

Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan

Ahmad Kurnia Pratama¹, Elvira Zondra², Hazra Yuwendius³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

Jl. Yos Sudarso Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email : kurniaa61@gmail.com, elviraz@unilak.ac.id , hazra_yuwendius@unilak.ac.id

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa adalah motor yang paling banyak digunakan dalam dunia industri, karena memiliki banyak kelebihan. Untuk mendapatkan performa terbaiknya, kualitas daya untuk suplai motor induksi perlu dijaga kualitasnya. Salah satu permasalahan yang muncul pada kualitas daya adalah perubahan tegangan sumber yang disuplai terhadap motor. Pada penelitian ini dilakukan analisis dan perhitungan efisiensi motor induksi tiga fasa dengan kondisi tegangan sumber yang berubah-ubah dari tegangan *rating*, yaitu 380 Volt. Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa yang ada pada Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning. Dalam penyelesaian penelitian ini menggunakan *software* M-file Matlab sebagai validasi dan pembandingan. Variabel yang diambil adalah kecepatan, arus, tegangan antar fasa, faktor daya dan daya masukan. Dari hasil penelitian ini diperoleh nilai efisiensi pada motor induksi tiga fasa, yaitu adalah pada tegangan tertinggi 395 Volt, Nilai efisiensi yang diperoleh adalah 74,45831 %, Pada tegangan rating nya 380 Volt, Nilai efisiensi yang diperoleh 66,82559 %, dan pada tegangan yang paling rendah 365 Volt, Nilai Efisiensi yang diperoleh adalah 53,33917 %.

Kata kunci : Motor Induksi Tiga Fasa, Efisiensi, Tegangan, Performa, Kualitas Daya

ABSTRACT

The 3-phase induction motor is the most widely used in type of motor in industry, because it has many advantages. To get the best performance, power quality of induction motor supply needs to be maintained. One of the problems that arise in power quality is the change in the source voltage supplied to the motor. This study was conducted to analyze and calculate the efficiency of three phase induction motor with charging voltage from its rated voltage, that is 380 Volt. The motor used is a three-phase induction motor in the Electrical Engineering Laboratory of Universitas Lancang Kuning. To complete this study M-File Matlab software was used as validation and comparison. Its speed, current, voltage between phases, power factor and input power were taken as variables. From this study, efficiency values of three phase induction motor were obtained. At the highest voltage of 395 Volt, its efficiency value is 74.45831%, at rated voltage of 380 Volt, its efficiency value is 66.82559%, and at the lowest voltage of 365 Volt, its efficiency is 53.33917%.

Keywords : Three Phase Induction Motor, Efficiency, Voltage, performance, Power Quality

1. PENDAHULUAN

Motor induksi adalah motor yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari lingkungan rumah tangga hingga industri skala besar. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki keunggulan dibandingkan motor jenis lainnya yaitu karena harganya yang relatif murah, struktur yang sederhana dan kokoh, karakteristik kerja yang baik dan perawatan yang

mudah [1]–[4]. Pada dasarnya motor induksi tiga fasa perlu memberikan tegangan tiga fasa selama pengoperasiannya, namun akan terdapat beberapa kendala dalam pengoperasian motor induksi tiga fasa tersebut, salah satunya adalah masalah kestabilan tegangan yang disuplai terhadap motor [5]–[7].

Masalah ini mempengaruhi performa motor induksi, selama pengoperasiannya motor induksi tiga fasa perlu menjaga kestabilan

tegangan dibawah tegangan terukur [8]. Jika diletakkan terlalu lama maka akan berpengaruh pada performa motor, menimbulkan gangguan mekanik dan elektrik, bahkan menurunkan efisiensi motor induksi. Dengan memahami efisiensi motor, kita dapat mempertimbangkan motor induksi yang akan digunakan dan mengetahui apa pengaruhnya terhadap kinerja motor induksi tiga fasa jika menerima tegangan suplai yang tidak stabil [9], [10].

Motor Induksi Tiga Fasa

Umumnya, pengubahan energi listrik menjadi energi mekanik terjadi pada bagian motor yang berputar. Pada motor induksi, rotor tidak memperoleh energi listrik melalui konduksi, tetapi memperoleh energi listrik melalui induksi, seperti pada belitan sekunder transformator, rotor memperoleh energi listrik dari belitan primernya. Oleh karena itu, motor induksi juga dapat disebut *resolver* [11].

Motor induksi merupakan motor AC yang paling banyak digunakan di bidang industri. Ini dikarenakan struktur motor yang kuat, sederhana dan tidak membutuhkan banyak perawatan. Selain itu, motor juga memberikan efisiensi yang baik dan putaran yang konstan untuk setiap perubahan beban [12].

Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa

Efisiensi motor induksi diartikan sebagai ukuran efisiensi motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, yang dinyatakan sebagai rasio / rasio daya keluaran terhadap daya masukan [13].

Definisi efisiensi energi NEMA adalah bahwa efisiensi adalah rasio atau rasio daya keluaran yang berguna terhadap daya masukan total, yang dinyatakan sebagai persentase. Biasanya juga dinyatakan dengan rasio input dan output *power to loss* [13]. Yang dapat dicari dengan persamaan [14],

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

- η = Efisiensi (%)
- P_{OUT} = Daya keluaran motor induksi (Watt)
- P_{IN} = Daya masukan motor induksi (Watt)

IEEE mempunyai standar metode untuk mencari nilai efisiensi motor induksi. Tiap

standar memiliki metode yang berbeda, metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 [15]–[17]

Tabel 1 Metode Pengukuran Efisiensi Motor Induksi IEEE

No	Metode	Keterangan
1	A	Pengukuran langsung pada masukan dan keluaran
2	B	Pengukuran langsung pada masukan dan keluaran dengan menghitung tiap rugi-rugi dan pengukuran tak langsung pada rugi-rugi stray
3	C	Menduplikat mesin dengan tiap rugi-rugi dan pengukuran tak langsung pada rugi-rugi stray
4	E	Pengukuran daya listrik saat ada beban dengan tiap rugi-rugi yang ada dan pengukuran langsung rugi-rugi stray
5	E1	Pengukuran daya listrik saat ada beban dengan tiap rugi-rugi yang ada dan asumsi nilai rugi stray
6	F	Rangkaian ekivalen dengan pengukuran langsung pada rugi-rugi stray
7	F1	Rangkaian ekivalen dengan asumsi pada rugi-rugi stray.
8	C/F	Rangkaian ekivalen yang dikalibrasikan pertitik beban metode C dengan pengukuran tak langsung rugi-rugi stray
9	E/F	Rangkaian Ekivalen yang dikalibrasikan pertitik beban Metode E dengan pengukuran langsung rugi-rugi stray
10	E1/F1	Rangkaian ekivalen yang di kalibrasikan pertitik beban Metode E dengan asumsi nilai rugi-rugi stray

Aliran Daya pada Motor Induksi Tiga Fasa

Pada motor induksi, tidak ada catu daya yang langsung terhubung ke rotor, sehingga daya yang melewati celah udara sama dengan masukan daya ke rotor. Daya input total ke kumparan stator dari motor induksi ditentukan dengan persamaan (2).

$$P_{IN} = \sqrt{3} V_L I_1 P F_1 \quad (2)$$

Dimana :

- V_L = Tegangan Sumber (Volt)
- I_1 = Arus Sumber (Ampere)
- $P F_1$ = Faktor Daya Motor Induksi

1. Rugi – Rugi Daya Tembaga Stator (P_{SCL})

Ketika tegangan disuplai terhadap motor maka akan menimbulkan arus pada kumparan stator motor induksi untuk mencari rugi – rugi

daya pada tembaga stator dapat dicari dengan persamaan (3) [14].

$$P_{SCL} = 3 |I_1|^2 R_1 \quad (3)$$

Dimana :

- P_{SCL} = Rugi-rugi daya tembaga stator (Watt)
- I_1 = Arus stator (Ampere)
- R_1 = Tahanan Stator (Ohm)

2. Rugi – Rugi Daya Celah Udara (P_{AG})

Daya celah udara adalah daya yang dihasilkan di stator motor induksi. Daya celah udara adalah hasil pengurangan daya masukan dengan rugi tembaga stator, maka dapat dicari dengan persamaan 4 [14] :

$$P_{AG} = 3 |I_1|^2 Z_F \quad (4)$$

Dimana :

- P_{AG} = Daya celah udara (Watt)
- I_1 = Arus stator (Ampere)
- Z_F = Impedansi Paralel (Ohm)

3. Rugi – Rugi Daya Tembaga Rotor

Selain rugi pada tembaga stator, juga terdapat rugi – rugi daya pada tembaga rotor yang dapat dicari dengan persamaan (5) [14].

$$P_{RCL} = 3 |I_2|^2 R_2 \quad (5)$$

Dimana :

- P_{RCL} = Rugi - Rugi Tembaga Rotor
- I_2 = Arus Rotor (Ampere)
- R_2 = Tahanan Rotor (Ohm)

4. Daya Mekanik (P_{CONV})

Daya mekanik yang merupakan hasil perkalian dari daya celah udara dengan slip [14].

$$P_{CONV} = P_{AG} (1 - s) \quad (6)$$

Dimana :

- P_{CONV} = Daya Mekanik (Watt)
- P_{AG} = Daya Celah Udara (Watt)
- s = Slip

5. Rugi Daya Rotational

Dalam rugi daya rotational, sudah termasuk didalamnya rugi gesek dan angin ($P_{F\&W}$) dan rugi inti (P_{CORE}), maka untuk mencari rugi daya rotational (P_{ROT}) [14]:

$$P_{ROT} = P_{NL} - 3 |I_{NL}|^2 R_1 \quad (7)$$

Dimana:

- P_{ROT} =Rugi Daya Rotational (Watt)
- P_{NL} =Daya pada Pengujian Tanpa Beban (Watt)
- I_{NL} =Arus pada Pengujian Tanpa Beban (Ampere)
- R_1 =Tahanan Stator (Ohm)

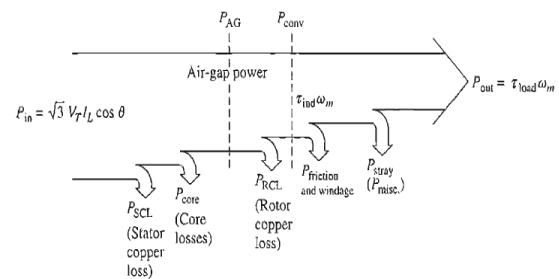
Setelah menghitung rugi-rugi daya diatas, maka dari itu dapat ditentukan daya keluaran pada motor dengan menggunakan persamaan :

$$P_{OUT} = P_{CONV} - P_{ROT} \quad (8)$$

Dimana :

- P_{OUT} = Daya Keluaran (Watt)
- P_{CONV} = Daya Mekanik (Watt)
- P_{ROT} = Daya Rotational (Watt)

Rugi-rugi daya pada motor induksi tiga fasa dapat digambarkan pada sebuah diagram aliran daya seperti pada gambar 1 [14].



Gambar 1. Diagram Aliran Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Jika sudah memperoleh daya keluaran maka kita dapat menghitung efisiensi, karena efisiensi adalah perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan yang dinyatakan dalam satuan persen.

Pengaplikasian Parameter Motor Induksi

Untuk dapat menghitung efisiensi motor induksi terlebih dahulu harus didapatkan parameter dari motor induksi dengan melakukan beberapa pengujian, diantaranya pengujian tahanan motor, pengujian tanpa beban, pengujian pada saat berbeban, pengujian rotor tahan.

Pengujian Tahanan Motor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan stator R_1 dan nilai tahanan rotor R_2

hasil dari pengujian rotor tahan. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberi tegangan DC pada belitan stator, menghasilkan arus DC, yang tidak akan menginduksikan tegangan pada rangkaian rotor [12]. Untuk hubungan Y, rumus yang digunakan:

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}} \quad (9)$$

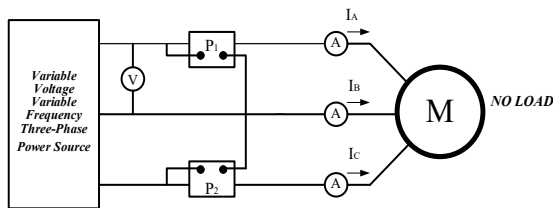
Dan untuk mendapatkan tahanan pada rotor digunakan rumus :

$$R_{ac} = 1,3 \times R_{dc} \quad (10)$$

Nilai R_1 ini kurang akurat karena kita menghiraukan efek kulit ketika tegangan AC dimasukkan kedalam belitan. [14]

Pengujian Tanpa Beban

Pengujian ini untuk mengukur rugi-rugi putaran dan arus cabang magnetisasi. Pada keadaan tanpa beban, beban yang dipikul hanyalah rugi-rugi angin dan gesekan. Adapun rangkaian pengujian tanpa beban seperti Gambar 2 [12] :



Gambar 2. Rangkaian Pengujian Tanpa Beban

Adapun perhitungannya, Bila Tegangan saluran pada keadaan tanpa beban (V_{LNL}) dalam Volt, Arus keadaan tanpa beban (I_{NL}) dalam Amper, Daya keadaan tanpa beban (P_{NL}) dalam Watt dan Faktor daya pada keadaan tanpa beban ($\cos \theta_{nl}$) diketahui dari *power analyzer*. Maka tegangan fasa-netral tanpa beban [18].

$$V_{\phi NL} = \frac{V_{LNL}}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Arus magnetisasi nya:

$$I_m = I_{NL} \sin \theta_{NL} \quad (12)$$

Dan arus rugi intinya:

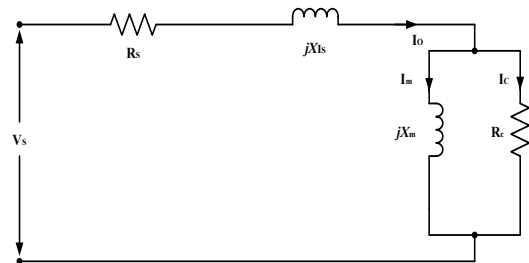
$$I_c = I_{NL} \cos \theta_{NL} \quad (13)$$

Sehingga nilai reaktansi magnetisasi X_m dan tahanan rugi inti R_c bisa kita cari dengan persamaan [18] :

$$X_m = \frac{V_{\phi NL}}{I_m} \quad (14)$$

$$R_c = \frac{V_{\phi NL}}{I_c} \quad (15)$$

Berikut rangkaian ekivalen stator untuk pengujian tanpa beban yang dapat dilihat pada gambar 3 [18].



Gambar 3. Rangkaian Ekivalen Stator pada Pengujian Tanpa Beban

Pengujian Rotor Tahan

Pada pengujian ini, rotor ditahan agar tidak berputar dan pada saat itu nilai-nilai pada alat ukur dicatat. Pada uji ini ketika setelah tegangan diatur, serta rotor ditahan, arus yang mengalir pada motor harus dengan segera disetel pada nilai nominalnya (*rating* pada *nameplate*). Data daya masukan, tegangan, dan arus yang terukur harus dengan segera dicatat sebelum rotor menjadi sangat panas [12].

Seperi halnya pengujian tanpa beban, jika Tegangan saluran pada keadaan rotor ditahan (V_{LLR}) dalam Volt, Arus keadaan rotor ditahan (I_{LR}) dalam Amper, Daya keadaan rotor ditahan (P_{LR}) dalam Watt dan Faktor daya pada keadaan rotor ditahan ($\cos \theta_{LR}$) diketahui dari *power analyzer*. Maka tegangan fasa-netral rotor tahan [18]:

$$V_{\phi LR} = \frac{V_{LLR}}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

Sehingga:

$$|Z_{LR}| = \frac{V_{\phi LR}}{I_{LR}} \quad (17)$$

Dengan $|Z_{LR}|$ adalah impedansi rotor tahan dengan satuan ohm. Tahanan rotor tahan:

$$R_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta_{LR} \quad (18)$$

Selanjutnya didapatkan tahanan rotor:

$$R_2 = R_{LR} - R_1 \quad (19)$$

Reaktansi rotor tahan:

$$X_{LR} = |Z_{LR}| \sin \theta_{LR} \quad (20)$$

Maka, untuk reaktansi stator dan rotor menggunakan Tabel 2 berikut [18].

Tabel 2. Standar Besarnya Reaktansi Berbagai Jenis Rotor Standar NEMA

Desain Rotor	X_1	X_2
Rotor Belitan	$0.5X_{LR}$	$0.5X_{LR}$
Kelas A	$0.5X_{LR}$	$0.5X_{LR}$
Kelas B	$0.4X_{LR}$	$0.6X_{LR}$
Kelas C	$0.3X_{LR}$	$0.7X_{LR}$
Kelas D	$0.5X_{LR}$	$0.5X_{LR}$

Jika kelas motor tidak diketahui, digunakan kelas A untuk perhitungan X_1 dan X_2 .

2. METODE PENELITIAN

Spesifikasi Motor Induksi

Objek pada penelitian ini adalah motor induksi 3 fase dengan tegangan yang berubah-ubah. Spesifikasi motor induksi 3 fase yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Motor

Uraian	Data
Manufacture	TECO
Negara Pembuat	China
Type	AESV1S020001YU
Serial Number	0215B029009
Kapasitas	750 W
Kecepatan	2800 rpm
Frekuensi	50 Hz
Horse Power	1
Tegangan	220/380 V
Arus	3,11/1,80 A
Insulation Class	F

Tahapan Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan didalam penyelesaian penelitian ini adalah :

1. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.
2. Melakukan 4 tes percobaan diantaranya pengujian diantaranya : Percobaan tahanan, Percobaan beban nol, Percobaan pada saat berbeban, Percobaan rotor tahan.
3. Setelah dilakukan nya pengujian, maka dilakukan pengambilan data sesuai data

yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian dan perhitungan.

4. Rangkaian simulasi pada Simulink Matlab untuk menganalisa pengaruh Perubahan tegangan sumber terhadap efisisensi dan kinerja motor induksi 3 fase.
5. Sesuai dengan yang kita butuhkan untuk melakukan penelitian, maka akan dilakukan analisa dan perhitungan pada data Tes percobaan dan data simulasi untuk mengetahui seberapa besar efisiensi pada motor induksi tiga fase tersebut.

Metode Pengujian

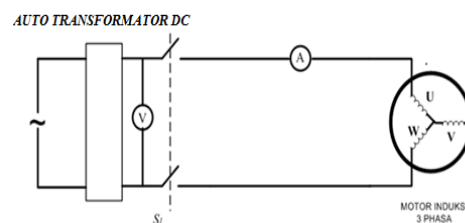
Metode pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada metode standar IEEE (E1), yang diukur pada saat motor dibebani, dan mengasumsikan kerugian *stray* sesuai standar IEEE.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning. Pada pengujian pengaruh tegangan suplai terhadap efisiensi motor induksi tiga fase.

Untuk menganalisis hubungan antara nilai tegangan suplai dan efisiensinya, perlu digunakan tegangan yang diubah oleh *auto* transformator pada saat pengujian berbeban, Dalam pengujian ini, akan dilakukan dengan tegangan catu daya yang berubah-ubah dan beban yang dalam keadaan konstan pada setiap perubahan tegangannya.

Pengujian Pengukuran Tahanan Motor

Dalam percobaan pengukuran tahanan motor, maka perlu merangkai rangkaian yang dapat dilihat pada gambar 4. [19].



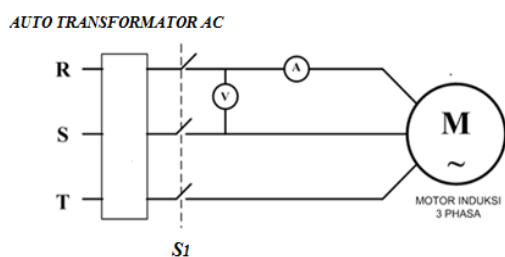
Gambar 4. Rangkaian Percobaan Pengukuran Tahanan Motor

Pada pengujian ini dilakukan dengan merangkai rangkaian percobaan sesuai pada gambar 4. Sambungkan terminal *Auto* Transformator DC ke terminal stator U-V, Dengan cara menutup saklar S_1 Lalu naikan

tegangan *Auto* Transformator DC yang disuplai pada motor induksi hingga mencapai 1 volt DC, lalu catat tegangan DC (V) dan arus DC (A). Ulang kembali untuk tegangan 2, 3 dan 4 volt. Jika sudah Turunkan tegangan *Auto* Transformator DC hingga nol ulangi kembali dengan tegangan yang sama pada terminal V-W dan U-W, Maka percobaan selesai.

Pengujian Pengukuran Tanpa Beban

Untuk melakukan percobaan pengukuran tanpa beban, maka perlu merangkai rangkaian yang dapat dilihat pada gambar 5. [19].

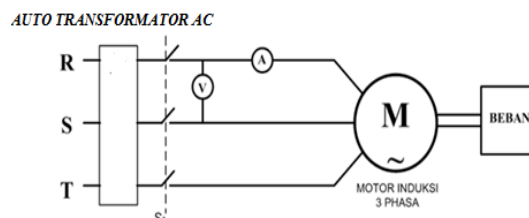


Gambar 5. Rangkaian Percobaan Pengukuran Tanpa Beban Dengan Perubahan Tegangan

Pada pengujian ini dilakukan dengan merangkai rangkaian percobaan sesuai pada gambar 5. Tutup Saklar S_1 dan hubungkan *Auto* Transformator AC terhadap motor induksi dengan besar tegangan mulai dari 365, 370, 375, 380, 385, 390, 395 volt. Lalu catat arus beban nol (I_o), putaran (rpm), tegangan input (V), faktor daya dan daya input (P_{in}). Jika sudah, Turunkan tegangan *Auto* Transformator AC hingga motor berhenti. jika sudah, Lepaskan kembali Saklar S_1 maka percobaan selesai.

Pengujian Pengukuran Pada Saat Berbeban Dengan Perubahan Tegangan

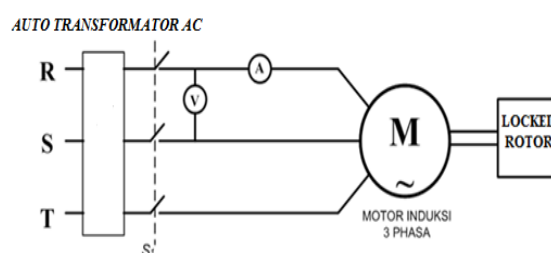
Dalam percobaan pengukuran pada saat berbeban, diperlukan rangkaian seperti pada gambar 6. [19]. Pada pengujian ini dilakukan dengan merangkai rangkaian percobaan sesuai pada gambar 6. Tutup Saklar S_1 hubungkan *Auto* Transformator AC terhadap motor induksi dengan besar tegangan mulai dari 365, 370, 375, 380, 385, 390, 395 volt. Lalu catat arus tanpa beban (I_o), kecepatan putaran motor (rpm), tegangan input (V), faktor daya dan daya input (P_{in}). Setelah selesai, maka turunkan tegangan *Auto* Transformator AC hingga motor berhenti. jika sudah, Lepaskan kembali Saklar S_1 maka percobaan selesai.



Gambar 6. Rangkaian Percobaan Pengukuran Pada saat Berbeban Dengan Perubahan Tegangan

Percobaan Pengukuran Rotor Tahan

Percobaan pengukuran *locked rotor* dilakukan dengan menggunakan rangkaian seperti pada gambar 7 [19].



Gambar 7. Rangkaian Percobaan Pengukuran *Locked Rotor*

Pengujian dilakukan untuk menentukan parameter-parameter motor induksi, biasa juga disebut dengan *locked rotor test*. Pada pengujian ini rotor dikunci/ditahan sehingga tidak berputar. Pengujian rotor diblok/ditahan pada motor induksi sama dengan pengujian hubung singkat pada transformator. Untuk melakukan pengujian ini, Tegangan AC 3 Fasa disuplai ke stator dan arus yang mengalir ke motor diukur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai efisiensi motor induksi tiga fasa yang menyimpang dari tegangan pengenalan dalam kondisi tegangan ditentukan dengan melakukan pengujian berikut:

1. Pengujian pengukuran tahanan motor
2. Pengujian pengukuran tanpa beban
3. Pengujian pengukuran pada saat berbeban dengan perubahan tegangan sumber
4. Pengujian pengukuran rotor tahan (*locked rotor*)

Pengujian tahanan stator tanpa beban dengan menahan rotor guna mengetahui parameter dari motor induksi. Jika parameter motor induksi sudah didapat maka karakteristik

efisiensi dapat dianalisis melalui uji beban, dimana tegangan beban akan berubah dari tegangan *rating*-nya. Berikut data hasil pengujian tahanan motor yang dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Data Percobaan Pengukuran Tahanan Motor

Phasa	V ₁ (Volt)	I (A)	R _{dc} (Ohm)	R _{ac} (Ohm)	R _{ac} Rata-Rata
U - V	1	0,063	7,93650	10,31745	10,40437
	2	0,129	7,75193	10,07750	
	3	0,182	8,24175	10,71428	
	4	0,245	8,16326	10,61225	
V - W	1	0,061	8,19672	10,65573	10,52819
	2	0,126	7,93650	10,31745	
	3	0,186	8,06451	10,48386	
	4	0,244	8,19672	10,65573	
U - W	1	0,061	8,19672	10,65573	10,46151
	2	0,127	7,87401	10,23621	
	3	0,187	8,02139	10,42780	
	4	0,247	8,09716	10,52630	

Pengujian Berbeban Motor Induksi 3 Fasa

Data pengujian berbeban motor induksi 3 fasa dengan perubahan tegangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Percobaan Pengukuran Pada Saat Berbeban Dengan Perubahan Tegangan

Tegangan (Volt)	Phasa U-V (Volt)	Phasa V-W (Volt)	Phasa U-W (Volt)	I _R (Amp)	I _S (Amp)	I _T (Amp)	N (Rpm)	Daya (kW)
395	395,5	394,9	391,0	0,955	1,068	0,937	2973	0,161
390	389,8	389,3	386,3	0,931	1,031	0,929	2975	0,162
385	385,1	384,6	381,3	0,923	1,008	0,910	2978	0,161
380	379,2	380,1	375,8	0,890	0,995	0,896	2982	0,161
375	375,3	374,9	371,9	0,878	0,950	0,863	2985	0,156
370	371,0	369,4	368,1	0,889	0,943	0,844	2988	0,157
365	365,1	365,4	362,9	0,850	0,924	0,856	2990	0,157

Setelah nilai dari pengujian motor induksi pada kondisi berbeban dengan tegangan sumber yang berubah-ubah diperoleh, maka selanjutnya perhitungan rugi-rugi yang merupakan metode E1 sesuai dengan standar yang berlaku.

Sementara efisiensi motor induksi tiga fasa, maka perlu dilakukan perhitungan rugi-rugi daya yang terdapat pada motor tersebut dengan masing masing perubahan tegangan yang terjadi. Persamaan (3) digunakan untuk

menghitung rugi tembaga stator (P_{SCL}). Pada saat Tegangan 380 Volt.

$$\begin{aligned}
 P_{SCL} &= 3 |I_1|^2 R_1 \\
 &= 3 \times 0,92928^2 \times 10,46469 \\
 &= 27,11070 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Daya masukan (Input, P_{IN}) pada motor digunakan rumus pada persamaan (2).

$$\begin{aligned}
 P_{IN} &= \sqrt{3} V_L I_1 PF \\
 &= \sqrt{3} \times 380 \times 0,92928 \times 0,40756 \\
 &= 249,27709 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Rugi Daya Celah Udara (P_{AG}) pada motor dengan menggunakan persamaan (4).

$$\begin{aligned}
 P_{AG} &= 3 |I_1|^2 Z_F \\
 &= 3 \times 0,92928^2 \times 85,75468 \\
 &= 222,16327 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Rugi Daya Tembaga Rotor (P_{RCL}) dengan menggunakan persamaan (5).

$$\begin{aligned}
 P_{RCL} &= 3 |I_2|^2 R_2 \\
 &= 3 \times 0,2507^2 \times 5,12908 \\
 &= 0,96709 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Rugi Daya Rotational (P_{ROT}) dengan menggunakan persamaan (7).

$$\begin{aligned}
 P_{ROT} &= P_{NL} - 3 |I_{NL}|^2 R_1 \\
 &= 80 - 3 \times 0,95172^2 \times 10,46469 \\
 &= 54,24938 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Daya Mekanik (P_{CONV}) yang dikonversikan dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$\begin{aligned}
 P_{CONV} &= P_{AG} (1 - s) \\
 &= 222,16327 \times (1 - 0,006) \\
 &= 220,83029 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Setelah menghitung rugi-rugi daya diatas, maka dari itu dapat ditentukan daya keluaran (P_{OUT}) pada motor dengan menggunakan persamaan (8).

$$\begin{aligned}
 P_{OUT} &= P_{CONV} - P_{ROT} \\
 &= 220,83029 - 54,24938 \\
 &= 166,58091 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan rugi-rugi daya diatas, maka dapat ditentukan bagaimana efisiensi (η) pada motor induksi tersebut dengan menggunakan persamaan (1).

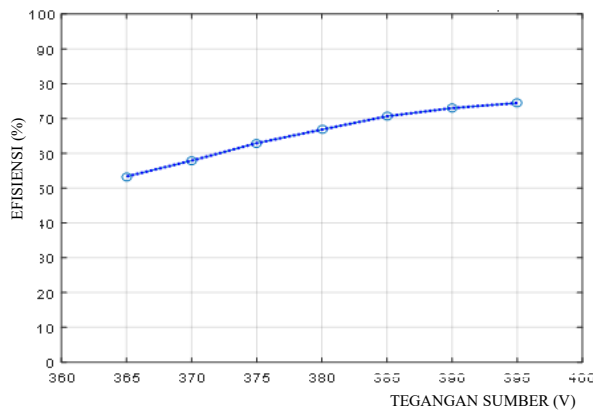
$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{166,58091}{249,27709} \times 100\% = 66,82559\%$$

Efisiensi motor pada tegangan 380 Volt adalah 66,82559 %, maka untuk mengetahui efisiensi di setiap perubahan tegangan yang terjadi perlu dilakukan perhitungan yang sama dengan sebelumnya dengan menggunakan persamaan yang sama. Maka diperoleh data nilai efisiensi pada setiap perubahan tegangan, seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan

No	Tegangan (Volt)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)
1.	395	261,34541	74,45831
2.	390	236,92724	73,00036
3.	385	205,21073	70,65185
4.	380	166,58091	66,82559
5.	375	137,20355	62,92430
6.	370	108,92171	57,89811
7.	365	89,35722	53,33917

Dari Tabel 6, maka dapat memunculkan sebuah grafik efisiensi motor induksi tiga fasa terhadap perubahan tegangan yang seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap Perubahan Tegangan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis motor efisiensi motor induksi tiga fasa akibat perubahan tegangan maka :

1. Efisiensi pada saat tegangan tertinggi 395 Volt. Nilai efisiensi yang diperoleh adalah 74,45831 %, pada saat tegangan nominal nya 380 Volt, dan pada saat tegangan terendah

365 Volt, Nilai Efisiensinya adalah 53,33917 %. Dari hasil efisiensi tegangan tertinggi, tegangan terendah, dan tegangan *rating*, dapat diketahui bahwa ketidakstabilan tegangan sangat mempengaruhi efisiensi motor induksi. Kondisi perubahan tegangan yang terjadi mempengaruhi nilai arus dan putara motor, yang menjadikan nilai rugi-rugi lebih besar, sehingga mengurangi efisiensi motor induksi.

2. Efisiensi motor induksi dapat ditentukan dengan menghitung kerugian yang terjadi pada motor induksi. Kerugian yang dihasilkan setiap kali tegangan berubah berbeda dari kerugian yang dihasilkan pada tegangan *rating*-nya. Kehilangan daya terbesar terjadi pada rugi inti stator, yang dipengaruhi oleh tegangan motor induksi, rugi arus kumparan stator dipengaruhi oleh arus stator, dan rugi arus kumparan rotor dipengaruhi oleh slip yang dihasilkan pada rotor.
3. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi motor induksi tiga fasa diantaranya adalah, Frekuensi, Beban yang diberikan, dan Perubahan tegangan sumber yang disuplai terhadap motor. dan juga Rugi-rugi daya yang terjadi pada motor tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Yusuf, V. Prasetya, S. D. Riyanto, and A. A. Rafiq, "Desain Simulasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Switching Space Vector Pulse Width Modulation," *Ecotipe*, vol. 6, no. 1, pp. 24–31, 2019.
- [2] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P," *Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, pp. 25–34, 2018.
- [3] Erisman, H. Eteruddin, and A. Atmam, "Evaluasi Kinerja Motor Ship Moving 3 Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada PLTU Tenayan Raya Pekanbaru," in *Seminar Nasional Cendekiawan ke 4*, 2018, pp. 237–242.
- [4] R. Ratnadewi *et al.*, "Control and Notification Automatic Water Pump with Arduino and SMS Gateway," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 407, p. 12160, 2018.

- [5] N. D. Pratiwi, “Analisis Ketidakstabilan Tegangan dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi Kasus PLTMH Sokokembang Kabupaten Pekalongan),” Skripsi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Malang, 2020.
- [6] A. M. Aulia and Z. Pane, “Pengaruh Variasi Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Nilai Faktor Ketidakseimbangan Tegangan Yang Sama,” *Singuda ENSIKOM*, vol. 9, no. 1, pp. 13–18, 2014.
- [7] C. R. Aritonang, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Putaran Motor Pada Electrical Submersible Pump (ESP) Menggunakan Fuzzy Logic Controler Berbasis Python,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 32–39, 2019.
- [8] S. A. Christianto, “Pengoperasian Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Sistem Tenaga 1 Fasa,” Skripsi Program Studi Teknik Elektro Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, 2013.
- [9] S. Nuari, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC),” *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 60–67, 2018.
- [10] E. Zondra, A. Tanjung, and A. Arlenny, “Pengaruh Tegangan Sumber Dan Beban Terhadap Tingkat Harmonisa Pada Motor Induksi Tiga Fasa,” *SainETIn*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2016.
- [11] B.L. Theraja and A.K. Theraja, *A Text Book of Electrical Technology*, First Mult., vol. I, no. I. New Delhi: S. Chand Publishing, 2008.
- [12] M. Wijaya, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Penerbit Djambatan, 2001.
- [13] S. Sudiby, M. K. A. Rosa, and A. Herawati, “Analisis Efisiensi Motor Induksi Pada Kondisi Tegangan Non Rating Dengan Metode Segregated Loss,” *Teknosia*, vol. 2, no. 17, pp. 32–40, 2016.
- [14] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [15] “IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators,” *IEEE Std 112-2004 (Revision of IEEE Std 112-1996)*. pp. 1–83, 2004.
- [16] R. A. Ghazali, “Metode Perhitungan Efisiensi Motor Induksi Yang Sedang Beroperasi,” Skripsi Program Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [17] A. Wakhid, “Penerapan IoT Dalam Rancang Bangun Sistem Proteksi Motor Induksi Tiga Fasa Dari Gangguan Beban Lebih Berbasis Mikrokontroler,” Skripsi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang, 2020.
- [18] R. Krishnan, *Electric Motor Drives: Modeling, Analysis and Control*, 1st ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [19] Lab. Elektro, *Buku Praktikum Mesin-Mesin Listrik*. Pekanbaru: Program Studi Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning, 2016.