

ANALISIS PERGESERAN PHASE MOTOR INDUKSI 3 PHASE HASIL REWINDING DENGAN PEMODELAN FINITE ELEMENT

Erik Agustian Yulanda¹, Seflahir Dinata², Joko Tri Susilo³, Wahyu Setiawan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
^{1,2,3,4}Jalan Raya Puspiptek No. 46 Buaran, Setu, Tangerang Selatan, Banten, 15310, Indonesia

¹dosen02636@unpam.ac.id
²dosen02659@unpam.ac.id
³dosen01647@unpam.ac.id
⁴wahyoe.setiawan19@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 30-10-2023
revisi : 10-11-2023
diterima : 11-11-2023
dipublish : 30-12-2023

ABSTRAK

Motor induksi 3 *phase* memegang peran penting di berbagai aplikasi industri, seiring penggunaan motor induksi akan mengalami degradasi sehingga solusi umum yang dilakukan adalah rewinding, meskipun *rewinding* efektif untuk memperbarui dan memperpanjang umur motor induksi namun dampak dari rewinding adalah terjadinya pergeseran phase, pergeseran phase pada motor induksi dapat menyebabkan karakteristik operasional, penurunan efisiensi, kenaikan suhu bahkan dapat menyebabkan kerusakan komponen internal, sehingga menjadi penting untuk melakukan analisis pergeseran phase pada motor induksi 3 phase hasil *rewinding*. Metode penelitian yang dilakukan adalah mengubah diameter kawat lilitan tanpa mengubah jumlah lilitan, langkah belitan, jumlah alur dan jumlah pasang kutub dari motor induksi sebelum dililit ulang. Pemodelan motor induksi 3 phase dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Finite Element Ansys Maxwell* 16,0. Dengan diameter kawat lilitan awal 0,75 mm diganti dengan menggunakan diameter kawat lilitan 0,60 mm, Pengujian dilakukan dengan mengukur arus, tegangan, faktor daya, kecepatan putaran motor dan menganalisis pergeseran phase pada motor induksi sebelum dan sesudah proses *rewinding*. Hasil pengujian menunjukkan besaran nilai pergeseran phase yaitu sekitar 36° sampai 32°, sementara dari hasil rancangan motor yang dibuat menggunakan perangkat lunak *Finite Element Analysis*, didapatkan nilai kecepatan rating di 1450 RPM dengan torsi 2,42769 Nm dan pergeseran phase sebesar 41.4°. Pada kondisi rating didapatkan nilai arus keluaran 4.5944 A dengan tegangan sebesar 307,822 V.

Kata kunci: Lilit ulang; motor induksi; finite element analysis

ABSTRACT

Three-phase induction motors play a crucial role in various industrial applications. However, with usage, these motors undergo degradation, leading to a common solution of rewinding. While rewinding is effective in renewing and extending the lifespan of induction motors, it introduces the challenge of phase shift. Phase shift in induction motors can impact operational characteristics, causing a decrease in efficiency, temperature rise, and even internal component damage. Therefore, it is essential to analyze the phase shift in 3-phase induction motors resulting from the rewinding process. The research method involves altering the wire diameter of the winding without changing the number of turns, winding step, groove count, and pole pairs of the induction motor before rewinding. The 3-phase induction motor is modeled using Finite Element Analysis software. The initial wire diameter of 0.75 mm is replaced with a diameter of 0.60 mm. Testing is conducted by measuring current, voltage, power factor, motor speed, and analyzing phase shift in the induction motor before and after rewinding. The test results indicate a phase shift ranging from approximately 36° to 32°. Meanwhile, the motor design created using Finite Element Analysis software reveals a rated speed of 1450 RPM with a torque of 2.42769 Nm and a phase shift of 41.4°. Under rated conditions, the output current is 4.5944 A with a voltage of 307.822 V.

Keywords: Rewinding; induction motor; finite element analysis

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia saat ini sangat bergantung pada bantuan alat dan mesin untuk melakukan aktivitas sehari-hari, baik dalam pekerjaan rumah tangga maupun industri. Motor induksi adalah salah satu alat listrik yang sangat membantu aktivitas manusia. Motor induksi 3 fasa banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari aplikasi rumah tangga hingga industri besar. Apabila kinerja motor induksi berkurang, proses produksi atau kerja industri akan terganggu. (Maciej Serda et al., 2015)

Keunggulan motor induksi dibandingkan dengan motor listrik jenis yang lain yaitu keandalan, biaya yang relatif rendah, konstruksi yang mudah dan kuat, serta unjuk kerja yang baik. Meskipun memiliki keandalan yang baik, kerusakan

internal dapat terjadi pada motor induksi, seperti kerusakan pada stator dan rotor. Kerusakan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti lingkungan kerja, instalasi, dan faktor produksi. (Sufrianti & Hamzah, 2017).

Mekanisme kerusakan pada mesin induksi biasanya dikategorikan berdasarkan komponen utama mesin, seperti gangguan pada stator, rotor, dan bearing. Kerusakan stator menyumbang hampir 40% gangguan motor induksi karena hubung singkat pada belitan stator. Hubung singkat menyebabkan penurunan kecepatan dan peningkatan panas yang meningkatkan rugi-rugi. (Ilman Huda et al., 2019). Lebih spesifiknya, kerusakan listrik terutama terletak pada bagian kumparan, jika motor kelebihan beban dan bekerja terus menerus, maka kumparan dapat terbakar. Pada kondisi ini, maka perlu mengganti

kumparan dengan yang baru. (Amalia et al., 2017)

Perbaikan kumparan stator yang terbakar pada motor induksi dapat dilakukan dengan cara penggulangan ulang kumparan. Cara penggulangan ulang motor, bahan yang digunakan, kinerja pengisolasi, dan suhu operasi merupakan beberapa faktor yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi motor. Penggulangan ulang yang dilakukan dengan hati-hati dapat menghasilkan motor dengan efisiensi yang sama seperti sebelumnya. (Suparlan, 2011)

Penelitian telah dilakukan pada tahun 2023 mengenai efisiensi motor induksi 3 phase hasil rewinding. Metode yang digunakan adalah variasi tegangan sebelum atau sesudah *rewinding* serta simulasi menggunakan perangkat lunak *finite element analysis* dengan cara memvariasikan diameter kawat konduktor. Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan hasil pengujian tanpa beban mencapai efisiensi dengan selisih $\pm 2\%$ dan berdasarkan simulasi mendapatkan efisiensi 20% dengan diameter kawat 0,75mm dan efisiensi 18% dengan kawat 0,60mm. (Tri Susilo et al., 2023)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hal yang belum diteliti sebelumnya, yaitu pergeseran fasa arus dan tegangan pada motor induksi sebelum dan setelah *rewinding*. Pengujian dilakukan dengan cara pemodelan menggunakan perangkat lunak *finite element analysis*.

TEORI

Finite Element Method (FEM)

Finite Element Method (FEM / Metode Elemen Hingga telah menjadi bagian integral dari solusi numerik di dunia teknik. FEM merupakan salah satu metode

pendekatan pemecahan nilai limit yang tidak memerlukan banyak memori, mulai dari analisis tegangan (stress) dan deformasi (*deformation*) pada bidang struktur bangunan, jembatan, aviasi dan otomotif hingga analisis aliran fluida, perpindahan panas, medan magnet, dan masalah non struktural lainnya. (Santoso Pakpahan et al., 2019)

Ansys Maxwell

Perangkat lunak *ANSYS Maxwell* memiliki spesialisasi dalam mensimulasikan serta menganalisis medan elektromagnetik. Tujuan dari perangkat ini adalah untuk menyediakan alat yang dapat digunakan untuk merancang dan menganalisis perangkat elektromagnetik dan elektromekanis baik dalam format 3D maupun 2D (M. Alfin, 2023). *Ansys Maxwell* memanfaatkan metode FEM yang akurat untuk menganalisis medan elektromagnetik dan perubahan listrik terhadap waktu dalam domain frekuensi.

Keuntungan utama dari *Ansys Maxwell* adalah kemampuan untuk melakukan simulasi secara otomatis. Terdapat beberapa langkah yang dapat diambil dalam pembuatan simulasi, salah satunya adalah memanfaatkan template yang tersedia di *Ansys Maxwell*.

Selain menggunakan *software Ansys Maxwell*, pada penelitian ini juga menggunakan *software LabVIEW*. *LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)* adalah perangkat lunak yang memungkinkan Anda memproses dan memvisualisasikan data dalam akuisisi data, kontrol dan pengukuran, serta otomasi industri. *LabVIEW* pertama kali dikembangkan oleh National Instruments (NI) pada tahun 1986. (Juni et al., 2020)

NI USB - 6009

Agar dapat mengubah nilai-nilai besaran fisik yang diukur menjadi format yang bisa diproses oleh komputer, diperlukan sebuah perangkat akuisisi data yang berperan sebagai pengubah sinyal analog menjadi digital yang disebut *Analog to Digital Converter (ADC)*. National Instruments menyediakan berbagai macam perangkat untuk melakukan pengumpulan data. NI USB - 6009 adalah salah satu alat dari *National Instruments* yang digunakan untuk mengumpulkan data. NI USB - 6009 menggunakan koneksi USB (*Universal Serial Bus*) untuk berkomunikasi dengan komputer. (Nurraharjo, 2011).

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah pemodelan menggunakan perangkat lunak Ansys Maxwell. Pemodelan motor listrik menggunakan Ansys Maxwell meliputi langkah berikut:

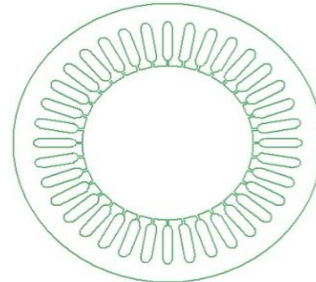
1. Pendefinisian properti objek yang akan diteliti:
 - a) Langkah pertama untuk membuat desain motor listrik pada Ansys Maxwell adalah mendefinisikan properti umum dari motor listrik. Parameter umum yang didefinisikan pada simulasi Ansys Maxwell dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Properti Umum Motor.

Daya keluaran (kW)	: 0.75
Tegangan (V)	: 380
Jumlah kutub	: 2
Kecepatan (Rpm)	: 1450
Posisi Rotor	: Dalam
Jenis Pembebanan	: Constant Power
Temperature Operasi (°C)	: 75

- b) Mendefinisikan properti geometris stator. Parameter yang digunakan adalah: diameter luar, diameter dalam, tebal

stator, faktor tumpukan (*stacking factor*), material, jumlah slot, dan tipe slot. Visualisasi properti ditunjukkan pada Gambar 1 dan parameter pada Tabel 1.



Gambar 1. Visualisasi properti stator.

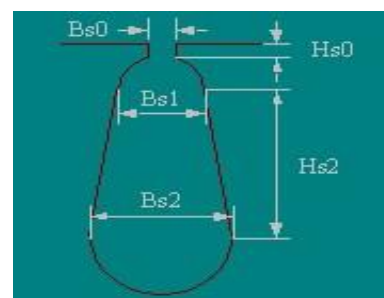
Tabel 2. Properti Stator

Jumlah Slot Stator	: 36
Diameter Luar stator (mm)	: 140
Diameter Dalam Stator (mm)	: 78
Panjang Inti stator (mm)	: 250
<i>Stacking Factor</i>	: 0.95
Jenis material	: D21_50

- c) Mendefinisikan properti slot. Parameter yang didefinisikan adalah : Hs0, Hs2, Bs0, Bs1, dan Bs2, ditunjukkan pada Gambar 2 parameternya pada Tabel 3

Tabel 3. Properti Slot

Hs0	: 2
Hs1	: 15
Hs2	: 1
Bs0	: 5
Bs1	: 2
Bs2	: 2



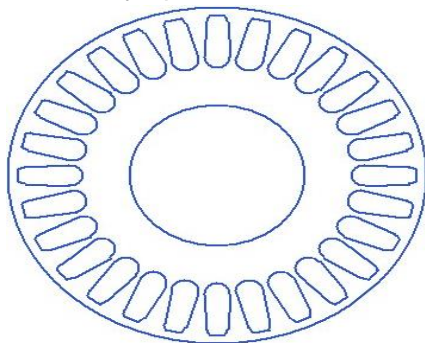
Gambar 2. Visualisasi properti slot.

- d) Mendefinisikan properti winding stator. Parameter yang didefinisikan adalah : *Winding layer*, *Parallel branch*, *Konduktor per slot*, *Winding type*, *Number of strands* dan *Wire size* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Pada *Winding Stator*

<i>Winding Layer</i>	: 1
<i>Parallel branch</i>	: 1
Konduktor per slot	: 30
Tipe belitan	: <i>Whole-Choiled</i>
<i>Number of strands</i>	: 0
Diameter kawat	: 0.75

e) Mendefinisikan properti rotor, parameter yang digunakan adalah: diameter dalam, diameter luar, tebal inti stator, faktor tumpukan (*stacking factor*), dan material. Visualisasi ditunjukkan oleh Gambar 3 parameternya pada Tabel 5



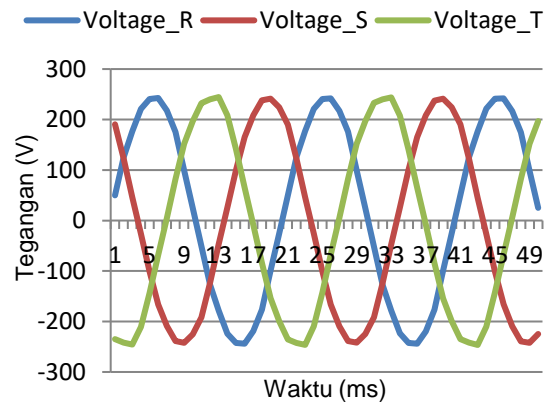
Gambar 3. Visualisasi properti rotor.

Tabel 5. Properti Rotor

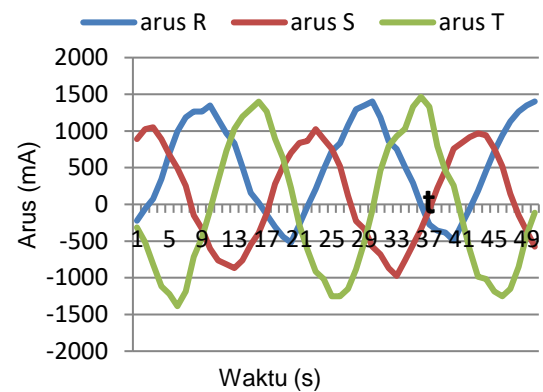
Tipe slot	: 1
Diameter Dalam (mm)	: 32
Panjang Rotor (mm)	: 66
<i>Stacking Factor</i>	: 0.95
Jenis material	: D21_50
Diameter luar (mm)	: 75
Jumlah slot rotor	: 28

HASIL DAN PEMBAHASAN

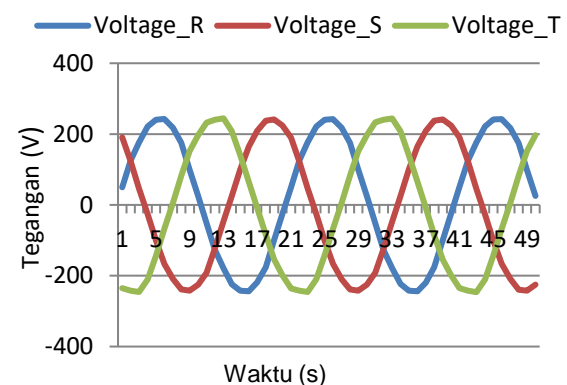
Pengolahan data difokuskan pada parameter yang penting untuk dianalisis yaitu nilai arus dan tegangan yang diukur menggunakan NI USB 6009, gelombang arus dan tegangan hasil pengukuran motor induksi sebelum dan sesudah rewinding ditunjukkan oleh Gambar 4, 5, 6 dan 7.



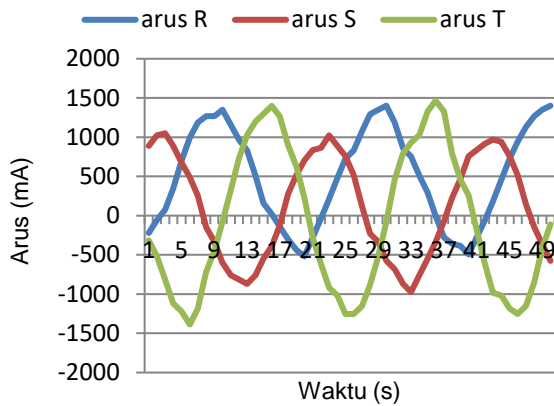
Gambar 4. Gelombang tegangan 220 V Sebelum *rewinding*.



Gambar 5. Gelombang arus sebelum *rewinding* dengan tegangan 220 V.

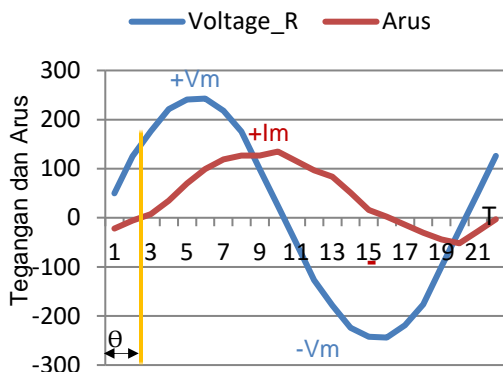


Gambar 6. Gelombang tegangan 220 V sesudah *rewinding*.



Gambar 7. Gelombang arus sesudah *rewinding* dengan tegangan 220 V.

Dari Gambar 4, 5, 6 dan 7 diuraikan kembali menjadi 1 phase 1 gelombang penuh yang bertujuan untuk memudahkan pembacaan pergeseran phase tegangan dengan arus, pergeseran phase tegangan dengan arus ditunjukkan oleh Gambar 8 dan 9 berikut:



Gambar 8. Pergeseran Phase Tegangan dan Arus Sebelum Rewinding.

Bentuk gelombang tegangan pada Gambar 8 dimulai dari nol sepanjang sumbu referensi horizontal, namun pada saat bersamaan, bentuk gelombang arus masih bernilai negatif, Kemudian ada pergeseran phase (θ) antara kedua bentuk gelombang saat arus sumbu

referensi horizontal mencapai puncak maksimum.

Pergeseran phase antara tegangan dan arus dapat dihitung dengan rumus :

$$\theta = \Delta t \times \frac{360^\circ}{T} \quad (1)$$

Dimana :

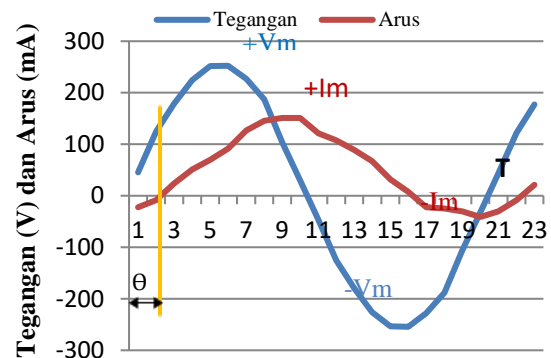
Δt = jarak waktu antara tegangan dengan arus.

T = panjang gelombang dalam satu perioda.

Berdasarkan Gambar 8, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Diketahui, $\Delta t = 2$ ms; T = 20 ms

Maka $\theta = 2 \times \frac{360^\circ}{20} = 36^\circ$



Gambar 9. Pergeseran Phase Tegangan dan Arus Sesudah Di Rewinding.

Bentuk gelombang tegangan pada Gambar 9. dimulai dari nol sepanjang sumbu referensi horizontal, namun pada saat bersamaan, bentuk gelombang arus masih bernilai negatif. Kemudian ada pergeseran phase (θ) antara kedua bentuk gelombang saat arus sumbu referensi horizontal mencapai puncak maksimum.

Berdasarkan Gambar 9, maka dapat dibandingkan rpm sebelum dan setelah *rewinding* yang perhitungannya diberikan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Diketahui, $\Delta t = 1,8 \text{ ms}$; $T = 20 \text{ ms}$

Maka, $\theta = 1,8 \times \frac{360^\circ}{20} = 32^\circ$

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Sebelum Rewinding

Phase	R	S	T
Arus (mA)	1049,75	1031,63	1335,32
Tegangan (V)	219,607	220,583	227,493
Frekuensi	50,0093	50,0103	50,0089
Cos \emptyset		0,55	
Rpm		1402	

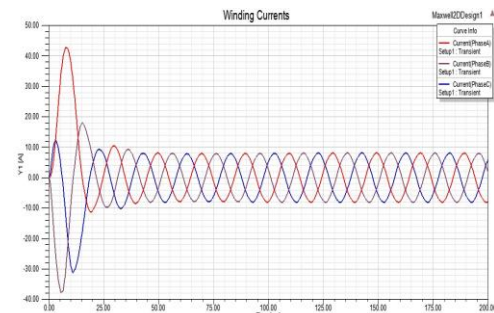
Tabel 7. Data Hasil Pengujian Sesudah Rewinding

Phase	R	S	T
Arus (mA)	1082,36	1106,27	1385,83
Tegangan (V)	219,908	221,189	217,573
Frekuensi	50,0093	50,0093	50,0084
Cos \emptyset		0,5	
Rpm		1388	

Berdasarkan hasil desain motor induksi yang telah dimodelkan menggunakan perangkat lunak *Ansys Maxwell* melalui metode *finite element*, hasil pemodelan didapatkan dirangkum sebagai berikut:

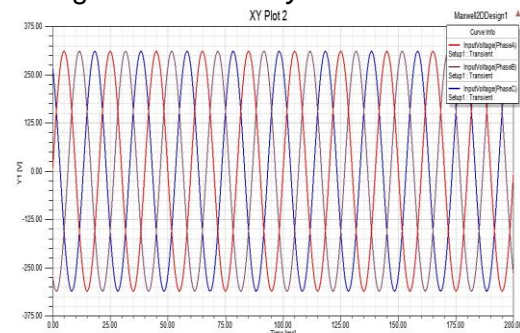
1. Karakteristik *Output* Motor

Karakteristik *output* motor dipengaruhi oleh besarnya arus keluaran, tegangan keluaran dan $\text{Cos } \varphi$. Simulasi untuk mendapatkan parameter masukan dari motor dilakukan dengan mencari besar nilai arus dan tegangan yang mengalir pada stator motor. Nilai tegangan pada motor dipengaruhi oleh besarnya sumber tegangan yang digunakan, pada pengujian digunakan sumber tegangan 380 V. Kemudian besarnya nilai arus yang mengalir pada motor bergantung dari jumlah lilitan yang digunakan untuk menghasilkan besar nilai medan magnet. Hasil simulasi dalam rentang waktu 200 ms ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Bentuk Gelombang Arus.

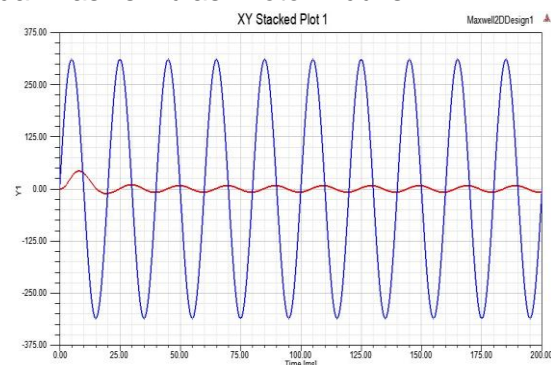
Pada simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 10 didapatkan nilai arus $I = 4,5944 \text{ A}$. Dengan waktu *steady state* $t = 20 \text{ ms}$.



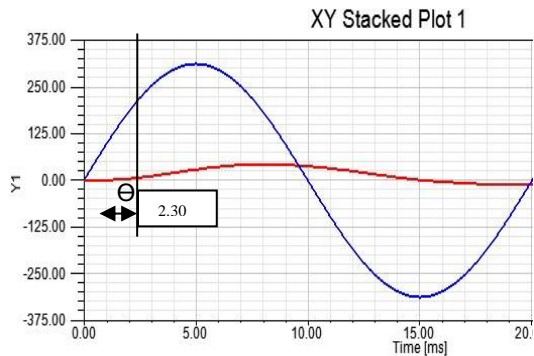
Gambar 11. Bentuk Gelombang Tegangan

Pada simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 11 didapatkan nilai tegangan $V = 307,822 \text{ V}$. Dengan waktu *steady state* pada $t = 10 \text{ ms}$.

Parameter output berikutnya adalah nilai $\text{Cos } \Theta$, yang tercipta dari pergeseran sudut phase antara gelombang tegangan dan arus, Berikut nilai $\text{Cos } \Theta$ yang didapat dari hasil simulasi motor induksi.



Gambar 12. Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan.



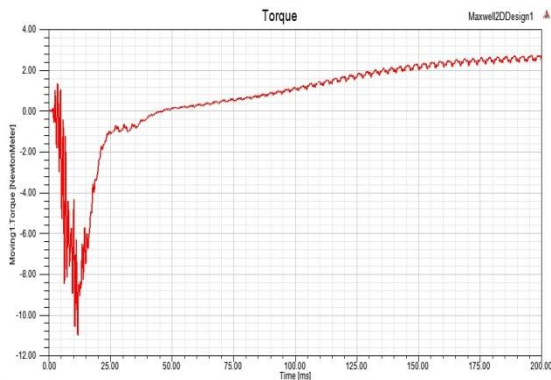
Gambar 13. Gelombang Arus dan Tegangan Dalam 1 Periode.

Berdasarkan Gambar 12 dan 13, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$\theta = 2,30 \times \frac{360^\circ}{20} = 41,4^\circ$$

2. Karakteristik Torsi Kecepatan

Karakteristik Torsi dan Kecepatan pada suatu motor listrik merupakan salah satu parameter utama untuk menghitung keandalan dari motor. Pada simulasi digunakan kecepatan referensi 1450 rpm.



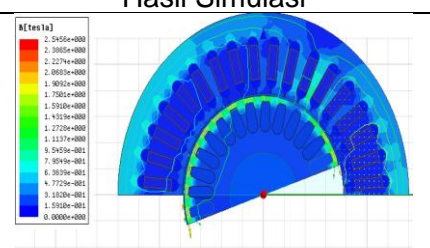
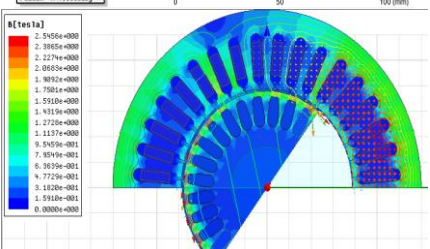
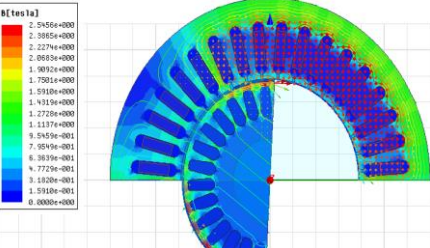
Gambar 14. Nilai Torsi Motor Dengan 1450 Rpm, t = 200 ms.

Dari hasil simulasi yang didapat dengan menggunakan pengujian dengan rentang waktu t = 200 ms didapat grafik Gambar 14 dengan hasil torsi pada kecepatan 1450 rpm sebesar T = 2,42769 Nm.

3. Karakteristik Medan Stator

Hasil simulasi menunjukkan nilai kerapatan fluks pada stator maksimum sebesar 2,54 Tesla. Simulasi pengambilan data selama 0,01 s didapatkan persebaran kerapatan fluks yang ditunjukkan oleh Tabel 8. Hasil yang diperoleh membuktikan adanya pengaruh antara arus yang mengalir pada belitan yang menginduksikan arus pada rotor. Arus menimbulkan medan magnet. Akibat adanya medan pada stator akan menimbulkan gaya tarik maupun gaya tolak pada rotor motor induksi. Situasi tersebut membangkitkan torsi yang memutar rotor dengan putaran medan magnet yang dihasilkan oleh stator.

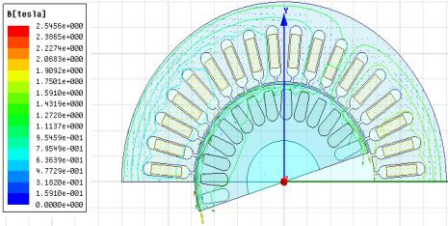
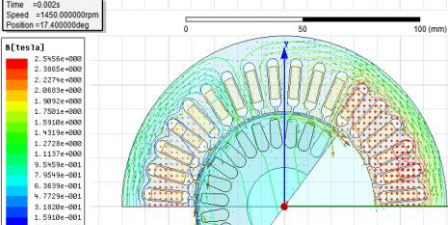
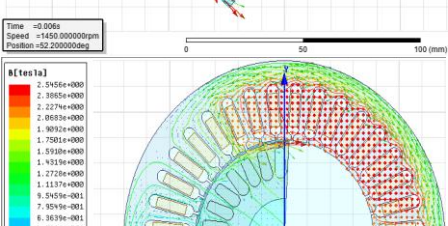
Tabel 8. Karakteristik Medan Stator

Hasil Simulasi	t (s)
	0,002
	0,006
	0,01

4. Karakteristik Medan pada Air Gap

Simulasi karakteristik medan pada *air gap* diberikan pada Tabel 9. Hasil yang diperoleh menunjukkan kuat medan pada *air gap*, terlihat bahwa terdapat pengaruh dari interaksi antara medan yang dihasilkan oleh magnet permanen pada rotor dan medan yang dihasilkan oleh stator. Besarnya gaya medan magnet yang diterima oleh stator bergeser seiring dengan pergeseran rotor.

Tabel 9. Simulasi Medan Pada Air Gap.

Hasil Simulasi	t (s)
	0,002
	0,006
	0,01

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian analisis pergeseran phase motor induksi sebelum dan sesudah *rewinding*, serta pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak

finite element analysis maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Terjadi pergeseran phase arus dan tegangan, pada motor induksi sebelum *rewinding* memiliki nilai sudut phase 36° , sementara pada motor induksi sesudah *rewinding* memiliki sudut phase 32° . Hasil pengukuran pada motor induksi sebelum *rewinding* menunjukkan Arus 1047 mA, Tegangan 219 V, $\text{Cos } \varphi$ 0.55 dan kecepatan putaran motor 1402 Rpm. sedangkan motor induksi sesudah *rewinding* terdapat Arus 1082 mA, Tegangan 219 V, $\text{Cos } \varphi$ 0.5 dan kecepatan putaran motor 1388 Rpm. Hasil pemodelan motor induksi menunjukkan nilai kecepatan rating di 1450 Rpm dengan torsi 2,42769 Nm dan pergeseran phase sebesar 41.4° . Pada kondisi *rating* ini didapatkan nilai arus 4.5944 A dengan tegangan sebesar 307,822 V.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, N. T., Mulud, T. H., & Prasetyo, B. (2017). Perbaikan Motor Induksi 2380 KW di PT.PINDAD (Persero). *Eksergi*, 13(2). <https://doi.org/10.32497/EKSERGI.V13I2.910>
- Ilman Huda, F., Dpk, I., Yan Dewantara Jurusan Teknik Elektro, B., Teknik dan Ilmu Kelautan, F., Hang Tuah Surabaya Jalan Arief Rahman Hakim No, U., & Timur, J. (2019). IDENTIFIKASI GANGGUAN BELITAN STATOR MOTOR INDUSKI METODE WAVELET. *Prosiding Seminar Sains Nasional Dan Teknologi*, 1(1). <https://doi.org/10.36499/PSNST.V1I1.2901>
- Juni, J., Risfendra, R., & Habibullah, H. (2020). Sistem Monitoring dan Protection Motor Induksi 3 Phasa dengan Labview. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.24036/JTEV.V6I1.10>

- 6748
M. Alfin, J. (2023). *DESAIN DAN ANALISIS TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASA 100 kVA MENGGUNAKAN ANSYS MAXWELL DITINJAU DARI RUGI – RUGI INTI*.
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ...)2015. (فاطمى, ح). ANALISA PENURUNAN EFISIENSI MOTOR INDUKSI AKIBAT CACAT PADA CAGE BALL BANTALAN. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 3(4), 397–407. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Nurraharjo, E. (2011). ANALISIS MODEL AKUISISI DATA TERHADAP PIRANTI ANALOG TO DIGITAL (ADC). *Dinamika Informatika: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 3(2). <https://doi.org/10.35315/INFORMATIK.A.V3I2.1312>
- Santoso Pakpahan, H., Jati Setyadi, H., Basani, Y., Del, T., Panajam Kampus Gn Kelua Universitas Mulawarman Samarinda, J., Timur, K., Sisingamangaraja, J., & Samosir, T. (2019). Analisis Pengaruh Model Salinitas Air Tanah Menggunakan Finite Element Method (FEM) Di Kalimantan Timur. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 14(1), 12–16. <https://doi.org/10.30872/JIM.V14I1.1987>
- Sufrianti, J., & Hamzah, A. (2017). Simulasi Dan Deteksi Gangguan Belitan Stator Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Arus Starting Dengan Matlab/Simulink. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains*, 4(1), 1–11. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFT-EKNIK/article/view/14840>
- Suparlan, M. (2011). *Pengaruh Penggulungan Ulang (Rewinding) Stator terhadap Kinerja Motor Induksi*. <http://repository.unsri.ac.id/25371/>
- Tri Susilo, J., Dinata, S., Setiawan, J., Santoso, E., Studi Teknik Elektro, P., Teknik, F., Pamulang, U., Raya Puspipetek, J., Pamulang, K., & Tangerang Selatan, K. (2023). Analisa Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Hasil Rewinding Dengan Pemodelan Finite Element. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 6(1), 82–91. <https://doi.org/10.32493/EPIC.V6I1.30752>