

Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran Dan DayaMasuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN)

Ir. Leonardus Siregar, M.T.¹⁾, Rudianto Silaen²⁾, Jubel Lasro Hutabarat³⁾
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen
email : leonardus.siregar@uhn.ac.id

Abstrak

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektro magnetis yang mengubah energy listrik menjadi energy mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, borlistrik, fan angin) dan di industri. Motor listrik kadang kala disebut “kuda kerja” nya industry sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Dan pada saat ini daya dari sumber daya yaitu PLN (Perusahaan Listrik Negara) sering terjadi perubahan tegangan. Oleh karena itu perlu diketahui dengan cara perhitungan putaran dan daya masukan yang dipengaruhi perubahan beban dari suatu motor induksi sebagai gambaran motor induksi di masyarakat yang padaumumnya menggunakan motor induksi satu fasa. Pada penelitian ini digunakan motor induksi 3 fasa rotor sangkar 4 HP dengan tegangan 380/220 volt di laboratorium konversi energy listrik FT-UHN.

Kata kunci :Perubahan beban, putaran motor, motor induksi

Abstract

An electric motor is an electro-magnetic device that converts electrical energy into mechanical energy. This mechanical energy is used to, for example, rotate a pump impeller, fan or blower, drive a compressor, lift materials, etc. Electric motors are also used at home (mixers, electric drills, wind fans) and in industry. Electric motors are sometimes called the "workhorse" of industry because it is estimated that they use about 70% of the industry's total electrical load.

And at this time the power from the power source, namely PLN (State Electricity Company) often changes in voltage. Therefore, it is necessary to know by calculating the rotation and input power which is influenced by changes in the load of an induction motor as an illustration of induction motors in society which generally use single-phase induction motors. In this article, a 4 HP cage rotor 3-phase induction motor with a voltage of 380/220 volts is used in the electrical energy conversion laboratory of FT-UHN.

Keywords :Changes in load, motor rotation, induction motor

PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas diaplikasikan dalam dunia industri dan juga dalam rumah tangga. Motor ini mempunyai banyak keuntungan yaitu konstruksi yang kuat, sederhana serta membutuhkan perawatan yang tidak banyak. Pada saat ini banyak digunakan motor induksi baik motor induksi satu fasa atau tiga fasa dalam kehidupan industri. Oleh sebab itu perlu untuk diketahui bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap putaran dan daya masuk dari motor tersebut, terutama pada motor induksi tiga fasa. Dengan mengetahui putaran dari motor tersebut, maka industri dan masyarakat dapat mempertimbangkan akan menggunakan motor

induksi yang akan digunakan dalam kehidupan sehari – hari dan hubungannya dengan perubahan berbagai beban.

Pada penelitian ini, penulis akan menggambarkan bagaimana suatu motor induksi yang terdapat pada laboratorium konversi energi listrik UHN sebagai contoh dasar yang digunakan sebelum masyarakat dan industry memilih motor – motor induksi yang diperdagangkan di pasaran.

DASAR TEORI

Motor Induksi

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak-balik (*ac*) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan

pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip.

Motor induksi, merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatannya, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Mesin induksi adalah mesin *ac* yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Alasannya adalah bahwa karakteristiknya hampir sesuai dengan kebutuhan dunia industri, pada umumnya dalam kaitannya dengan harga, kesempurnaan, pemeliharaan, dan kestabilan kecepatan. Mesin induksi (asinkron) ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.

Hampir semua motor *ac* yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di perindustrian. Motor induksi tiga fasa sangat banyak dipakai sebagai penggerak di perindustrian karena banyak memiliki keuntungan, tetapi ada juga kelemahannya.

Keuntungan motor induksi tiga fasa adalah:

1. motor induksi tiga fasa sangat sederhana dan kuantitatifnya motor dengan rotor sangkar.
2. biayanya murah dan keandalannya tinggi.
3. motor induksi tiga fasa memiliki efisiensi yang tinggi pada kondisi kerja normal.
4. perawatannya mudah.

Dan kerugiannya adalah:

1. kecepatannya tidak bisa bervariasi tanpa merubah efisiensi.
2. kecepatannya tergantung beban.
3. pada torsi start memiliki kekurangan.

Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah motor *ac* yang paling banyak dipergunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator bagian yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara yang jaraknya sangat kecil. Konstruksi motor induksi dapat diperlihatkan pada gambar 1.

Komponen stator adalah bagian terluar dari

motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti diisolasi dengan kertas (Gambar 2(b)). tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi (Gambar 2 (a)). Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120° . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (Gambar 2(c)). Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga fasa. Hal ini dapat kita lihat pada gambar 2.

Jenis Motor Induksi Tiga Fasa

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

1. motor induksi tiga fasa sangkar tupai (squirrel-cage motor)
2. motor induksi tiga fasa rotor belitan (wound-rotor motor)

Kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan mempunyai konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

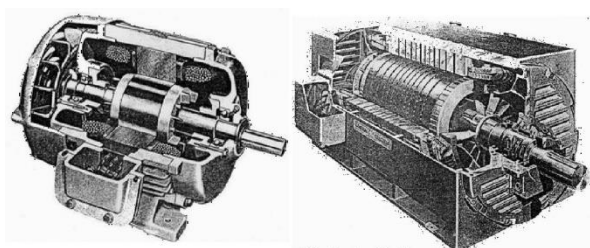
Motor Induksi Tiga Fasa Sangkar Tupai (Squirrel-cage Motor)

Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga fasa terbuat dari lapisan – lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan – lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y).

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan ke dalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang

rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar.

Pada ujung cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah. Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar Ukuran Kecil
(b) Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar Ukuran Besar

Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan (wound-rotor motor)

Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dan masing – masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor yang terhubung ke sebuah tahanan variabel eksternal yang berfungsi membatasi arus pengasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil dibanding dengan rotor sangkar.

Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Bila sumber tegangan listrik tiga fasa yang seimbang, dihubungkan ke terminal belitan stator dari suatu motor induksi tiga fasa maka pada masing-masing belitan akan mengalir arus listrik yang sinusoidal yang besarnya dapat dituliskan sebagai berikut :

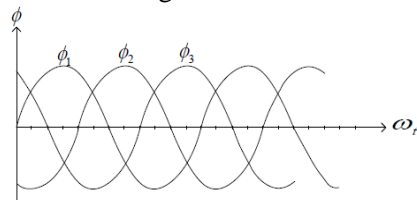
$$I = I_m \cdot \sin \omega t \dots \dots \dots (1)$$

Arus pada masing-masing belitan stator akan menghasilkan fluksi (medan magnet) yang juga berbentuk sinusoidal sehingga dapat

dituliskan sebagai berikut :

$$\phi = \phi_m \cdot \sin \omega t \dots \dots \dots (2)$$

Dimana bentuk gelombang fluksi tiga fasa yang sama dan seimbang tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. Fluksi 3 fasa

Dimana bentuk gelombang fluksi tiga fasa yang sama dan seimbang tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :

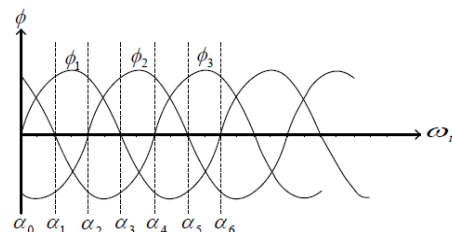
Untuk sistem tiga fasa yang seimbang, maka persamaan masing-masing fluksi adalah:

$$\phi_1 = \phi_m \cdot \sin \omega t \dots \dots \dots (3)$$

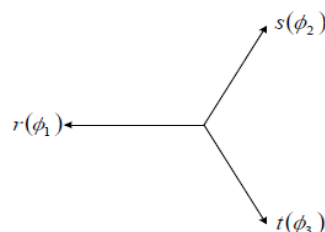
$$\phi_2 = \phi_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \dots \dots \dots (4)$$

$$\phi_3 = \phi_m \cdot \sin(\omega t - 240^\circ) \dots \dots \dots (5)$$

Besarnya resultan fluksi yang konstan pada motor induksi tiga fasa dikenal sebagai medan putar. Hal ini dapat kita lihat pada hal selanjutnya. Adapun analisis menentukan besar resultan fluksi pada motor induksi tiga fasa dapat dijelaskan gambar di bawah ini :

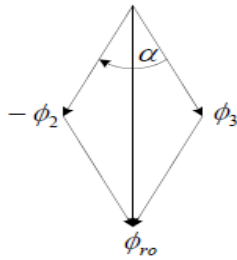


Gambar 3. Analisis Resultan Fluks



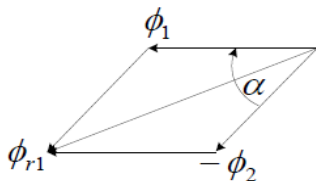
Gambar 4. Sudut Vektoris Tiga Fasa

- Untuk keadaan $\alpha_0 = 0^\circ$, maka:



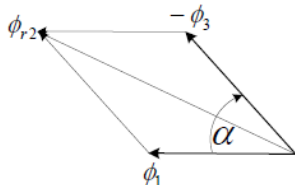
$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi_m \sin 0^\circ = 0 \\ \phi_2 &= \phi_m \sin(-120^\circ) = -\frac{1}{2}\sqrt{3}\phi_m \\ \phi_3 &= \phi_m \sin(-240^\circ) = \frac{1}{2}\sqrt{3}\phi_m \\ \phi_{ro} &= \sqrt{\phi_2^2 + \phi_3^2} \cos \alpha \end{aligned}$$

- Untuk keadaan $\alpha_0 = 60^\circ$,
Maka



$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi_m \sin 60^\circ = \frac{1}{2}\sqrt{3}\phi_m \\ \phi_2 &= \phi_m \sin(-60^\circ) = -\frac{1}{2}\sqrt{3}\phi_m \\ \phi_3 &= \phi_m \sin(-180^\circ) = 0 \\ \phi_{ro} &= \sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2} \cos \alpha = 1,5 \phi_m \end{aligned}$$

- Untuk keadaan $\alpha_0 = 120^\circ$, maka:



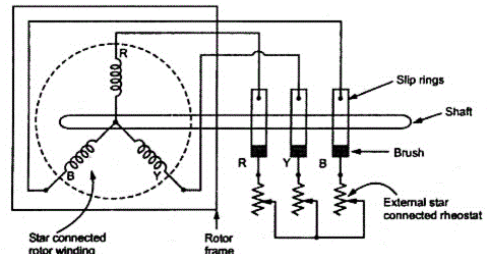
$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi_m \sin 120^\circ = \frac{1}{2}\sqrt{3}\phi_m \\ \phi_{r2} &= \phi_m \sin 0^\circ = 0 \\ \phi_3 &= \phi_m \sin(180^\circ) = -\frac{1}{2}\sqrt{3}\phi_m \\ \phi_{ro} &= \sqrt{\phi_1^2 + \phi_3^2} \cos \alpha = 1,5 \phi_m \end{aligned}$$

Untuk semua keadaan α , besar fluks resultan adalah konstan dengan nilai $1,5 \phi_m$ dan berputar searah arah jarum jam pada setiap pertambahan sudut sebesar 60° atau 180° dari keadaan awal. Bila motor induksi tersebut menggunakan rotor berjenis rotor belitan, maka besarnya arus rotor pada motor induksi tergantung pada tahanan luar (rheostat) motor dan tahanan rotor itu sendiri. Arus listrik pada kumparan rotor akan

menimbulkan gaya listrik. Adapun besarnya gaya listrik ini adalah :

$$F = B \cdot I_r \cdot L \dots \dots \dots (6)$$

- Di mana : F = Gaya listrik (Newton)
- B = Kerapatan fluks (Weber/m²)
- I_r = Arus rotor (ampere)
- L = Panjang belitan rotor (meter)



Gambar 5. Rangkaian stator dan rotor motor sangkar

Bila jari-jari kumparan rotor adalah r , maka besarnya momen putar adalah :

$$T_r = F \cdot r \dots \dots \dots (7)$$

- Di mana : T_r = Momen Putar (N.m)
- r = Jari-jari kumparan rotor (meter)

Momen putar rotor ini akan bergerak searah dengan medan putar stator. Namun bergerak atau tidaknya rotor berputar tergantung dari besarnya beban yang dipikul oleh motor induksi. Bila besar beban yang dipikul oleh motor induksi melebihi momen putar rotor maka rotor tidak akan berputar. Di dalam hal ini jelas adanya perbedaan kecepatan dari medan putar stator (n_s) dengan kecepatan momen putar rotor (n_r). Perbedaan kecepatan ini biasanya disebut dengan slip. Adapun besarnya slip motor induksi adalah :

$$\text{Slip (S)} = \frac{n_r + n_s}{n_s} \times 100\% \dots \dots \dots (8)$$

Dimana: n_r = kecepatan rotor

Persamaan (8) di atas memberikan informasi yaitu:

1. saat $s = 1$ dimana $n_r = 0$, ini berarti rotor masih dalam keadaan diam atau akan berputar
2. $s = 0$ menyatakan bahwa $n_s = n_r$, ini berarti rotor berputar sampai kecepatan sinkron. Hal ini dapat terjadi jika ada arus dc yang diinjeksikan ke belitan rotor, atau rotor digerakkan secara mekanik.
3. $0 < s < 1$, ini berarti kecepatan rotor diantara keadaan diam dengan kecepatan sinkron. Kecepatan rotor dalam keadaan inilah dikatakan kecepatan tidak sinkron. Biasanya slip untuk mendapatkan

efisiensi yang tinggi pada saat beban penuh adalah 0,04.

Oleh karena perbedaan kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan momen putar rotor (n_r) merupakan syarat agar rotor dapat berputar maka slip ini akan mempengaruhi frekuensi rotor dan tegangan induksi pada kumparan rotor. Adapun besar frekuensi rotor adalah :

$$f_r = \frac{P \cdot (n_s - n_r)}{n_s} = \frac{P \cdot n_s}{120} \cdot \frac{(n_s - n_r)}{n_s}$$

$$f_r = f_s \cdot s \text{ (Hz)} \dots \dots \dots (9)$$

Adapun besarnya tegangan induksi pada saat kumparan rotor sedang berputar adalah:

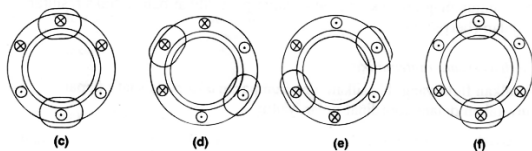
$$\begin{aligned} E_{rs} &= 4,44 \cdot f_r \cdot N_r \cdot \phi_m \\ &= 4,44 \cdot f_s \cdot s \cdot N_r \cdot \phi_m \\ E_{rs} &= E_r \cdot s \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

Adapun besar reaktansi rotor pada saat start adalah :

$$\begin{aligned} X_{rs} &= 2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L_r \\ X_{rs} &= 2 \cdot X_{r,s} \text{ (}\Omega\text{)} \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

Medan Putar

Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk menganalisa medan putar. Pada kesempatan ini akan dibahas analisa medan putar secara vektor dan secara perhitungan.



Gambar 6. Medan Putar Pada Motor 3 Fasa

Dari gambar c, d, e, dan f tersebut terlihat fluks resultan ini akan berputar satu kali. Oleh karena itu untuk mesin dengan jumlah kutub lebih dari dua, kecepatan sinkron dapat diturunkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} n_s &= 120 f / p \text{ (rpm)} \\ f &= \text{frekuensi (Hz)} \\ p &= \text{jumlah kutub} \end{aligned}$$

Analisa Medan Putar secara Vektor dan Perhitungan

Perputaran motor pada mesin arus bolak – balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan stator. Medan putar ini terjadi

apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, pada umumnya tiga fasa. Hubungan belitan pada stator dapat berupa hubungan Y atau untuk mempermudah memahami medan putar , maka dapat dilihat gambar (7) berikut yang menggambarkan keadaan pada kumparan yang dialiri oleh arus dari sumber tiga fasa. Misalkan arus yang mengalir pada ketiga kumparan tersebut sebesar:

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin \omega t \text{ Ampere} \dots \dots \dots (12.a)$$

$$i_{bb'}(t) = I_M \sin(\omega t - 120^\circ) \text{ Ampere} \dots \dots (12.b)$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \sin(\omega t - 240^\circ) \text{ Ampere} \dots (12.c)$$

Arus yang ada pada kumparan aa' mengalir dari a dan keluar menuju ke a'. Karena arus yang mengalir pada kumparan aa' ini, maka dihasilkan kerapatan medan magnet (H) pada kumparan aa' sebesar

$$H_{aa'}(t) = H_M \sin \omega t \angle 0^\circ \text{ Amp turns/m} \dots \dots \dots (13.a)$$

Dan kerapatan medan magnet pada kumparan bb' dan cc' sebesar:

$$H_{bb'}(t) = H_M \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \text{ Amp.turns/m} \dots \dots \dots (13.b)$$

$$H_{cc'}(t) = H_M \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \text{ Amp.turns/m} \dots \dots \dots (13.c)$$

Telah diketahui bahwa kerapatan fluks (B) dapat dihitung dari intensitas medan magnet (H), yaitu

$$B = \mu H \text{ Tesla} \dots \dots \dots (14)$$

Maka didapat kerapatan fluks pada masing – masing kumparan, yaitu

$$B_{aa'}(t) = B_M \sin \omega t \angle 0^\circ \text{ Tesla} \dots \dots \dots (15.a)$$

$$B_{bb'}(t) = B_M \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \text{ Tesla} \dots \dots \dots (15.b)$$

$$B_{cc'}(t) = B_M \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \text{ Tesla} \dots \dots \dots (15.c)$$

Pada persamaan kerapatan fluks diatas , dimana $B_M = \mu H_M$. kerapatan fluks dapat dihitung resultannya dengan menentukan nilai dari waktu (t), sehingga resultan kerapatan fluks ada nilainya, misalnya pada saat $\omega t = 0$, maka kerapatan fluks pada masing – masing kumparan stator sebesar:

$$\begin{aligned} B_{aa'} &= 0 \\ B_{bb'} &= B_M \sin(-120^\circ) \angle 120^\circ \\ B_{cc'} &= B_M \sin(-240^\circ) \angle 240^\circ \end{aligned}$$

Resultan kerapatan fluks pada stator sebesar

$$\begin{aligned} B_{net} &= B_{aa'} + B_{bb'} + B_{cc'} \\ &= 0 + (-\frac{\sqrt{3}}{2} B_M) \angle 120^\circ + (\frac{\sqrt{3}}{2} B_M) \angle 240^\circ \\ &= 1,5 B_M \angle -90^\circ \text{ Tesla} \end{aligned}$$

Jika $\omega t = 90^\circ$, maka:

$$\begin{aligned} B_{aa'} &= B_M \angle 0^\circ \\ B_{bb'} &= -0,5 B_M \angle 120^\circ \\ B_{cc'} &= -0,5 B_M \angle 240^\circ \\ B_{net} &= B_{aa'} + B_{bb'} + B_{cc'} \\ B_{net} &= B_M \angle 0^\circ + (-0,5 B_M) \angle 120^\circ + (-0,5 B_M) \angle 240^\circ \\ &= 1,5 B_M \angle 0^\circ \text{ Tesla} \end{aligned}$$

Dari perhitungan saat $\omega t = 0$ dan saat $\omega t = 90^\circ$ dihasilkan resultan medan magnet yang sama besar amplitudonya, hanya berbeda sudutnya.

Pada analisa medan putar secara vektoris, diketahui bahwa pada harga waktu(t) berapapun nilainya maka didapat magnitudo dari resultan medan magnet sebesar $1,5 B_M$. Dan ini akan terus konstan dan berputar dengan kecepatan sudut ω .

Dalam sistem koordinat, dimana garis horizontal positif disimbolkan dengan x dan garis vertikal keatas disimbolkan dengan y. \bar{a}_x disimbolkan sebagai vektor satuan dari garis horizontal dan \bar{a}_y sebagai vektor satuan dari garis vertikal. Untuk mendapatkan persamaan umum dari resultan fluks magnetik (B_{net}) maka dijumlahkan kerapatan fluks magnetik yang dihasilkan pada masing – masing kumparan stator secara vektoris.

Resultan fluks magnet pada stator dinyatakan dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \bar{B}_{net}(t) &= \bar{B}_{aa'}(t) + \bar{B}_{bb'}(t) + \bar{B}_{cc'}(t) \\ &(\text{Tesla}) \\ &= B_M \sin \omega t \angle 0^\circ + B_M \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ + B_M \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \\ &= B_M \sin \omega t (\cos 0 + j \sin 0) + B_M \sin(\omega t - 120) (\cos 120 + j \sin 120) + B_M \sin(\omega t - 240) (\cos 240 + j \sin 240) \\ &= B_M \sin \omega t (1) + B_M \sin(\omega t - 120) (-0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2}) + B_M \sin(\omega t - 240) (-0,5 - j \frac{\sqrt{3}}{2}) \end{aligned}$$

Dengan menganggap komponen ril berada pada sumbu x dan komponen khayal pada sumbu y, maka Persamaan diatas dapat dinyatakan dalam komponen \bar{a}_x dan \bar{a}_y .

$$\begin{aligned} \bar{B}_{net}(t) &= B_M \sin \omega t \bar{a}_x - [0,5 B_M \sin(\omega t - 120^\circ)] \bar{a}_x + [\frac{\sqrt{3}}{2} B_M \sin(\omega t - 120^\circ)] \bar{a}_y - [0,5 B_M \sin(\omega t - 240^\circ)] \bar{a}_x - [\frac{\sqrt{3}}{2} B_M \sin(\omega t - 240^\circ)] \bar{a}_y \quad (\text{Tesla}) \end{aligned}$$

Komponen-komponen vektor x dan y dapat disatukan menjadi sebagai berikut ini:

$$\bar{B}_{net} = [B_M \sin \omega t - 0,5 B_M \sin(\omega t - 120^\circ) -$$

$$0,5 B_M \sin(\omega t - 240^\circ)] \bar{a}_x + [\frac{\sqrt{3}}{2} B_M \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{\sqrt{3}}{2} B_M \sin(\omega t - 240^\circ)] \bar{a}_y$$

Karena,

$$\begin{aligned} \sin(\omega t - 120^\circ) &= -0,5 \sin \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \\ \sin(\omega t - 240^\circ) &= -0,5 \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t \end{aligned}$$

Maka didapat :

$$\begin{aligned} \bar{B}_{net} &= [B_M \sin \omega t - 0,5 B_M (-0,5 \sin \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t) - 0,5 B_M (-0,5 \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t)] \bar{a}_x \\ &+ [\frac{\sqrt{3}}{2} B_M (-0,5 \sin \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} B_M (-0,5 \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \omega t)] \bar{a}_y \\ \bar{B}_{net} &= [B_M \sin \omega t - \frac{1}{4} B_M \sin \omega t + \frac{\sqrt{3}}{4} B_M \cos \omega t + \frac{1}{4} B_M \sin \omega t - \frac{\sqrt{3}}{4} B_M \cos \omega t] \bar{a}_x \\ &+ [-\frac{\sqrt{3}}{4} B_M \sin \omega t - \frac{3}{4} B_M \cos \omega t + \frac{\sqrt{3}}{4} B_M \sin \omega t - \frac{3}{4} B_M \cos \omega t] \bar{a}_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{B}_{net} &= (1,5 B_M \sin \omega t) \bar{a}_x - (1,5 B_M \cos \omega t) \bar{a}_y \\ &(\text{Tesla}) \dots \dots \dots (16) \end{aligned}$$

Dari persamaan (16) diatas, jika dimasukkan nilai $\omega t = 0^\circ$ maka dihasilkan fluks medan magnet sebesar $1,5 B_M \angle 90^\circ$ dan jika $\omega t = 90^\circ$ didapat fluks medan magnet sebesar $1,5 B_M \angle 0^\circ$. Hasil perhitungan ini menyatakan bahwa fluks medan magnet yang dihasilkan pada kumparan stator motor induksi tiga fasa berputar terhadap waktu (t).

Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Pada prinsipnya proses “induksi” yang terjadi pada motor induksi hampir sama seperti pada transformator yang berbeban resistif, sehingga penggambaran rangkaian ekuivalen motor induksi berdasarkan rangkaian ekuivalen

transformator, dimana stator identik dengan sisi primer transformator dan rotor identik dengan sisi sekunder transformator. Perbedaannya, pada kumparan rotor (sekunder) motor induksi terhubung singkat dan berputar. Disamping itu perbedaan yang mendasar antara keduanya adalah transformator merupakan mesin listrik statis, sedangkan motor induksi adalah mesin listrik dinamis.

Rangkaian ekivalen motor induksi untuk masing-masing sisi dapat diperlihatkan seperti berikut ini :

Ditinjau Dari Sisi Rotor

Pada saat motor induksi bergerak $n_r > 0$ dan $n_r < n_s$, maka berdasarkan persamaan (2.14) akan terjadi slip (s).

Jika kumparan rotor dihubungkan dengan suatu beban, maka pada kumparan rotor akan mengalir arus I_r yang sumbernya E_r .

$$E_r = I_r \cdot (R_r + X_r) \dots \dots \dots (17)$$

Apabilaharga-
hargagglinduksidilihatdari rotor, maka :

$$E_r = \frac{E_s}{a} \dots \dots \dots (18)$$

Dimana :

$$a = \frac{E_r}{E_s} = \frac{I_r}{I'_r} \dots \dots \dots (19)$$

a : adalah konstanta perbandingan.

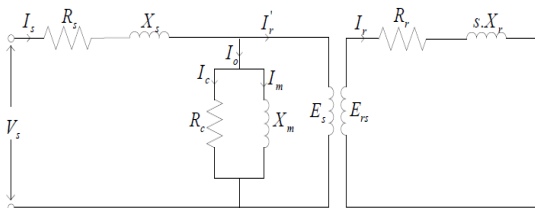
Berdasarkan persamaan (17) didapat ggl induksi pada bagian rotor yaitu:

$$\begin{aligned} E_r &= I_r \cdot R_r + I_r \cdot X_r \\ s \cdot E_r &= s \cdot I_r \cdot R_r + s \cdot I_r \cdot X_r \\ E_{rs} &= s \cdot I_r \cdot R_r + s \cdot I_r \cdot X_r \dots \dots \dots (20) \end{aligned}$$

Karena frekuensi rotor maupun frekuensi stator tidak mempengaruhi resistansi rotor, sehingga persamaan (20) menjadi :

$$E_{rs} = I_r \cdot R_r + s \cdot I_r \cdot X_r \dots \dots \dots (21)$$

Rangkaian ekivalen pada persamaan (21) ditunjukkan pada gambar (7) berikut ini :



Gambar 7. Rangkaian Ekivalen Pendekatan Motor Induksi

Bila persamaan (19) disubsitusikan ke persamaan (20) maka diperoleh :

$$E_{rs} = \frac{s \cdot R_s}{a^2} \cdot I_r + \frac{s X_s}{a^2} \cdot I_r \dots \dots \dots (22)$$

Mengingat bahwa frekuensi rotor maupun frekuensi stator tidak mempengaruhi resistansi stator ($f_r = f_s \cdot s$), maka persamaan (23) menjadi :

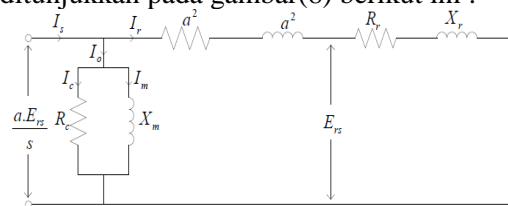
$$E_{rs} = \frac{R_s}{a^2} \cdot I_r + \frac{s X_s}{a^2} \cdot I_r \dots \dots \dots (23)$$

Dari persamaan (24) didapat :

$$I_r = \frac{a^2 \cdot E_{rs}}{(R_s + j s X_s)} \dots \dots \dots (24)$$

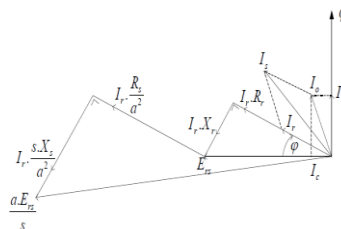
$$\cos \varphi = \frac{R_r}{X_r} \dots \dots \dots (25)$$

Dari persamaan (23) rangkaian ekivalen motor ditunjukkan pada gambar(8) berikut ini :



Gambar 8. Rangkaian Ekivalen Pada Saat Motor Bergerak Dilihat dari rotor

Diagram vektor dari motor induksi tiga fasa pada gambar (8) ditunjukkan pada gambar (9) berikut ini :



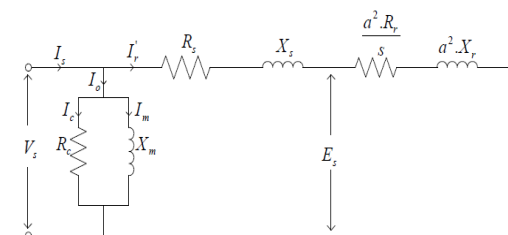
Gambar 9. Diagram Vektor Pada Saat Motor Berputar Dilihat dari Rotor

Ditinjau Dari Sisi Stator

Dengan mensubsitusi persamaan (20) pada persamaan (21) maka didapat :

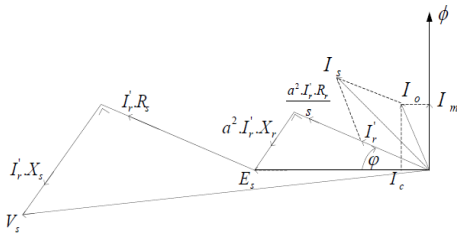
$$E_s = a^2 \cdot \frac{I_r \cdot R_r}{s} + a^2 \cdot I_r \cdot X_r \dots \dots \dots (26)$$

Dari persamaan (26) rangkaian ekivalen motor ditunjukkan pada gambar pada gambar (10) berikut ini :



Gambar 10. Rangkaian Ekivalen Pada Saat Motor Bergerak Dilihat Dari Stator

Diagram vektor dari motor induksi tiga fasa pada gambar (10) ditunjukkan pada gambar (11) berikut ini :



Gambar 11. Diagram vektor Pada Saat Motor Berputar Dilihat Dari Stator

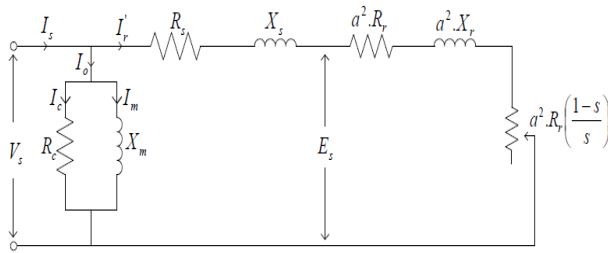
Nilai $\frac{R_r}{s}$ dapat dijabarkan menjadi :

$$\frac{R_r}{s} = \frac{R_r}{s} + R_r - R_r$$

$$\frac{R_r}{s} = R_r + \frac{R_r}{s} - R_r$$

$$\frac{R_r}{s} = R_r + R_r \left(\frac{1-s}{s} \right) \dots \dots \dots (27)$$

Bila persamaan (27) disubsitusikan ke persamaan (26), maka didapat rangkaian ekivalen motor induksi menjadi :



Gambar 12. Rangkaian Pengganti Pada Saat Motor Berputar Dilihat Dari Stator

Dari persamaan 26 didapat nilai :

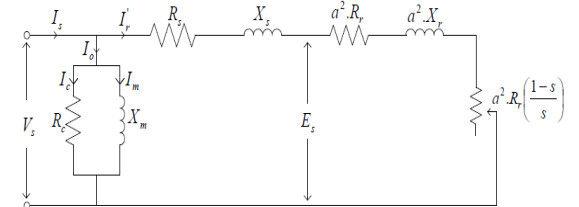
$$I'_r = \frac{E_s}{a^2 \left(\frac{R_r}{s} + jX_r \right)} \dots \dots \dots (28)$$

$$\cos \phi = \frac{\frac{R_r}{s}}{\frac{R_r}{s} + jX_r} \dots \dots \dots (29)$$

Aliran Daya dan Arus Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron. Seandainya hal ini terjadi, maka rotor akan tetap diam relatif terhadap fluksi yang berputar. Maka tidak akan ada ggl yang diinduksikan dalam rotor, tidak ada arus yang mengalir pada rotor, dan karenanya tidak akan menghasilkan kopel. Kecepatan rotor sekalipun tanpa beban, harus lebih kecil sedikit dari kecepatan sinkron agar adanya tegangan induksi pada rotor, dan akan

menghasilkan arus di rotor, arus induksi ini akan berinteraksi dengan fluksi listrik sehingga menghasilkan kopel. Selisih antara kecepatan rotor dengan kecepatan sinkron disebut slip (s). Telah kita ketahui bersama, bahwa arus start motor induksi 3 fasa lebih besar 5 sampai 7 kali arus nominalnya. Untuk membuktikan arus start tersebut, dapat kita lihat pada rangkaian ekivalen berikut :



Gambar 13. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi 3 Fasa Dengan memperhatikan model rangkaian diketahui bahwa daya masuk stator untuk motor induksi tiga fasa adalah :

$$P_s = 3 \cdot V_s \cdot I_s \cos \phi \dots \dots \dots (30)$$

Dimana :

V_s = tegangan sumber (volt)

I_s = arus masukan (ampere)

ϕ = perbedaan sudut fasa antara arus masukan dan tegangan sumber

Daya masuk rotor (terdapat pada celah udara) :

$$P_r = 3 \cdot E_s \cdot I'_r \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (31)$$

Bila persamaan (29) dan persamaan (30) disubsitusikan ke persamaan (32), maka besar daya input rotor pada motor induksi tiga fasa adalah :

$$P_{r(in)} = \frac{3R_s^2 \cdot a^2 R_r \cdot s}{(a^2 R_r)^2 + (a^2 X_r \cdot s)^2} \dots \dots \dots (32)$$

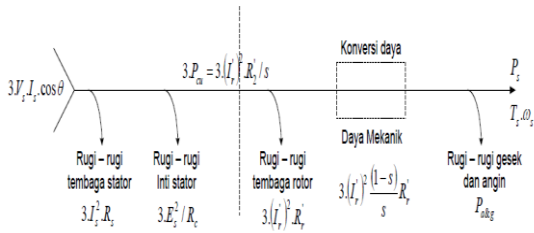
Sebelum daya ditransfer melewati celah udara, motor induksi mengalami rugi-rugi berupa rugi-rugi tembaga stator ($P_{ts} = 3I_s^2 \cdot R_s$) dan rugi-rugi inti stator ($P_{is} = 3E_s^2 / R_c$). Daya yang ditransfer melalui celah udara ($3 \cdot P_{cu}$) sama dengan penjumlahan rugi-rugi tembaga rotor ($3 \cdot P_{tr}$) dan daya mekanik ($3 \cdot P_d$). Daya yang ditransfer melalui celah udara ini sering disebut dengan daya input rotor.

$$3 \cdot P_{cu} = 3 \cdot P_{tr} + 3 \cdot P_d$$

$$3 \cdot P_{cu} = 3(I'_r)^2 \cdot R_r + 3(I'_r) \cdot \left(\frac{1-s}{s} \right) R_r$$

$$= 3 \cdot (I'_r)^2 \frac{R_r}{s} \dots \dots \dots (33)$$

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar (14) yang menggambarkan diagram aliran daya motor induksi tiga fasa.



Gambar 14. Diagram Aliran Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa

Hubungan antara rugi-rugi tembaga rotor dan daya mekanik dengan daya masukan rotor, masing-masing dalam besaran dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_{tr} = 3 \cdot (I'_r)^2 \cdot R_r = s \cdot P_{Cu} \dots \dots \dots (34)$$

$$P_d = (I'_r)^2 \cdot R_r \left(\frac{1-s}{s} \right) = (1-s) \cdot P_{Cu} \dots \dots \dots (35)$$

Dari gambar (2.16) dapat dilihat bahwa motor induksi juga mengalami rugi-rugi gesek dan angin ($P_{a\&g}$) sehingga daya output mekanik yang merupakan daya penggerak poros (n) sama dengan daya mekanik total ($3P_d$) dikurangi rugi-rugi gesek dan angin ($P_{a\&g}$).

$$P_0 = 3 \cdot P_d - P_{a\&g} = T_s \omega_m \dots \dots \dots (36)$$

Dengan : T_s = Torsi penggerak poros (N.m)
 ω_m = Kecepatan sudut poros (rad/s)

Effisiensi suatu motor induksi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\eta = \left(\frac{P_0}{P_i} \right) \times 100\% = \frac{P_i - \Sigma P_{rugi}}{P_i} \times 100\% \dots \dots \dots (37)$$

$$\Sigma P_{rugi} = P_{ts} + P_{is} + P_{tr} + P_{a\&g} + P_b \dots \dots \dots (38)$$

$$P_i = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (39)$$

Dimana : η = efisiensi

- P_0 = daya keluaran (watt)
- P_i = daya masukan (watt)
- ΣP_{rugi} = rugi-rugi total motor (watt)
- P_{ts} = rugi tembaga stator (watt)
- P_{is} = rugi inti stator (watt)
- P_{tr} = rugi tembaga rotor (watt)
- $P_{a\&g}$ = rugi gesek dan angin (watt)
- P_b = rugi buta/lain-lain (watt)

Frekuensi Rotor

Ketika rotor masih dalam keadaan diam, dimana frekuensi arus pada rotor sama seperti frekuensi masukan (sumber). Tetapi ketika rotor akan berputar, maka frekuensi rotor akan bergantung kepada kecepatan relatif

atau bergantung terhadap besarnya slip. Untuk besar slip tertentu, maka frekuensi rotor sebesar f' yaitu,

$$n_s - n_r = \frac{120f'}{p}, \text{ diketahui bahwa } n_s = \frac{120f}{p}$$

Dengan membagikan dengan salah satu, maka didapatkan :

$$\frac{f'}{f} = \frac{n_s - n_r}{n_s} = s$$

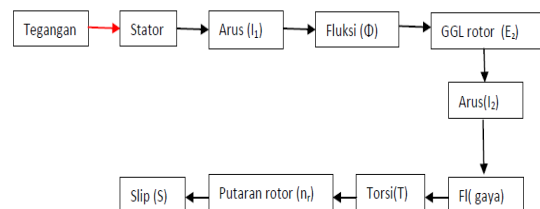
Maka $f' = sf$ (Hz)(40)

Telah diketahui bahwa arus rotor bergantung terhadap frekuensi rotor $f' = sf$ dan ketika arus ini mengalir pada masing – masing fasa di belitan rotor, akan memberikan reaksi medan magnet. Biasanya medan magnet pada rotor akan menghasilkan medan magnet yang berputar yang besarnya bergantung atau relatif terhadap putaran rotor sebesar sn_s .

Pada keadaan tertentu, arus rotor dan arus stator menghasilkan distribusi medan magnet yang sinusoidal dimana medan magnet ini memiliki magnetudo yang konstan dan kecepatan medan putar n_s yang konstan. Kedua Hal ini merupakan medan magnetik yang berputar secara sinkron. kenyataannya tidak seperti ini karena pada stator akan ada arus magnetisasi pada kumparannya.

Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran dan Daya Masuk motor induksi tiga fasa

Dari pembahasan di atas dapat kita lihat bagaimana hubungan perubahan beban terhadap motor induksi tiga fasa. Dapat kita lihat pada rangkaian ekivalen motor induksi sebelumnya (gambar 13) maka kita dapat mengambil hubungan antara perubahan beban terhadap putaran. Hal itu terlihat dari prinsip kerja motor induksi tersebut, yang diuraikan sebagai berikut :



Gambar 15. Prinsip Kerja Motor Induksi

Keterangan :

- : Diberikan kepada
- : Menghasilkan

Apabila sumber tegangan tiga fasa diberikan kepada kumparan stator

akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 \frac{f}{p}$, medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.

Sebagai akibatnya pada kumparan jangkar timbul tegangan asinkron (GGL), karena kumparan jangkar merupakan rangkaian induktif, maka akan menghasilkan arus I , adanya arus I di dalam medan magnet akan menghasilkan gaya F pada rotor, jika kopel mula yang dihasilkan oleh gaya F pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. Kecepatan putar rotor tidak akan mencapai pada putaran sinkronnya, disebabkan jika rotor berputar sama dengan kecepatan sinkronnya maka batang-batang konduktor pada rotor tidak akan terpotong-potong medan magnet sehingga tidak terjadi induksi pada rotor. Perbedaan kecepatan antara n dan n_s disebut slip (s).

Dari uraian di atas dapat kita lihat bahwa tegangan tersebut mempengaruhi bagaimana proses pembentukan slip.

Dan jika terjadi perubahan tegangan pada sumber maka akan terjadi perubahan di semua tahap (alur) proses prinsip kerja tersebut. Dan kepada efisiensi motor, hal ini mempengaruhi pada rugi – rugi yang dialami oleh motor tersebut, seperti rugi – rugi pada stator :

- Rugi tembaga stator ($I_1^2 \times R_1$) dan rugi inti stator
- Rugi – rugi lainnya.

Dan rugi – rugi pada rotor yaitu :

- Rugi tembaga rotor ($I_2^2 \times R_2$) dan rugi inti rotor
- Rugi gesek dan angin
- Dan rugi – rugi lainnya.

Berdasarkan persamaan – persamaan dalam mencari efisiensi di atas, dapat kita lihat dari persamaan 37 sampai persamaan 39 terlihat bahwa perubahan tegangan dari sumber sangat mempengaruhi besar daya keluaran motor yang berupa putaran (n_r) dan juga dipengaruhi besar torsi beban. Dan perubahan tegangan ini juga berpengaruh terhadap arus dalam motor. Sehingga perubahan tegangan ini sangat menentukan dalam daya keluaran motor yang berupa putaran dan rugi – rugi.

METODE PENELITIAN

Untuk melihat pengaruh perubahan beban terhadap putaran dan daya masuk motor induksi tiga fasa rotor sangkar dapat dilihat dari data hasil percobaan yang diperoleh. Dari hasil pengujian juga diperoleh hubungan antara torsi dan kecepatan putar rotor untuk berbagai tegangan terminal motor. Untuk mendapatkan parameter-parameter pada motor induksi rotor sangkar tiga fasa dilakukan metode pengujian dengan rangkaian pengujian, antara lain :

- Rangkaian pengujian beban nol.
- Rangkaian pengujian hubung singkat.
- Rangkaian pengujian pengukuran faktor daya dengan perubahan tegangan.

Daya motor induksi tiga fasa dengan tegangan masukan dan beban yang bervariasi dilakukan untuk mendapatkan besarnya putaran motor induksi tiga fasa. Percobaan ini dilakukan untuk mendapatkan data-data perubahan daya, arus dan kecepatan rotor (n_r) pada suatu nilai tegangan tertentu. Setiap percobaan dilakukan pada suatu harga torsi beban tertentu. Metode pengaturan tegangan dan beban ini dilakukan dengan suatu autotransformator tiga fasa yang ditempatkan antara sumber tegangan tiga fasa dengan motor induksi dan pengaturan beban dilakukan dengan menggunakan pocket balance (50 kg) yang ditempatkan pada motor.

Peralatan Percobaan

Penelitian tentang perhitungan putaran dan daya masuk motor induksi tiga fasa dengan pengaturan tegangan dilakukan pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT Universitas HKBP Nommensen. Adapun peralatan-peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Motor induksi 3 fasa Rotor

Sangkardengan data-data sebagai berikut :

- | | |
|---------------------|--------------------------------------|
| 1. Type | : AEEBAC
(Teco 3 phase induction) |
| 2. Tegangan nominal | : $Y=380$ volt
$\Delta=220$ volt |
| 3. Arus nominal | : 3.8/6.6
Ampere |
| 4. Frekuensi | : 50
Hz |
| 5. Putaran nominal | : 1435 rad/detik |
| 6. Daya output | : 2 HP |
| 7. Holes | : 4 |

b. 1 Unit $\cos \phi$ meter

c. 1 Unit Pocket balance (50 kg)

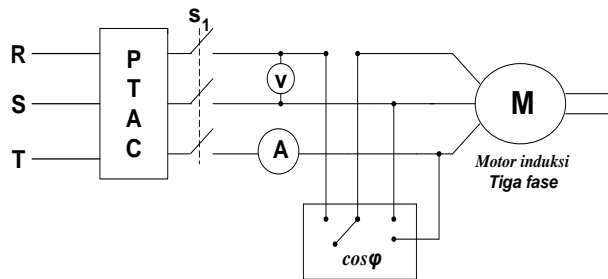
d. 1 Unit power supply AC 3 ϕ (PTAC)

e. 1 Unit Voltmeter AC

- f. 1 Unit Amperemeter AC
- g. 1 Unit Thacometer.

Rangkaian dan Prosedur Percobaan

1) Percobaan Beban Nol

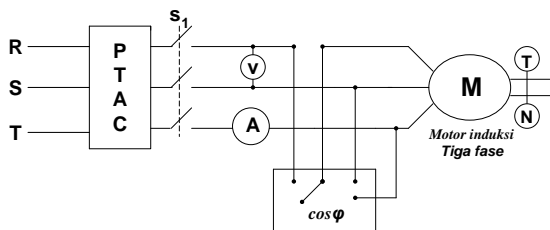


Gambar 16. Rangkaian Pengujian Beban Nol Untuk Menentukan Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

Prosedur Percobaan :

1. Rangkaian percobaan dibuat seperti gambar 16.
2. Masukkan sumber tegangan tiga phasa ke pengaturan tegangan PT AC. Saklar S1 terbuka.
3. Catat arus ,tegangan dan faktor daya.
4. Turunkan tegangan autotrafo AC (PTAC) hingga motor berhenti.
5. Lepaskan saklar S1
6. Percobaan selesai.

2) Percobaan Hubung Singkat



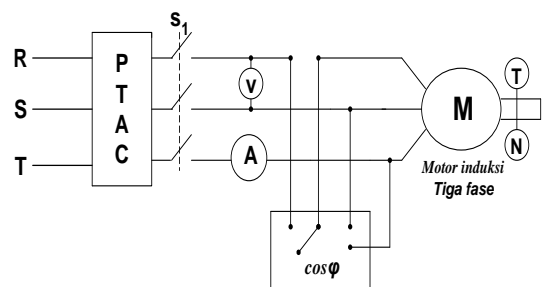
Gambar 17. Rangkaian Pengujian Hubung Singkat Untuk Menentukan Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

Prosedur Percobaan :

1. Rangkaian percobaan dibuat seperti gambar 17.
2. Tutup saklar S1.
3. Naikkan tegangan autotrafo (PTAC) yang disuplai ke motor induksi sampai mencapai 230 Volt.
4. Mencatat arus motor dan juga kecepatan motor.
5. Turunkan tegangan dengan autotrafo (PTAC) hingga diperoleh harga faktor daya maksimum yang terbaca pada $\cos \phi$ meter.
6. Catat arus, tegangan akhir dan kecepatan motor.

7. Naikkan tegangan autotrafo sampai mencapai 230 Volt.
8. Naikkan torsi beban dengan menggunakan pocket balance.
9. Ulangi percobaan 4-8 dengan data-data beban 2 kg : 4 kg : 6 kg : 8 kg.
10. Jika sudah selesai, turunkan autotrafo hingga motor induksi berhenti.
11. Lepaskan saklar S1 dan percobaan selesai.

3) Percobaan Pengukuran Faktor Daya Motor Induksi dengan Perubahan Beban



Gambar 18. Rangkaian Pengujian Pengukuran Faktor Daya Untuk Menentukan Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

Prosedur Percobaan :

1. Rangkaian percobaan dibuat seperti gambar 18.
2. Tutup saklar S1.
3. Naikkan tegangan autotrafo (PTAC) yang disuplai ke motor induksi sampai mencapai 230 volt.
4. Atur T melalui pocket balance sampai mencapai 2 kg : 4 kg : 6 kg : 8 kg.
5. Catat besar V_1 , I_1 dan faktor daya.
6. Turunkan PTAC sampai nol lalu lepaskan S1.
7. Percobaan 3-6 diulang kembali dengan tegangan input 220 volt : 200 volt : 180 volt : 160 volt : 140 volt.
8. Percobaan selesai.

HASIL DAN ANALISA

Dari hasil percobaan, diperoleh hasil seperti diperlihatkan Tabel berikut.

Tabel 1. Percobaan Beban Nol

V_0	I_0	$\cos \phi$ (lag)	n_r
80	0.24	0.86	1497
100	0.30	0.82	1501
120	0.40	0.74	1500

140	0.49	0.66	1503
-----	------	------	------

Tabel 2. Percobaan Hubung Singkat

V _{Hs}	I _{Hs}	Cos φ (lag)	n _r
40	1.1	0.60	0
60	1.8	0.64	0
80	0,24	0.68	0

• **Torka beban = 2 kg**

Tabel 3. Percobaan Pembebanan Motor untuk beban 2 kg

V ₁	I ₁	Cos φ (lag)	n _r
230	0.75	0.49	1494
220	0.75	0.50	1490
200	0.75	0.58	1488
180	0.65	0.62	1482
160	0.65	0.70	1476
140	0.70	0.78	1465

• **Torka beban = 4 kg**

Tabel 4. Percobaan Pembebanan Motor untuk beban 4 kg

V ₁	I ₁	Cos φ (lag)	n _r
230	0.80	0.66	1480
220	0.90	0.68	1468
200	0.90	0.76	1471
180	0,95	0.80	1448
160	1.05	0.86	1442
140	1.35	0.88	1399

• **Torka beban = 6 kg**

Tabel 5. Percobaan Pembebanan Motor untuk beban 6 kg

V ₁	I ₁	Cos φ (lag)	n _r
230	1.25	0.82	1457
220	1.30	0.84	1454
200	1.40	0.86	1444
180	1.55	0.90	1396
160	1.80	0.91	1360
140	2.49	0.90	1266

• **Torka beban = 8 kg**

Tabel 6. Percobaan Pembebanan Motor untuk beban 8 kg

V ₁	I ₁	Cos φ (lag)	n _r
230	1.60	0.86	1439
220	1.70	0.89	1424
200	1.90	0.91	1373
180	2.30	0.92	1329
160	2.70	0.91	1246

Perhitungan Parameter Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar

Pada percobaan perubahan beban terhadapputarandandayamasuk motor induksi

3 fasa,yang digunakan penulis adalah motor induksi rotor sangkar,maka perlu dicari nilai – nilai parameter motor induksi 3 fasa rotor sangkar tersebut. Berikut ini penghitungan parameter – parameternya:

Percobaan Beban Nol

Untuk analisa data percobaan beban nol digunakan persamaan berikut :

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \cdot V_0 \cdot I_0}$$

$$R_m = \frac{V_0}{I_0 \cos \varphi}$$

$$X_m = \frac{V_0}{I_0 \cdot \sin \varphi_0}$$

Maka berdasarkan analisa data, data-data selanjutnya didapat sebagai berikut :

Tabel 7. Nilai Reaktansi Magnetisasi

V ₀	I ₀	Pin	Rm	Xm
80	0,24	28,59	286.66	170
100	0,30	42,60	273.33	190
120	0,40	61.52	222	201
140	0,49	78.42	188.57	214.28

Percobaan Hubung Singkat

Untuk analisa data percobaan hubung singkat digunakan persamaan berikut :

$$Z_{hs} = \frac{V_{hs}}{\sqrt{3} \cdot I_{hs}}$$

$$Z_{hsavg} = \frac{Z_{hs1} + Z_{hs2}}{2}$$

$$X_r = X_s = \frac{1}{2} Z_{hsavg}$$

Maka berdasarkan analisa data di atas, data-data selanjutnya yang didapat adalah :

Tabel 8. Nilai Reaktansi Stator(X_s) dan Rotor(X_r)

Motor Induksi				
V _{hs} (V)	I _{hs} (A)	Z _{hs} (Ω)	Z _{hs} avg (Ω)	X _r = X _s (Ω)
40	1.10	25.40	61.57	30.78
60	1.18	40.87		
80	1.24	57.27		

Perhitungan Daya Masukan Motor Setelah Pengaturan Beban Motor Induksi Tiga Fasa (motor sangkar)

• Torka Beban = 2 kg

Dengan memperhatikan model rangkaian ekuivalen diketahui bahwa daya masuk stator untuk motor induksi tiga fasa adalah :

$$P_s = 3 \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

Daya masuk rotor (terdapat pada celah udara) :

$$P_r = 3 \cdot E_s \cdot I'_r \cdot \cos \varphi$$

Bila disubstitusikan, maka besar daya input rotor pada motor induksi tiga fasa adalah :

$$P_{r(in)} = \frac{3R_s^2 \cdot a^2 R_r \cdot s}{(a^2 \cdot R_r)^2 + (a^2 \cdot X_r \cdot s)^2}$$

Sebelum daya ditransfer melewati celah udara, motor induksi mengalami rugi-rugi berupa rugi-rugi tembaga stator ($P_{ts} = 3I_s^2 \cdot R_s$) dan rugi-rugi inti stator ($P_{is} = 3E_s^2 / R_c$). Daya yang ditransfer melalui celah udara ($3 \cdot P_{cu}$) sama dengan penjumlahan rugi-rugi tembaga rotor ($3 \cdot P_{tr}$) dan daya mekanik ($3 \cdot P_d$). Daya yang ditransfer melalui celah udara ini sering disebut dengan daya input rotor.

$$3 \cdot P_{cu} = 3 \cdot P_{tr} + 3 \cdot P_d$$

$$3 \cdot P_{cu} = 3(I'_r)^2 \cdot R_r + 3(I'_r) \cdot \left(\frac{1-s}{s}\right) R_r$$

$$= 3 \cdot (I'_r)^2 \frac{R_r}{s}$$

Hubungan antara rugi-rugi tembaga rotor dan daya mekanik dengan daya masukan rotor, masing-masing dalam besaran dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_{tr} = 3 \cdot (I'_r)^2 \cdot R_r = s \cdot P_{cu}$$

$$P_d = (I'_r)^2 \cdot R_r \left(\frac{1-s}{s}\right) = (1-s) \cdot P_{cu}$$

Motor induksi juga mengalami rugi-rugi gesek dan angin ($P_{a\&g}$) sehingga daya output mekanik yang merupakan daya penggerak poros (n) sama dengan daya mekanik total ($3P_d$) dikurangi rugi-rugi gesek dan angin

$$(P_{a\&g}) \cdot P_0 = 3 \cdot P_d - P_{a\&g} = T_s \omega_m$$

Jadi daya input motor adalah :

$$P_i = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

Dari rumus di atas maka di dapat daya input untuk beban 2 kg adalah:

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,75 \cdot 0,49 = 146.40 \text{ watt}$$

Dengan cara yang sama diperoleh P_{in} untuk data berikutnya, untuk lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 9. Hasil analisa data untuk P_{in} dengan torka beban 2 kg.

V_1	I_1	$\cos \varphi$	n_r	P_{in}
230	0,75	0,49	1494	146.40
220	0,75	0,50	1490	142.89
200	0,70	0,58	1488	140.64
180	0,65	0,62	1482	125.64
160	0,65	0,70	1476	126.09
140	0,70	0,78	1465	132.39

• Torka Beban = 4 kg

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,80 \cdot 0,66$$

$$= 210.34 \text{ watt}$$

Dengan cara yang sama diperoleh P_{in} untuk data berikutnya, untuk lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 10. Hasil analisa data untuk P_{in} dengan torka beban 4 kg.

V_1	I_1	$\cos \varphi$	n_r	P_{in}
230	0,80	0,66	1480	210.34
220	0,90	0,68	1468	233.20
200	0,90	0,76	1471	236.94
180	0,95	0,80	1448	236.94
160	1,05	0,86	1442	250.24
140	1,35	0,88	1399	288.07

• Torka Beban = 6 kg

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 1,25 \cdot 0,82$$

$$= 408.33 \text{ watt}$$

Dengan cara yang sama diperoleh P_{in} untuk data berikutnya, untuk lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 11. Hasil analisa data untuk P_{in} dengan torka beban 6 kg.

V_1	I_1	$\cos \varphi$	n_r	P_{in}
230	1,25	0,82	1457	408.33
220	1,30	0,84	1454	416.10
200	1,40	0,86	1444	417.07
180	1,55	0,90	1396	434.91
160	1,80	0,91	1360	453.93
140	2,49	0,90	1266	543.41

• Torka Beban = 8 kg

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot V_s \cdot I_s \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 1,60 \cdot 0,86 = 548.15 \text{ watt}$$

Dengan cara yang sama diperoleh P_{in} untuk data berikutnya, untuk lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 12. Hasil analisa data untuk P_{in} dengan torka beban 8 kg.

V_1	I_1	$\cos \varphi$	n_r	P_{in}
230	1,60	0,86	1439	548.15
220	1,70	0,89	1424	557.09
200	1,90	0,91	1373	598.94
180	2,30	0,92	1329	659.70
160	2,70	0,91	1246	680.90

Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran dan Daya Masukan Motor Induksi Tiga Fasa

Pengaruh perubahan beban terhadap putaran dan daya masukan motor induksi tiga fasa dapat di tabelkan sebagai berikut :

Tabel 13. Perubahan daya input dan putaran terhadap perubahan beban pada tegangan 230 volt

Tegangan (volt)	Beban (kg)	Daya input (watt)	Nr (rpm)
230	2	159,34	1494
	4	250,97	1480
	6	452,98	1457
	8	506,33	1439

Tabel 14. Perubahan daya input dan putaran terhadap perubahan beban pada tegangan 220 volt

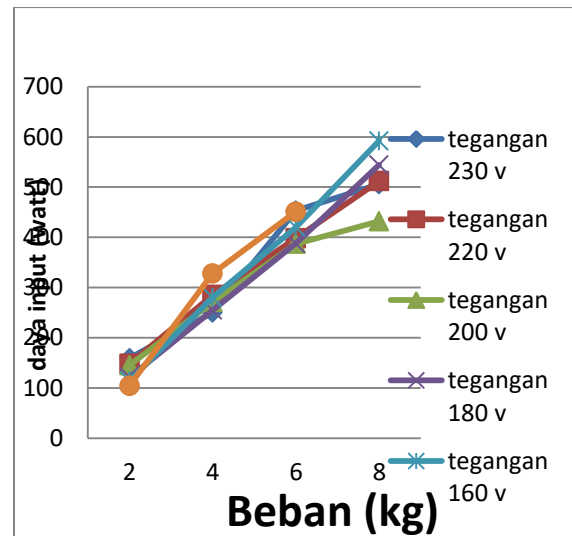
Tegangan (volt)	Beban (kg)	Daya input (watt)	Nr (rpm)
220	2	148,60	1490
	4	285,97	1468
	6	398,38	1454
	8	512,13	1424

Tabel 15. Perubahan daya input dan putaran terhadap perubahan beban pada tegangan 200 volt

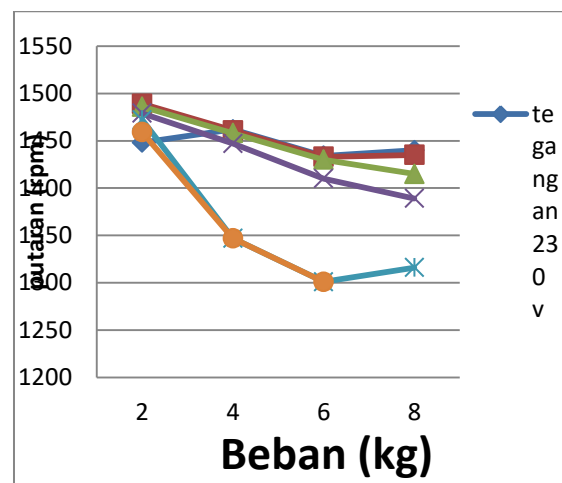
Tegangan (volt)	Beban (kg)	Daya input (watt)	Nr (rpm)
200	2	145,49	1488
	4	271,58	1471
	6	387,28	1444
	8	432,74	1373

Tabel 16. Perubahan daya input dan putaran terhadap perubahan beban pada tegangan 180 volt

Tegangan (volt)	Beban (kg)	Daya input (watt)	Nr (rpm)
230	2	121,58	1482
	4	255,65	1448
	6	388,46	1396
	8	544,97	1373



Gambar 19. Grafik Hubungan antara beban dengan daya input



Gambar 10. Grafik Hubungan antara beban dengan putaran (rpm)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan uraian dari teori dan pengujian pada bab-bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Parameter rangkaian:
 - Percobaan beban nol
 $R_m = 374,53 \Omega$ dan $X_m = 153 \Omega$ pada tegangan 80 volt
 $R_m = 416,66 \Omega$ dan $X_m = 317 \Omega$ pada tegangan 100 volt
 - Percobaan hubung singkat:
 $Z_{hsavg} = 17,36 \Omega$ dan $X_r = X_s = 8,68 \Omega$
- Jika beban naik pada tegangan yang sama, maka :
 - Arus motor (I_r) akan naik.
 - Daya input (daya masukan) pada

- motor akan meningkat .
c. Kecepatan medan putar (n_r) akan menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chapman S.J, "Electric Machinery Fundamental", McGraw-Hill Book Company, 1985
- [2] Fitzgerald Kingslay JR, "Mesin-mesin Listrik", Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
- [3] Zuhail, " Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya ", Edisi Kelima , Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995
- [4] Bimbra,P.S, "Electrical Machinery", Khanna Publisher, India, 1979
- [5] Lister, "Mesin dan Rangkaian Listrik" , Edisi Keenam , Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988