

PENGARUH KECEPATAN PENGGULUNGAN TERHADAP KONSUMSI ENERGI MESIN WINDING MOTOR BLDC

Muhammad Aziz Andy Almaredo¹, Rizki Priya Pratama²
azizsandi09@gmail.com¹, rizki.priya@polinema.ac.id²
Politeknik Negeri Malang

ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir, efisiensi energi dalam proses manufaktur motor listrik mengalami khususnya pada proses winding stator motor arus searah tanpa sikat (BLDC). Salah satu faktor yang energi adalah kecepatan penggulangan pada mesin winding. Penelitian ini bertujuan untuk meng kecepatan penggulangan terhadap konsumsi energi dan daya listrik pada mesin winding stator mot yang digunakan dirancang secara semi-otomatis dengan pengendali mikrokontroler Arduino Mega, dan sensor PZEM-015 sebagai alat ukur konsumsi energi dan daya listrik. Proses pengujian dilakukan pengujian akurasi alat ukur, pengambilan data konsumsi energi dan daya listrik pada lima variasi hubungan antara kecepatan penggulangan dengan konsumsi energi. Hasil pengujian menunjukkan terendah terjadi pada kecepatan 150 rpm sebesar 2,30 Wh, sedangkan konsumsi tertinggi terjadi pada meningkat dari 10,13 W pada 50 rpm menjadi 11,03 W pada 150 rpm. Sistem ini menunjuk pada rentang 100 hingga 125 rpm untuk memperoleh efisiensi energi terbaik dalam proses winding st.

Kata Kunci: Daya Listrik, Konsumsi Energi, BLDC Motor, Kecepatan Penggulangan, Mesin Winding.

ABSTRACT

In recent years, energy efficiency in electric motor manufacturing processes has received increasing at stator winding process of brushless direct current (BLDC) motors. One factor that affects energy consumption speed of the winding machine. This study aims to analyse the effect of winding speed variation on electrical power in BLDC motor stator winding machine. The winding machine used is designed with Arduino Mega microcontroller controller, NEMA 17 stepper motor, and PZEM-015 sensor as a measurement instrument and electrical power. The testing process was carried out in three stages, namely testing measuring instrument, collecting data on energy consumption and electrical power at five speed variation relationship between winding speed and energy consumption. The test results showed that the lowest occurred at 150 rpm of 2.30 Wh, while the highest consumption occurred at 50 rpm of 4.06 Wh. The power consumption increased from 10.13 W at 50 rpm to 11.03 W at 150 rpm. This system shows the optimum speed in the range of the best energy efficiency in the BLDC motor stator winding process.

Keywords: Electrical Power, Energy Consumption, BLDC Motor, Winding Speed, Winding Machine.

PENDAHULUAN

Efisiensi energi saat ini menjadi salah satu aspek utama yang diperhatikan dalam pengembangan teknologi manufaktur modern, khususnya pada industri motor listrik jenis Brushless Direct Current (BLDC). Motor BLDC semakin banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti kendaraan listrik, peralatan industri, hingga perangkat rumah tangga, karena menawarkan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan motor DC konvensional. Keunggulan ini tidak terlepas dari desainnya yang bebas sikat (brushless), sehingga mampu meminimalkan kehilangan daya akibat gesekan mekanis serta memperpanjang umur pakai komponen motor [1]. Dalam proses produksi motor BLDC, tahap winding stator memegang peranan penting karena secara langsung memengaruhi kualitas performa motor, efisiensi elektromagnetik, serta konsumsi energi selama proses

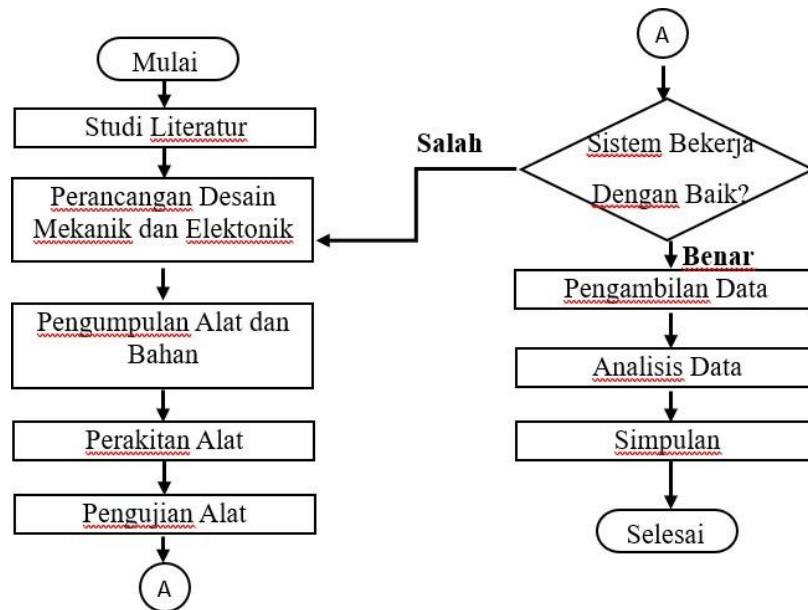
manufaktur berlangsung [2]. Namun demikian, dalam praktik industri, pengaturan kecepatan mesin winding umumnya masih dilakukan secara manual oleh operator tanpa dasar pertimbangan ilmiah yang memadai terkait dampaknya terhadap efisiensi penggunaan energi listrik. Padahal, kecepatan penggulungan sangat berpotensi memengaruhi konsumsi daya listrik secara signifikan karena berkaitan dengan perubahan beban mekanis, inersia, dan panas yang dihasilkan selama proses berlangsung [3].

Denny Irfan [4] melakukan rancang bangun mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis berbasis Arduino Uno. Penelitian ini bertujuan menghasilkan mesin winding yang mampu mengatur jumlah lilitan secara akurat dan mengatur kecepatan putaran motor stepper melalui potensiometer. Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil lilitan mesin otomatis dengan perhitungan manual, menunjukkan hasil akurasi rata-rata 99,73%. Selain itu, penelitian ini juga mengukur presisi kecepatan motor stepper dan kestabilan kinerja alat menggunakan tachometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat dapat bekerja stabil dengan deviasi kecepatan $\pm 2-3$ RPM. Namun, penelitian ini tidak membahas pengaruh variasi kecepatan winding terhadap konsumsi energi listrik secara menyeluruh, dan fokus utamanya adalah pada akurasi jumlah lilitan serta kestabilan alat, bukan pada aspek efisiensi energi listrik selama proses penggulungan. Moh. Hasyim Asy'ari [5] telah melakukan mengembangkan mesin penggulung kumparan motor otomatis berbasis IoT untuk memudahkan kontrol dan pemantauan jarak jauh proses penggulungan. Penelitian tersebut berfokus pada akurasi jumlah lilitan dan integrasi sistem IoT, namun tidak membahas pengaruh variasi kecepatan winding terhadap konsumsi energi listrik secara sistematis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara eksperimental hubungan kecepatan winding dengan konsumsi energi listrik guna mendukung efisiensi energi proses manufaktur stator BLDC.

Berdasarkan gap penelitian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara eksperimental pengaruh variasi kecepatan penggulungan terhadap konsumsi energi (Wh) dan daya listrik (W) pada mesin winding stator motor BLDC. Penelitian ini memanfaatkan mesin winding semi-otomatis berbasis Arduino Mega, motor stepper NEMA 17, dan sensor PZEM-015 guna mendapatkan data akurat terkait konsumsi energi dan daya listrik pada berbagai variasi kecepatan penggulungan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi industri dalam menetapkan parameter kecepatan winding yang lebih hemat energi, serta memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan teknologi mesin winding BLDC di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, metode yang dilakukan uji kuantitatif dengan pendekatan eksperimen murni untuk menganalisis pengaruh kecepatan penggulungan terhadap konsumsi energi dan daya listrik pada mesin Winding stator motor bldc. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan penggulungan, lalu mengukur konsumsi energi dan daya listrik. Metode penelitian ini digambarkan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1: Diagram Alir Pnelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian dari alat mesin winding yang telah dirancang. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak perubahan kecepatan penggulungan terhadap konsumsi energi dan daya listrik pada mesin winding stator motor BLDC. Pengujian dilakukan dalam lima variasi kecepatan, yakni 50, 75, 100, 125, dan 150 RPM. Parameter yang diamati berupa konsumsi energi (Wh) dan daya listrik (W) yang dicatat secara langsung menggunakan sensor digital PZEM-015 selama proses penggulungan berlangsung.

Pengambilan Data Konsumsi Energi Mesin Winding

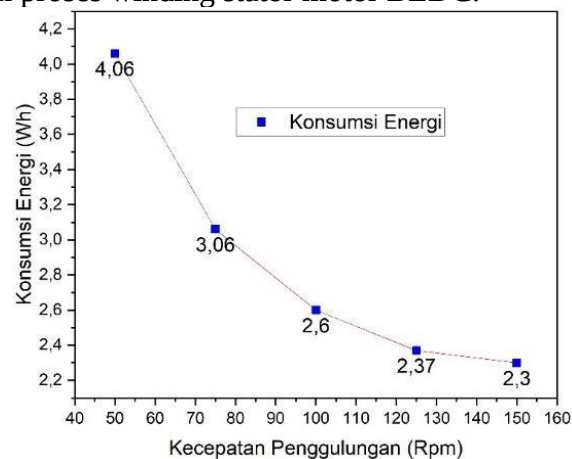
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui konsumsi energi yang dihasilkan setiap variasi kecepatan. Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan nilai konsumsi energi pada tiap tingkat kecepatan winding. Pada kecepatan 50rpm, 75rpm, 100rpm, 125rpm, dan 150rpm. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk memastikan konsistensi hasil. Hasil pada variasi kecepatan penggulungan terhadap konsumsi energi ditunjukkan dalam tabel berikut.

TABEL I: PENGAMBILAN DATA KONSUMSI ENERGI MESIN WINDING

Kecepatan Penggulungan (Rpm)	Jumlah Lilitan	Percobaan	Konsumsi Energi (Wh)	Rata Rata	Waktu Penggulungan (Stator/menit)
50Rpm	100	1	4.06	4.06	1/24menit
	100	2	4.05		
	100	3	4.06		
75Rpm	100	1	3.05	3.06	1/18menit
	100	2	3.06		
	100	3	3.06		
100Rpm	100	1	2.60	2.60	1/15menit
	100	2	2.59		
	100	3	2.61		
	100	1	2.37		

125Rpm	100	2	2.37	2.37	1/13menit
	100	3	2.38		
	100	1	2.29		
150Rpm	100	2	2.30	2.30	1/12.5menit
	100	3	2.30		

Visualisasi hasil konsumsi energi pada berbagai tingkat kecepatan penggulungan ditampilkan pada Tabel I yang memperlihatkan kecenderungan penurunan energi seiring meningkatnya kecepatan winding. Nilai konsumsi energi tertinggi tercatat pada kecepatan 50 RPM sebesar 4.06 Wh, kemudian menurun secara signifikan menjadi 3.06 Wh pada 75 RPM dan 2.60 Wh pada 100 RPM. Selanjutnya, penurunan berlanjut namun lebih moderat pada kecepatan 125 RPM (2.37 Wh) dan 150 RPM (2.30 Wh). Tren ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan winding berdampak pada perbaikan efisiensi energi, khususnya pada rentang hingga 100 RPM. Setelah melewati titik tersebut, penurunan energi cenderung stabil, yang mengindikasikan bahwa kecepatan tersebut mendekati titik efisiensi optimal dalam proses winding stator motor BLDC.



Gambar 2: Grafik Pengambilan Data Konsumsi Energi

Dengan demikian, grafik ini menjadi dasar penting untuk menarik kesimpulan bahwa efisiensi energi penggulungan stator cenderung optimal pada kecepatan 125–150 rpm.

Pengambilan Data Daya Listrik Mesin Winding

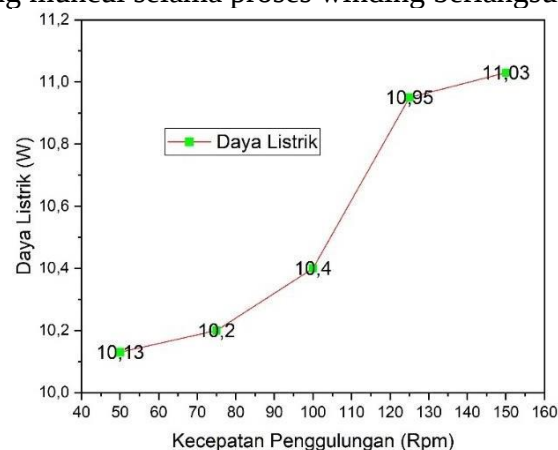
Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi besarnya daya listrik yang digunakan pada setiap variasi kecepatan penggulungan. Pengamatan dilakukan pada lima tingkat kecepatan, yaitu 50 RPM, 75 RPM, 100 RPM, 125 RPM, dan 150 RPM. Untuk memastikan keakuratan dan kestabilan data, setiap pengujian diulang sebanyak tiga kali pada masing-masing kecepatan. Nilai daya listrik yang diperoleh kemudian dirata-rata dan disusun dalam bentuk tabel untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pengukuran daya listrik terhadap variasi kecepatan penggulungan disajikan pada Tabel I berikut.

TABEL II: PENGAMBILAN DATA DAYA LISTRIK MESIN WINDING

Kecepatan Penggulungan (Rpm)	Jumlah Lilitan	Percobaan	Daya Listrik (W)	Rata Rata	Waktu Penggulungan (stator/meni)
50Rpm	100	1	10.12	10.13	1/24menit
	100	2	10.13		
	100	3	10.17		
75Rpm	100	1	10.18	10.20	1/18menit
	100	2	10.16		

	100	3	10.20		
	100	1	10.41		
100Rpm	100	2	10.37	10.40	1/15menit
	100	3	10.43		
	100	1	10.95		
125Rpm	100	2	10.93	10.95	1/13menit
	100	3	10.98		
	100	1	11.00		
150Rpm	100	2	11.03	11.03	1/12.5menit
	100	3	11.05		

Pengukuran daya listrik dilakukan untuk mengevaluasi kebutuhan daya pada masing-masing tingkat kecepatan penggulangan stator motor BLDC. Lima variasi kecepatan digunakan dalam pengujian ini, yaitu 50, 75, 100, 125, dan 150 RPM. Setiap kecepatan diuji sebanyak tiga kali dengan jumlah lilitan konstan sebanyak 100 lilitan, guna memperoleh data yang konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan secara statistik. Pada kecepatan 50 RPM, daya listrik yang terukur berada dalam rentang 10.12 hingga 10.17 Watt, dengan nilai rata-rata sebesar 10.13 W, dan waktu penggulangan tercatat selama 1 menit 24 detik. Saat kecepatan ditingkatkan menjadi 75 RPM, konsumsi daya rata-rata naik menjadi 10.20 W, dengan waktu proses berkurang menjadi 1 menit 18 detik. Peningkatan lebih lanjut ke 100 RPM menghasilkan daya rata-rata sebesar 10.41 W, dengan waktu penggulangan yang semakin singkat yaitu 1 menit 15 detik. Sedangkan pada 125 RPM dan 150 RPM, rata-rata daya masing-masing mencapai 10.95 W dan 11.03 W, dengan durasi penggulangan sekitar 1 menit 13 detik dan 1 menit 12,5 detik. Secara umum, data menunjukkan adanya tren kenaikan konsumsi daya listrik seiring bertambahnya kecepatan penggulangan. Hal ini mencerminkan bahwa semakin cepat motor bekerja, semakin besar pula energi yang diperlukan untuk mengatasi gaya inersia dan beban mekanis yang muncul selama proses winding berlangsung.



Gambar 3: Grafik Pengambilan Data Daya Listrik

Hasil ini menunjukkan pola peningkatan daya listrik seiring dengan kenaikan kecepatan penggulangan, yang sekaligus mempercepat waktu proses winding. Peningkatan daya disebabkan oleh beban dinamis motor yang semakin besar pada kecepatan tinggi, sehingga motor membutuhkan energi listrik lebih tinggi untuk mempertahankan kinerjanya secara stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem mesin winding stator motor BLDC yang dirancang telah berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang konsisten. Pengujian konsumsi energi menunjukkan

kecenderungan penurunan konsumsi energi seiring peningkatan kecepatan penggulangan, dengan konsumsi energi terendah sebesar 2,30 Wh pada kecepatan 150 RPM dan tertinggi sebesar 4,06 Wh pada kecepatan 50 RPM. Pengujian daya listrik menunjukkan adanya kenaikan daya secara bertahap, dari rata-rata 10,13 W pada 50 RPM hingga 11,03 W pada 150 RPM. Hasil ini membuktikan bahwa efisiensi energi proses winding cenderung optimal pada kecepatan menengah hingga tinggi, khususnya pada rentang 125–150 RPM. Sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan parameter kecepatan penggulangan yang lebih efisien dan hemat energi pada industri manufaktur motor BLDC.

DAFTAR PUSAKA

- J. Chukwunweike, "Design and Optimization of Energy-Efficient Electric Machines for Industrial Automation and Renewable Power Conversion Applications," *Int. J. Comput. Appl. Technol. Res.*, no. May, 2025, doi: 10.7753/ijcatr0812.1011.
- I. Shchur et al., "Improved Matlab/Simulink model of dual three-phase fractional slot and concentrated winding PM motor for EV applied brushless DC drive," *Arch. Control Sci.*, vol. 32, no. 4, pp. 677–707, 2022, doi: 10.24425/acs.2022.143667.
- E. Carraro, N. Bianchi, S. Zhang, and M. Koch, "Design and Performance Comparison of Fractional Slot Concentrated Winding Spoke Type Synchronous Motors with Different Slot-Pole Combinations," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 3, pp. 2276–2284, 2018, doi: 10.1109/TIA.2018.2807382.
- D. Irfan, J. Junaidi, and A. Surtono, "Rancang Bangun Mesin Penggulang Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino Uno," *J. Energy, Mater. Instrum. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 51–57, 2021, doi: 10.23960/jemit.v2i3.63.
- M. Hasyim Asy'ari, T. Tijaniyah, and M. Pribadi, "Rancang Bangun Mesin Penggulang Kumparan Motor Otomatis Berbasis Internet Of Things (IoT)," *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: 10.36040/aliner.v5i1.5101.
- P. Mukherjee, S. Paitandi, and M. Sengupta, "Comparative analytical and experimental study of fabricated identical surface and interior permanent magnet BLDC motor prototypes," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 45, no. 1, 2020, doi: 10.1007/s12046-019-1264-0.
- M. Korkosz, B. Pakla, and J. Prokop, "Frequency analysis of partial short-circuit fault in bldc motors with combined star-delta winding," *Energies*, vol. 15, no. 1, 2022, doi: 10.3390/en15010196.
- A. M. BIMA, "Prototype Marine Growth Prevention System (Mgps) Plan Menggunakan Power Supply," 2022, [Online]. Available: https://repository.pip-semarang.ac.id/4367/2/551811226668T_SKRIPSI_OPEN_ACCESS.pdf
- Riyana Fatimatus Zahrok, Setyawan Purnomo Sakti, and Dewi Anggraeni, "Rancang Bangun Pengontrol Jarak Menggunakan Motor Stepper Nema 17 Berbasis Mega 2560 Pro pada Ultrasonic Atomizer Spray Coating," no. August, pp. 1–14, 2021, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/353702350>
- P. Rahardjo, "Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 31, 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p05.
- A. Fathoni, "Analisa Pembuatan Mesin Cnc Router Menggunakan Driver Tb6560 Dan Driver A4988 Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Di Cv Barokah Mebel," *J. Sci. Nusantara*, vol. 2, no. 1, pp. 7–16, 2022, doi: 10.28926/jsnu.v2i1.282.
- I. B. Pertiaz and H. Leidiyana, "Penerapan Arduino Mega 2560 pada Mesin Cetak Tiga Dimensi," *J. Inf. Inf. Secur.*, vol. 2, no. 2, pp. 137–148, 2021.
- A. Wasono, E. A. Karuniawan, A. Hardito, and ..., "Penerapan Rancang Bangun PLTS Sistem Off-Grid Sebagai Kendali Penyiraman Otomatis Berbasis PLC Pada Perkebunan Widuri di Desa Wonokerto, Kecamatan ...," *J. Pengabdian ...*, vol. 5, no. 2, pp. 1985–1989, 2024,

- [Online]. Available:
<http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jpkm/article/view/3145%0Ahttp://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jpkm/article/download/3145/2228>
- K. Zhao, S. Zeng, and L. Zhao, "Research on Tension Control System of Reciprocating Winding," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2160, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2160/1/012080.
- A. Mayr, F. Scheffler, R. Fuder, T. Raffin, D. Kißkalt, and J. Franke, "Data-driven quality monitoring of needle winding processes in electric motor production using machine learning techniques," *Procedia CIRP*, vol. 118, no. January, pp. 873–878, 2023, doi: 10.1016/j.procir.2023.06.150.
- D. Schroder, R. Munster, and J. Fleischer, "Optimizing the Productivity of the Linear Winding of Rectangular Shaped Coils Using a Servo-based Wire Tensioning System. 2024. doi: 10.1109/EPTS61482.2024.10586743.
- H. Nakamura and Y. Mizuno, "Identification System for Short-Circuit Fault Points in Concentrated Stator Windings of Motors," *Energies*, vol. 17, no. 9, 2024, doi: 10.3390/en17091984.
- model," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 44, no. 5, 2019, doi: 10.1007/s12046-019-1097-x.