

Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Efisiensi Dan Torsi Pada Motor Induksi 3 Fasa

Linda sartika¹, Muhamad bahrul Adi Saputro², Abdul Muis Prasetya³

[Submission: 07-07-2024, Accepted: 10-11-2024]

Abstract— The 3-phase induction motor is a widely used type of motor in industry due to its cost-effectiveness, compact size, and durability. 3-phase induction motors have several advantages, including high torque and efficiency. However, their performance can be affected by various factors, such as overloading. Overloading can reduce the efficiency of an induction motor. This study aims to analyze the effect of load on the torque and efficiency values of a 3-phase induction motor. The research methodology involved testing the 3-phase induction motor and analyzing the results based on variations in load torque. The results are presented in a Matlab M-file format. The analysis shows that increasing the load affects the torque value, resulting in higher output power and impacting motor efficiency. At 75% load, the motor produces a torque of 1.11 Nm, an output power of 162,8 W, and an efficiency of 41,91%. At 100% load, the motor produces a torque of 1.22 Nm, an output power of 177,7 W, and an efficiency of 38,41%. At 125% load, the motor produced a torque of 1.31 Nm, an output power of 186,0 W, and an efficiency of 35,94%. This study confirms that the optimal load condition for induction motors falls within the range of 75%.

Keywords— Overload; Efficiency and Torque; Three-phase Induction Motor; Matlab M-file Calculation.

Intisari— Motor induksi 3 fasa merupakan jenis motor yang banyak digunakan di industri karena memiliki keunggulan dari segi biaya, dimensi, dan daya tahan yang baik. Meskipun motor induksi 3 fasa memiliki banyak keunggulan dalam hal torsi, dan efisiensi yang tinggi, namun ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerjanya, salah satunya adalah beban lebih pada motor induksi. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh beban terhadap nilai torsi dan efisiensi motor induksi 3 fasa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengujian motor induksi 3 fasa berdasarkan nilai variasi torsi beban. Hasil keseluruhan disajikan dalam bentuk perhitungan berbasis Matlab M-file. Berdasarkan hasil analisis peningkatan beban memberi pengaruh terhadap nilai torsi yang mengakibatkan daya *output* meningkat dan berdampak pada efisiensi motor. Pada beban 75% torsi motor bernilai 1,11 Nm, daya *output* 162,8 W, dan nilai efisiensi 41,91 %. Pada beban 100% torsi motor bernilai 1,22 Nm, daya *output* 177,7 W, dan nilai efisiensi 38,41%. Pada beban 125% torsi motor bernilai 1,31 Nm, daya *output* 186,0 W, dan nilai efisiensi 35,94%. Penelitian ini mengonfirmasi bahwa kondisi beban optimal untuk motor induksi berada pada kisaran 75%.

Kata Kunci— Beban lebih; Efisiensi serta torsi; Motor induksi 3 fasa; Perhitungan Matlab.

^{1, 2, 3} Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan Jalan Amal Lama No.1 Tarakan, INDONESIA (tel: 0853-4535-7535; fax: 0551-2052558; e-mail: lindasartika75@gmail.com, bahruladi28@gmail.com, prasetya.electric@gmail.com.)

I. PENDAHULUAN

Motor induksi 3 fasa merupakan jenis motor yang banyak digunakan di industri karena memiliki keunggulan dari segi biaya, dimensi, dan daya tahan yang baik [1]-[5]. Meskipun motor induksi 3 fasa memiliki banyak keunggulan dalam hal torsi, dan efisiensi yang tinggi, namun ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerjanya, salah satunya adalah beban lebih. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana perubahan beban dapat mempengaruhi putaran dan daya *input* pada motor-motor tersebut, terutama pada motor induksi 3 fasa. Dengan memahami karakteristik putaran motor-motor ini, industri dan masyarakat dapat mempertimbangkan penggunaan motor induksi dalam kehidupan sehari-hari dan mengenali hubungannya dengan variasi beban yang berbeda [6]-[8].

Penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan efisiensi dan torsi motor induksi 3 fasa. Peneliti [9] berfokus pada Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Penggerak Vakum di PT Pindo Deli Perawang. Penelitian ini meliputi perhitungan rugi-rugi daya pada motor untuk mendapatkan nilai daya keluaran sebagai penentu efisiensi motor induksi 3 fasa. Sedangkan, penelitian [10] menganalisis Daya Motor Induksi 3 Fasa sebagai motor di PT Pesona Khatulistiwa Nusantara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi dan torsi untuk mencari kondisi optimal motor.

Karakteristik motor induksi 3 fasa sangat ditentukan oleh kemampuan motor dalam memikul beban atau menghasilkan torsi yang digunakan untuk menggerakkan beban [11]-[13]. Perubahan beban akan berdampak pada perubahan putaran motor, torsi, dan efisiensi motor. Seperti diketahui, energi yang ada pada rotor motor berupa energi mekanik yaitu torsi dan putaran [14][15].

Hasil penelitian ini bisa memberikan tujuan instan untuk industri dalam meningkatkan efisiensi serta kinerja motor induksi 3 fasa, sehingga bisa mengurangi pengeluaran operasional serta menambah produktivitas. Dalam perihal ini, analisis pengaruh beban lebih terhadap efisiensi serta torsi pada motor induksi 3 fasa jadi topik riset yang sangat relevan serta berguna buat diteliti lebih lanjut.

II. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini, akan dijelaskan karakteristik motor induksi yang dianalisis, khususnya berfokus pada efisiensi dan torsi. Selain itu, langkah-langkah yang diambil dalam melakukan penelitian ini akan dijelaskan secara singkat.

A. Motor Induksi 3 Fasa



Pengujian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Borneo Tarakan. Sebuah motor induksi 3 fasa digunakan sebagai objek penelitian. Berbagai alat dan perlengkapan seperti beban uji berupa *Magnetic Powder Brake Unit*, alat ukur, *thermogun*, alat tulis, laptop, *Software Matlab* dan motor induksi 3 fasa. dengan spesifikasi motor induksi yang dipakai terlihat pada Tabel 1.

TABEL 1
SPESIFIKASI MOTOR INDUKSI 3 FASA YANG DIGUNAKAN

Keterangan	Spesifikasi
Jenis motor	<i>Three-phase squirrel Cage Motor</i>
Tegangan	220 Vac
Arus	1.4 A
Daya	0.3 Kw
Frekuensi	50/60 Hz
<i>Speed</i>	1420/1670 Rpm
<i>Type</i>	EM-3330-3C

B. Metode Penyelesaian

Pada penelitian ini melakukan analisis tidak hanya pada efisiensi dan torsi saja melainkan juga pada $\cos \phi$, slip, rugi-rugi daya, dan daya *output*. Dimana data yang diperoleh akan diolah dalam persamaan-persamaan diantaranya:

1. Penentuan parameter motor induksi

Agar dapat menentukan parameter motor induksi, dapat dilakukan melalui beberapa pengujian, antara lain pengujian motor dengan sumber DC untuk resistansi stator (R_1), pengujian motor *block rotor* untuk resistansi rotor (R_2), reaktansi stator (X_1), dan reaktansi rotor (X_2), dan pengujian motor dengan beban nol untuk rugi-rugi inti (Rc), dan reaktansi magnetisasi (X_m), dengan menggunakan persamaan [16]-[20].

$$R_1 (\Delta) = \frac{3.V_{DC}}{2.I_{DC}} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{P_{Br}}{3.I_{Br}^2} - R_1 \quad (2)$$

$$X_1 + X_2 = \sqrt{\frac{V_{Br}^2}{I_{Br}^2} - (R_1 + R_2)^2} \quad (3)$$

$$X_1 = 0.4 (X_1 + X_2) \quad (4)$$

$$X_2 = 0.6 (X_1 + X_2) \quad (5)$$

$$I_C = I_{nl} \cdot \cos \phi \quad (6)$$

$$R_c = \frac{v_{phase}}{I_C} \quad (7)$$

$$X_m = \frac{v_{phase}}{I_{nl}} - X_1 \quad (8)$$

Dimana V_{DC} merupakan Tegangan DC, sedangkan I_{DC} adalah Arus DC. V_{Br} adalah Tegangan *Blocked rotor*, P_{Br} ialah Daya *Blocked rotor*, dan I_{Br} adalah Arus *Blocked rotor*. I_C adalah Arus Magnetisasi, I_{nl} adalah Arus Beban No, dan v_{phase} adalah Tegangan Beban Nol.

2. Penentuan Rugi-rugi Motor Induksi

Setelah melakukan pengujian parameter data perhitungan persamaan akan dimasukkan ke dalam persamaan rugi-rugi daya diantaranya rugi-rugi stator (P_{ts}), rugi-rugi inti (P_{inti}), rugi-rugi rotor (P_{tr}), rugi-rugi angin dan gesekan ($P_{a\&g}$), serta

rugi-rugi *stray* (P_{stray}) yang mana persamaan ini digunakan untuk menghitung persamaan daya *output*, torsi, dan efisiensi. Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut [19].

$$P_{in} = \sqrt{3}.V.I \cos \phi \quad (9)$$

$$P_{ts} = 3.I^2.R_1 \quad (10)$$

$$P_{inti} = \frac{3.E_1^2}{R_c} \quad (11)$$

$$n_s = \frac{120.f}{P} \quad (12)$$

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (13)$$

$$P_{tr} = (P_{in} - P_{ts} - P_{inti}).S \quad (14)$$

Dalam kondisi seperti demikian, persamaan untuk kerugian angin dan gesekan serta Kerugian *Stray* pada motor 4 *pole* yang digunakan maka persamaanya [21]-[25].

$$P_{a\&g} = 1,5\%. P_{in} \quad (15)$$

$$P_{Stray} = 0,011. P_{in} \quad (16)$$

Sedangkan Kerugian total pada motor induksi dapat dihitung menggunakan persamaan [21][23].

$$P_{rugi-rugi} = P_{ts} + P_{inti} + P_{tr} + P_{a\&g} + P_{Stray} \quad (17)$$

Dimana P_{in} adalah daya *input*, V adalah tegangan, I adalah arus, E_1 adalah tegangan induksi, S adalah slip n_r adalah kecepatan rotor, dan n_s adalah kecepatan stator, f adalah frekuensi, dan P jumlah kutub motor induksi. $P_{rugi-rugi}$ adalah rugi-rugi daya.

3. Penentuan P_{out} , Torsi dan Efisiensi Motor

Setelah mendapatkan nilai rugi-rugi pada motor selanjutnya penentuan daya *output* (P_{out}), torsi (T_m), dan efisiensi (η) pada motor dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini [19][23].

$$P_{out} = P_{in} - P_{rugi-rugi} \quad (18)$$

$$T_m = \frac{P_{out}}{\omega_r} \quad (19)$$

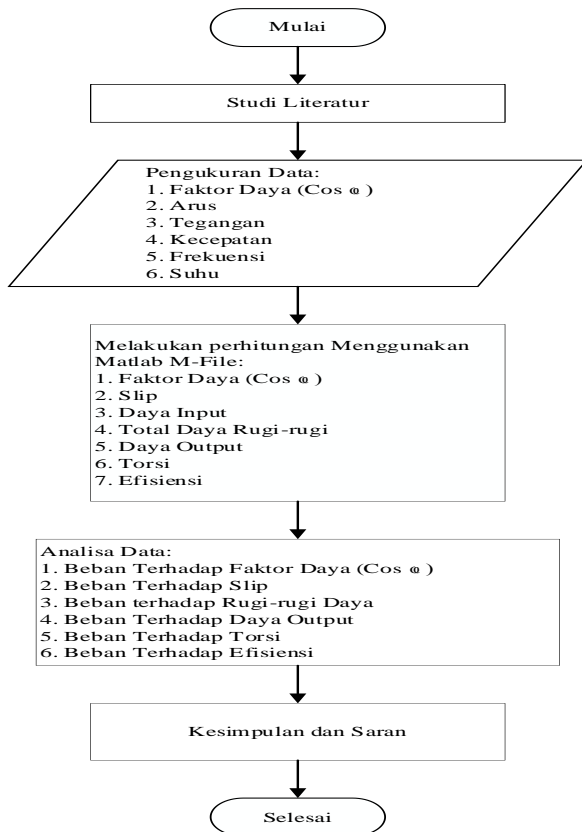
$$\omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} \quad (20)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100 \quad (21)$$

Dimana π memakai nilai 3.14, n_r adalah kecepatan rotor, dan ω_r Kecepatan Sudut (mekanik) dari Rotor (rad/detik).

Persamaan tersebut akan di masukkan ke dalam matlab M-file untuk menghitung otomatis. Diagram alir penelitian digambarkan pada Gambar 1. dimana pada gambar tersebut adalah perancangan yang akan dilaksanakan. Metodologi penelitian melibatkan beberapa tahap, mulai dari studi literatur untuk memahami dasar teori terkait, pengambilan data eksperimental untuk mendapatkan informasi empiris, hingga analisis perhitungan menggunakan Matlab M-File guna merinci aspek efisiensi dan torsi motor. Percobaan dilakukan dengan memberikan beban pengereman pada tingkat 25%, 50%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 100%, serta mempertimbangkan beban lebih sebesar 125%. Hasil analisis data akan memberikan wawasan mendalam mengenai kinerja motor dalam berbagai kondisi beban, yang pada gilirannya dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja

operasional motor induksi 3 fasa. Kesimpulan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan teknologi motor listrik yang lebih efisien dan ramah lingkungan.



Gambar 1: Diaram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan beban pada penelitian ini dilihat dari torsi beban dan arus pada motor induksi. Untuk memperoleh hal tersebut langkah awal yang dilakukan yakni mencari nilai arus saat torsi beban 1% dengan mengurangi nilai arus yang tertera pada spesifikasi motor induksi 3 fasa yang digunakan dan mengurangnya dengan nilai arus saat torsi beban 0%. Hasil tersebut kemudian dibagi dengan 100. Sementara, untuk memperoleh nilai arus pada torsi beban 25%, 50%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 100% dan 125% dapat dilakukan dengan mengalikan nilai arus saat torsi beban 1% dengan nilai torsi bebannya. Kemudian, hasil dari perkalian tersebut dijumlahkan dengan nilai arus saat torsi beban 0%. Adapun hasil perhitungan penentuan beban ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Selanjutnya melakukan pengujian diawali dengan pengujian motor menggunakan tegangan DC, serta pengujian *Blocked* motor, dan pengujian motor tanpa beban untuk menemukan data masukan parameter motor. Pada tahapan setelahnya yaitu melakukan pengujian motor dengan beban yang bervariasi yaitu 25%, 50%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%, 100% dan 125%. Rangkaian pengujian dapat dilihat pada Gambar 2. dimana motor dikopel dengan *Magnetic Powder Brake Unit* sebagai beban.

Linda Sartika: Analisis Pengaruh Beban Lebih...

TABEL 2

HASIL PERHITUNGAN PENENTUAN BEBAN

Torsi Beban (%)	I (A)
0	0,91
1	0,0049
25	1,03
50	1,15
75	1,28
80	1,30
85	1,33
90	1,35
95	1,38
100	1,40
125	1,52



Gambar 2: Rangkaian pengujian motor induksi dengan beban bervariasi

A. Pengujian Motor Menggunakan Tegangan DC

Data awal yang diperlukan ialah parameter motor induksi dengan melakukan pengujian motor dengan sumber DC data ini digunakan untuk menentukan nilai resistansi stator (R_1) pada motor induksi yang akan digunakan dalam perhitungan rugi-rugi daya motor. Dalam pengujian motor menggunakan tegangan DC untuk mendapatkan R_1 pada motor induksi 3 fasa, langkah pertama yang harus dilakukan adalah memastikan motor dalam keadaan mati dan terputus dari sumber daya listrik. Selanjutnya, hubungkan sumber tegangan DC kedua terminal stator motor, sementara terminal lainnya tetap terisolasi. Setelah itu, ukur tegangan dan arus yang mengalir melalui motor, didapatkan dari hasil pengujian nilai tegangan 35 V dan arus 1,4 Ampere.

B. Pengujian Blocked Rotor pada Motor

Data parameter selanjutnya ialah pengujian *blocked* rotor akan menghasilkan data tegangan, arus, Frekuensi, $\text{Cos } \phi$, dan daya yang akan menentukan nilai Resistansi Rotor (R_2), Reaktansi Stator (X_1), dan Reaktansi Rotor (X_2) yang akan digunakan dalam perhitungan rugi-rugi daya motor. Data hasil pengujian terlihat pada Tabel 3.

TABEL 3

DATA HASIL PENGUJIAN TES BLOCKED ROTOR MOTOR INDUKSI

Tegangan (V)	Arus (Ampere)	Frekuensi (Hz)	$\text{Cos } \phi$	Daya (w)
178,5	1,412	50,4	0,874	381,54

Dalam pengujian rotor Blocked pada motor induksi 3 fasa untuk mendapatkan nilai R_2 , X_1 , dan X_2 . langkah pertama



yang dilakukan adalah menghentikan rotor motor dengan cara mengkopelnya menggunakan *Magnetic Powder Brake Unit* untuk menciptakan kondisi rotor *Blocked*. Setelah itu, tegangan, arus, frekuensi, $\cos \phi$, dan daya *output* diukur menggunakan peralatan pengukuran yang sesuai.

C. Pengujian Motor Tanpa Beban

Data parameter selanjutnya ialah pengujian beban nol akan menghasilkan data tegangan, arus, dan faktor daya yang akan menentukan nilai rugi-rugi inti (R_c) dan reaktansi magnetisasi (X_m) yang akan digunakan dalam perhitungan rugi-rugi daya motor. Data hasil pengujian terlihat pada Tabel 4.

TABEL 4
DATA HASIL PENGUJIAN TES MOTOR INDUKSI TANPA BEBAN

V (Volt)	I (A)	f (Hz)	Cos ϕ	Rpm	P (W)	T (Nm)	Suhu (°C)
232,5	0,91	50,4	0,193	1508	71	0	28,4

Pengujian beban nol pada motor induksi 3 fasa dilakukan untuk mendapatkan nilai R_c dan X_m . Langkah awal melibatkan pengoperasian motor tanpa beban, sehingga beban mekanisnya menjadi nol. Selama pengujian ini, tegangan dan arus serta data-data lainnya diukur dengan menggunakan alat ukur.

Data parameter motor induksi, yang meliputi pengujian tegangan DC, *blocked* rotor, dan pengujian beban nol, akan dimasukkan ke dalam pengujian perhitungan dengan menggunakan Matlab M-file. Hal ini dilakukan untuk membandingkan hasil dengan perhitungan manual, untuk memastikan konsistensi dan akurasi data. Program Matlab M-file untuk menghitung parameter motor induksi yaitu:

```
disp('=====!')
disp('!MENENTUKAN NILAI PARAMETER MOTOR INDUKSI!')
disp('=====!')
disp(' ')
disp('***NILAI MASUKAN PARAMETER MOTOR INDUKSI***')
V_dc = input('MASUKAN NILAI INPUT TEGANGAN DC (VOLT) = ');
I_dc = input('MASUKAN NILAI INPUT ARUS DC (AMPERE) = ');
V_br = input('MASUKAN NILAI TEGANGAN BLOCK ROTOR (VOLT) = ');
I_br = input('MASUKAN NILAI ARUS BLOCK ROTOR (AMPERE) = ');
P_br = input('MASUKAN NILAI DAYA BLOCK ROTOR (WATT) = ');
V_nl = input('MASUKAN NILAI TEGANGAN BEBAN NOL (VOLT) = ');
I_nl = input('MASUKAN NILAI INPUT ARUS BEBAN NOL (AMPERE) = ');
Faktor_daya_nol = input('MASUKAN NILAI FAKTOR DAYA = ');
disp(' ')
% Pengujian tegangan DC menggunakan persamaan 1.
R1 = (3 * V_dc) / (2 * I_dc);
% Pengujian Blocked rotor menggunakan persamaan 2, 3, 4, dan 5.
R2 = ((P_br) / (3 * (I_br)^2)) - R1;
X1_plus_X2 = sqrt((V_br^2 / I_br^2) - ((R1 + R2)^2));
X1 = 0.4 * X1_plus_X2;
X2 = 0.6 * X1_plus_X2;
% Pengujian beban nol menggunakan persamaan 6, 7, dan 8.
Ic = I_nl * Faktor_daya_nol;
Rc = ((V_nl / sqrt(3)) / Ic);
Xm = ((V_nl / sqrt(3)) / I_nl) - X1;
disp('***NILAI-NILAI PARAMETER MOTOR INDUKSI***')
disp(['> R1 = ' num2str(R1) ' Ohm '])
disp(['> R2 = ' num2str(R2) ' Ohm '])
disp(['> X1 = ' num2str(X1) ' Ohm '])
disp(['> X2 = ' num2str(X2) ' Ohm '])
disp(['> Rc = ' num2str(Rc) ' Ohm '])
disp(['> Xm = ' num2str(Xm) ' Ohm '])
```

Program yang ditampilkan di atas akan menampilkan hasil perhitungan seperti yang ada pada Gambar 3. Dimana akan

diperoleh nilai parameter motor induksi yang meliputi resistansi stator (R_1), resistansi rotor (R_2), reaktansi stator (X_1), reaktansi rotor (X_2), rugi-rugi inti (R_c), dan reaktansi magnetisasi (X_m).

```
=====!
! MENENTUKAN NILAI PARAMETER MOTOR INDUKSI !
=====!

***NILAI MASUKAN PARAMETER MOTOR INDUKSI***
MASUKAN NILAI INPUT TEGANGAN DC (VOLT) = 35
MASUKAN NILAI INPUT ARUS DC (AMPERE) = 1.4
MASUKAN NILAI INPUT TEGANGAN BLOCK ROTOR (VOLT) = 178.5
MASUKAN NILAI INPUT ARUS BLOCK ROTOR (AMPERE) = 1.412
MASUKAN NILAI DAYA BLOCK ROTOR (WATT) = 381.54
MASUKAN NILAI INPUT TEGANGAN BEBAN NOL (VOLT) = 232.5
MASUKAN NILAI INPUT ARUS BEBAN NOL (AMPERE) = 0.913
MASUKAN NILAI FAKTOR DAYA = 0.193

***NILAI-NILAI PARAMETER MOTOR INDUKSI***
> R1 = 37.5 Ohm
> R2 = 26.2895 Ohm
> X1 = 43.6569 Ohm
> X2 = 65.4853 Ohm
> Rc = 761.7882 Ohm
> Xm = 103.3683 Ohm
```

Gambar 3: Tampilan program perhitungan parameter motor induksi

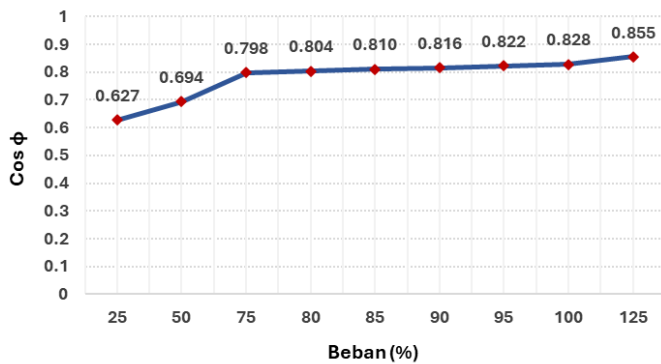
Perhitungan manual dan pendekatan berbasis Matlab memberikan hasil yang sejalan, sehingga memperkuat validitas analisis yang dilakukan. Hasil ini memberikan dasar yang kuat untuk mengambil kesimpulan bahwa pendekatan dengan menggunakan Matlab M-File dapat menjadi alat yang efektif dan dapat diandalkan dalam analisis perhitungan kinerja motor.

D. Pengujian Motor dengan Berbeban

Selanjutnya data pengujian beban dengan beberapa level tingkatan, dimana motor dikopel dengan *Magnetic Powder Brake Unit* sebagai beban. Pengambilan data dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan data yang relevan. Pada data suhu hanya diambil untuk memastikan motor masih bekerja pada suhu normal selebih daripada itu tidak masuk dalam analisis penelitian. Dari data yang tersedia, akan diambil nilai rata-rata dari hasil pengujian, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan Matlab M-file, dan dianalisis setiap data yang ada.

1. Pengaruh Pembebanan Terhadap $\cos \phi$ Motor Induksi

Pada motor induksi, saat beban rendah, faktor daya cenderung rendah karena adanya daya reaktif yang dihasilkan motor. Pada kondisi beban rendah, motor induksi masih memerlukan daya reaktif untuk mempertahankan medan magnet yang diperlukan dalam proses induksi. Namun, daya aktif yang digunakan untuk melakukan kerja pada beban relatif kecil, sehingga rasio daya aktif terhadap daya reaktif menjadi rendah. Hal ini menyebabkan faktor daya ($\cos \phi$) menjadi kecil, yang pada gilirannya dapat menyebabkan efisiensi sistem turun. Oleh karena itu, Penyesuaian faktor daya pada motor induksi pada beban rendah sangat penting untuk mengurangi kerugian daya reaktif dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik. Hal ini dapat diilustrasikan melalui Gambar 4 yang menunjukkan perbandingan pembebanan terhadap $\cos \phi$.

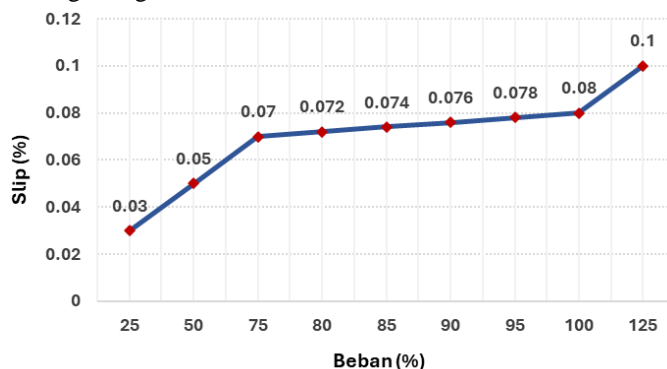


Gambar 4: Grafik beban terhadap cos φ

Gambar 4 terlihat bahwa semakin besar pembebanan, maka semakin besar nilai cos φ. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin besar beban pada motor induksi, maka nilai cos φ motor induksi juga semakin besar. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa meskipun beban mencapai 125% dari beban standar, nilai cos φ tetap meningkat hingga mencapai nilai 1 yang merupakan standar kualitas yang berlaku.

2. Pengaruh Pembebanan Terhadap Slip Motor Induksi

Pada motor induksi, slip adalah perbedaan antara kecepatan putar rotor dan kecepatan putar medan putar stator. Pada beban rendah, motor induksi cenderung mengalami slip yang rendah karena daya yang dibutuhkan untuk memutar rotor tidak begitu besar, sehingga rotor dapat secara efisien mengikuti medan putar stator. Sebaliknya, pada beban tinggi, lebih banyak daya yang dibutuhkan untuk mengatasi resistansi beban, sehingga slip meningkat karena rotor harus bekerja lebih keras untuk mencapai kecepatan putar yang dibutuhkan. Peningkatan slip pada beban tinggi mencerminkan peningkatan perbedaan antara kecepatan putar rotor dan medan putar stator, menandakan bahwa motor bekerja dengan efisiensi yang lebih rendah dan mengalami lebih banyak kehilangan daya karena gesekan dan resistansi beban yang lebih besar. Oleh karena itu, karakteristik slip motor induksi dapat memberikan gambaran tentang kinerja motor pada berbagai tingkat beban.



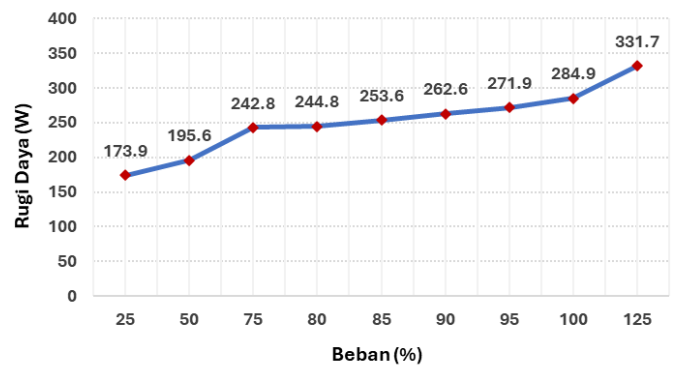
Gambar 5: Grafik beban terhadap slip pada motor induksi

Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan beban pada motor induksi menyebabkan peningkatan slip. Bahkan, ketika

beban melebihi kapasitas, slip pada motor meningkat. Ketika beban meningkat, motor induksi harus bekerja lebih keras untuk mencapai kecepatan sinkron, sehingga tingkat slip meningkat. Slip ini mencerminkan sejauh mana motor tidak dapat mencapai kecepatan sinkron karena beban. Peningkatan slip juga berpotensi menyebabkan peningkatan kerugian gesekan di dalam motor, yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kenaikan suhu motor karena daya yang hilang dalam bentuk panas akibat gesekan internal.

3. Pengaruh Pembebanan Terhadap Rugi-rugi Daya Motor Induksi 3 Fasa

Pembebanan pada motor induksi 3 fasa dapat memengaruhi rugi-rugi daya motor. Ketika motor bekerja di bawah beban, terjadi peningkatan arus listrik dan penurunan tegangan pada impedansi motor. Hal ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya yang terdiri dari rugi-rugi inti besi, rugi-rugi tembaga pada kumparan, dan rugi-rugi lain seperti gesekan dan hambatan udara. Semakin besar pembebanan, maka semakin tinggi pula rugi-rugi daya yang dihasilkan oleh motor. Untuk penjelasan grafik perbandingan pembebanan terhadap rugi-rugi total pada motor induksi pada Gambar 6.



Gambar 6: grafik beban terhadap rugi daya pada motor induksi

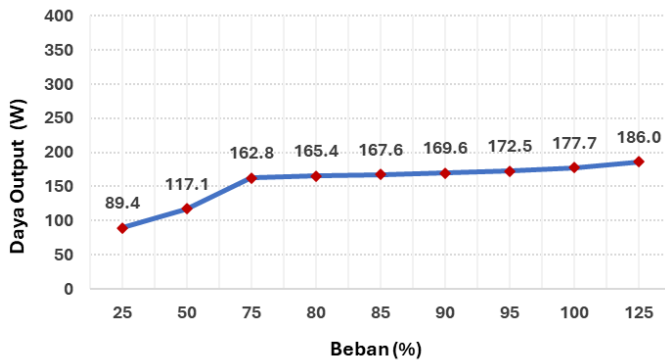
Gambar 6 menunjukkan bahwa peningkatan beban pada motor induksi menyebabkan peningkatan daya input, yang kemudian mengakibatkan peningkatan rugi-rugi daya. Sebagai contoh, pada tingkat pembebanan 25%, terdapat rugi-rugi daya sebesar 173,9 Watt, sedangkan pada pembebanan lebih dari 125%, rugi-rugi daya meningkat menjadi 331,7 Watt. Peningkatan kehilangan daya ini menghasilkan daya output yang rendah, yang pada gilirannya menyebabkan efisiensi operasional motor yang rendah. Oleh karena itu, perhatian terhadap tingkat pembebanan diperlukan untuk memastikan motor beroperasi pada tingkat efisiensi yang optimal.

4. Pengaruh Pembebanan Terhadap Daya Output Motor Induksi 3 Fasa

Pembebanan pada motor induksi 3 fasa memiliki efek yang signifikan pada daya output-nya. Daya output motor diperoleh dengan mengurangi rugi-rugi daya dari daya input yang diberikan. Ketika motor mengalami pembebanan, terjadi peningkatan arus dan tegangan, yang pada akhirnya meningkatkan rugi-rugi daya seperti rugi-rugi inti, rugi-rugi gesekan, dan rugi-rugi lainnya. Semakin tinggi tingkat



pembebanan, maka semakin besar pula rugi-rugi daya yang terjadi. Oleh karena itu, pembebanan yang berlebihan dapat menurunkan efisiensi motor induksi dan menyebabkan penurunan daya *output* yang seharusnya dapat dihasilkan. Untuk penjelasan grafik perbandingan pembebanan terhadap daya *output* motor induksi pada Gambar 7.



Gambar 7: Grafik beban terhadap daya *output* pada motor induksi

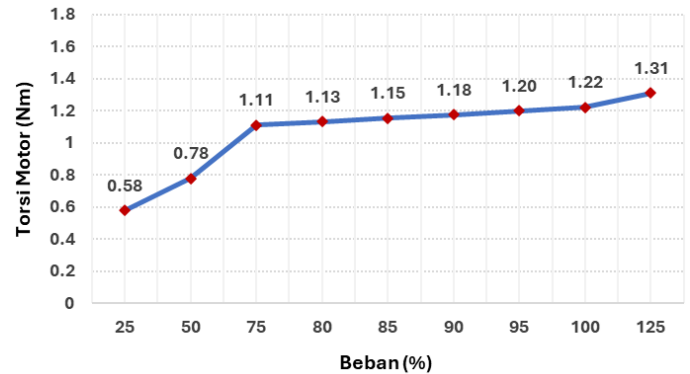
Pembebanan pada Gambar 7 berpengaruh terhadap daya *output* motor induksi. Semakin besar beban yang diberikan pada motor, semakin besar pula daya *output* yang dibutuhkan untuk mengatasi tahanan tersebut, seperti terlihat pada grafik pembebanan 125%, dimana daya *output* mencapai 186 Watt, yang lebih tinggi dibanding pembebanan awal 25% yang hanya mencapai 89,4 Watt. Perlu dicatat bahwa terdapat batasan pada daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh motor. Pada kondisi beban berlebihan, motor dapat mengalami penurunan efisiensi dan kinerja, bahkan dapat mengalami *overheating* atau kegagalan jika terus-menerus bekerja di luar batas kemampuannya. Pada tingkat daya *output* ini, rugi-rugi total pada motor juga dihitung untuk menentukan spesifikasi nilai daya *output* yang digunakan dalam perhitungan torsi dan efisiensi motor induksi.

5. Pengaruh Pembebanan Terhadap Torsi Motor Induksi 3 Fasa

Pembebanan pada motor induksi tiga fase memiliki dampak penting pada torsi yang dihasilkan oleh motor. Torsi pada motor induksi pada dasarnya adalah perbandingan antara daya *output* dan kecepatan sudut (ω_r). Ketika motor mengalami pembebanan, maka torsi yang dihasilkan akan meningkat sesuai dengan kebutuhan untuk mengatasi hambatan atau beban yang diberikan. Artinya, semakin besar tingkat pembebanan, semakin tinggi torsi yang dibutuhkan untuk mempertahankan kecepatan sudut motor (ω_r). Oleh karena itu, pembebanan yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan torsi pada motor, dan hal ini perlu dipertimbangkan dengan baik agar motor tetap beroperasi secara efisien tanpa mengorbankan kinerja dan keandalan.

Gambar 8 menjelaskan respons torsi motor induksi terhadap berbagai tingkat pembebanan. Pada pembebanan awal 25%, torsi motor mencapai 0,58 Nm, yang menunjukkan bahwa motor memiliki kemampuan untuk menghasilkan torsi yang cukup pada tingkat pembebanan yang ringan. Namun, seiring dengan bertambahnya beban hingga 50%, 75%, dan maksimum 100%, torsi motor meningkat menjadi 0,78 Nm, 1,11 Nm, dan 1,22 Nm. Hal ini menunjukkan bahwa motor mampu merespons dengan baik terhadap peningkatan

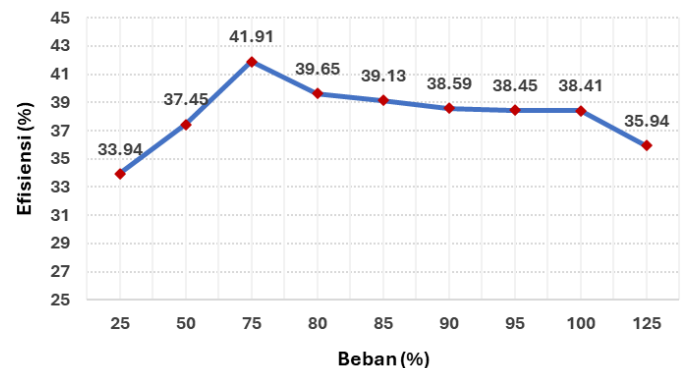
pembebanan, memberikan *output* torsi yang proporsional. Pada tingkat kelebihan beban 125%, torsi motor mencapai 1,31 Nm, menunjukkan bahwa motor masih mampu memberikan torsi tambahan meskipun telah melampaui batas beban maksimum. Analisis ini memberikan gambaran umum tentang kinerja torsi motor pada berbagai tingkat pembebanan, yang dapat menjadi referensi penting dalam pemilihan dan penggunaan motor induksi pada penerapan tertentu.



Gambar 8: Grafik beban terhadap torsi pada motor induksi

6. Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa

Pembebanan pada motor induksi 3 fase memiliki dampak yang signifikan terhadap efisiensinya. Efisiensi motor induksi, yang merupakan perbandingan antara daya *output* dan daya *input*, dapat dipengaruhi oleh tingkat pembebanan yang dialami motor. Ketika motor bekerja di bawah beban, terjadi peningkatan rugi-rugi daya seperti rugi-rugi inti, rugi-rugi gesekan, dan rugi-rugi lainnya, yang dapat mengurangi efisiensi operasionalnya. Oleh karena itu, pembebanan yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan efisiensi motor, karena daya *input* yang dibutuhkan untuk mengatasi beban lebih besar dibandingkan saat motor beroperasi tanpa beban. Dalam pengoperasian motor induksi, diperlukan perhatian secara khusus untuk menjaga tingkat pembebanan agar sesuai dengan kapasitas dan karakteristik motor, sehingga efisiensi operasionalnya dapat dipertahankan seefisien mungkin. Untuk penjelasan grafik perbandingan pembebanan terhadap daya efisiensi motor induksi pada Gambar 9



Gambar 9: Grafik beban terhadap efisiensi pada motor induksi

Gambar 9 menunjukkan bahwa penambahan pembebanan memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi motor. Pada tingkat beban 25%, efisiensi mencapai 33,94%, meningkat menjadi 37,45% pada beban 50%, dan mencapai puncaknya

pada beban 75% dengan efisiensi 41,91%. Namun, menariknya efisiensi turun menjadi 39,65% saat mencapai beban 80% dan terus menurun pada beban maksimal 100%. Saat kondisi beban lebih yakni tingkat pembebanan 125% nilai efisiensi turun lebih jauh menjadi 35,94% bila dibandingkan dengan kondisi pembebanan 75%. Penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi motor cenderung berkurang pada tingkat beban yang ekstrem. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa beban 75% memiliki efisiensi tertinggi, sesuai dengan teori bahwa kondisi beban optimal untuk motor berada pada kisaran 75%.

Penelitian ini menggunakan perhitungan menggunakan Matlab M-file. Data pengujian rata-rata motor induksi digunakan sebagai *input* ke program M-file. Metode ini memungkinkan analisis kinerja motor induksi yang lebih efisien dan akurat, karena Matlab menyediakan fleksibilitas dan pemrosesan data. Data yang diperoleh dari pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 5
DATA HASIL PENGUJIAN BERVARIASI LEVEL BEBAN MOTOR INDUKSI

Beban (%)	Volt (V)	Arus (A)	F (Hz)	Cos ϕ	rpm	P (W)	Tb (Nm)	Suhu (°C)
25	230.9	1.05	50.4	0.627	1464	263	0.98	30.6
50	230.2	1.13	50.3	0.694	1439	309	1.37	32.7
75	229.3	1.28	50.3	0.798	1400	404	1.96	34.9
80	229.3	1.30	50.3	0.804	1390	417	2.00	35.3
85	229.1	1.33	50.3	0.810	1380	428	2.04	35.7
90	229.0	1.35	50.3	0.816	1369	439	2.08	36.2
95	229.2	1.38	50.3	0.822	1358	450	2.12	37.6
100	228.8	1.41	50.3	0.828	1388	462	2.16	38.8
125	228.5	1.53	50.3	0.855	1354	519	2.55	45.3

Penelitian ini menggunakan beban berupa *Magnetic Powder Brake Unit* dengan memonitor arus motor secara bertahap. Ketika torsi beban rendah, daya ke motor rendah sehingga daya keluaran motor juga rendah. Namun, ketika torsi beban tinggi, daya ke motor tinggi sehingga daya keluaran motor juga tinggi. Ketika beban pada motor induksi rendah, arus yang mengalir pada belitan medan rotor dan belitan stator motor menjadi tidak seimbang. Hal ini menyebabkan arus magnetisasi yang tidak produktif terjadi, yang menghasilkan daya reaktif yang tinggi dan $\cos \phi$ yang rendah. Dalam kondisi ini, meskipun motor mungkin masih mengonsumsi daya yang signifikan, daya yang benar-benar digunakan untuk melakukan pekerjaan (daya aktif) menjadi relatif kecil dibandingkan dengan total daya yang digunakan (daya semu). Oleh karena itu, $\cos \phi$ yang kecil pada motor induksi pada beban rendah menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang digunakan adalah daya reaktif yang tidak berguna secara produktif untuk melakukan kerja mekanis. Adapun program Matlab M-File untuk menghitung data pada setiap pembebanan motor induksi program tersebut ialah:

```
disp('=====')
disp('! MENENTUKAN EFISIENASI DAN TORSI MOTOR INDUKSI !')
disp('=====')
% Pertama-tama, berikan nilai yang diperlukan dalam program ini.
R1 = 37.5;
R2 = 26.2895;
```

```
X1 = 43.6569;
X2 = 65.4853;
Rc = 761.7882;
Xm = 103.3683;
Power = 300;
Horsepower = Power / 745.7;
Freq = 50;
N_rotor = 1420;
V_rat = 220;
L_rat = 1.4;
disp('***NILAI-NILAI SPESIFIKASI MOTOR INDUKSI***')
disp(['> Power = ' num2str(Power) ' watt'])
disp(['> Horsepower = ' num2str(Horsepower) ' HP'])
disp(['> Freq = ' num2str(Freq) ' Hz'])
disp(['> N_rotor = ' num2str(N_rotor)])
disp(['> V_rat = ' num2str(V_rat) ' volt'])
disp(['> L_rat = ' num2str(L_rat) ' Ampere'])
disp('***NILAI-NILAI PARAMETER MOTOR INDUKSI***')
disp(['> R1 = ' num2str(R1) ' Ohm'])
disp(['> R2 = ' num2str(R2) ' Ohm'])
disp(['> X1 = ' num2str(X1) ' Ohm'])
disp(['> X2 = ' num2str(X2) ' Ohm'])
disp(['> Rc = ' num2str(Rc) ' Ohm'])
disp(['> Xm = ' num2str(Xm) ' Ohm'])
disp('')
disp('***NILAI MASUKAN MOTOR INDUKSI***')
V_line = input('MASUKAN NILAI INPUT TEGANGAN (VOLT) = ');
I_line = input('MASUKAN NILAI INPUT ARUS (AMPERE) = ');
N_r = input('MASUKAN NILAI KECEPATAN ROTOR MOTOR (RPM) = ');
Frek_ukur = input('MASUKAN NILAI FREKUENSI UKUR (HZ) = ');
Kutub = input('MASUKAN NILAI KUTUB MOTOR (pole) = ');
Faktor_daya = input('MASUKAN NILAI FAKTOR DAYA = ');
% Perhitungan Daya Input Motor Menggunakan Persamaan 9.
P_in = sqrt(3) * V_line * I_line * Faktor_daya;
% Perhitungan slip Motor Menggunakan Persamaan 12 dan 13.
N_s = 120 * Frek_ukur / Kutub;
s = (N_s - N_r) / N_s;
% Perhitungan Rugi-rugi Stator Motor Menggunakan Persamaan 10
Psc1 = 3 * I_line^2 * R1;
% Perhitungan Rugi-rugi Inti Menggunakan Persamaan 11
E1 = (V_line / sqrt(3)) - (I_line * R1);
Pcore = (3 * E1^2) / Rc;
% Perhitungan Rugi-rugi pada Rotor Menggunakan Persamaan 14
Pccl = (P_in - Psc1 - Pcore) * s;
% Perhitungan Rugi-rugi Angin Dan gesekan Menggunakan Persamaan 15
Pag = 0.012 * P_in;
% Perhitungan Rugi-rugi Stray Menggunakan Persamaan 16
Pstray = 0.011 * P_in;
% Perhitungan Total Rugi-rugi Motor Menggunakan Persamaan 17
Plosses = Psc1 + Pcore + Pccl + Pag + Pstray;
% Perhitungan Daya Output Motor Menggunakan Persamaan 18
P_out = P_in - Plosses;
% Perhitungan Torsi Motor Menggunakan Persamaan 19 dan 20
T_m = P_out / (2 * pi * N_r / 60);
% Perhitungan Efisiensi Motor Induksi Menggunakan Persamaan 21
E = (P_out / P_in) * 100;
disp('')
disp('***HASIL PERHITUNGAN MOTOR INDUKSI***')
disp(['> Faktor Daya = ' num2str(Faktor_daya)])
disp(['> Daya input = ' num2str(P_in) ' watt'])
disp(['> Slip = ' num2str(s)])
disp(['> Rugi total = ' num2str(Plosses) ' Watt'])
disp(['> Daya Output = ' num2str(P_out) ' Watt'])
disp(['> Torsi = ' num2str(T_m) ' Nm'])
disp(['> Efisiensi Motor Induksi = ' num2str(E) ' %'])
```

Program yang dijabarkan di atas akan menampilkan hasil perhitungan seperti yang ada pada Gambar 10. Dimana akan diperoleh nilai faktor daya, daya *input*, slip, rugi total, daya *output*, torsi, dan efisiensi motor induksi.



```

=====
! MENENTUKAN NILAI EFISIENSI DAN TORSI MOTOR INDUKSI !
=====
***NILAI-NILAI SPESIFIKASI MOTOR INDUKSI***
> Power = 300 watt
> Horsepower = 0.40231 HP
> Freq = 50 Hz
> N_rotor = 1420
> V_rat = 220 volt
> I_rat = 1.4 Ampere
***NILAI-NILAI PARAMETER MOTOR INDUKSI***
> R1 = 37.5 Ohm
> R2 = 26.2895 Ohm
> X1 = 43.6569 Ohm
> X2 = 65.4853 Ohm
> R0 = 761.7982 Ohm
> Xm = 103.3683 Ohm

***NILAI MASUKAN MOTOR INDUKSI***
MASUKAN NILAI INPUT TEGANGAN (VOLT) = 230.9
MASUKAN NILAI INPUT ARUS (AMPERE) = 1.05
MASUKAN NILAI KECEPATAN ROTOR MOTOR (RPM) = 1464
MASUKAN NILAI FREKUENSI UKUR (HZ) = 50.4
MASUKAN NILAI KUTUB MOTOR (pole) = 4
MASUKAN NILAI FAKTOR DAYA = 0.627

***HASIL PERHITUNGAN MOTOR INDUKSI***
> Faktor Daya = 0.627
> Daya input = 263.2943 watt
> Slip = 0.031746
> Rugi total = 173.9252 Watt
> Daya Output = 89.3691 Watt
> Torsi = 0.58293 Nm
> Efisiensi Motor Induksi = 33.9427%

```

Gambar 10: Tampilan program perhitungan motor induksi

Adapun hasil data perhitungan menggunakan Matlab M-file pada motor induksi ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL 6
DATA HASIL PERHITUNGAN MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB M-FILE

Beban (%)	Cos α	Pin (W)	Slip (%)	R. Daya Total (W)	Pout (W)	Tm (Nm)	η (%)
25	0.637	263.29	0.031	173.93	89.37	0.58	33.94
50	0.681	312.68	0.054	195.57	117.1	0.78	37.45
75	0.733	405.67	0.069	242.84	162.8	1.11	41.91
80	0.809	417.12	0.071	244.80	165.4	1.13	39.65
85	0.812	428.26	0.075	253.56	167.6	1.15	39.13
90	0.819	439.53	0.078	262.59	169.6	1.18	38.59
95	0.823	450.91	0.080	271.92	172.5	1.20	38.45
100	0.829	462.67	0.083	284.94	177.7	1.22	38.41
125	0.855	517.73	0.121	331.67	186.0	1.31	35.94

Dari Tabel 5 dapat dianalisis bahwa perubahan beban memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa motor induksi. Peningkatan beban juga menyebabkan peningkatan torsi pada motor, tetapi pada saat yang sama, efisiensi motor cenderung menurun. Hasil ini menunjukkan bahwa penyesuaian optimal pada tingkat beban diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara torsi yang dihasilkan dan efisiensi energi yang dipertahankan oleh motor. Analisis ini memberikan wawasan yang berharga dalam memahami respons motor terhadap variasi beban, yang dapat menjadi dasar untuk meningkatkan desain atau pengoperasian motor induksi untuk meningkatkan kinerja secara keseluruhan.

IV. KESIMPULAN

Data menunjukkan bahwa beban memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performa motor induksi, dengan nilai cos α yang meningkat seiring bertambahnya beban, mencapai 0,828 pada beban 100% dan 0,855 pada beban 125%. Slip motor meningkat seiring bertambahnya beban, mencapai 0,08 pada beban 100% dan 0,12 pada beban 125%. Rugi daya yang dialami pada motor juga meningkat secara signifikan, dari 173,93 Watt pada beban 25% menjadi 331,67 Watt pada beban 125%. Daya output motor meningkat seiring bertambahnya beban, mencapai 177,7 Watt pada beban 100%

dan 186,0 Watt pada beban 125%. Torsi motor juga meningkat seiring dengan beban, mencapai 1,31 Nm pada beban 125%. Efisiensi motor mencapai puncaknya pada beban 75% (41,91%), sementara menurun pada beban 100% (38,41%) dan 125% (35,94%). Dapat disimpulkan bahwa dengan dilakukannya penelitian ini dapat diketahui dampak yang di sebabkan oleh motor induksi 3 fasa saat terjadi beban lebih. Mulai dari terjadinya peningkatan suhu hingga turunnya tingkat efisiensi motor induksi 3 fasa.

REFERENSI

- [1] Luthfi, M. A. "Pengaturan Kecepatan Motor Tiga Fasa Dengan Arah Putar Reverse Menggunakan Variabel Speed Drive (VSD): Three-Phase Motor Speed Regulation with Reverse Rotation Using Variable Speed Drive (VSD)". *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, 2(2), 64-69, 2022.
- [2] Siburian, J., Jumari, J., & Simangunsong, A. "Studi Sistem Star Motor Induksi 3 Phasa dengan Metode Star Delta Pada PT. Toba Pulp Lestari Tbk". *Jurnal teknologi energi UDA: Jurnal Teknik elektro*, 9(2), 81-87, 2021.
- [3] Sartika, L. "Analisa pengaruh perubahan beban terhadap kinerja motor induksi 3 fasa scraper conveyord di pt. Citra siwit lestari." *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan (e-Journal)*, 10(1), 7-16, 2023.
- [4] Raka Ardana, I Wayan. Simulasi Sistem Kontroler Pid Untuk Motor Induksi Menggunakan Perangkat Lunak Matlab / Simulink. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, [S.l.]*, v. 7, no. 2, 2013.
- [5] Lastera, I. W. "Pemanfaatan Autotransformator Sebagai Pengontrol Arus Start Motor Induksi Tipe LH 73204 Guna Menjaga Kesetabilan Tegangan Listrik di Laboratorium Konversi Energi Teknik Elektro Universitas Udayana." *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, [S.l.]*, v. 18, no. 2, p. xxxx, 2019.
- [6] Silaen, R., & Hutabarat, J. L. "Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran dan Daya Masuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN)". *Jurnal ELPOTECs*, 4(1), 1-15, 2021.
- [7] Anthony, Z., Nazir, R., & Hamid, M. I. "A Review of Strategies for Improving 3-Phase Induction Motor Performance." *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 4(1), 01-12, 2024.
- [8] Fakhruddin, H. H., Toar, H., Purwanto, E., Oktavianto, H., Basuki, G., Apriyanto, R. A. N., & Muntashir, A. A. "Strategi Implementasi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Anfis) Pada Kendali Motor Induksi 3 Fase Metode Vektor-Tidak Langsung." *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(4), 786, 2021.
- [9] Novianto, D., Zondra, E., & Yuvendius, H. "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Phasa Sebagai Penggerak Vacuum Di PT. Pindo Deli Perawang." *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, 4(2), 73-80, 2022.
- [10] Ramadhan, R. "Analisa Daya Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Penggerak Conveyor Di PT. Pesona Khatulistiwa Nusantara." *Perpustakaan UBT: Universitas Borneo Tarakan*, 2022.
- [11] Rasyid, M. F. E. "Analisa Efisiensi Motor Asinkron 3 Fasa Penggerak Bale Press PT. Tanjungenim Lestari Pulp and Paper" (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya), 2020.
- [12] Jairo D, S., Mangindaan, G. M. C., & Ontowirjo, A. H. J. "Study Pengaruh Torsi Terhadap Kinerja Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan MatLab", 2020.
- [13] Umam, F., Hairil Budiarto, S. T., Dafid, A., & Md, A. "Motor Listrik. Media Nusa Creative (MNC Publishing)", 2021.
- [14] Kusbiyantoro, E. "Analisa Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Torsi Dan Daya Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Simulasi MATLAB" (Doctoral dissertation, Universitas Sultan Agung), 2021.
- [15] Kurniadi, R. "Analisa Efisiensi Motor Listrik Penggerak Sootblower Half Retractable pada Unit 2 Di PT. PLN (Persero) Bukit Asam" (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya), 2021.
- [16] Ahmad, A., Zondra, E., & Yuvendius, H. "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Phasa Akibat Perubahan Tegangan." *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, 5(1), 35-43, 2020.

- [17] Diantoro, S. "Simulasi Dan Optimasi Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Variasi Frekuensi Menggunakan Matlab Simulink" (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang), 2024.
- [18] Rohmah, A. "Simulasi Pengendalian Motor Induksi Menggunakan Metode Field Oriented Control," 2021.
- [19] Prabowo, S. A., Dwiono, W., & Taufiq, A. J. "Analisis Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa 1 HP Kondisi Under Voltage Dan Over Voltage Dengan Simulasi PSIM." (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Purwokerto), 2019.
- [20] Harini, B. W. "Pengaruh Parameter Motor pada Sistem Kendali tanpa Sensor Putaran." *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*. Vol, 10(3), 2021.
- [21] Beleiu, H. G., Pavel, S. G., Birou, I. M., Miron, A., Darab, P. C., & Sallah, M. "Effects of voltage unbalance and harmonics on drive systems with induction motor." *Journal of Taibah University for Science*, 16(1), 381-391, 2022.
- [22] Diarra, M. N., Yao, Y., Li, Z., Niasse, M., Li, Y., & Zhao, H. "In-Situ Efficiency Estimation of Induction Motors Based on Quantum Particle Swarm Optimization-Trust Region Algorithm (QPSO-TRA)." *Energies*, 15(13), 4905, 2022.
- [23] Al-Badri, M., Pillay, P., & Angers, P. "A novel in situ efficiency estimation algorithm for three-phase induction motors operating with distorted unbalanced voltages." *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(6), 5338-5347, 2017.
- [24] M. K. Sari, W. Hadi, and W. Cahyadi, "Analisis Motor Brushless Direct Current Aksial Fluks 3 Fasa Menggunakan Magenet Permanen Neodymium Sebagai Prime Mover Generator," *JTE*, vol. 19, no. 2, p. 195, Dec. 2020, doi: 10.24843/MITE.2020.v19i02.P11.
- [25] I. W. L. -, "Pemanfaatan Autotransformator Sebagai Pengontrol Arus Start Motor Induksi Tipe LH 73204 Guna Menjaga Kesetabilan Tegangan Listrik di Laboratorium Konversi Energi Teknik Elektro Universitas Udayana," *JTE*, vol. 18, no. 2, Jun. 2019, doi: 10.24843/MITE.2019.v18i02.P09.



{ Halaman ini sengaja dikosongkan }