

ANALISIS NILAI EFISIENSI MOTOR INDUKSI DENGAN DIAGRAM LINGKARAN

Jayadi

Email:Jayadi@yahoo.com

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Musamus Merauke
Jl. Kamizaun Mopah Lama Merauke

ABSTRAK

Penggunaan motor induksi sebagai tenaga penggerak semakin banyak dijumpai baik di industri maupun rumah tangga. Salah satu parameter motor listrik yang perlu diketahui dalam penggunaannya yaitu nilai efisiensi. Dalam perencanaan dan pemasangan motor listrik, nilai efisiensi berguna bagi penentuan kapasitas daya yang harus disediakan. Nilai efisiensi semestinya dinyatakan pada data tekniknya namun beberapa produk motor listrik tidak menyatakannya.

Untuk mengetahui nilai efisiensi dimaksud dapat dilakukan analisis berdasarkan data teknik dan data hasil pengujian. Dalam penelitian ini dilakukan analisis nilai efisiensi dengan menggunakan diagram lingkaran yang didasarkan hasil pengujian beban nol dan hubung singkat. Pengujian beban nol dan hubung singkat akan menentukan garis daya keluaran dan titik pusat diagram lingkarannya. Analisis efisiensi dilakukan pada berbagai kondisi kerja motor dengan menentukan daya keluaran dan masukan melalui diagram lingkaran dimaksud.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai efisiensi pada beban penuh (nominal) motor induksi induksi rotor sangkar 3 fase; 50 Herz ;1380 rpm;1,9/11 A;220/380 V; 0,37 Kw mencapai 73,19 %.

Kata kunci : Motor induksi, diagram lingkaran, nilai efisiensi

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Penggunaan mesin induksi sebagai tenaga penggerak semakin banyak dijumpai baik dalam peralatan rumah tangga maupun industri karena disamping harganya yang jauh lebih murah dari mesin lainnya, juga konstruksinya yang sangat efisien serta mudah dalam perawatannya. Hal ini mendorong penyediaan mesin induksi marak dikembangkan. Pengembangan produksi mesin induksi ini nampak pada banyaknya produk-produk dengan persaingan harga yang menyolok, antara perusahaan satu dengan lainnya.

Dalam data teknik mesin induksi umumnya yang tercantum nilai nominal dari tegangan, arus, frekuensi dan daya keluarannya. Spesifikasi data tersebut bagi praktisi elektrik dirasa belum lengkap

tanpa adanya data efisiensi penggunaan daya listrik yang harus ditanggung. Nilai efisiensi penggunaan daya ini perlu diketahui agar praktisi elektrik dapat lebih mudah dalam perencanaan pemasangan mesin induksi sesuai dengan kapasitas daya yang tersedia.

Cara sederhana untuk melakukan analisis efisiensi penggunaan daya tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan diagram lingkaran mesin induksi yang bersangkutan. Hal ini dikarenakan data yang diperlukan hanya melalui pengujian beban nol dan pengujian hubung singkat (rotor diblok) pada mesin induksi.

Dengan analisis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Disamping itu dengan analisis ini diharapkan nilai efisiensi yang diperoleh

dapat menjadi bahan informasi yang berguna bagi praktisi elektrik dalam perencanaan dan pemasangannya, akhirnya dapat mendukung hasil kerja yang lebih baik bagi pengguna mesin induksi dalam peralatan rumah tangga maupun industri.

Rumusan Masalah

Penelitian ini akan mempelajari masalah analisis nilai efisiensi mesin induksi dengan menggunakan diagram lingkaran. Dalam hal ini diagram lingkaran dibuat dengan data hasil pengujian beban nol dan hubung singkat (rotor diblok).

Tujuan Penelitian

Dengan analisis nilai efisiensi mesin induksi menggunakan diagram lingkaran, maka penelitian ini bertujuan untuk menemukan nilai efisiensi mesin induksi yang berguna bagi praktisi elektrik dalam perencanaan dan pemasangannya.

Batasan Masalah

Permasalahan menyangkut analisis nilai efisiensi mesin induksi menggunakan diagram lingkaran pada motor induksi sangat luas sehingga perlu batasan dan asumsi yang menyangkut pembahasan dari penelitian sebagai berikut :

1. Penggambaran diagram lingkaran didasarkan pada data hasil pengujian beban nol dan hubung singkat (rotor diblok).
2. Analisis efisiensi maksimum motor induksi diperoleh dengan membandingkan efisiensi pada kondisi beban $\frac{1}{4}$ beban penuh, $\frac{1}{2}$ beban penuh, $\frac{3}{4}$ beban penuh dan beban penuh.

Manfaat Penelitian

Dapat memberi masukan dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya masalah analisis nilai efisiensi mesin induksi menggunakan diagram lingkaran, serta memberi masukan bagi praktisi elektrik dalam perencanaan dan pemasangan mesin induksi sebagai penggerak peralatan rumah tangga dan industri

TINJAUAN PUSTAKA

Sebagian besar analisis karakteristik motor induksi dengan metode grafis hal ini sudah dikembangkan sejak tahun 1894. Metode grafis dari

analisis motor induksi yang lebih praktis adalah dengan diagram lingkaran, karena dari diagram lingkaran tersebut dapat langsung dibaca karakteristik motor.¹⁾

Menurut Dr.A.S. Mc. Allister penurunan diagram lingkaran didasarkan pada rangkaian ekuivalen motor induksi. Rangkaian ekuivalen dimaksud yang digunakan dengan mengabaikan efek arus magnetisasi pada impedansi stator sehingga disebut rangkaian ekuivalen pendekatan motor induksi.

B.L Theraja (2002) memberikan langkah-langkah penggambaran diagram lingkaran dengan menggunakan data-data yang diperoleh berdasar pengujian beban nol, hubung singkat dan resistansi stator. Berdasar diagram lingkaran yang diperoleh nilai dari daya masukan dan keluaran sehingga dapat dianalisis efisiensi motor induksi.

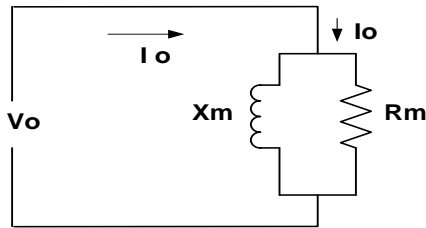
Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi didasarkan pada prinsip induksi magnetik antara putaran medan magnetik yang dihasilkan oleh arus yang diberikan sumber daya kepada kumparan stator dan arus induksi dalam kumparan rotor ketika terpotong oleh putaran medan . Jadi prinsip kerja motor induksi secara fisik seperti pada transformator dimana stator dapat diasumsikan sebagai primer dan rotor sebagai sekunder, hanya saja dalam hal ini rotor dapat berputar dengan kecepatan n_r ,sedangkan kecepatan medan putar pada lilitan stator n_s .

Interaksi elektromagnetik antara dua bagian mesin induksi hanya terjadi ketika putaran medan (n_s) dan rotor (n_r) berbeda, yaitu pada kondisi $n_s \neq n_r$. Karena pada saat $n_s = n_r$ medan relatif tetap terhadap rotor dan tidak ada arus yang akan diinduksikan dalam lilitan rotor.

1. Mesin Induksi Beban Nol

Apabila mesin induksi dihubungkan dengan sumber listrik dalam keadaan tanpa beban mekanik (beban nol), rangkaian ekuivalen dapat ditunjukkan seperti gambar 2.2 berikut :

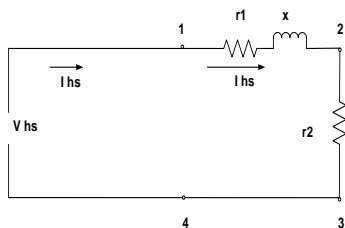


Gambar 1. Rangkaian ekivalen mesin induksi beban nol

Nampak bahwa arus yang mengalir hanya diperlukan bagi rangkaian kemagnitan semata tanpa adanya daya keluaran yang dimanfaatkan, hingga daya yang terserap dalam keadaan ini disebut sebagai kerugian yang biasa disebut rugi inti. Daya rugi ini tetap nilainya, yang berarti pada saat mesin induksi dibebani daya ini harus disuplai sebagai dasar bekerjanya rangkaian magnetik pada rotor dan stator mesin induksi

Mesin Induksi Hubung Singkat

Dalam keadaan hubung singkat arus stator sangat besar mencapai enam kali arus nominalnya. Slip sama dengan satu, yang berarti $r_2/s = r_2$ dimana r_2 adalah resistan rotor yang direfleksikan ke stator. Karena I_2' sangat besar dibandingkan dengan I_o , cabang rangkaian magnetik dapat diabaikan. Rangkaian ekivalennya menjadi seperti gambar 2 berikut :



Gambar 2. Rangkaian ekivalen mesin induksi hubung singkat

Nilai r_1 , x dan r_2 ditentukan dengan mengukur tegangan, arus dan daya pada saat hubung singkat.

$$S_{hs} = V_{hs} \cdot I_{hs} \cdot \sqrt{3} \quad (1)$$

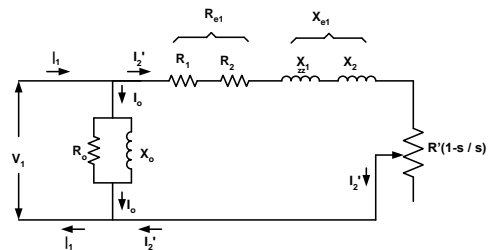
$$Q_{hs} = \sqrt{S_{hs}^2 - P_{hs}^2} \quad (2)$$

$$x = Q_{hs} / 3 (I_{hs})^2 \quad (3)$$

$$r_2 = (P_{hs}/3 (I_{hs})^2) - r_1 \quad (4)$$

Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Rangkaian ekivalen yang digunakan untuk menggambarkan diagram lingkaran motor induksi didasarkan pada rangkaian ekivalen pendekatan seperti gambar 2.4 berikut :



Gambar 3 Rangkaian ekivalen pendekatan

Rangkaian ekivalen pendekatan ini dibuat untuk mempermudah perhitungan, dari gambar 3 tersebut Z_1 dan Z_2 dapat langsung dijumlahkan (seri), kemudian diparalellkan dengan Z_o .

Daya Motor Induksi

Dengan memperhatikan rangkaian ekivalen gambar 2.4 diketahui bahwa :

Daya masuk stator :

$$P_1 = 3 V_1 I_1 \cos \varphi \quad (5)$$

Daya masuk rotor (tedapat pada celah udara) :

$$P_2 = 3 E_1 I_2' \cos \varphi$$

$$= 3 (I_2')^2 r_2/s \quad (6)$$

Rugi tembaga rotor :

$$P_{cu} = 3 (I_2')^2 \cdot r_2 \quad (7)$$

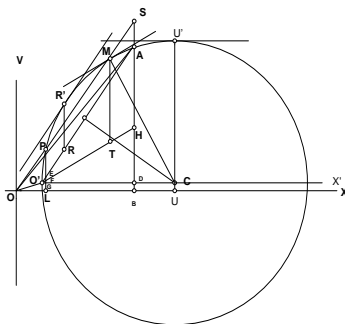
Daya keluar rotor (daya mekanik pada rotor termasuk rugi geser dan angin)

$$P_m = P_2 - P_{cu} \quad (8)$$

1. Diagram Lingkaran Mesin Induksi

Rangkaian ekivalen gambar 2.4 menunjukkan bahwa perubahan beban akan mempengaruhi nilai slip, dengan demikian setiap perubahan beban akan mengalami perubahan nilai analisis rangkaian berdasarkan rangkaian ekivalen, hal ini kurang praktis. Untuk itu cara analisis mesin induksi yang telah dikembangkan kemudian yaitu dengan diagram lingkaran.

Cara ini dikembangkan oleh Dr.A.S.Mc Allister, dengan berdasar pada rangkaian ekivalennya (Hamzah Ibrahim,1999). Diagram lingkaran mesin induksi dapat ditunjukkan seperti gambar 2.5 berikut ini :



Gambar 2.5 Diagram lingkaran motor induksi

Keterangan :

- a) Garis O-O' merupakan vektor arus beban nol
- b) Garis O-A merupakan vektor arus hubung singkat pada tegangan nominal
- c) Garis O'-A merupakan garis daya keluaran.
- d) Garis O'-H merupakan garis torsi.
- e) Garis A-D merupakan garis rugi daya total
- f) Garis A-H merupakan rugi tembaga rotor
- g) Garis H-D merupakan rugi tembaga stator

h) Garis D-B merupakan rugi celah udara(angin) dan gesek

i) Garis R-R' merupakan daya keluaran maksimum

j) Garis M-T merupakan torsi maksimum

k) Garis U-U' merupakan daya masukan maksimum

3. Analisis Efisiensi

Berdasarkan diagram lingkaran diperoleh nilai daya masuk, rugi daya dan daya keluaran dengan demikian dapat diperoleh analisis efisiensi motor induksi.

METODOLOGI PENELITIAN

Materi Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan mesin induksi rotor sangkar 3 fase; 50 Herz ;1380 rpm;1,9/11 A;220/380 V; 0,37 Kw. Adapun materi penelitian meliputi :

- 1) Pengujian mesin induksi beban nol.
- 2) Pengujian mesin induksi hubung singkat.
- 3) Pengujian resistansi kumparan stator mesin induksi.
- 4) Penggambaran diagram lingkaran motor induksi.
- 5) Analisis efisiensi motor induksi berdasar diagram lingkarannya.

Metode Analisis

Data yang diamati dalam penelitian adalah data hasil penggambaran diagram lingkaran mesin induksi yang terdiri dari :

- a) Daya masukan total
- b) Daya mekanik (keluaran)
- c) Rugi tembaga rotor
- d) Rugi tembaga stator
- e) Rugi angin dan gesek.

Nilai efisiensi diperoleh dengan persamaan umum efisiensi :

$$= \frac{\text{Dayakeluaran}}{\text{Dayamasuk}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Dayakeluaran}}{\text{Dayakeluaran} + \text{DayaRugi} - \text{rugi}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dalam penelitian ini dianalisis efisiensi motor induksi pada berbagai kondisi beban yang didasarkan pada hasil penggambaran diagram lingkarannya.

Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah :

1. Pengujian beban nol motor induksi.
2. Pengujian hubung singkat motor induksi.
3. Penggambaran diagram lingkaran motor induksi.
4. Analisis efisiensi berdasarkan diagram lingkaran yang digambarkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian motor induksi

Pengujian yang diperlukan untuk menggambarkan diagram lingkaran motor induksi yaitu dengan pengujian beban nol dan hubung singkat (rotor dikunci). Data hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Pengujian beban nol dan hubung singkat

Pengujian	V (Volt)	I (Amper)	P (Watt)	f (Herz)	Cos ϕ
Beban Nol	380	0,75	300	50	0,15
Hubung Singkat	120	1,1	180	39	0,70

Penggambaran Diagram Lingkaran

Diagram lingkaran motor induksi dapat digambarkan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Beban Nol :

$$\text{Cos } \phi_0 = 0,15; \phi_0 = \text{Cos}^{-1}(0,15) = 81,37^\circ$$

Hubung Singkat :

$$\text{Cos } \phi_{HS} = 0,70; \phi_{HS} = \text{Cos}^{-1}(0,70) = 45,57^\circ$$

Arus hubung singkat pada tegangan nominal = $(380/120) \times 1,1 \text{ A} = 3,48 \text{ A}$

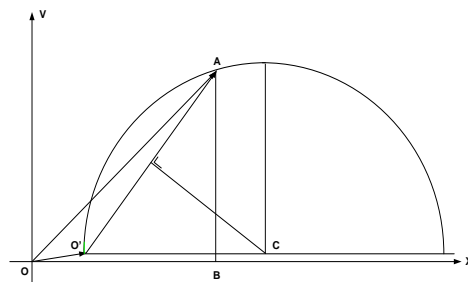
Skala arus : 1 in = 1 Amper

- 1). Vektor arus beban nol = 0,75 in (O-O') dengan sudut (ϕ_0) = $81,37^\circ$ terhadap sumbu vertical V
- 2). Vektor arus hubung singkat pada tegangan nominal = 3,48 in (O-A) dengan sudut $45,57^\circ$ terhadap sumbu vertical (V)
- 3). Tarik garis dari titik O' menghubungkan titik A sebagai garis daya keluaran.
- 4). Buat garis dari O' sejajar OX
- 5). Buat garis sumbu untuk garis daya keluaran memotong di C sebagai titik pusat diagram lingkaran motor induksi.
- 6). Tarik garis dari titik A tegak lurus memotong sumbu X di titik B sebagai daya masukan total pada kondisi hubung singkat.
- 7). Ukur panjang garis AB untuk menentukan skala daya, terukur vektor daya masukan kondisi hubung singkat AB = 2,43 in. Mengingat daya masukan pada kondisi ini adalah :

$$\sqrt{3} \times 380 \times 3,48 \times 0,7 = 1603 \text{ Watt, maka :}$$

Skala daya: 1 in = $1603/2,43 = 659,67 \text{ Watt}$

Diagram lingkaran dapat diperlihatkan seperti gambar



Dengan diagram ini dapat ditentukan efisiensi motor induksi dalam berbagai kondisi.

Analisis efisiensi

Analisis nilai efisiensi motor induksi dapat dilakukan dengan menentukan titik operasi pada diagram lingkarannya. Dalam hal ditentukan dengan cara mengukur vector yang mewakili nilai daya keluaran dan daya masukan pada masing-masing kondisi, sesuai dengan skala daya yang bersangkutan.

1). **Kondisi daya keluaran ¼ beban penuh**

Perpanjang garis A sepanjang beban ¼ beban penuh (AS_1) = 0,1402 in, tarik garis dari S_1 sejajar dari daya keluaran O'A. Daya keluaran ¼ beban penuh adalah :

$$Q - O' = 0,1475 \text{ in}$$

$$= 0,1475 \times 659,67 = 97,30133 \text{ Watt}$$

Daya masuk

$$Q - L_{1/4} = 0,2475 \text{ in}$$

$$= 0,2475 \times 659,67 = 163,2683 \text{ Watt}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{97,30133}{163,2683} \times 100\% = 59,596 \%$$

2). **Kondisi daya keluaran ½ beban penuh**

Perpanjang garis A sepanjang beban ½ beban penuh (AS_2) = 0,2804 in, tarik garis dari S_2 sejajar dari daya keluaran O'A. Daya keluaran ½ beban penuh adalah :

$$S - S' = 0,32 \text{ in}$$

$$= 0,32 \times 659,67 = 211,0944 \text{ Watt}$$

Daya masuk

$$S - L_{1/2} = 0,42 \text{ in}$$

$$= 0,42 \times 659,67 = 277,0614 \text{ Watt}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{211,0944}{277,0614} \times 100\% = 76,1905 \%$$

3). **Kondisi daya keluaran ¾ beban penuh**

Perpanjang garis A sepanjang beban ¾ beban penuh (AS_3) = 0,4207 in, tarik garis dari S_3 sejajar dari daya keluaran O'A. Daya keluaran ¾ beban penuh adalah :

$$T - T' = 0,4788 \text{ in}$$

$$= 0,4788 \times 659,67 = 315,85 \text{ Watt}$$

Daya masuk

$$T - L_{3/4} = 0,58 \text{ in}$$

$$= 0,58 \times 659,67 = 382,6086 \text{ Watt}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{315,85}{382,6086} \times 100\% = 82,5517 \%$$

4). **Kondisi daya keluaran beban penuh**

Perpanjang garis A sepanjang beban penuh (AS_4) = 0,561 in, tarik garis dari S_4 sejajar dari daya keluaran O'A.

Daya keluaran beban penuh adalah :

$$P - Q = 0,6075 \text{ in}$$

$$= 0,6075 \times 659,67 = 400,7495 \text{ Watt}$$

Daya masuk

$$P - L = 0,83 \text{ in}$$

$$= 0,83 \times 659,67 = 547,5261 \text{ Watt}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{400,7495}{547,5261} \times 100\% = 73,1928 \%$$

5). **Kondisi daya keluaran maksimum**

Tarik garis sejajar garis daya keluaran O'A menyinggung garis setengah lingkaran di R.

Daya keluaran maksimum adalah :

$$R - R' = 0,85 \text{ in}$$

$$= 0,85 \times 659,67 = 560,7195 \text{ Watt}$$

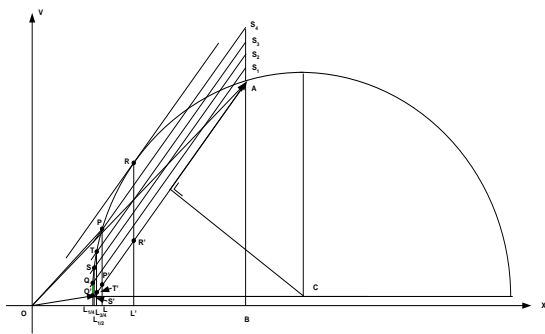
Daya masuk

$$R' - L' = 1,55 \text{ in}$$

$$= 1,55 \times 659,67 = 1022,489 \text{ Watt}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{560,7195}{1022,449} \times 100\% = 54,8387 \%$$

Gambar analisis ini ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar analisis efisiensi berdasar diagram lingkaran motor induksi

Pembahasan

Berdasarkan analisis efisiensi motor induksi dengan menggunakan diagram lingkarannya diperoleh hasil seperti tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil analisis efisiensi

No	Kondisi beban	Efisiensi (%)	Keterangan
1	¼ beban penuh	59,596	
2	½ beban penuh	76,1905	
3	¾ beban penuh	82,5517	efisiensi maksimum
4	beban penuh	73,1928	
5	beban maksimum	54,8387	efisiensi minimum

Dengan demikian nampak bahwa efisiensi maksimum terjadi pada kondisi motor memikul ¾ beban penuh sedangkan efisiensi minimum terjadi pada kondisi motor beban memikul beban maksimum. Pada kondisi beban penuh motor yang bersangkutan mencapai efisiensi 73,1928 % .jaringan distribusi lebih besar dari pada tahanan nya.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Analisis nilai efisiensi motor induksi dapat dilakukan dengan pendekatan diagram lingkaran yang diperoleh dengan pengujian beban nol dan hubung singkat.
2. Nilai efisiensi yang diperoleh sebagai berikut :
 - a) Maksimum 82,5517 % pada ¾ beban penuh
 - b) Minimum 54,8387 % pada beban maksimum.
 - c) Nominal 73,1928 % pada beban penuh
3. Spesifikasi efisiensi sebagai kelengkapan data teknik motor induksi dapat diperoleh dengan melalui diagram lingkarannya.

Saran

Mengingat pentingnya informasi nilai efisiensi bagi praktisi elektrik maka perlu penelitian lebih lanjut dalam penentuan nilai efisiensi motor induksi sehingga berguna dalam perencanaan dan pemasangannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Berahim,H,1999, “ *Mesin Tak Serempak*”, Jurusan Teknik Elektro Fak.Teknik UGM, Yogyakarta.
2. Kostenko, M, 1962,“*Electrical Machine*”, Voleme II, Alternating Current Machiner,Translate from Russian by A. Chernukliem , Mir Publisher, Moskow
3. Langsdrof,A.S,1974.” *Theory of Alternating Current Machinery*” ,Second Edition,Mc.Graw Hill Book Company, Inc.,New York
4. Mc.Pheron,G.,1981,“*An Introduction to Electrical Machines and transformers*”, JohnWilly & Son,Inc., USA.
5. Wildi,T,2002,“*Electrical Machines,Drives and Power System*”, Pearson Education,Inc.,New Jersey