

# Studi Penggulungan Ulang Belitan Motor Induksi Tiga-Fasa 2 HP-380 V 50 Hz

HARIWANDI SYAHMENDRA, NASRUN HARIYANTO

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung  
Email : hariwandi.syahmendra@mhs.itenas.ac.id

## ABSTRAK

*Rewinding adalah salah satu cara perbaikan belitan pada stator motor induksi. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan barang bekas melalui penggulungan ulang motor dengan kapasitas daya 1,5 kW. Metoda rewinding digunakan untuk menaikkan rating tegangan dari 220 V menjadi 380 V dengan melilit ulang belitan stator pada motor. Dengan mengubah jumlah belitan pada kumparan stator menjadi 116 lilitan per fasa, serta mengubah ukuran diameter menjadi 0,54 mm dan luas penampang tembaga pada lilitan stator menjadi 0,23 mm<sup>2</sup> dan dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui performa dari motor induksi seperti No Load Test, Locked Rotor Test, DC Test dan Load Test. Berdasarkan hasil pengujian didapat torka starting sebesar 0,21 N.m dan torka maksimum sebesar 2,9 N.m pada slip maksimum 0,033 sehingga diperoleh nilai efisiensi motor sebesar 76,51%. Secara keseluruhan, performa motor induksi tiga fasa dengan desain tegangan 380 V masih sangat baik dan layak untuk digunakan mengingat rugi-rugi yang timbul masih dalam batas wajar.*

**Kata kunci:** *belitan, efisiensi, motor induksi, torka, rewinding*

## ABSTRACT

*Rewinding is one method of fixing an induction motor's stator winding. This research intends to repurpose discarded items by rewinding a 1.5 kW motor. The rewinding method was used to raise the voltage rating of a motor from 220 V to 380 V by rewinding the stator coil. By increasing the number of turns in the stator coil to 116 turns per phase, decreasing the diameter to 0.54 mm and the cross-sectional area of the copper in the stator winding to 0.23 mm<sup>2</sup>, and performing many tests to determine the induction motor's performance, such as the No Load Test, Locked Rotor Test, DC Test, and Load Test. According to the test results, the starting torque was 0.21 N.m. and the maximum torque was 2.9 N.m. at a maximum slip of 0.033, yielding a motor efficiency rating of 76.51%. Overall, the performance of a three-phase induction motor with a 380 V voltage design is still quite good and usable, as long as the losses that occur are kept within normal bounds.*

**Keywords:** *efficiency, induction motor, rewinding, torque, winding*

## 1. PENDAHULUAN

Sebagian besar permintaan global, untuk tenaga mekanik dipenuhi oleh motor induksi yang mengkonsumsi sekitar 40% dari total energi listrik yang dihasilkan dunia (**Cao & Bradley, 2005**). Motor induksi bertanggung jawab atas lebih dari 64% energi yang dikonsumsi dalam industri karena sebagian besar proses industri seperti penggilingan, pencampuran, kompresi udara, pendinginan, pengangkutan material, dan pemompaan air terutama bergantung pada motor induksi. Motor ini sering gagal karena kelebihan beban, kualitas catu daya yang buruk atau kesalahan belitan internal yang mengharuskan kebutuhan untuk di *rewound*.

*Rewinding* adalah tradisi lama dalam perbaikan motor. Dari waktu ke waktu, *rewinding* telah diketahui berdampak pada efisiensi dan kinerja mesin induksi. Dampak tersebut bervariasi kurang dari 1%, sekitar 1% (**Penrose & Bauer, 1995**), 2% atau hingga 6% kehilangan efisiensi (**Hirzel, 1994**). Dikatakan bahwa kerugian seperti itu sedikit atau dapat diabaikan sementara memberikan peningkatan efisiensi. Temuan yang disebutkan di atas dengan jelas menunjukkan bahwa *rewinding* berdampak pada efisiensi dan kinerja motor sementara variasi hasil menunjukkan bahwa tingkat dampak tersebut adalah fungsi dari prosedur yang digunakan dalam proses *rewinding*.

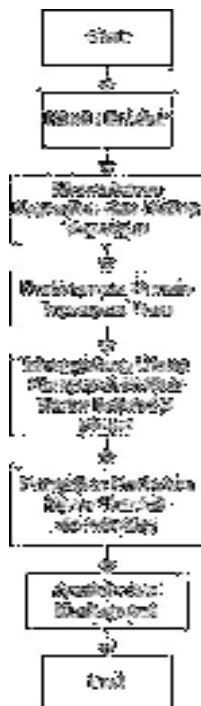
Mesin Induksi adalah mesin listrik efisien tinggi ketika bekerja mendekati *rating* torsi dan kecepatan. Mesin induksi sederhana yang kuat dan efisien sering mengubah 90 hingga 95 persen daya listrik input menjadi pekerjaan mekanis. Ini sering terjadi ketika mesin dibeli baru dengan belitan pabrik. Selain mesin-mesin baru yang dibeli dan dipasang oleh industri setiap tahun, jumlah motor yang hampir sama diperbaiki dan digunakan kembali. Ini menimbulkan masalah besar karena sebagian besar mesin yang gagal ini tidak diganti dengan yang baru atau dikirim kembali ke pabrik untuk diperbaiki melainkan diputar ulang di bengkel mundur komersial rata-rata. Akibatnya, seberapa efektif mesin yang gagal ini dapat dipulihkan selalu menjadi masalah bagi pengguna akhir dan tukang reparasi.

Tujuan dari perancangan ini adalah untuk didapatkan motor induksi dengan hasil penggulangan ulang dengan menaikkan *rating* tegangan pada motor induksi guna untuk mengetahui perbandingan 220 V motor induksi bekas saat di *rewinding* menjadi 380 V. Solusi yang dilakukan adalah dengan melilit ulang kumparan belitan motor induksi (*rewinding*), dengan tegangan sebelumnya 220 V menjadi 380 V per fasa.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Diagram Alir

Metodologi penelitian merupakan uraian tahapan yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian. Secara umum tahapan tertuang dalam bagan berikut pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan untuk Motor Induksi Tiga Fasa

## 2.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah yang dilakukan untuk mengetahui teori dasar motor induksi dan diagram lilitan serta melakukan studi kasus untuk menentukan parameter awal perancangan motor induksi berupa data *name plate*, ukuran konduktor dan diagram belitan motor induksi yang mendukung desain menaikan tegangan. Beberapa referensi teori dan persamaan yang relevan untuk mendukung penelitian melibatkan daya pada motor induksi, seperti yang dapat dijelaskan pada persamaan (1).

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos\phi \cdot \eta \cdot 10^{-3} \text{ kW} \quad (1)$$

Dimana P adalah daya *output* pada motor dalam kW.

Untuk meningkatkan tegangan, ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, seperti faktor distribusi dan faktor kisar yang merepresentasikan belitan pada motor induksi tiga fasa. Persamaan (2) digunakan untuk menunjukkan faktor belitan tersebut (**Deshpande, 2010**).

$$K_w = K_d \times K_p \quad (2)$$

Persamaan (3) yaitu faktor distribusi

$$K_d = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot \text{jumlah fasa}}\right)}{S_y \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot \text{jumlah fasa} \cdot S_y}\right)} \quad (3)$$

Dan faktor kisar pada persamaan (4)

$$K_p = \sin\left(\frac{\rho}{2}\right) \quad (4)$$

Dari persamaan (2) dapat diaplikasikan untuk tegangan induksi pada motor induksi yaitu dengan persamaan (5) (**Chapman, 1985**)

$$ES_{fasa} = 4,44 \cdot N \cdot \phi \cdot K_w \quad (5)$$

Dan dengan fluks per kutub dilihat pada persamaan (6) (**Duan, 2010**)

$$\phi = B \frac{\pi \cdot D \cdot L}{\rho} \quad (6)$$

Selain faktor belitan dan tegangan induksi, faktor-faktor seperti luas penampang konduktor, diameter konduktor, dan jumlah tembaga memiliki pengaruh signifikan pada penurunan tegangan. Oleh karena itu, rumus persamaan (7) digunakan untuk menghitung luas penampang konduktor.

$$\alpha = \frac{l_p}{\delta} \quad (7)$$

Diameter konduktor persamaan (8) (**Duan, 2010**)

$$D_b = 2 \cdot \sqrt{\frac{\alpha_b}{\pi}} \quad (8)$$

Dengan jumlah konduktor yang bisa dituliskan seperti pada persamaan (9)

$$Z_s = 6N \quad (9)$$

Rugi-rugi pada motor induksi dijelaskan melalui diagram aliran daya motor induksi. Berdasarkan diagram tersebut, terdapat beberapa jenis rugi, salah satunya adalah rugi-rugi air gap ( $P_{AG}$ ), yang terjadi pada celah udara antara stator dan motor induksi tiga fasa. Persamaan (10) digunakan untuk menghitung rugi-rugi ini (**Chapman, 1985**).

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{core} \quad (10)$$

Rugi-rugi konversi antara daya elektrik dan daya mekanik ( $P_{conv}$ ) pada motor induksi dengan Persamaan (11)

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL} \quad (11)$$

Rugi-rugi rotasi yang terjadi saat motor berputar direpresentasikan sebagai  $P_{rot}$ , yang dihitung menggunakan persamaan (12).

$$P_{rot} = P_{core} - P_{F\&W} - P_{misc} \quad (12)$$

Ketika terdapat rugi-rugi dalam motor induksi, daya inputnya tidak akan sama dengan daya *output*-nya. Oleh karena itu, untuk menghitung daya *output* motor induksi, digunakan persamaan (13).

$$P_{out} = P_{conv} - P_{F\&W} - P_{misc} \quad (13)$$

### 2.3 Studi Kasus

Untuk memahami objek penelitian terkait motor induksi tiga fasa, diperlukan parameter-parameter spesifikasi awal dari motor tersebut. Motor yang akan digunakan adalah motor induksi dengan jenis rotor sangkar, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



**Gambar 2. Rotor Sangkar Motor Induksi Tiga Fasa**

Nameplate motor induksi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1. Nameplate Motor Induksi Tiga Fasa**

Parameter	Nilai
Rating Tegangan	Y/ $\Delta$ 220V/380V
Daya Output	1,5 kW
Rating Arus	5,9A/3,5A
Power Factor	0,78
Kecepatan Putaran	1400
Jumlah Kutub	4 <i>poles</i>
Insulation Class ( <i>Is</i> )	F
Index Protection	55
Type	EM 90-4

Dengan parameter awal seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Parameter Awal Motor Induksi**

Parameter	Nilai
Tegangan Fasa	220V
Daya Output	1,5 KW
Rating Arus	5,9A
Jumlah Kutub	4
Jumlah Slot Stator	24 slot
Diameter Tembaga	0,75 mm
Diameter Inti Stator	140 mm
Panjang Inti Stator	180 mm
Jumlah Lilitan per Kutub per Fasa	67

#### 2.4 Prosedur Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa

Untuk menilai kembali kinerja motor induksi tiga fasa setelah proses *rewinding*, diperlukan serangkaian pengujian atau pengetesan pada motor tersebut. Beberapa pengujian yang umum dilakukan yaitu:

##### 1. Pengujian DC

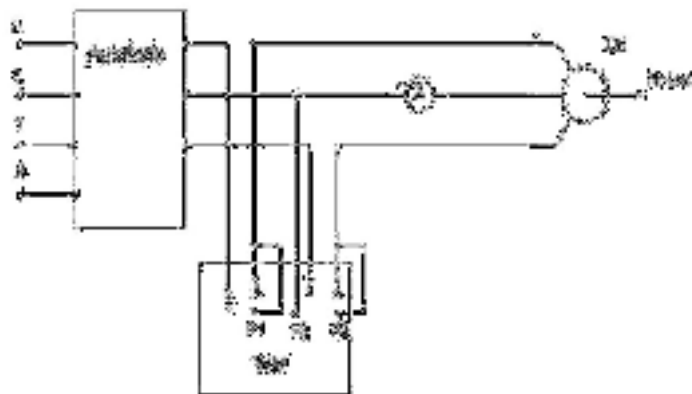
Pengujian dilakukan untuk menentukan resistansi gulungan stator. Rangkaian pengujian ini diperlihatkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3. Rangkaian Pengujian DC**

## 2. Tes Beban Nol (*No Load Test*)

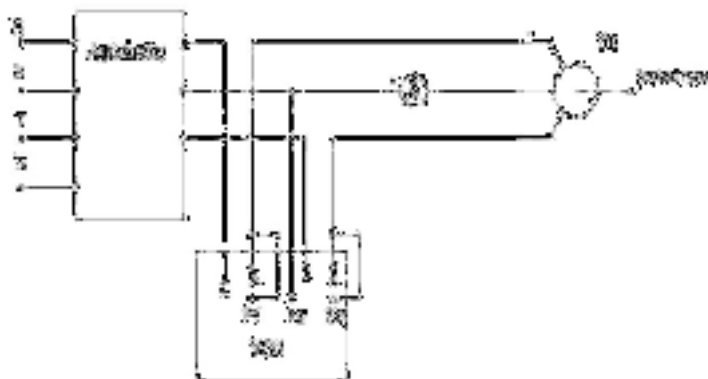
Pengujian ini bertujuan untuk mengestimasi rugi-rugi saat motor berjalan tanpa beban. Gambar 4 menunjukkan rangkaian pengujian pada kondisi beban nol.



**Gambar 4. Rangkaian Pengujian Beban Nol**

## 3. Tes Hubung Singkat (*Locked Rotor Test*)

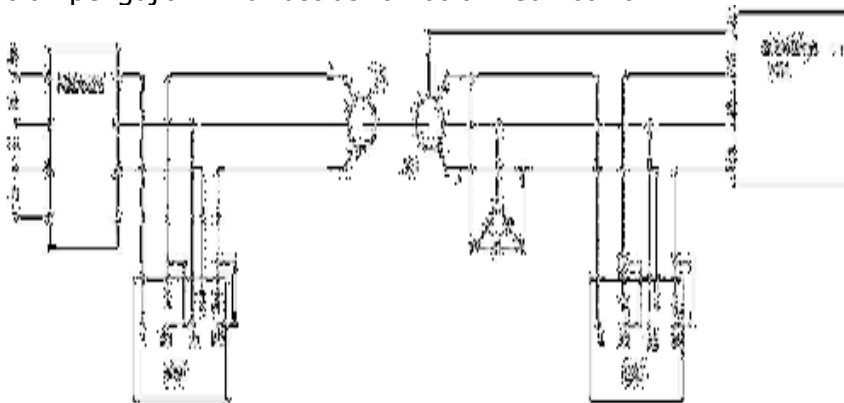
Pada pengujian ini, rotor motor ditahan agar tidak berputar, kemudian dilakukan pencatatan tegangan, arus, dan daya yang terukur. Gambar 5 menunjukkan rangkaian pengujian *locked rotor* ini.



**Gambar 5. Rangkaian Pengujian Hubung Singkat**

## 4. Tes Pembebanan

Dalam pengujian ini, motor dihubungkan dengan generator induksi untuk menyalakan beban lampu. Rangkaian pengujian ini diilustrasikan dalam Gambar 6.



**Gambar 6. Rangkaian Pengujian Pembebanan**

### 3. HASIL DAN ANALISIS

#### 3.1 Hasil Pengujian Motor Induksi

Empat pengujian dilakukan, yaitu: Pengujian DC, Pengujian beban nol, Pengujian hubung singkat, dan Pengujian pembebanan (**Ogunjuyigbe et al., 2019**). Ini untuk memungkinkan penentuan parameter yang setara dari mesin dengan tujuan mengetahui performa motor induksi tiga fasa setelah *rewinding*. Pengujian ini dilakukan dengan terhubung delta, sehingga didapatkan data pengujian DC seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3. Hasil Pengujian DC**

DC Test		
V	I	R
9 V	1,1 A	25,29 Ω
13,5 V	1,9 A	18,44 Ω
14,4 V	2,4 A	13,58 Ω
18,4 V	3 A	11,13 Ω
23,9 V	3,4 A	11,03 Ω
R <sub>tot</sub>		15,894 Ω

Pengujian tanpa beban (*no load test*) ditunjukkan oleh Tabel 4.

**Tabel 4. Hasil Pengujian Tanpa Beban**

Pengujian tanpa Beban				
V <sub>LN</sub>	V <sub>LL</sub>	I	P	n <sub>m</sub>
237,5 V	380 V	0,86 A	40 W	1498 rpm

Pengujian hubung singkat (*locked rotor test*) ditunjukkan oleh Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil Pengujian Hubung Singkat**

Pengujian Hubung Singkat			
V <sub>LN</sub>	V <sub>LL</sub>	I	P
204,7 V	329,1 V	1,90 A	210 W

Pengujian pembebanan dilakukan dengan beban lampu serta adanya generator induksi dan diperoleh data seperti pada Tabel 6.

**Tabel 6. Hasil Pengujian Pembebanan**

Pembebanan						
V <sub>LL</sub>	V <sub>LN</sub>	I	P	N <sub>m</sub>	I <sub>g</sub>	V <sub>g</sub>
380 V	219 V	2,71 A	240 W	1383 rpm	0,77 A	140 V

#### 3.2 Perhitungan dan Analisis

Dalam proses *rewinding* belitan motor induksi tiga fasa, parameter awal penting diperlukan untuk mendukung perancangan. Beberapa di antaranya adalah faktor distribusi sebesar 0,999 dan faktor kisar sebesar 0,966. Dengan nilai-nilai ini, faktor belitan ( $K_w$ ) diperoleh sebesar 0,965. Dengan kenaikan tegangan menjadi 380V, terjadi penurunan pada parameter arus yang dapat dihitung menggunakan persamaan (14).

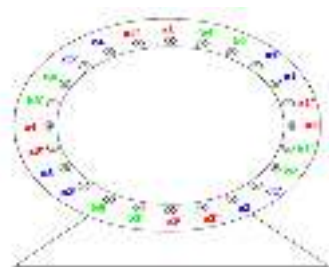
$$I_b = \frac{V_a}{V_b} I_a \quad (14)$$

Untuk mengatasi penurunan arus yang mencapai dua kali lipat dari arus sebelumnya, solusinya adalah dengan memperkecil diameter konduktor pada setiap slot. Perlu diperhatikan bahwa belitan stator motor induksi sebelumnya terdiri dari satu kawat konduktor berdiameter 0,68 mm. Namun, karena tidak tersedia konduktor dengan ukuran tepat 0,68 mm di pasaran, maka dilakukan pembulatan menjadi 0,71 mm. Konduktor berukuran 0,71 mm mempunyai luas penampang  $\alpha=0,400\text{mm}^2$  dan mempunyai kerapatan arus sebesar  $\delta = 1,53 \text{ A / mm}^2$  (Chapman, 1985). Sehingga untuk menentukan luas penampang baru didapatkan dengan persamaan 8 yaitu sebesar  $0,23 \text{ mm}^2$  dengan diameter 0,54 mm. Dengan demikian, peningkatan tegangan dapat dilakukan dengan cara mengubah konduktor pada lilitan motor induksi tanpa mengubah *rating* daya. Berikut adalah data motor induksi setelah dilakukan proses penggulangan ulang pada kumparan stator.

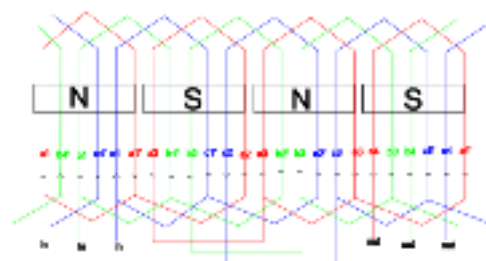
**Tabel 7. Spesifikasi Motor setelah di Rewinding**

Parameter	Nilai
Tegangan Fasa	380V
Daya Output	1,5 KW
Rating Arus	3,5A
Jumlah Kutub	4
Jumlah Slot Stator	24 slot
Diameter Tembaga	0,54 mm
Luas Penampang Tembaga	0,23 mm <sup>2</sup>
Jumlah Lilitan per Kutub per Fasa	116 lilitan

Motor induksi yang digunakan menggunakan jenis belitan gelung, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.(a) Diagram belitan motor ini dijelaskan lebih lanjut dalam Gambar 7.(b) (Kanakaraj et al., 2011) (Sarjan, 2011).

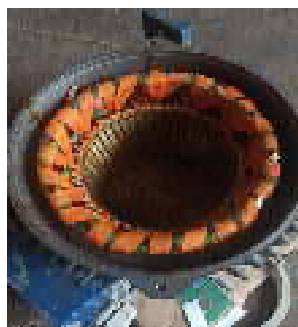


**Gambar 7. (a) Belitan Stator 4 Kutub**



**(b) Diagram Belitan Stator 4 Kutub**

Gambar 8 adalah hasil dari penggulangan ulang motor induksi tiga fasa.



**Gambar 8. Motor Induksi Tiga Fasa setelah di Rewinding**



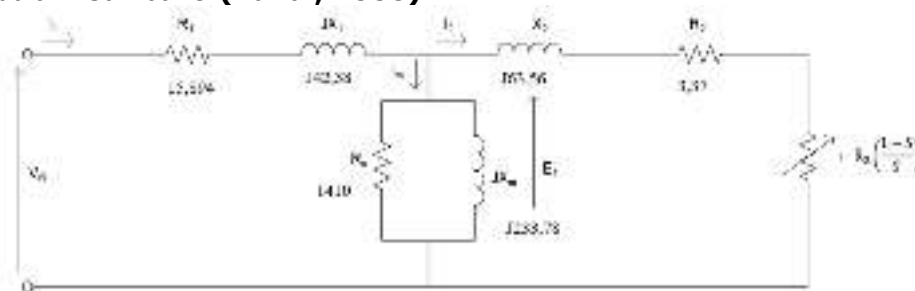
### 3.2.1 Hasil Perhitungan Motor Induksi Tiga Fasa

Pengujian performa motor induksi tiga fasa melibatkan pengukuran resistansi stator, pengujian tanpa beban, hubung singkat, dan juga pembebanan. Berdasarkan hasil pengukuran ini, dilakukan serangkaian perhitungan untuk mendapatkan nilai-nilai dari rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa. Didapatkan hasil seperti pada Tabel 8.

**Tabel 8. Parameter Rangkaian Ekivalen**

Parameter	$R_1$	$X_1$	$X_2$	$R_2$	$X_M$	$R_c$
Nilai	15,894 $\Omega$	42,38 $\Omega$	63,56 $\Omega$	3,37 $\Omega$	233,78 $\Omega$	1410 $\Omega$

Motor induksi memiliki rangkaian ekivalen yang hampir sama seperti transformator yang berbeban resistif. Stator identik dengan sisi primer sedangkan rotor identik dengan sisi sekunder pada transformator. Rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa yang telah ditransformasikan ke sisi rotor dan stator yaitu seperti Gambar 10. Parameter untuk sirkuit ekivalen mesin induksi seperti yang disajikan pada Tabel 8 dihitung menggunakan data dari Pengujian DC, Pengujian tanpa beban (*no load test*), dan Pengujian hubung singkat (*locked rotor test*). Dengan memperoleh parameter-parameter yang disebutkan sebelumnya, kita dapat mengilustrasikan rangkaian pengganti per fasa dari motor induksi tiga fasa, yang dijelaskan dalam Gambar 9 (Zuhal, 2000).



**Gambar 9. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Tiga Fasa Setelah di Rewinding**

### 3.2.2 Torca Motor Induksi Tiga Fasa

Suatu persamaan torca pada motor induksi dapat dihasilkan dengan bantuan teori rangkaian thevenin seperti diatas dan parameternya dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9. Parameter Rangkaian Ekivalen**

Parameter	Nilai
$V_{TH}$	184,8 V
$X_{TH}$	36,84 $\Omega$
$R_{TH}$	11,31 $\Omega$
$W_{sync}$	157 rad/s

Dengan nilai yang di dapat tentang  $V_{TH}$  dan  $Z_{TH}$ , kita dapat menghitung nilai torsi dari motor induksi tiga fasa, yang kemudian hasilnya ada pada Tabel 10.

**Tabel 10. Hasil Perhitungan Torca**

Torca	Nilai (N.m)
Torca Induksi	0,25
Torca Starting	0,21
Torca Beban	1,65
Torca Maksimum	2,9

### 3.2.3 Aliran Daya

Aliran daya pada motor induksi tiga fase menaikkan tegangan terdapat rugi-rugi dan nilai efisiensi sebesar 76,51%, yang rugi-rugi terdapat pada rotor maupun stator diantaranya rugi-rugi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11. Hasil Rugi-Rugi Motor Induksi Tiga Fase**

Rugi-Rugi	Nilai (W)
$P_{SCL}$ ( <i>Stator Copper Loss</i> )	35,26
$P_{AG}$ ( <i>Air Gap</i> )	204,74
$P_{RCL}$ ( <i>Rotor Copper Loss</i> )	15,96
$P_{conv}$ ( <i>Converted</i> )	188,78
$P_{out}$ ( <i>Daya Keluaran</i> )	184,04

### 3.2.4 Analisis

Peningkatan *rating* tegangan pada motor induksi tiga fase dilakukan saat motor sudah terbakar. Awalnya, *rating* tegangannya adalah 220V dan ditingkatkan menjadi 380V. Peningkatan tegangan dilakukan dengan melilit ulang belitan stator pada motor tersebut. Proses peningkatan tegangan berjalan lancar sehingga motor induksi tiga fase kembali dapat berputar dengan desain *rating* tegangan yang baru. Dengan mengganti ukuran diameter tembaga awal 0,71 mm menjadi 0,54 mm menyebabkan *rating* arus turun dua kali lipat dari *rating* awal arus motor induksi.

Pengujian beban nol dilakukan untuk mengetahui rugi-rugi putaran dan arus magnetisasi pada motor. Putaran yang terukur hampir mendekati putaran sinkron yaitu 1498 rpm, dan menyebabkan slip yang terjadi sangat kecil sebesar 0,133%. Pada pengujian hubung singkat, rotor ditahan agar tidak berputar. Tegangan yang terukur adalah 204,7 V dengan arus 1,90 A dan daya 210 Watt. Karena rotor tidak bergerak maka nilai slip pada saat hubung singkat adalah 1 (slip=1). Dengan demikian nilai  $\frac{R_2}{s}$  sama dengan nilai  $R_2$ . Dari data pembebanan terhadap motor induksi tiga fase menunjukkan nilai daya motor setelah dililit ulang menunjukkan nilai yang kecil hal ini disebabkan karena berubahnya *rating* arus setelah dililit dan berubahnya ukuran diameter konduktor pada setiap slot. Yang asalnya diameter awal konduktor adalah 0,71 mm menjadi 0,54 mm.

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, didapat nilai daya *output* sebesar 184,04 watt. Hal ini menunjukkan bahwa daya *output* setelah proses *rewinding* tidak sama dengan sebelumnya atau mengalami penurunan. Penurunan ini terjadi karena adanya rugi-rugi yang terjadi pada motor. Informasi yang dapat dipertimbangkan berasal dari *Loss for motor test in the EASA/AEMT study (Bishop et al., 2003.)*, menunjukkan bahwa banyak faktor yang mempengaruhi performa motor setelah dilakukan *rewinding* diantaranya adalah luas penampang konduktor dan diameter konduktor yang diperkecil dengan jumlah lilitan yang bertambah, kondisi isolasi interlamina yang tidak sebaik sebelumnya, lalu pelumasan pada konduktor yang kurang baik serta pengaruh dari teknis seperti kualitas lilitan yang kurang baik sehingga mengurangi kepadatan pada setiap belitan. Perubahan faktor-faktor tertentu bisa memperbesar celah udara pada motor, yang pada akhirnya meningkatkan tingkat losses.

#### 4. KESIMPULAN

Dari penulisan penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses peningkatan *rating* tegangan pada motor induksi tiga fasa dilakukan melalui penggulungan ulang belitan stator. Tegangan ditingkatkan dari 220V menjadi 380V, dengan *rating* tegangan mencapai 380V motor induksi tiga fasa memiliki 116 lilitan per kutub fasa, dengan *rating* arus mencapai 3,5 A. Diameter tembaga yang digunakan adalah 0,54 mm, dengan luas penampang 0,23 mm<sup>2</sup>. Jenis belitan yang diterapkan adalah belitan gelung atau spiral.
2. Untuk mengevaluasi performa motor induksi tiga fasa setelah peningkatan tegangan, dilakukan serangkaian pengujian seperti pengujian rangkaian DC, beban nol, hubung singkat, dan pembebanan. Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh nilai torka. Besar torka pada umumnya berbanding lurus dengan besarnya slip. Pada pengujian beban nol, slip yang dihasilkan sebesar 0,001333, menghasilkan torka induksi motor sebesar 0,25 N.m. Hal serupa terjadi pada pengujian torka beban, di mana slip yang dihasilkan mencapai 0,078, mengakibatkan torka beban yang dihasilkan lebih tinggi dari torka induksi, yakni sebesar 1,65 N.m.
3. Berdasarkan pengukuran dan perhitungan pada motor induksi tiga fasa dengan desain tegangan 380 V, terjadi penurunan daya *output* dari nilai sebelumnya. Namun, secara keseluruhan, performa motor ini dengan desain tegangan 380 V<sub>LL</sub> masih tergolong baik dan dapat dipertimbangkan untuk digunakan, terutama dalam aplikasi *starting star delta*. Hal ini karena rugi-rugi yang terjadi masih dalam batas yang wajar dan efisiensi yang dihasilkan tetap cukup baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada CV. Agung Jaya Service yang telah menyediakan tempat serta memperbolehkan penulis untuk melakukan penelitian di perusahaan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Bishop, T. H., Apparatus, E., & Association, S. (n.d.). *EASA AEMT Study of Motor Repair Impact on Efficiency Introduction : Reasons for the Study*.
- Cao, W., & Bradley, K. J. (2005). Assessing the impacts of rewind and repeated rewinds on induction motors: Is an opportunity for re-designing the machine being wasted? *2005 IEEE International Conference on Electric Machines and Drives*, 278–285.
- Chapman, S. J. (1985). *Electric Machinery Fundamental*. McGraw Hill.
- Deshpande, M. V. (2010). *Design and testing of electrical machines*. PHI Learning Privat Limited.
- Duan, Y. (2010). *Method for design and optimization of surface mount permanent magnet machines and induction machines*. December, 272.
- Hirzel, J. C. (1994). Impact of rewinding on motor efficiency. *IEEE Conference Record of Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, 104–107.

- Kanakaraj, J., Sumanthi, A., Balasubramanian, P., Krishnakumar, R., & Nagarajan, S. (2011). *Electrical Machine and Appliances Theory* (Vol. 2). Tamil Nadu Textbook Corporation college Road.
- Ogunjuyigbe, A. S., Ayodele, T. R., & Munda, J. L. (2019). The Impact of Rewinding on the Performance Characteristics of Three Phase Induction Machine. *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering, CCECE 2019*.
- Penrose, H. W., & Bauer, B. (1995). Time savings and energy efficiency through alternate electric motor rewind methods. *Proceedings of the Electrical/Electronics Insulation Conference*, 457–460.
- Sarjan, M. (2011). Perbandingan Karakteristik Motor Induksi Belitan Gelung Dengan Belitan Spiral. *Feristek*, 1(1), 6–15.
- Zuhal. (2000). *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya* (p. 264). Institut Teknologi Bandung.