

BAB II

SISTEM KINERJA MOTOR INDUKSI

2.1 Tinjauan Pustaka

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling sederhana dan mudah, dengan biaya perawatan yang rendah dan konstruksi yang kokoh memberikan jangkauan KVA yang luas. Motor ini merupakan motor AC yang paling banyak digunakan sebagai perangkat penggerak untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk berbagai kebutuhan proses.

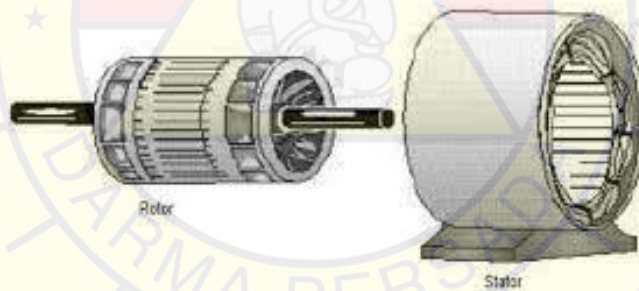
Diproduksi secara industri, motor ini disebut motor induksi karena digerakkan oleh arus yang muncul pada rotor dan bukan oleh arus yang timbul akibat perbedaan reaktif antara porositas rotor dengan medan magnet putar yang keluar pada stator. Medan putar ini merupakan prinsip motor induksi tiga fasa, dan motor induksi satu fasa tidak menghasilkan medan putar (Stephen J. Chapman, 2005).

Menurut Hughes (2006) Motor induksi tiga fasa beroperasi pada kecepatan konstan dari beban rendah hingga beban penuh tetapi mempunyai pengendalian kecepatan yang buruk. Kecepatan putaran motor ini tergantung pada frekuensi, sehingga pengaturannya tidak mudah. Namun motor induksi tiga fasa memiliki beberapa keunggulan seperti daya yang tinggi, desain yang sederhana, harga yang relatif terjangkau dan kemampuan manufaktur dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan industri (Harlow, 2004).

Untuk mengatur kecepatan motor tiga fasa dapat digunakan beberapa cara antara lain mengurangi jumlah kutup, mengatur kecepatan motor, mengatur frekuensi motor, dan meningkatkan torsi (kebanyakan untuk rotor) (Hughes, 2006). Pengendalian kecepatan motor induksi biasanya dilakukan dengan mengubah tegangan dan frekuensi catu daya. Alat yang biasa digunakan untuk keperluan tersebut adalah Variable Speed Drive (VSD) atau biasa disebut inverter yang mempunyai fungsi pengaturan frekuensi.

2.2 Motor Induksi

Motor induksi dibagi menjadi dua jenis yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Motor induksi adalah motor listrik yang digerakkan dengan arus bolak-balik (AC) yang rotornya tidak berputar sejajar dengan putaran medan magnet pada stator. Dengan kata lain putaran rotor berbeda dengan putaran medan magnet pada motor yang merupakan bagian tetap yang membawa arus fasa. Prinsip pengoperasian kedua motor induksi ini sama, yaitu karena adanya induksi dan adanya putaran medan magnet pada kumparan utama (stator) memotong batang-batang rotor sehingga terjadi induksi pada rotor. Menurut Stephen J. Chapman, (2005) adalah motor induksi mempunyai dua bagian utama yaitu stator dan rotor, dimana stator adalah bagian diam dan rotor adalah bagian yang berputar, dan bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara sempit dengan jarak antara 0,4mm sampai 4mm, Sebagai mana di perlihatkan pada Gambar 2.1 yang menggambarkan bagian dari stator dan rotor.



Gambar 2. 1 Penampang stator dan rotor motor induksi tiga fasa

Motor tiga fasa memiliki dua bagian kendali yaitu sambungan bintang dan sambungan delta. Sambungan bintang mempunyai tegangan maksimum hingga 630V, sedangkan sambungan delta mempunyai tegangan maksimum hingga 380V. Umumnya, motor induksi tiga fasa tidak beroperasi pada kecepatan sinkron. Sebaliknya, motor ini bekerja pada kecepatan dasar atau kecepatan non-linier. Perbedaan kecepatan ini menghasilkan efek gesekan atau geser, yang cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban.

2.3 Perinsip Kerja Motor Induksi

Menurut Stephen J. Chapman (2005) menjelaskan bahwa prinsip kerja motor induksi tiga fasa adalah sebagai berikut :

- a. Disaat sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator akan menimbulkan medan putar dengan kecepatan:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \mathbf{1500} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

n_s = Kecepatan medan putar Stator (Rpm)

p = Kutub

f = Frekuensi (Hz)

- b. Medan magnet putar stator memotong batang konduktif rotor sehingga menyebabkan belitan rotor menghasilkan tegangan induksi (GGL induksi).
- c. Oleh karena itu belitan rotor merupakan rangkaian tertutup sehingga arus (I) akan mengalir. Kawat (kumparan rotor) yang membawa arus dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (f) yang bekerja pada rotor.
- d. Jika kopling yang dihasilkan oleh gaya (f) pada rotor cukup besar untuk menahan kopling muatan, maka rotor akan berputar searah dengan medan magnet putar stator.
- e. Seperti yang telah dijelaskan, tegangan induksi akan muncul akibat adanya putaran medan magnet stator yang memotong batang penghantar (rotor). Artinya kecepatan tegangan medan putar motor (n_s).
- f. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s) yang dinyatakan sebagai :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \mathbf{x100\%} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

s = Slip, Perbedaan kecepatan antara N_r dan N_s (%)

n_s = Kecepatan medan putar Stator (Rpm)

n_r = Kecepatan medan putar Rotor (Rpm)

- g. tidak ada tegangan yang dihasilkan dan tidak ada arus yang mengalir melalui belitan jangkar rotor, sehingga tidak ada kopling yang dibuat. Kopling motor akan dihasilkan jika nr lebih kecil dari ns .
- h. Setelah mempertimbangkan cara kerjanya, motor induksi dapat disebut juga motor tak serempak atau motor asinkron.

Menurut Theodore (2006) Pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa banyak sekali yang bisa dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

- a. Dengan cara mengubah jumlah kutub, dimana putaran berbanding terbalik dengan jumlah kutub. Sebaliknya, semakin banyak kutub yang dihasilkan, maka akan semakin kecil. Begitu juga sebaliknya.
- b. Ubah frekuensi sumber, dimana sudut putaran sebanding dengan frekuensi. Pada saat yang sama, semakin tinggi nilai frekuensi yang ditetapkan, semakin tinggi kecepatan putaran motor induksi.
- c. Mengubah nilai Tegangan sumber.

2.4 Daya

Daya merupakan indikator seberapa cepat suatu sistem mengonsumsi atau menghasilkan energi. Dalam bidang listrik, daya diukur dalam watt (W) dan menggambarkan laju penggunaan energi. Ada beberapa jenis daya yang relevan dalam teknik elektro, seperti daya nyata (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Daya nyata, diukur dalam watt, mewakili bagian dari daya yang melakukan pekerjaan berguna dalam sistem. Daya reaktif, diukur dalam volt-ampere reaktif (VAR), tidak menghasilkan pekerjaan nyata tetapi penting untuk mempertahankan medan magnetik dalam perangkat seperti motor dan transformator. Daya semu, diukur dalam volt-ampere (VA), merupakan gabungan dari daya nyata dan daya reaktif.

Rumus untuk menghitung daya bervariasi berdasarkan konteksnya. Dalam sistem arus bolak-balik (AC), daya nyata dihitung dengan mengalikan tegangan (V), arus (I), dan faktor daya ($\cos\phi$) (Stephen J. Chapman, 2005). Dapat dirumuskan dalam persamaan 2.3 :

$$P = V \times I$$

$$P = V \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos\phi$ = Faktor Daya

2.5 Daya Aktif (P)

Daya aktif, juga dikenal sebagai daya nyata, merupakan bagian dari daya listrik yang melakukan pekerjaan sebenarnya dalam sistem. Ini adalah energi yang diubah menjadi bentuk lain, seperti cahaya, panas, atau energi mekanik. Daya aktif diukur dalam satuan watt (W) dan dihitung dengan mengalikan tegangan (V), arus (I), dan faktor daya ($\cos\phi$), yang menunjukkan efisiensi sistem dalam mengonversi energi (Stephen J. Chapman, 2005). Dapat dirumuskan dalam persamaan 2.4 untuk menghitung daya aktif dalam sistem arus bolak-balik (AC) adalah:

$$\begin{aligned} P &= I^2 \times R = I^2 \times (Z \times \cos\phi) \\ &= (IZ) \times I \times \cos\phi \\ &= V \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

Dimana :

Z = Impedansi satuannya Ohm

V = Tegangan satuannya Volt

I = Arus dengan satuannya Ampere

Untuk menghitung satu fasa :

$$P = V \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk menghitung tiga fasa :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots (2.6)$$

2.6 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah bagian dari daya listrik dalam sistem AC yang tidak melakukan pekerjaan nyata tetapi diperlukan untuk mempertahankan medan magnet dan elektrik pada perangkat seperti motor, transformator, dan induktor. Daya reaktif diukur dalam volt-ampere reaktif (VAR) dan dihasilkan oleh komponen induktif atau kapasitif dalam sistem. Meski daya ini tidak diubah menjadi energi berguna, keberadaannya penting untuk menjaga operasi yang stabil dan efisien dari perangkat listrik (Stephen J. Chapman, 2005). Dapat dirumuskan dalam persamaan 2.7 untuk menghitung daya reaktif adalah:

$$\begin{aligned} Q &= I^2 \times X = I^2 \times (Z \times \sin\phi) \\ &= (IZ) \times I \times \sin\phi \\ &= V \times I \times \sin\phi \dots\dots\dots(2.7) \end{aligned}$$

Dimana :

- Q = Daya reaktif dengan satuannya Var
- X = Reaktansi dengan satuannya Ohm
- V = Tegangan dengan satuannya Volt
- I = Arus dengan satuannya Ampere

Untuk menghitung satu fasa :

$$Q = V \times I \times \sin\phi \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk menghitung tiga fasa :

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \dots\dots\dots(2.9)$$

2.7 Daya Semu

Daya semu adalah gabungan dari daya aktif (nyata) dan daya reaktif dalam sistem listrik AC. Diukur dalam volt-ampere (VA), daya semu mencerminkan total daya yang disediakan oleh sumber listrik ke beban, termasuk komponen yang melakukan kerja nyata dan yang tidak tetapi tetap diperlukan untuk mempertahankan medan listrik dan magnet. Daya semu penting dalam perancangan

dan analisis sistem listrik karena mencakup semua aspek penggunaan daya dalam sistem (Stephen J. Chapman, 2005). Dapat dirumuskan dalam persamaan 2.10 untuk menghitung daya semu adalah:

$$S = V \times I$$

$$S = \frac{P}{\cos\phi} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

S = Daya yang disalurkan (VA)

V = Tegangannya saluran (V)

I = Arus (A)

Untuk menghitung satu fasa :

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk menghitung tiga fasa :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.12)$$

2.8 Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio daya aktif (nyata) yang digunakan dalam suatu sistem kelistrikan dengan total daya nyata yang disuplai ke sistem tersebut.. Faktor daya mengukur efisiensi pemanfaatan daya dalam sistem dan diwakili oleh angka dari 0 hingga 1 atau dalam persentase (%). Faktor daya tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang disuplai digunakan untuk melakukan pekerjaan nyata, sedangkan faktor daya rendah menunjukkan bahwa lebih banyak daya terbuang sebagai daya reaktif (Stephen J. Chapman, 2005). Dapat dirumuskan dalam persamaan 2.13 untuk menghitung faktor daya adalah:

$$\textbf{Faktor Daya} = \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

P = Daya Aktif

S = Daya Semu

2.9 Torsi Motor Induksi

Torsi merupakan salah satu tenaga atau kekuatan yang bisa menimbulkan memutar. Hal ini dapat menyebabkan motor induksi berputar (Program et al., 2021). Gaya putar yang dihasilkan oleh motor induksi dikenal sebagai torsi. Torsi ini muncul dari interaksi antara medan magnet yang diciptakan oleh stator dan arus listrik yang mengalir melalui rotor. Saat motor induksi diaktifkan, medan magnet yang berputar terbentuk di stator, yang pada gilirannya menginduksi arus pada rotor. Hubungan antara medan magnet dan arus tersebut menciptakan torsi yang menyebabkan rotor berputar, menggerakkan beban yang dihubungkan padanya (Hughes, 2006). Torsi mempunyai gaya dan jarak (lb-ft) dan bisa dapat dirumuskan dalam persamaan 2.15 :

$$T = \frac{P_{out}}{\omega} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

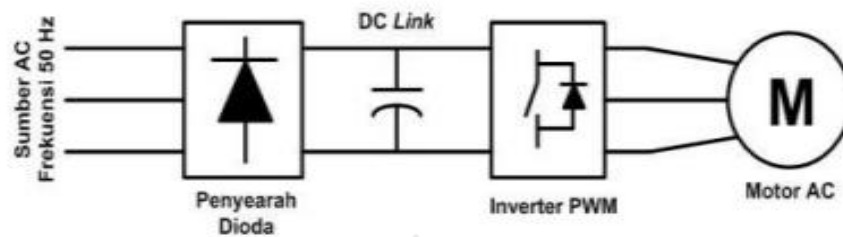
T = Torsi
 P_{out} = Daya keluaran motor induksi
 ω = Kecepatan sudut putar

2.10 Inverter Tiga Fasa

Inverter tiga fasa adalah alat elektronik yang mampu mengonversi arus searah dan tegangan tiga fasa menjadi arus bolak-balik. Selain itu, inverter digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor dengan mengubah frekuensi dan tegangan yang disuplai ke motor. Penyesuaian frekuensi dan tegangan ini bertujuan untuk mencapai kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan. Prinsip kerja dasar inverter adalah mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, kemudian kembali menjadi tegangan AC dengan frekuensi yang dapat diatur sesuai kebutuhan.

Inverter adalah suatu alat yang digunakan Untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan mengubah frekuensi listrik sesuai kecepatan yang diinginkan, digunakan Variable Frequency Drive (VFD). VFD adalah sistem yang mengendalikan kecepatan putaran motor listrik arus bolak-balik (AC) dengan cara mengatur frekuensi listrik yang disuplai ke motor. VFD juga dikenal dengan

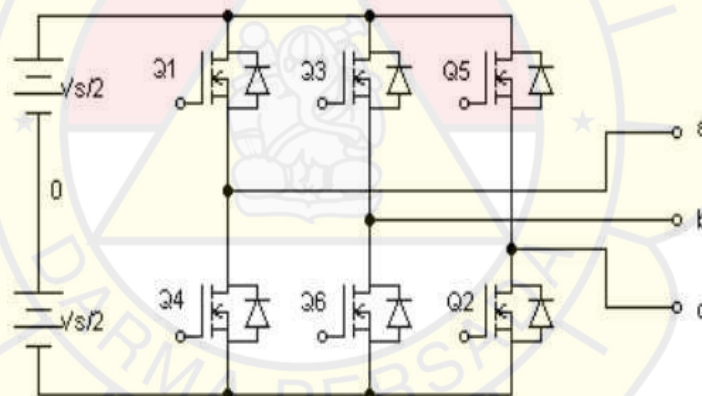
berbagai nama lain, seperti Adjustable Frequency Drive (AFD), Variable Speed Drive (VSD), AC Drive, Micro Drive, atau Variable Frequency Drive.



Gambar 2. 2 Rangkaian pengendali kecepatan motor AC

2.11 Prinsip Kerja Inverter

Terlihat Prinsip kerja Inverter tiga fasa pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Rangkaian inverter tiga fasa

Rangkaian inverter ini terdiri dari enam perangkat switching (MOSFET) yang bekerja berpasangan dan bergantian dalam mode hidup-mati (on-off). Karenanya, diperlukan enam pulsa untuk mengoperasikan perangkat ini secara bergantian. Inverter ini dirancang untuk menghasilkan tegangan 380 Vac dan arus 3 Ampere. Untuk memenuhi persyaratan ini, tipe MOSFET yang digunakan memiliki kemampuan switching di bawah 60 Hz, tegangan sumber-drain hingga 400 V, dan arus drain I_D sebesar 20 Ampere.

2.12 Pulsa Width Modulation

Modulasi Lebar Pulsa/PWM adalah modulasi lebar pulsa. Yang bertujuan untuk menciptakan lebar pulsa yang diinginkan, Drive yang menggunakan PWM lebih efisien dan menawarkan kinerja lebih. Dengan mengkonversi sinyal digital ke konverter analog/digital ke analog.

Karena ada rangkaian yang berbentuk transistor dan sejenisnya, fungsinya untuk menghentikan dan menyambung sehingga terjadi perubahan lebar pulsa. pada waktu tertentu (Bose, 2002). Perubahan lebar pulsa ini menyebabkan perubahan frekuensi seiring waktu.

$$f = \frac{1}{\text{cycle}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

f = adalah frekuensi
 1 = adalah waktu(s)
 Cycle = adalah gelombang