

PENGARUH KECEPATAN MOTOR STEPPER TERHADAP AKURASI DAN KECEPATAN PROSES WINDING STATOR MOTOR BLDC

Syahdan Noor Fadillah¹, Fatkhur Rohman²

syahdannoorf@gmail.com¹, fatkhur_rohman@polinema.ac.id²

Politeknik Negeri Malang

ABSTRAK

Proses penggulungan lilitan stator (winding) pada motor BLDC (Brushless Direct Current) memerlukan presisi tinggi untuk memastikan efisiensi dan kinerja yang optimal. Lilitan yang tidak akurat dapat menyebabkan peningkatan kehilangan daya serta penurunan daya tahan motor. Mesin winding yang tersedia saat ini masih menghadapi kendala terkait akurasi lilitan dan kecepatan penggulungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja motor stepper dengan variasi kecepatan pada mesin winding stator BLDC. Motor stepper akan diuji pada beberapa tingkat kecepatan dan dievaluasi performanya. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen komparatif, dengan variabel bebas yaitu kecepatan putar (RPM), variabel terikat yaitu akurasi lilitan dan kecepatan penggulungan, serta variabel kontrol berupa diameter kawat dan material lilitan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan mesin winding yang lebih efisien serta meningkatkan kualitas produksi motor BLDC.

Kata Kunci: Winding Machine Akurasi Kecepatan.

ABSTRACT

The stator coil winding process in a Brushless Direct Current (BLDC) motor requires high precision to ensure optimal efficiency and performance. Inaccurate winding can lead to increased power losses and reduced motor durability. Existing winding machines still face challenges related to winding accuracy and winding speed. Therefore, this research aims to compare the performance of a stepper motor at various speed levels in a BLDC stator winding machine. The stepper motor will be tested at different rotational speeds and its performance will be evaluated. This research employs a comparative experimental method, with the independent variable being the rotational speed (RPM), the dependent variables being winding accuracy and winding speed, and the controlled variables being wire diameter and winding material. The results of this study are expected to contribute to the development of more efficient winding machines and to improve the production quality of BLDC motors.

Keywords: Winding Machine Accuracy Speed.

PENDAHULUAN

Motor BLDC (Brushless Direct Current) semakin banyak digunakan dalam industri otomotif dan manufaktur karena efisiensinya yang tinggi, daya tahan lama, serta kemampuan operasinya yang optimal pada kecepatan tinggi [1]. Salah satu aspek krusial dalam produksi motor BLDC adalah proses penggulungan lilitan stator, yang sangat menentukan efisiensi dan kinerja motor secara keseluruhan. Ketidaktepatan dalam proses penggulungan dapat menyebabkan peningkatan kerugian daya, overheating, serta menurunkan umur operasional motor BLDC [2].

Proses penggulungan stator dapat dilakukan secara manual atau menggunakan mesin winding otomatis. Namun, mesin winding yang tersedia masih memiliki keterbatasan dalam hal presisi, kecepatan penggulungan dan biaya yang mahal. Salah satu komponen penting yang menentukan kualitas penggulungan adalah aktuator atau penggerak utama pada mesin winding. Di antara berbagai jenis aktuator, motor stepper

merupakan pilihan yang umum digunakan karena kemampuannya dalam mengontrol posisi secara presisi dan terprogram [3]. Meskipun motor stepper memiliki keunggulan dalam kontrol gerak, performanya dapat dipengaruhi oleh pengaturan kecepatan. Peningkatan kecepatan motor stepper berpotensi mempercepat proses winding, tetapi juga dapat menyebabkan penurunan akurasi akibat hilangnya langkah (lost step) yang terjadi karena keterbatasan torsi pada mode mikrostopping [3]. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi bagaimana variasi kecepatan pada motor stepper memengaruhi kualitas dan kecepatan proses penggulangan lilitan stator.

Penelitian terdahulu telah membahas berbagai metode dan sistem yang digunakan dalam proses winding stator BLDC. Sebuah studi oleh Silva et al [4]. mengembangkan mesin winding otomatis untuk motor switched reluctance dengan menggunakan motor servo, yang menunjukkan peningkatan efisiensi produksi. Ilahi et al [5]. mengkaji tingkat akurasi mesin penggulang lilitan otomatis pada motor pompa air, dengan hasil menunjukkan tingkat akurasi hingga 98%. Namun, belum terdapat penelitian yang secara spesifik menganalisis pengaruh kecepatan motor stepper terhadap akurasi dan kecepatan penggulangan pada mesin winding stator BLDC. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis performa motor stepper berdasarkan variasi kecepatan dalam konteks aplikasi mesin winding stator.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen komparatif untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan pada motor stepper terhadap akurasi lilitan dan kecepatan proses penggulangan stator motor BLDC. Penelitian dilaksanakan secara bertahap, dimulai dari perancangan sistem pengendali mesin winding, pengumpulan alat dan bahan, perakitan komponen mekanik dan elektronik, hingga proses pengujian dan analisis data. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan putar (RPM) motor stepper pada beberapa level yang telah ditentukan, kemudian hasilnya dievaluasi berdasarkan parameter akurasi lilitan dan waktu yang dibutuhkan dalam proses penggulangan.

Penelitian ini secara khusus berfokus pada proses penggulangan stator dengan menggunakan pola lilitan ortho-cyclic. Pola ini dipilih karena memiliki susunan kawat yang rapi dan efisien, membentuk struktur heksagonal antar lapisan kawat [6]. Dengan pola ortho-cyclic, evaluasi akurasi lebih terukur karena terdapat standar tinggi lilitan ideal yang dapat dihitung secara teoritis dari dimensi slot dan diameter kawat. Fokus pada pola ini mendukung tujuan analisis pengaruh variasi kecepatan terhadap presisi dan kestabilan hasil winding.

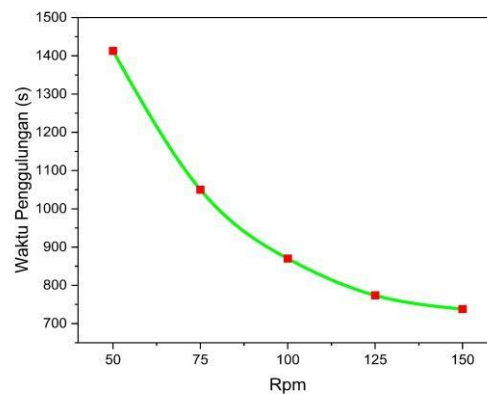
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan motor stepper terhadap akurasi lilitan dan kecepatan proses penggulangan stator motor BLDC. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan kecepatan putar motor stepper pada lima tingkat kecepatan: 50 RPM, 75 RPM, 100 RPM, 125 RPM, dan 150 RPM. Untuk setiap kecepatan, dilakukan tiga kali replikasi pengujian untuk memastikan konsistensi data. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah akurasi lilitan, yang direpresentasikan oleh nilai rata-rata ketinggian lilitan dan deviasi standarnya, serta kecepatan penggulangan, yang diukur dalam satuan waktu (detik).

Hasil Pengujian Kecepatan Penggulangan

Kecepatan penggulangan diukur berdasarkan waktu yang dibutuhkan mesin winding untuk menyelesaikan jumlah lilitan tertentu pada setiap tingkat kecepatan motor stepper.

Pengujian ini dilakukan untuk menilai efisiensi kerja mesin dalam konteks peningkatan kapasitas produksi. Waktu diukur menggunakan stopwatch digital, dimulai saat tombol Mulai ditekan dan dihentikan secara otomatis ketika proses winding selesai sesuai parameter yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan motor stepper, maka waktu penggulungan akan semakin singkat. Namun, peningkatan kecepatan ini juga memiliki konsekuensi berupa potensi penurunan akurasi lilitan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan torsi dan kemungkinan terjadinya lost step pada kecepatan tinggi. Oleh karena itu, penentuan kecepatan optimal menjadi sangat penting untuk mencapai efisiensi waktu tanpa mengorbankan kualitas hasil lilitan. Grafik hubungan antara RPM dan waktu penggulungan dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai referensi visual dari hasil eksperimen.

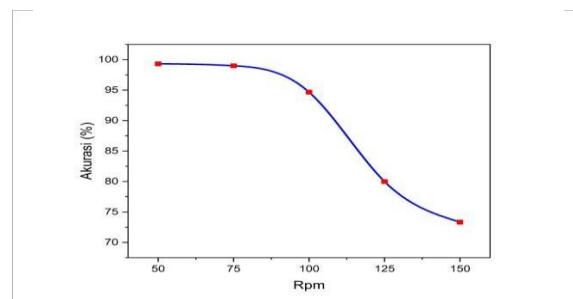


Gambar 1: Grafik Hasil Pengujian Kecepatan Penggulungan

Hasil Pengujian Akurasi Lilitan

Pengujian akurasi dilakukan dengan mengukur ketinggian kawat pada lima titik pengamatan dalam satu slot stator menggunakan dial indicator. Nilai rata-rata dan deviasi standar dari masing-masing kecepatan dicatat untuk mengevaluasi kestabilan dan kerataan distribusi lilitan. Dari hasil pengukuran, diperoleh kecenderungan bahwa semakin tinggi kecepatan motor stepper, akurasi lilitan cenderung menurun. Pada kecepatan 50–100 RPM, distribusi lilitan relatif merata dengan deviasi standar kecil, menandakan bahwa motor stepper masih mampu menjaga presisi langkah. Namun, pada kecepatan 125–150 RPM, mulai terjadi peningkatan deviasi, yang mengindikasikan adanya ketidakteraturan akibat kemungkinan lost step atau getaran mekanis yang meningkat.

Grafik hubungan antara kecepatan motor dan akurasi lilitan dapat dilihat pada Gambar X.



Gambar 7: Grafik Hasil Pengujian Akurasi Lilitan

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan motor stepper berdampak pada efisiensi waktu sekaligus memengaruhi tingkat akurasi lilitan. Semakin

tinggi kecepatan (RPM), waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses winding cenderung semakin singkat. Hal ini mengindikasikan bahwa mesin winding mampu bekerja lebih cepat seiring meningkatnya kecepatan putar motor, sehingga dapat mendukung peningkatan kapasitas produksi.

Namun, peningkatan kecepatan juga diikuti oleh penurunan tingkat presisi hasil lilitan. Hal ini terlihat dari kenaikan nilai deviasi pada pengukuran ketinggian lilitan di berbagai titik, terutama pada kecepatan di atas 100 RPM. Gejala ini dapat terjadi akibat keterbatasan torsi motor stepper saat beroperasi dalam mode mikrostopping pada kecepatan tinggi, serta kemungkinan terjadinya lost step yang menyebabkan ketidakteraturan posisi.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat trade-off antara kecepatan dan akurasi. Pemilihan kecepatan kerja mesin winding perlu mempertimbangkan keseimbangan antara efisiensi waktu dan kualitas hasil lilitan. Kecepatan optimal berada pada titik di mana mesin dapat menyelesaikan proses dengan waktu yang efisien tanpa mengorbankan presisi lilitan secara signifikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar motor stepper berpengaruh terhadap performa mesin winding stator motor BLDC. Peningkatan kecepatan motor stepper mempercepat waktu penggulangan, namun cenderung menurunkan akurasi lilitan pada kecepatan tinggi. Oleh karena itu, pemilihan kecepatan kerja perlu disesuaikan dengan kebutuhan antara efisiensi waktu dan presisi hasil lilitan.

DAFTAR PUSTAKA

- D. Mohanraj et al., "A Review of BLDC Motor: State of Art, Advanced Control Techniques, and Applications," IEEE Access, vol. 10, pp. 54833–54869, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3175011.
- C. L. Huang, F. C. Lee, C. J. Liu, J. Y. Chen, Y. J. Lin, and S. C. Yang, "Torque Ripple Reduction for BLDC Permanent Magnet Motor Drive Using DC-Link Voltage and Current Modulation," IEEE Access, vol. 10, pp. 51272–51284, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3173325.
- D. RAHMADDANI, "Pengenalan motor," pp. 1–6, [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/dauzz90/pengenalan-motor>
- A. R. Silva, F. J. G. Silva, and R. Campilho, "Full-automation of a stator winding machine for switched reluctance motors," Researchgate.Net, no. June 2016, 2020.
- N. A. Ilahi, A. A. Musyafiq, Purwiyanto, S. Rahmat, R. Prima Dewi, and H. Purnata, "Performance Process of Coil Winding Machine Based on Accuracy and Speed for Water Pump Motor," J. Nas. Tek. Elektro, vol. 3, pp. 13– 19, 2023, doi: 10.25077/jnte.v12n3.1101.2023.
- A. Dietz, A. O. Di Tommaso, F. Marignetti, R. Miceli, and C. Nevoloso, "Enhanced flexible algorithm for the optimization of slot filling factors in electrical machines †," Energies, vol. 13, no. 5, 2020, doi: 10.3390/en13051041.