif Braking":

1. Meningkatkan Efisiensi Energi pada Motor Listrik Skala Kecil
Implementasi regeneratif braking pada motor BLDC memungkinkan energi yang biasanya hilang saat pengereman untuk diregenerasi dan disimpan kembali dalam baterai. Hal ini dapat mengurangi konsumsi daya secara keseluruhan, memperpanjang jarak tempuh kendaraan, dan mengurangi frekuensi pengisian daya.
2. Memberikan Solusi yang Lebih Ramah Lingkungan
Dengan meningkatnya efisiensi energi dan pengurangan ketergantungan pada sumber energi eksternal, penerapan sistem regeneratif braking berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan penggunaan energi terbarukan, mendukung inisiatif ramah lingkungan dalam penggunaan kendaraan listrik.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian "Perancangan Kontroler Motor BLDC (Brushless Direct Current) dengan *Regeneratif Braking*", terdapat beberapa batasan yang harus diperhatikan agar fokus penelitian tetap terarah dan sesuai dengan ruang lingkup yang telah ditentukan. Batasan-batasan ini juga berlaku untuk memastikan bahwa hasil penelitian dapat diuji dan dievaluasi dengan kondisi yang realistis. Adapun batasan-batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Regenerative Braking merupakan fokus utama
Penelitian ini difokuskan pada penerapan sistem *regenerative braking* sebagai metode utama dalam pemulihan energi kinetik pada motor BLDC. Studi dibatasi pada analisis kinerja sistem selama proses deselerasi, khususnya dalam mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan saat motor beroperasi dalam mode regeneratif.
2. Pengujian efisiensi regenerative braking
Penelitian ini dibatasi pada pengujian efisiensi motor BLDC dengan membandingkan daya yang dihasilkan saat proses regenerative braking dengan daya yang dikeluarkan motor BLDC saat beroperasi tanpa beban, pada durasi waktu pengujian yang sama. Pengujian dilakukan tanpa mempertimbangkan pengaruh beban mekanis, perubahan suhu, serta faktor

eksternal lainnya yang dapat memengaruhi performa motor dan sistem konversi daya.

3. Daya motor yang digunakan adalah 500 Watt

Penelitian ini hanya mencakup perancangan dan implementasi kontroler motor BLDC dengan daya maksimum 500 Watt. Kontroler yang dirancang tidak diuji untuk motor dengan daya lebih besar atau lebih kecil dari batasan tersebut.

1.6. Metode Penelitian

Dalam tugas akhir berjudul "Perancangan Kontroler Motor BLDC (Brushless Direct Current) dengan Regeneratif Braking", pekerjaan penelitian dilakukan dengan beberapa pendekatan yang meliputi studi teoritis/studi literatur, pengukuran empirik, analisis statistik, simulasi, perancangan, dan implementasi. Langkah awal dimulai dengan studi teoritis melalui kajian literatur yang mendalam untuk memahami konsep dasar motor BLDC, sistem kontrol, serta penerapan *regenerative braking*. Literatur ini mencakup berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang berkaitan dengan pengendalian motor BLDC dan efisiensi energi.

Selanjutnya, dilakukan pengukuran empirik pada motor BLDC untuk mendapatkan data nyata terkait karakteristik motor seperti torsi, kecepatan, dan arus. Hasil pengukuran ini kemudian dianalisis menggunakan analisis statistik untuk mengetahui pola dan hubungan antara variabel-variabel tersebut. Analisis ini penting dalam merancang kontroler yang dapat berfungsi secara optimal dalam berbagai kondisi operasi. Setelah data dianalisis, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak seperti proteus/simulink untuk memodelkan sistem kontrol dan *regeneratif braking* yang dirancang.

Tahap terakhir adalah implementasi, di mana sistem kontroler yang telah dirancang dan diuji melalui simulasi diaplikasikan pada prototipe motor BLDC. Prototipe ini kemudian diuji untuk mengevaluasi kinerja nyata kontroler dan sistem *regeneratif braking*, serta memastikan bahwa sistem dapat bekerja sesuai dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi energi.

1.7. Proyeksi Pengguna

Hasil penelitian ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan oleh berbagai kalangan, baik dari sektor industri, akademisi, maupun masyarakat luas. Beberapa pihak yang diproyeksikan dapat memanfaatkan hasil penelitian ini antara lain:

1. Industri Otomotif

Industri kendaraan listrik dapat mengadopsi teknologi kontroler motor BLDC dengan regeneratif braking untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi konsumsi daya kendaraan mereka.

2. Industri Manufaktur Elektronik

Perusahaan manufaktur komponen elektronik dan motor listrik dapat menggunakan teknologi ini untuk mengembangkan produk yang lebih efisien dan ramah lingkungan, khususnya dalam aplikasi kendaraan listrik kecil.

3. Mahasiswa Kampus

Proyeksi pengguna kendaraan listrik diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan kebutuhan transportasi yang ramah lingkungan, efisiensi energi, dan dukungan kebijakan pemerintah dalam mengurangi emisi karbon. Pada lingkup mahasiswa kampus maupun masyarakat umum, kendaraan listrik dinilai lebih praktis, hemat biaya operasional, serta sesuai dengan tren teknologi masa depan.

4. Masyarakat Sekitar

Proyeksi pengguna kendaraan listrik pada masyarakat sekitar diperkirakan akan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya efisiensi energi dan pengurangan polusi udara. Kendaraan listrik dinilai lebih ekonomis dalam jangka panjang karena biaya operasional dan perawatan yang lebih rendah dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil. Selain itu, dukungan dari pemerintah berupa subsidi, insentif pajak, dan pengembangan infrastruktur pengisian daya juga menjadi faktor pendorong utama dalam mempercepat adopsi kendaraan listrik di kalangan masyarakat.