

Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Vacuum Di PT. Pindo Deli Perawang

Deka Novianto, Elvira Zondra, Hazra Yuvendius

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

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

Email : deka junior1997@gmail.com, elviraz@unilak.ac.id, hazra_yuvendius@unilak.ac.id

Submitted : 24 Maret 2022

Accepted: 25 Juni 2022

DOI: 10.31849/sainetin.v6i2.9734

ABSTRAK

Motor induksi merupakan mesin listrik yang dipakai untuk berbagai penggerak contohnya pompa air, penggerak alat-alat perkakas, penggerak peralatan rumah tangga, hingga aplikasi di industri-industri besar. Pada dasarnya motor induksi tiga fasa membutuhkan suplai tegangan dalam proses kerjanya. Beberapa permasalahan yang muncul dalam pengoperasian motor induksi tiga fasa, diantaranya beban yang berubah-ubah. Maka perhitungan Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Penggerak Vacuum Di PT. Pindo Deli Perawang. Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa 315kW. Pada penelitian ini akan digunakan motor induksi tiga fasa yang ada pada PT. Pindo Deli Perawang dan software m. file matlab sebagai validasi. Dalam penelitian ini setelah dilakukan perhitungan dan validasi didapat total rugi-rugi daya motor induksi tiga fasa sebagai berikut: Rugi Angin dan Gesekan 3046,82 dan Rugi Stray 4.725. Kedua rugi-rugi ini bersifat konstan karena rugi-rugi ini tidak dipengaruhi oleh beban. Pada saat torsi beban puncak 100% nilai efisiensi yang didapat adalah 93,7268%, dan pada saat torsi beban paling rendah 25% nilai efisiensinya adalah 88,1024%, maka dapat disimpulkan bahwa beban dapat mempengaruhi efisiensi motor induksi, selain beban ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi yaitu: frekuensi, tegangan, rugi-rugi daya.

Kata Kunci: Efisiensi, Motor Induksi Tiga Fasa, Metode Segregated loss.

ABSTRACT

Induction motor is an electrical machine that is widely used in various drives such as water pumps, tool drive tools, household appliance drives, to applications in large industries. Basically, a three phase induction motor requires a voltage supply in the process of working, there are several problems that arise in the operation of three phase induction motors, for example, is a variable load. In this study, calculations and efficiency analysis of three phase induction motors as vacuum drivers in PT. Pindo Deli Perawang. The motor used is a three-phase 315kW induction motor. In this research will be used induction motor three phase in PT. Pindo Deli Perawang and software m. file matlab as validation. In this study after calculation and validation, total power losses of induction motors were obtained as follows: Wind and Friction Loss 3046.82 and Stray Loss 4,725. Both of these losses are constant because these losses are not affected by the burden. At the time of peak load torque of 100% the efficiency value obtained is 93.7268%, and at the time of the lowest load torque of 25% the efficiency value is 88.1024%, it can be concluded that the load can affect the efficiency of the induction motor, in addition to the load there are several factors that can affect efficiency, namely: frequency, voltage, power losses.

Keyword: Efficiency, Three Phase Induction Motor, Segregated Loss Method.

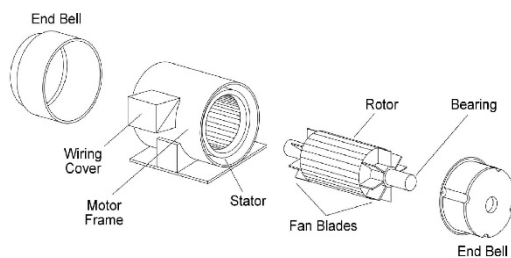
1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan bagian paling utama bagi pendustrian yang dipakai untuk alat menggerakkan yang akan digunakan sebagai proses di dalam dunia pendustrian [1], [2]. Motor induksi tiga fasa merupakan komponen yang

penting dari berbagai industri dan telah banyak digunakan di mesin-mesin industri sebagai penggerak. Hal ini dikarenakan motor induksi tiga fasa memiliki kelebihan dari segi teknis dan segi ekonomis [3], [4]. Motor induksi yang sudah digunakan pasti akan mengalami penurunan torsi

dan efisiensi karena penurunan kemampuan nilai material. Permasalahan ini berpengaruh pada kinerja motor induksi. Bila hal itu dibiarkan dalam waktu yang panjang maka akan dapat mengganggu kinerja motor, dapat menimbulkan gangguan mekanis dan elektrik, bahkan mengurangi efisiensi kerja motor induksi. Motor induksi 3 fasa merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan prinsip induksi. Motor induksi dibagi menjadi dua berdasarkan jumlah fasanya, yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa [5].

Semua jenis motor dan generator listrik mempunyai rotor dan stator, dimana rotor merupakan bagian yang berputar, sedangkan stator merupakan bagian yang diam (statis). Pada dasarnya untuk konstruksi mesin listrik, mesin induksilah yang memiliki konstruksi yang paling sederhana, yang merupakan dasar diciptakannya mesin listrik lain (mesin sinkron dan mesin arus searah) [6].



Gambar 1. Bagian-Bagian Motor Induksi

Stator bagian motor yang diam terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Rotor merupakan bagian motor yang berputar terdiri dari rotor sangkar, poros rotor. Pada motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator.

Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Arus pada tiap fasa menghasilkan fluksi bolak-balik yang berubah-ubah. Amplitudo fluksi yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan fasa. Akibat fluksi yang berputar timbul gaya gerak listrik pada stator motor yang besarnya adalah [7]:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \Phi_m \quad (\text{Volt}) \quad (1)$$

Keterangan :

E_1 = Ggl pada stator (Volt)

f_1 = Frekuensi stator (Hz)

N_1 = Jumlah lilitan kumparan rotor

Φ_m = Fluksi maksimum (Wb)

Penjumlahan ketiga fluksi bolak-balik tersebut disebut medan putar yang berputar dengan

kecepatan sinkron n_s , besarnya nilai n_s ditentukan oleh jumlah kutub P dan frekuensi sumber tegangan f yang dirumuskan dengan :

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} \quad (\text{rpm}) \quad (2)$$

Atau :

$$\omega_s = 2 \times \pi \times n_s \quad (\text{rad/s})$$

penjelasan :

n_s = Kecepatan medan putar stator (rpm)

ω_s = Kecepatan sudut stator (rad/s)

P = Jumlah kutub

f = Frekuensi tegangan masukan (Hz)

Fluksi yang berputar tersebut akan membagi batang konduktor yang ada pada rotor. Maka kumparan rotor timbul tegangan induksi yang dinamakan GGL sebesar E_2 bernilai [8]:

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \Phi_m \quad (\text{Volt}) \quad (3)$$

Keterangan:

E_2 = Tegangan induksi pada saat tidak bergerak (Volt)

f_2 = Frekwensi rotor (Hz)

N_2 = Jumlah lilitan kumparan rotor

Φ_m = Fluksi maksimum (Wb)

Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl tersebut akan menghasilkan arus I_2 , dimana arus I_2 adalah arus pada rotor dalam satuan Amper. Adanya arus I_2 di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya F pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya F cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah medan putar stator. Perbedaan kecepatan medan stator (n_s) dan kecepatan rotor (n_r) disebut slip (s) dan dinyatakan dengan [9] :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (4)$$

Kecepatan putaran rotor :

$$n_r = (1 - s) \times n_s \quad (\text{rpm}) \quad (5)$$

Kecepatan sudut sinkron [10]:

$$\omega_r = (1 - s) \times \omega_s \quad (\text{rpm}) \quad (6)$$

Pada saat rotor dalam keadaan berputar, besarnya tegangan yang terinduksi pada kumparan rotor akan bervariasi tergantung besarnya slip. Tegangan induksi ini dinyatakan dengan E_{2s} yang besarnya [10] :

$$E_{2s} = 4,44 \cdot s \cdot f_1 \cdot N_m \cdot \Phi_m \quad (7)$$

Keterangan :

E_{2s} = Tegangan induksi pada rotor dalam keadaan berputar (Volt)

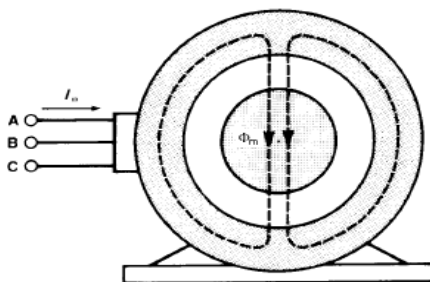
$s \cdot f_1$ = frekuensi rotor (rotor dalam keadaan berputar) (Hz)

N_2 = Jumlah lilitan kumparan stator

Φ_m = Fluks maksimum (Wb)
 Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi

Karakteristik Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar

Disaat motor bekerja dalam keadaan tak berbeban atau beban nol, arus stator memiliki besaran diantara 0,3 dan 0,5 pu (dari besaran arus *rating*). Arus beban nol ini mirip dengan arus eksitasi dari transformator. Dibutuhkan daya reaktif yang cukup besar untuk membangkitkan medan putar dan karena itu, pada keadaan tak berbeban, faktor dayanya sangat rendah. Effisiensinya nol karena tidak ada daya keluaran yang dibangkitkan.



Gambar 2. Fluks pada keadaan tanpa beban

Pada saat ada beban Arus pada rotor bisa menghasilkan GGM bahkan mengubah fluks bersamaan Φ_m . Hal ini menghasilkan aliran arus yang berlawanan pada stator.

Arus rotor tahan memiliki nilai yang besar, yaitu 5 sampai 6 kali dari arus *rating* motor induksi tiga fasa, sehingga rugi tembaga I^2R akan memiliki 25 sampai 36 kali lebih besar dari keadaan normal. Karena itu, tidak dibenarkan untuk menahan rotor lebih dari beberapa detik. Ada pula standar untuk melakukan perhitungan efisiensi menurut IEEE [11] adalah seperti Tabel 1.

Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan efisiensi dengan metode efisiensi tipe E1 (*segregated loss*). Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara masukan dan keluaran atau dalam bentuk energi listrik berupa perbandingan watt keluaran dan watt masukan. Definisi NEMA terhadap efisiensi energi adalah bahwa efisiensi merupakan perbandingan atau rasio dari daya keluaran yang berguna terhadap daya input total dan biasanya dinyatakan dalam persen, juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi-rugi [8], [12].

Tabel 1. Standar Untuk Mencari Nilai Efisiensi Motor

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 ekuivalen dengan pengukuran langsung pada rugi-rugi stray
7.	F1	Rangkaian ekuivalen dengan asumsi pada rugi-rugi stray
8.	C/F	Rangkaian ekuivalen yang dikalibrasikan peritik beban Metode C dengan pengukuran tak langsung rugi-rugi stray
9.	E/F	Rangkaian ekuivalen yang dikalibrasikan peritik beban Metode E dengan pengukuran langsung rugi-rugi stray
10.	E1/F1	Rangkaian ekuivalen yang dikalibrasikan peritik beban Metode E dengan asumsi nilai rugi-rugi stray

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

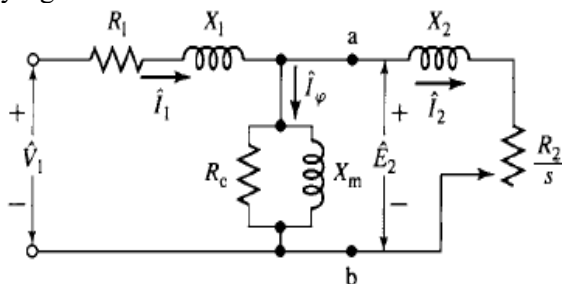
untuk mencari nilai efisiensi maka dilakukanlah berbagai cara yaitu [13]:

- Mengukur daya input dan daya output yang ada pada motor.
- Mengukur semua rugi-rugi daya dan juga daya inputnya.
- Dan terakhir kita mengukur setiap komponen rugi rugi daya dan masukan.

Motor induksi tiga fasa bergantung kepada proses induksi tegangan dan arus pada rotor dari rangkaian stator (aksi transformator). Karena induksi tegangan dan arus pada rangkaian rotor motor induksi tiga fasa inilah rangkaian ekuivalen motor induksi tiga fasa pada hakikatnya sama dengan rangkaian ekuivalen transformator [14].

Akan lebih mudah untuk menganalisis rangkaian fasa banyak, seperti motor induksi, jika dianggap rangkaian tersebut terhubung bintang (Y), agar nilai arus yang digunakan adalah arus fasa-fasa dan tegangan yang digunakan adalah tegangan fasa-netral. Dalam hal ini, rangkaian ekuivalen satu fasa dapat diturunkan, dengan pemahaman bahwa arus dan tegangan dari fasa lain dapat ditemukan dengan mudah dengan cara

menggeser fasa $\pm 120^\circ$ dari sudut fasa rangkaian yang diteliti.



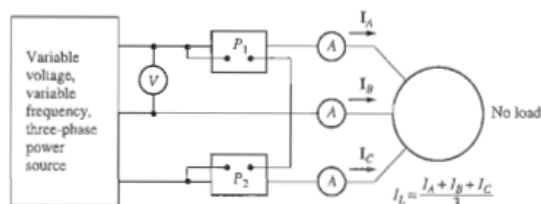
Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Pengukuran dan Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa dipergunakan untuk mendapatkan besaran parameter yang ada. Hal ini yang menjadi dasar rangkaian ekuivalen motor. Dengan mengacu pada IEEE 112 [11], dilakukan beberapa pengujian [8]:

- a. Pencarian nilai stator DC (R_1)

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}}$$

- b. Pencarian rugi-rugi putaran



gambar 4. Rangkaian Pengujian Beban Nol

- c. Melakukan Pengujian Tahan Rotor

Untuk melakukan praktek tersebut, kita harus menahan rotor supaya tidak bergerak. Tegangan diatur rendah, dengan memperhatikan secara saksama pembacaan arus dari alat ukur, lalu tegangan dinaikkan hingga pembacaan arus pada alat ukur sudah sesuai dengan arus *rating* pada *nameplate* motor. Pengujian ini harus dilakukan secara cepat untuk menghindari *overheating* motor induksi.

Teori Pencarian Rugi-Rugi Daya

- a. Rugi Gesekan dan Angin

Untuk menentukan gesekan dan kehilangan angin, kurangi stator I_2 Kehilangan R (pada suhu tes) dari total kerugian (yaitu, daya input) pada masing-masing titik tegangan uji dan plot kurva daya yang dihasilkan versus tegangan, memperpanjang kurva ke tegangan nol. Intersep dengan sumbu tegangan nol adalah gesekan dan kehilangan angin. Penyadapan ini dapat ditentukan lebih akurat jika daya input dikurangi stator $I^2 R$

Kerugian diplot terhadap tegangan kuadrat untuk nilai dalam kisaran tegangan yang lebih rendah. Gesekan dan windage Kerugian juga dapat ditentukan dengan melakukan analisis regresi linier menggunakan tiga atau lebih titik yang lebih rendah dari kurva kuadrat daya versus tegangan [11], [15].

- b. Rugi Stray

Nilai diasumsikan kehilangan stray-load digunakan dengan Metode Uji Efisiensi E1, F1, dan E1 / F1. Jika kehilangan stray-load tidak diukur dan dapat diterima oleh standar yang berlaku atau dengan kontrak nilai kehilangan stray-load pada beban yang dinilai dapat diasumsikan sebagai nilai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rugi Stray

Rating Motor (kW)	Rugi Stray
0,7457 sampai 90	1,8 %
91 sampai 375	1,5 %
376 sampai 1850	1,2 %
1851 keatas	0,9 %

Metode *Segregated Loss* merupakan salah satu metode untuk menentukan efisiensi motor induksi dengan cara memisahkan rugi-rugi daya, rugi-rugi daya tersebut adalah rugi tembaga stator (P_{SCL}), rugi inti (P_C), rugi tembaga rotor (P_{RCL}), rugi gesekan dan angin ($P_{F\&W}$), dan rugi liar (*stray*) (P_{STR}).

2. METODE PENELITIAN

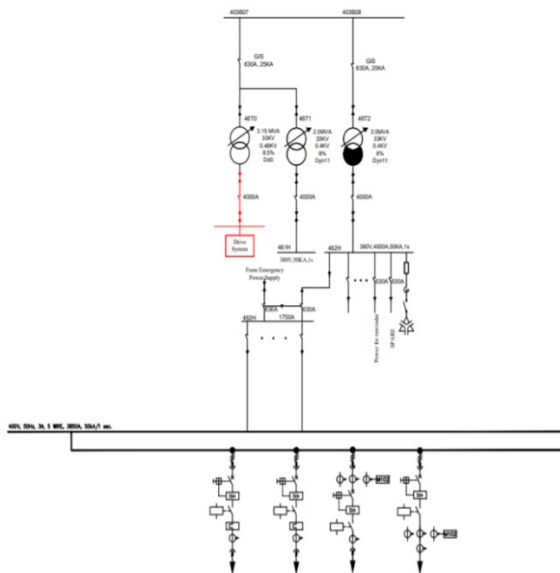
Motor yang digunakan adalah motor induksi bolak-balik tiga fasa dengan kapasitas 315 kW sebagaimana terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa

Uraian	Data
Merk	ABB
Tegangan (V)	400
Frekuensi (Hz)	50
Power (kW)	315
Kecepatan (rpm)	992
Arus Nominal (Amp)	572
Power Factor (Cos ϕ)	0,83
Rangkaian Hubungan Stator	Delta
Class of Temperature rise Motor	B
Arus Line Satrting Motor	$7 \times I_{nom}$
Torsi Nominal Motor (N.m)	3032
Torsi Input Motor	$2,5 \times T_{nom}$
Torsi Breakdown Motor	$2,7 \times T_{nom}$
Moment Inersia (GD^2 kgm ²)	13.500
Reaktansi Magnetisasi / X_m (Ohm)	0,89366
Tahanan Stator / R_1 (Ohm)	0,01129

Reaktansi Stator/ X_1 (Ohm)	0,02542
Tahanan Rotor Refrerensi Stator / R_2' (Ohm)	0,00344
Tahanan Rotor Refrerensi Stator / X_2' (Ohm)	0,01799

Sistem Kelistrikan *Tissue Machine Unit 4* (TM-4) PT. Pindo Deli Perawang seperti Gambar 5. Selanjutnya, spesifikasi Pompa yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah pada sisi penggerak Motor dan beban Pompa *Vacuum* dengan nomor identifikasi IP-4642U1253M seperti pada Gambar 6. Jenis Pompa yang digunakan untuk *Vacuum* merk *Cute Corporation* adalah jenis CVP-90L sesuai dengan *Nameplate* dan Katalog Pompa dengan *spesifikasi* lengkap seperti pada Table 4.



Gambar 5 sistem kelistrikan PT. Pindo Deli Perwang

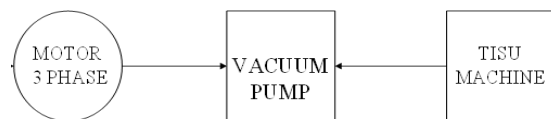


Gambar 6 Aplikasi Motor *Vacuum* di *Tissue Machine Unit 4* (TM-4)

Tabel 4 *Spesifikasi Pompa Cute Corporation*

Technical Data	
Pump type	CVP-90L
Capacity (CFM)	220M ³ / min
Operating Speed (RPM)	293
Operating Vacuum	-330 mmHg
Recommended Motor	250 kW 6P 50Hz
Momen Inersia	25,92 kg.m ²
Seal flow (m ³ /hr)	9-11

Berikut merupakan bentuk Diagram alir proses *Vacuum system Tissue Machine* PT. Pindo Deli Perawang seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram Alir *Vacuum System Tissue Machine* PT. Pindo Deli Perawang

Spesifikasi *Tissue Machine* PT. Pindo Deli Perawang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Spesifikasi *Tissue Machine*

Technical Data	
Merk <i>Machine</i>	Goldsun Machinery
Model	GSM T2830-1400
Basis Weight Range	11- 45 g/m ²
Paper Width on Reel	2630/2830 mm
Design Speed	1400 m/min
Operating Speed	1400 m/min

Data Pengukuran Tanpa Beban seperti Tabel 6. Data pada ini digunakan untuk pencarian rugi angin dan gesekan.

Tabel 6 Data pencarian rugi angin dan gesekan

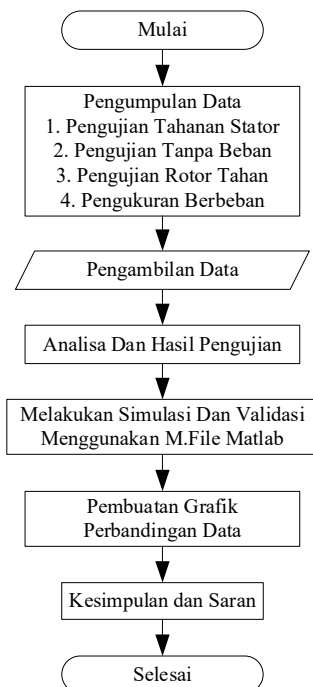
Tegangan Fasa-Fasa (V)	Arus Fasa-Fasa (A)	Arus Fasa-Netral (A)	Daya Input (W)	Rugi Tembaga Stator (W)	Rugi Rotasi (W)
50	37,33333	21,55441	1669	15,73575	1653,26425
100	64,42667	37,19675	1765	46,86248	1718,13752
150	95,82667	55,32555	1936	103,67325	1832,32675
200	127,56667	73,65065	2176	183,72504	1992,27496
250	159,76667	92,24133	2486	288,18163	2197,81837
300	191,30000	110,44711	2865	413,16534	2451,83466
350	223,20000	128,86458	3313	562,44793	2750,55207
395	251,93333	145,45378	3775	716,58087	3058,41913
400	255,13333	147,30130	3830	734,90017	3095,09983
405	258,33333	149,14882	3885	753,45069	3131,54931
410	261,50000	150,97710	3941	772,03560	3168,96440
415	264,66667	152,80537	3998	790,84694	3207,15306

Hasil *Test Report* Motor ABB adalah merupakan hasil dari *Test report* motor ABB yang terpasang dilapangan, sebagaimana terlihat pada Tabel 7:

Tabel 7 *Test report* motor ABB

Pengujian	Torsi (N.m)	Teg. Line (V)	f (Hz)	I _n (Amp)	P _n (kW)	P _{out} (kW)	n (r/min)	Cos φ	η (%)
Test Tanpa Beban		400 D	50	202,2	3,83		1000	0,03	
Test Rotor Terkunci		76,6 D	50	575,7	22,19		0	0,29	
Test Beban Penuh	3029	400,2 D	50	571,5	327,6	315	992	0,83	96,2
Test beban Parsial									
Beban 75%	2281	400,1 D	50	446,1	244,9	236,3	995	0,79	96,5
Beban 50%	1509	400,3 D	50	333,6	163,5	157,5	997	0,71	96,4
Beban 25%	762,2	400,2 D	50	244,4	83,1	78,8	998	0,49	94,7
Overload Torsi	160% dengan waktu 15 detik								

Penelitian ini Simulasi Motor Induksi Tiga Phasa menggunakan m file-nya software Matlab versi R2018b. Selain itu juga memanfaatkan m file program ini guna menyelesaikan permasalahan. Pada Simulink model yang digunakan untuk simulasi motor induksi tiga fasa adalah modul yang digunakan untuk simulasi motor induksi tiga fasa, modul mesin asinkron SI unit. Ada pengaturan jendela untuk blok ini. Untuk input mekanis, gunakan nilai torsi beban. Nilai parameter ini diperoleh dari uji resistansi stator, tanpa beban dan analisis resistansi rotor.



Gambar 8 Flowchart Langkah-langkah pembahasan

Pada penggunaan file .m MATLAB sebagai acuan untuk membandingkan hasil analisis pengukuran dengan hasil simulasi Simulink. Versi

yang digunakan adalah Matlab R2018b. Program yang sedang berjalan memerlukan hasil analisis parameter motor asinkron tiga fasa dan beberapa hasil analisis uji beban, seperti torsi beban dan slip. Hasil analisis efisiensi motor induksi tiga fasa dengan metode isolasi rugi pada dasarnya sama dengan nilai program file .m, karena rumus yang digunakan juga sama, jadi bandingkan hasil pengukuran dan hasil simulasi, hanya gunakan program berkas .m. Simulasi dan verifikasi Simulink yang diprogram dengan Matlab m.file memerlukan rangkaian ekuivalen motor induksi tiga fasa dan oleh karena itu memerlukan hasil uji resistansi stator, tanpa beban dan rotor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan perhitungan efisiensi tersebut, terlebih dahulu kita harus mencari rugi rugi yang ada di motor induksi :

a. Daya Input

Pada $\tau_{load} = 3029 \text{ N.m}$:

$$P_{input} = \sqrt{3} \times 400 \times 572,04453 \times 0,86515 = 342857,521 \text{ W}$$

b. Daya Output

Setelah melakukan perhitungan daya input, maka dari itu dapat ditentukan daya keluaran pada motor.

Pada $\tau_{load} = 3029 \text{ N.m}$

$$P_{out} = 329121,2392 - 3046,82 - 4725 = 321349,4192 \text{ W}$$

Analisis Daya Motor Induksi Tiga Phasa dadapat dilakukan dengan menghitung rugi daya celah udara pada motor induksi tiga phasa :

Pada $\tau_{load} = 3029 \text{ N.m}$

$$P_{AG} = 3x(507,13744)^2 \times \frac{0,00344}{0,008} = 331775,4427 \text{ W}$$

Menghitung daya yang dikonversikan pada motor induksi tiga phasa :

Pada $\tau_{load} = 3029 \text{ N.m}$

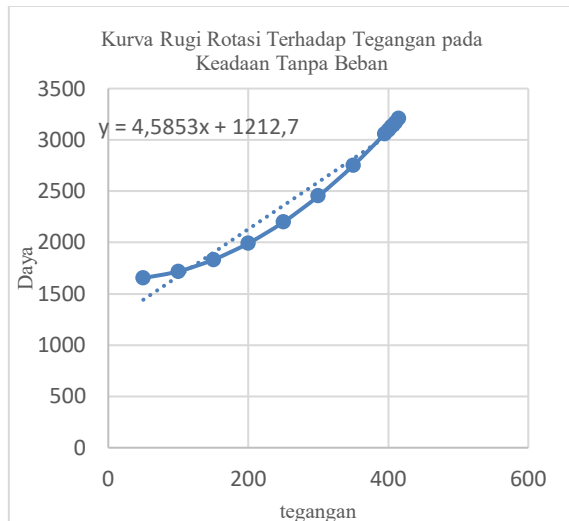
$$P_{CONV} = 3168,2221 \times 103,87232 = 329121,2392 \text{ W}$$

Untuk pencarian rugi gesekan & angin dan rugi stray dibawah berikut :

a. Rugi gesekan dan angin

Berdasarkan dari tabel 6 dan dibuat kurva sesuai dengan gambar 6 maka didapatkan kurva untuk rugi rotasi terhadap tegangan pada keadaan tanpa beban bisa dilihat pada gambar 6.

Berdasarkan kurva Gambar 9 maka dapat kita simpulkan rugi gesekan dan angin itu : $4,5853 \times 400 + 1212,7 = 3046,82$



Gambar 9 Kurva Rugi Rotasi Terhadap Tegangan pada Keadaan Tanpa Beban

b. Rugi Stray

Sesuai pada tabel 2 motor yang digunakan 315 kW berarti dikali dengan 1,5% maka hasilnya 4.725 W. Untuk mencari efisiensi motor induksi tiga fasa menggunakan persamaan 8 :

Pada $\tau_{load} = 3029 \text{ N.m}$

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{323149,4192}{342857} \times 100\%$$

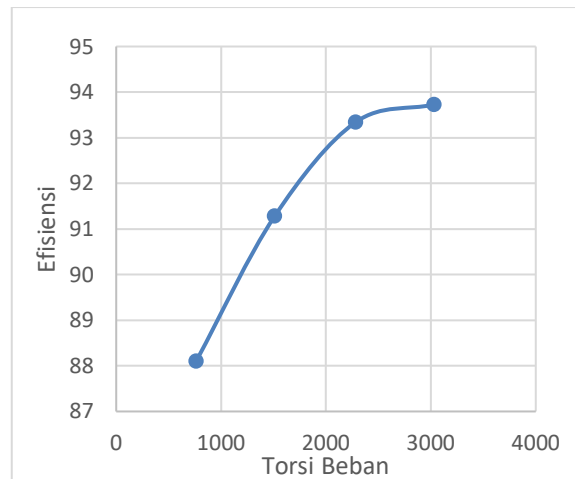
$$\eta = 93,7268 \%$$

Efisiensi motor induksi tiga fasa pada torsi beban 3029 N.m adalah 93,7268% maka untuk mengetahui efisiensi dan daya pada motor induksi tiga fasa disetiap perubahan torsi beban.

Tabel 8 Hasil Perhitungan Daya dan efisiensi

Beban (N.m)	Pout (W)	Efisiensi (%)
3029	321.000	93,7268 %
2281	243.900	93,3387 %
1509	163.900	91,2747 %
762,2	86.180	88,1024 %

Dari tabel 8, maka dapat memunculkan sebuah grafik efisiensi motor grafik tiga fasa terhadap perubahan torsi beban seperti pada gambar 10.



Gambar 10 Kurva Efisiensi terhadap Torsi Beban

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil data perhitungan analisis efisiensi motor induksi tiga fasa sebagai penggerak *vacuum* dengan metode *segregated loss* didapatkan hasil berbagai macam yaitu:

1. Setelah dilakukan perhitungan serta validasi didapat data efisiensi motor induksi tiga fasa sebagai berikut : pada saat beban 100% untuk perhitungan manual nilai efisiensi yang didapat adalah 93,7268 %, pada saat beban 75% untuk perhitungan manual nilai efisiensi yang didapat adalah 93,3387 %, pada saat beban 50% untuk perhitungan manual nilai efisiensi yang didapat adalah 91,2747 %, pada saat beban 25% untuk perhitungan manual nilai efisiensi 88,1024 %. Untuk perhitungan menggunakan Simulink matlab pada saat beban 100% efisiensi yang didapat adalah 93,71% pada saat beban 75% efisiensi yang didapat 93,62% pada saat beban 50% efisiensi yang diadapat 92,66% dan beban 25% efisiensi yang didapat 88,82%. Maka dapat disimpulkan efisiensi motor induksi dapat berubah tergantung beban yang diberikan.
2. Perhitungan dengan metode *segregated loss* ini memiliki kelebihan yaitu dapat dilakukan evaluasi kondisi motor induksi tanpa menghentikan kerja motor induksi, selain itu perhitungan lebih akurat karena memasukkan rugi-rugi stray dan rugi-rugi angin dan gesekan dalam perhitungan. Sedangkan kelemahannya, rugi-rugi angin dan gesekan dalam perhitungan biasanya

tidak diukur secara aktual karena agak sulit dilakukan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Sinaga, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "Pengaruh Kapasitor Terhadap Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa di PT. Malindo Karya Lestari," *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 2, pp. 85–93, 2021.
- [2] 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.
- [3] A. Yulizar, E. Zondra, and M. Monice, "Studi Konsumsi Energi Terhadap Perubahan Kecepatan dan Beban Pada Motor Induksi Tiga Fasa," *SainETIn*, vol. 6, no. 1, pp. 23–31, 2021.
- [4] R. A. Rangkuti, A. Atmam, and E. Zondra, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)," *Jurnal Teknik*, vol. 14, no. 1, pp. 121–128, 2020.
- [5] M. Al, A. Atmam, and E. Zondra, "Analisis Harmonisa Menggunakan Filter Pasif Pada VSD Dengan Beban Motor Electrical Submersible Pump Di PT. CPI," *Jurnal Teknik*, vol. 15, no. 1, pp. 9–17, 2021.
- [6] M. Wijaya, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Penerbit Djambatan, 2001.
- [7] R. Krishnan, *Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control*, 1st ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [8] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [9] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, and S. D. Umans, *Electric Machinery*, 6th ed. Boston: McGraw-Hill, 2005.
- [10] D. Noviandri, E. Zondra, and A. Atmam, "Evaluasi Kinerja Motor Coal Feeder Di PLTU Tenayan Raya Terhadap Pengaruh Perubahan Frekuensi," *Jurnal Teknik*, vol. 16, no. 1, pp. 88–95, 2022.
- [11] "IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators," *IEEE Std 112-2017 (Revision of IEEE Std 112-2004)*. pp. 1–115, 2018.
- [12] 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.
- [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] T. Wildi, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 6th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2006.
- [15] H. Eteruddin, A. Rahman, M. P. Halilintar, and A. Tanjung, "Evaluasi Indeks Konsumsi Energi Listrik Di Rumah Sakit Islam Ibnu Sina Pekanbaru," *Elementer*, vol. 7, no. 2, pp. 42–50, 2021.