

Copper Winding Tool Design Using Ergonomic Function Deployment and Design for Manufacturing and Assembly: Desain Alat Penggulung Tembaga Menggunakan Penyebaran Fungsi dan Desain yang Ergonomis untuk Manufaktur dan Perakitan

M Habibie Nur Islamsyah

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Tranggono Tranggono

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

General Background: Rewinding electric motors is a fundamental aspect of electric motor maintenance, especially involving copper coil winding. **Specific Background:** Manual winding tools currently used in workshops are often inefficient, imprecise, and unsuitable for large wire diameters. **Knowledge Gap:** Despite the central role of coil winding, ergonomic and production-efficient tools for this process remain limited in design and functionality. **Aims:** This study aims to develop a more ergonomic and efficient copper winding tool using **Ergonomic Function Deployment (EFD)** and **Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)** methodologies. **Results:** Testing revealed that the newly designed tool significantly improves winding speed—tripling productivity from 1 to 3 coil blocks per minute—while also reducing process recalculations, balancing workloads, and enhancing operator comfort and safety. **Novelty:** Unlike existing tools, the proposed solution incorporates user-centered ergonomic design with optimized manufacturability and assembly, addressing both usability and production constraints. **Implications:** This innovation can increase workshop productivity, improve customer satisfaction, and serve as a model for future ergonomic tooling in motor rewinding operations.

Highlights:

- Increases coil winding speed by 3×.
- Enhances operator comfort and safety.
- Reduces recalculation and production errors.

Keywords: Copper Winding Tool, Electric Motor Rewinding, Ergonomic Design, DFMA, Workshop Efficiency

Pendahuluan

Saat ini, kehidupan manusia sangat bergantung pada penggunaan alat dan mesin untuk mendukung berbagai aktivitas keseharian, baik di rumah ataupun di tempat kerja [1]. Banyak aplikasi, mulai dari rumah tangga sampai industri skala besar, membutuhkan motor induksi tiga fasa. Ini adalah perangkat listrik yang sangat membantu dalam mempermudah aktivitas. Sangat penting untuk proses produksi industri karena penurunan kinerja motor induksi dapat mengganggu proses produksi atau operasi industri secara keseluruhan [2].

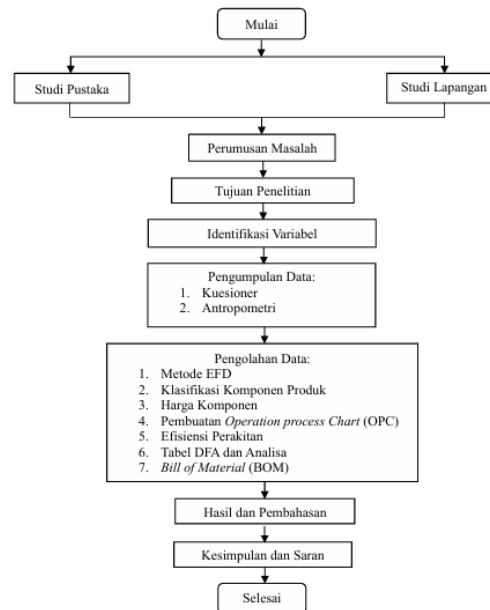
Motor listrik dapat mempercepat proses produksi dan mempercepat waktu proses industri [3]. Akibatnya, mereka sangat penting untuk proses produksi industri atau pabrik. Faktor lingkungan, faktor mekanis, dan faktor elektrik adalah tiga faktor utama yang sering menyebabkan kerusakan motor listrik [4]. Secara khusus, kerusakan pada komponen lilitan, yang dikenal sebagai winding, adalah yang paling sering terjadi. Lilitan motor dapat terbakar jika mengalami overload, ketika motor bekerja tanpa henti [5]. Dalam situasi seperti ini, penggantian lilitan baru harus dilakukan agar mesin dapat berfungsi kembali dengan baik [6].

Rewinding adalah penggantian atau perbaikan lilitan kawat pada gulungan stator atau rotor motor listrik [7]. Ini dilakukan ketika lilitan mengalami kerusakan, seperti putus kawat, hubungan arus pendek (korsleting), atau kebocoran isolasi [8]. Tahapan rewinding mencakup pelepasan lilitan yang rusak, pembersihan gulungan, dan pemasangan kembali lilitan dalam posisi yang tepat. Rewinding motor lebih disukai dari pada membeli motor baru karena beberapa alasan. Yang pertama adalah biaya rewinding biasanya lebih rendah dari pada membeli motor baru, sehingga menjadi pilihan yang lebih hemat uang jika kondisi motor tetap baik. Kedua, beberapa jenis motor listrik seringkali sulit ditemukan atau mahal, terutama yang dirancang khusus atau disesuaikan untuk berbagai tujuan. Rewinding adalah solusi yang lebih efisien dalam situasi seperti ini [9]. Salah satu masalah CV Karya Jaya adalah banyaknya permintaan untuk jasa rewinding elektro motor. Hal ini disebabkan oleh jumlah elektro motor yang berbeda ukuran yang disebabkan oleh proses penggulungan dengan alat gulung awal. Proses penggulungan dengan alat gulung awal membutuhkan waktu yang lebih lama untuk setiap unit, yang menyebabkan *bottleneck* selama proses rewinding. Akibatnya, waktu tunggu pelanggan menjadi lebih lama, yang pada akhirnya dapat menyebabkan pelanggan kurang puas dan bengkel kehilangan lebih banyak uang.

Proses penggulungan rotor generator memerlukan penggunaan alat gulung manual. Ini karena metode manual memakan waktu dan menyebabkan alat gulung rusak terlalu lama [10]. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan. Ini termasuk hasil lilitan yang buruk dan waktu yang terlalu lama dihabiskan untuk melakukannya sekaligus. Dalam proses pengerjaan rewinding motor, diperlukan alat usul yang dapat menyelesaikan masalah tersebut. Untuk membuat produk alat bantu yang ergonomis dan sesuai dengan kebutuhan pengguna, penerapan metode penerapan fungsi *Ergonomic Function Deployment* (EFD) dapat menjadi tujuan [11]. Untuk membuat alat bantu ergonomis, data antropometri diperlukan untuk menyesuaikan dimensi alat dengan dimensi tubuh pengguna [12]. Desain alat memungkinkan penggunaan bahan yang lebih efisien, mengurangi jumlah komponen yang perlu dipasang, dan mengurangi kemungkinan kesalahan dalam perakitan dengan menerapkan metode *Design For Manufacturing and Assembly* (DFMA) [13]. Inovasi produk sangat penting untuk keberlanjutan dan pertumbuhan perusahaan karena membuat nilai tambah, menarik pelanggan, dan membedakan dari pesaing [14]. Desain produk baru membantu memenuhi kebutuhan pelanggan dan menjalankan operasi [15]. Karena spesifikasi alat gulung saat ini tidak memenuhi standar pekerja karena industri rewinding membutuhkan berbagai ukuran motor, alat gulung yang diusulkan akan dibuat sebagai pengembangan dari alat gulung yang sudah ada. Oleh karena itu, diciptakan alat gulung lilitan tembaga dengan berbagai ukuran yang praktis dan ergonomis.

Metode

Pada tahap awal, data dikumpulkan. Data primer dikumpulkan melalui observasi langsung, sementara data sekunder dikumpulkan melalui penelitian literatur. *Ergonomic Function Deployment* (EFD) dan *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) membantu merancang alat gulung lilitan tembaga dengan inovasi. Metode EFD merancang alat kerja yang memenuhi keinginan konsumen dengan aspek ergonomi pada produk, sedangkan DFMA merancang produk yang mudah diproduksi dan dirakit, yang mengurangi biaya dan kompleksitas proses manufaktur dan perakitan. Dalam proses inovasi alat usulan yang akan dilakukan, kedua pendekatan tersebut akan digunakan. Alur proses pembuatan alat gulung lilitan tembaga ialah seperti dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

A. Metode EFD

Karakteristik	Produk Alat Gulung Assembly				
	STP	TP	CP	P	SP
Alat-alat ini aman untuk digunakan dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja				1	1
Tidak menyebabkan ketidaknyamanan setelah penggunaan jangka panjang				1	1
Ukuran alat disesuaikan dengan postur tubuh operator				1	1
Tidak perlu banyak tenaga kerja, dan proses berjalan lebih cepat					2
Mengurangi waktu yang diperlukan untuk penggulangan					2

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Kuesioner Tingkat Kepentingan

Tabel 1 menunjukkan rekapitulasi hasil dari *kuesioner* Tingkat Kepentingan yang dikirim kepada operator. Operator diminta untuk memilih lima kriteria untuk menjawab, yaitu sangat penting, penting, tidak penting, dan sangat tidak penting.

Karakteristik	Produk Alat Gulung Awal				
	STP	TP	CP	P	SP
Apakah alat yang digunakan aman dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja?		1	1		
Apakah desain yang ada menciptakan rasa nyaman bagi tubuh?		1	1		
Ukuran alat sesuai dengan postur Anda?			2		
Apakah alat dapat mempercepat dan menghemat energi?			2		
Apakah desain awal dapat mempercepat proses pengerjaan?		1	1		

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil *Kuesioner* Tingkat Kepuasan

Tabel 2 menunjukkan rekapitulasi hasil *kuesioner* Tingkat Kepuasan yang dipakai guna melihat tingkat kepuasan operator pada produk awal. Operator diminta untuk memilih antara lima kriteria pengisian: sangat puas, sangat tidak puas, tidak puas, cukup puas, dan puas

No	Keinginan Operator	Goal
1	Alat-alat ini aman untuk digunakan dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja	4,5
2	Tidak menyebabkan ketidaknyamanan setelah penggunaan jangka panjang	4,5
3	Ukuran alat disesuaikan dengan postur tubuh operator	4,5
4	Tidak perlu banyak tenaga kerja, dan proses berjalan lebih cepat	5
5	Mengurangi waktu yang diperlukan untuk penggulangan	5

Tabel 3. Hasil Data *Goal*

Tabel 3 menunjukkan nilai skor tujuan, yang menunjukkan seberapa tinggi penulis ingin mengikuti keinginan pelanggan melalui penilaian apakah keinginan pelanggan bisa dipenuhi. Tingkat kepentingan dan kepuasan pelanggan dihitung dengan skala 1-5.

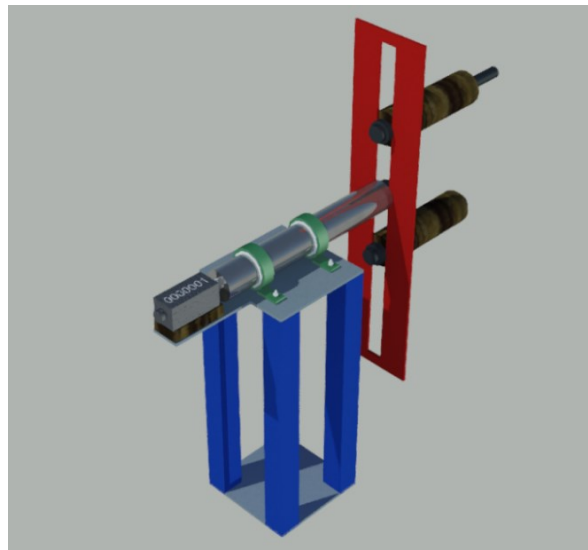
No	Keinginan Konsumen	Skor	Improvement Ratio	Sales Point
1	Alat-alat ini aman untuk digunakan dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja	4,5	1,8	1,5
2	Tidak menyebabkan ketidaknyamanan setelah penggunaan jangka panjang	4,5	1,8	1,5
3	Ukuran alat disesuaikan dengan postur tubuh operator	4,5	1,5	1,5
4	Tidak perlu banyak tenaga kerja, dan proses berjalan lebih cepat.	5	1,666	1,5
5	Mengurangi waktu yang diperlukan untuk penggulangan	5	2	1,5

Tabel 4. Hasil Data Titik Jual (*Sales point*)

Kontribusi keinginan Tabel 4 menunjukkan bahwa titik jual adalah hubungan antara konsumen dan daya jual produk untuk perolehan rasio peningkatan dari perhitungan tujuan dan kinerja kepuasan saat ini. Untuk data titik jual, dipilih 1,5 karena kriteria penilaian titik jual 1,5 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap produk (*Strong Sales Point*).

No	Karakteristik teknis	Keinginan Konsumen	Hubungan	Nilai	Normalized Raw Weight	Contributions	Normalized Contributions
1	Kestabilan posisi alat	Alat-alat ini aman untuk digunakan dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja	Menengah	3	0,196	2,648	0,113
		Tidak perlu banyak tenaga kerja, dan proses berjalan lebih cepat.	Kuat	9	0,202		
		Mengurangi waktu yang diperlukan untuk penggulangan	lemah	1	0,242		
2	Tinggi tuas yang dapat disesuaikan dengan jangkauan tangan	Alat-alat ini aman untuk digunakan dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja	Kuat	9	0,196	5,646	0,240
		Tidak menyebabkan ketidaknyamanan setelah penggunaan jangka panjang	Menengah	3	0,196		
		Ukuran alat disesuaikan dengan postur tubuh operator	Kuat	9	0,164		
		Tidak perlu banyak tenaga kerja, dan proses berjalan lebih cepat.	Kuat	9	0,202		
3	Dimensi memenuhi	Alat-alat ini aman untuk digunakan dan	Kuat	9	0,196	4,662	0,199

No	Karakteristik teknis	Keinginan Konsumen	Hubungan	Nilai	Normalized Raw Weight	Contributions	Normalized Contributions
4	tinggi operator	tidak menimbulkan kecelakaan kerja				7,432	0,316
		Tidak menyebabkan ketidaknyamanan setelah penggunaan jangka panjang	Menengah	3	0,196		
		Ukuran alat disesuaikan dengan postur tubuh operator	Menengah	3	0,164		
		Tidak perlu banyak tenaga kerja, dan proses berjalan lebih cepat.	Kuat	9	0,202		
4	Putaran poros yang halus	Alat-alat ini aman untuk digunakan dan tidak menimbulkan kecelakaan kerja	Lemah	1	0,196	7,432	0,316
		Tidak menyebabkan ketidaknyamanan setelah penggunaan jangka panjang	Kuat	9	0,196		
		Ukuran alat disesuaikan dengan postur tubuh operator	Kuat	9	0,164		
		Tidak perlu banyak tenaga kerja, dan proses berjalan lebih cepat.	Kuat	9	0,202		
		Mengurangi waktu yang	Kuat	9	0,242		

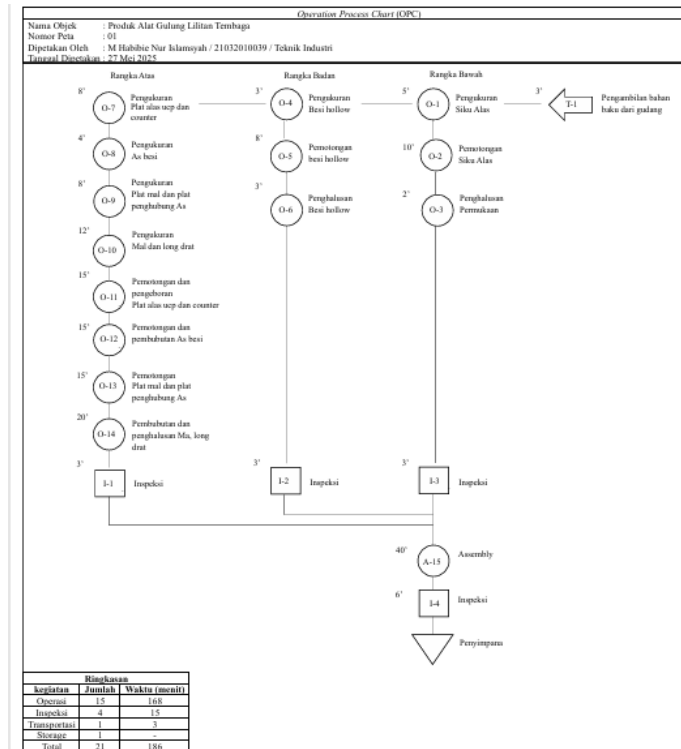
B. Metode DFMA**Gambar 3.** Rancangan Alat Gulung

Rancangan alat gulung dikembangkan berdasarkan persyaratan pengguna dan fitur teknis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Terdiri dari kerangka penyangga,udukan poros, dan tuas pengatur, alat ini dirancang dengan kuat dan stabil. Selain itu, desain ini dirancang secara ergonomis untuk menyesuaikan postur dan jangkauan tangan operator. Poros dirancang untuk mendukung penggulangan yang efisien dan mulus dan membuatnya mudah diputar secara manual. Selain itu, rancangan ini mempertimbangkan kecepatan kerja dan kemudahan penggunaan selama proses produksi.

No	Nama Material	Harga / Biaya
1	Besi hollow	24.000
2	Plat Besi	25.000
3	Bearing (UCP 205-1)	50.000
4	Counter	65.000
5	As besi st/40	35.000
6	Plat Besi Mal	30.000
7	Teflon Mal	30.000
8	Kayu Mal	15.000
9	Long drat m-10 dan Mur	20.000
10	Konsumable dan cat	100.000
Total		394.000

Tabel 6. Harga Komponen Alat Gulung Lilitan Tembaga

Tabel 6 menunjukkan harga masing-masing material yang dibutuhkan. Harga besi Hollow ialah 24.000 rupiah, plat besi ialah 25.000 rupiah, bearing UCP ialah 50.000 rupiah, counter ialah 65.000 rupiah, as besi ialah 35.000 rupiah, plat di mal ialah 30.000 rupiah, teflon di mal ialah 30.000 rupiah, mal kayu ialah 15.000 rupiah, long drat dan mur ialah 20.000 rupiah, konsumsi kemudian cat ialah 100.000 rupiah. total 394.000 rupiah.



Gambar 4. Operation process chart (OPC) Alat Gulung Lilitan Tembaga

Gambar 4 menunjukkan 21 kegiatan, masing-masing 15 kegiatan operasi selama 210 menit, 4 kegiatan inspeksi selama 15 menit, dan 1 kegiatan transportasi selama 3 menit, sehingga total 186 menit.

No	Perakitan masing-masing komponen	Jumlah teoritis (NM)	Waktu (Detik)
1	Penyambungan ke empat siku alas	4	1.920
2	Penyambungan alas bawah tipis	1	240
3	Penyambungan besi hollow tegak ke tiap sudut siku alas	4	1.070
4	Penyambungan besi hollow pada alas atas	1	242
5	Penyambungan alas atas ucp	1	240
6	Pengeboran alas ucp	4	480
7	Pemasangan bearing ucp pada alas ucp	2	478
8	Pengelasan mur pada alas ucp	4	960
9	Penyambungan alas counter pada alas ucp	1	250
10	Pengeboran alas counter	4	480
11	Pengelasan mur pada alas counter	4	963
12	Pembubutan As ujung counter	1	730
13	Pembubutan pengunci as counter	1	720
14	Pemasangan As pada ucp dan counter	1	237
15	Pengelasan baut sambungan As	1	590

No	Perakitan masing-masing komponen	Jumlah teoritis (NM)	Waktu (Detik)
16	Pengelasan plat mal pada sambungan plat	1	240
17	Pengelasan mur pada sambungan plat mal	1	240
18	Pemasangan plat mal pada As	1	240
19	Pemasangan long drat pada mal	2	305
20	Pemasangan mal pada plat mal	2	300
21	Finishing	1	235
Total (TM)		42	11.160

Tabel 7. DFA Waktu Perakitan Komponen

Tabel 7 menunjukkan bahwa ada 21 bagian total dalam proses pemasangan semua komponen, dengan total 42 proses. Total material keseluruhan, atau bagian komponen, adalah 21 bagian, dan waktu perakitan total adalah 11.160 detik, atau sekitar 186 menit, untuk membuat produk alat gulung lilitan tembaga.

**Gambar 5.** Produk Pengembangan

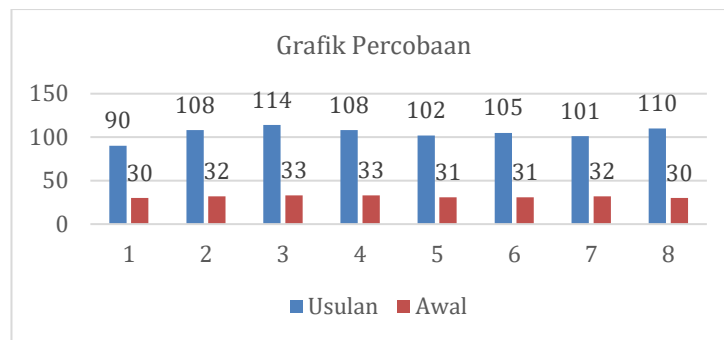
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, alat gulung pengembangan memiliki berat 12 kg dan dimensi 60 mm x 23,5 mm x 80 mm. Material yang digunakan termasuk besi, kayu, dan teflon, dan alat ini dirancang untuk mempermudah proses penggulangan lilitan tembaga. Tabel 7 menunjukkan bahwa proses pemasangan setiap komponen terdiri dari 21 bagian dengan total 42 proses, 21 komponen, dan waktu perakitan sebesar 11.160 detik, atau sekitar 186 menit, dan efektifitas proses pembuatan sebanyak 0,6774. Artinya, dengan proses desain produk melalui 42 bagian dan waktu perakitan 11.160 detik, atau sekitar 186 menit, efisiensi perakitan sebesar 0,6774, atau 67,74%.

Rumus dapat digunakan untuk menghitung produktivitas kecepatan penggulangan:

$$\text{Produktivitas} : \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

$$\text{Alat Awal} : \frac{1}{104,4} \times 100\% = 1$$

$$\text{Alat Usulan} : \frac{1}{31,8} \times 100\% = 3$$



Gambar 6. Presentase Waktu Percobaan

Hasil dari delapan percobaan menunjukkan perbedaan selisih perbedaan yang signifikan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Alat Awal rata-rata 104,75 detik dan Alat Usulan rata-rata 31,5 detik. Alat Awal dapat menggulung 1 block lilitan dalam 1 menit, sedangkan alat Saran dapat menggulung 3 block lilitan dalam 1 menit. Hal ini meningkatkan kenyamanan dan efisiensi waktu.

Simpulan

Dengan mengutamakan kenyamanan dan keselamatan operator, penelitian ini menghasilkan alat gulung lilitan tembaga yang efektif untuk berbagai ukuran. Dengan desain ergonomis sepertiudukan stabil, tinggi tuas yang sesuai dengan jangkauan, dan ukuran alat yang menyesuaikan postur pengguna, CV Karya Jaya meningkatkan produktivitas pekerjaan. Hasil pengujian yang dilakukan pada elektro motor 5.5 HP dari lima percobaan menunjukkan bahwa alat gulung yang diusulkan memiliki produktivitas tiga kali lipat dibandingkan dengan alat yang dibuat sebelumnya. Sementara alat pertama hanya dapat menggulung 1 blok tembaga per menit, alat yang diusulkan dapat menggulung 3 blok tembaga per menit. Dengan perbaikan teknis, kemudahan putaran poros, dan desain yang mendukung kerja operator, peningkatan ini menghasilkan proses yang lebih cepat, lebih efisien, dan menghemat waktu tunggu antar proses yang lebih sedikit.

References

- [1] F. Umam, H. Budiarto and A. D., *Motor Listrik*, Malang: Media Nusa Creative, 2017.
- [2] D. Novianto, E. Zondra and H. Yuvendius, "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa sebagai Penggerak Vacuum di PT. Pindo Deli Perawang," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 4, no. 2, pp. 73–80, 2022.
- [3] L. Siregar, R. Silaen and J. L. Hutabarat, "Pengaruh Perubahan Beban terhadap Putaran dan Daya Masuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN)," *Electric Power, Telecommunications & Control System (ELPOTECs) Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2021.
- [4] A. Hendrawan, S. S. and R. A. A. Al Khomsi, "Penyebab Kerusakan Electro Motor Oil Max Pump pada Mesin Induk di KM. Dharma Kartika IX," *Saintara*, vol. 5, no. 2, pp. 28–35, 2021.
- [5] R. A. Kusuma and R. Setiawan, "Analisa Penyebab Terbakarnya Motor Induksi Tiga Fasa dengan Menggunakan Simulasi MATLAB," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 55–63, 2022.
- [6] J. T. Susilo, S. Dinata, J. Setiawan and E. Santoso, "Analisa Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Hasil Rewinding dengan Pemodelan Finite Element," *EPIC: Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*, vol. 6, no. 1, pp. 82–91, 2023.
- [7] M. M. Riyanto and S., "Perencanaan Lilitan Motor Induksi 3 Fasa," *JIMR: Journal of International Multidisciplinary Research*, vol. 1, no. 2, pp. 283–291, 2022.

- [8] D. M. K. A. Rosa and I. N. Anggraini, “Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa terhadap Berbagai Gangguan Menggunakan Mikrokontroler,” *Amplifier*, vol. 10, no. 1, pp. 9–17, 2020.
- [9] A. Fitriyanto and M. C. Fuad, “Rancang Bangun Smart Single Phase Motor Rewinding Test Result untuk Praktikum Perawatan dan Perbaikan Mesin Listrik,” *Indonesian Journal of Laboratory*, vol. 6, no. 2, pp. 114–121, 2023.
- [10] I. D. Lesmidayarti and A. W. Aditya, “Desain dan Perancangan Sistem Kendali Penggulung Lilitan Kawat Tembaga pada Rotor Generator,” *Prosisko*, vol. 12, no. 1, pp. 94–101, 2025.
- [11] H. Anshori, “Perancangan Mesin Potong Akrilik yang Ergonomis dan Ekonomis Menggunakan Metode Ergonomic Function Deployment (EFD),” *Surya Teknik*, vol. 7, no. 1, pp. 96–103, 2020.
- [12] E. Kurniawan and H. Purnomo, “Perancangan Ulang Warp Beam Trolley Menggunakan Ergonomic Function Deployment,” *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, vol. 20, no. 2, pp. 61–68, 2021.
- [13] M. Azalia and L. Mendrofa, “Perbaikan Produk Blender Portable dengan Menggunakan Metode Design for Manufacturing and Assembly (DFMA),” *Talenta Conference Series: Energy & Engineering*, vol. 6, pp. 150–156, 2023.
- [14] M. A. K. Istifa, “Peran Inovasi Produk dalam Meningkatkan Daya Saing Perusahaan di Pasar Global,” *Review Pendidikan dan Pengajaran*, vol. 7, no. 4, pp. 13760–13765, 2024.
- [15] F. N. Fajrina and Z. Yamit, “Pengaruh Inovasi Produk, Desain Produk, dan Kualitas Produk terhadap Keunggulan Bersaing pada Produk Maybelline di Yogyakarta,” *Selektika Manajemen: Jurnal Mahasiswa Bisnis & Manajemen*, vol. 1, no. 2, pp. 131–142, 2022.