



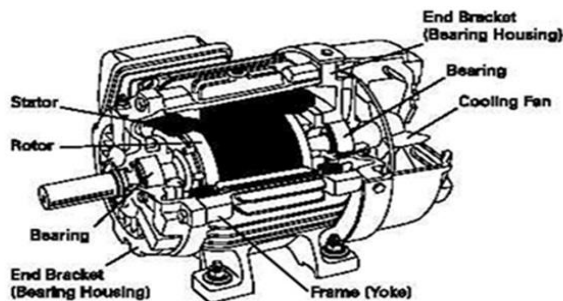
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi 3 Phasa

Motor induksi tiga phasa atau sering juga disebut motor tak serempak (asinkron) merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dalam industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai banyak keunggulan antara lain sebagai berikut :

- Bentuknya sederhana, mempunyai rangka yang kokoh, kuat dan tidak mudah rusak.
- Harganya lebih murah dibandingkan dengan jenis motor lainnya dan banyak tersedia di pasaran.
- Efisiensinya tinggi pada keadaan normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi gesekan dapat dihindari.
- Perawatannya lebih mudah.
- Pada waktu mulai beroperasi tidak memerlukan tambahan peralatan khusus.



Gambar 2.1 Bentuk Motor Induksi 3 Phasa¹

Namun, disamping hal tersebut perlu juga diperhatikan faktor-faktor kekurangannya antar lain sebagai berikut :

- Effisiensi motor berpengaruh dari pengaturan kecepatan motor.
- Kecepatannya akan berkurang jika bebannya bertambah.
- Torsi awalnya lebih rendah daripada torsi motor DC shunt.

¹ insyaansori.blogspot.com



2.2 Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa

Pada dasarnya motor induksi arus putar terdiri dari suatu bagian yang tidak berputar (stator) dan bagian yang bergerak memutar (rotor). Secara ringkas stator terdiri dari potongan-potongan lempengan besi yang berisolasi pada satu sisinya dan mempunyai ketebalan 0,35-1 mm disusun menjadi sebuah paket yang berbentuk gelang. Dan disisi dalamnya dilengkapi dengan alur-alur, didalam alur ini terdapat perbedaan antara motor asinkron dengan lilitan sarang (rotor sarang atau rotor hubung pendek) dan gelang seret dengan lilitan tiga fasa.

Atau dari sisi lainya bahwa inti besi stator dan rotor terbuat dari lapisan baja silicon tebalnya 0,35-0,5 mm tersusun rapi, masing-masing terisolasi secara elektrik dan diikat pada ujung-ujungnya. Lamel inti besi stator dan rotor bagian motor dengan garis tengah bagian luar dari stator lebih dari 1m, bagian motor dengan garis tengah lebih besar, lamel inti besi merupakan busur inti segmen yang disambung-sambung menjadi satu lingkaran.

Celah udara antara rotor dan stator pada motor yang kecil adalah 0,25-0,75 mm, sedangkan pada motor yang besar sampai 10mm. Celah udara yang besar ini disediakan bagi kemungkinan terjadinya perenggangan pada sumbu sebagai akibat pembebanan transversal pada sumbu atau sambungannya. Tarikan pada pita (*Belt*) atau beban yang tergantung tersebut akan menyebabkan sumbu motor melengkung.

Pada dasarnya inti besi stator dan belitan rotor motor tak serempak ini sama dengan stator dan belitan stator mesin serempak. Kesamaan ini dapat ditunjukkan bahwa pada rotor mesin tak serempak yang dipasang sesuai dengan stator mesin tak serempak akan dapat bekerja dengan baik.²

2.2.1 Stator (Bagian Motor Yang Diam)

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-

² Sumardjati, Prih. 2007, Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik, Jakarta. Hal :408



masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. Stator terdiri dari plat-plat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan tersebut akan timbul fluks magnet putar. Karena adanya fluks magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator.

$$N_s = 120 \cdot \frac{f}{P} \dots\dots\dots(2.1)^3$$

Dimana :

- N_s = Kecepatan sinkron (rpm)
- f = Besarnya frekuensi (Hz)
- P = Jumlah pasang kutub

Dari bagian motor yang lain (stator) dapat dibagi-bagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut :

- Badan motor (*frame*)
- Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet
- Sikat.
- Komutator.
- Lilitan jangkar.

1.Badan Motor (*frame*)

Fungsi utama dari badan motor atau *frame* adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya fluks magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu badan motor dibuat dari bahan feromagnetik. Disamping itu badan motor ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Biasanya pada motor terdapat papan nama atau *name plate* yang bertuliskan spesifikasi umum dari motor.

³ Sumardjati,Prih.2007, Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik, Jakarta. Hal :413



2. Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet.

Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dibuat dengan prinsip elektromagnetis. Lilitan penguat magnet ini berfungsi untuk mengalirkan arus listrik agar terjadi proses elektromagnetis.

3. Sikat-Sikat dan Pemegang Sikat

Fungsi dari sikat adalah sebagai jembatan bagi aliran arus dari sumber. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi, agar gesekan antara sikat dan komutator sehingga sikat harus lebih lunak daripada komutator, biasanya terbuat dari bahan arang.

Sikat-sikat akan haus selama operasi dan tingginya akan berkurang, haus yang diizinkan ditentukan oleh konstruksi dari pemegang sikat (gagang sikat). Bagian puncak dari sikat diberi plat tembaga guna mendapatkan kontak yang baik antara sikat dan dinding pemegang sikat. Bila sikat-sikat terdapat pada kedudukan yang benar baut harus dikuatkan sepenuhnya, hal ini menetapkan jembatan sikat dalam suatu kedudukan yang tidak dapat bergerak pada pelindung ujung. Sedangkan tiap-tiap gagang sikat dilengkapi dengan suatu pegas yang menekan ada sikat melalui suatu sistem tertentu sehingga sikat tidak terjepit.

4. Komutator

Komutator berfungsi sebagai penyearah mekanik yang sama-sama dengan sikat membuat suatu kerjasama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan hendaknya dalam jumlah yang besar. Setiap belahan (segmen) komutator berbentuk lempengan.

Disamping penyearah mekanik maka komutator berfungsi juga untuk mengumpulkan ggl induksi yang terbentuk pada sisi-sisi kumparan. Oleh karena itu komutator dibuat dari bahan konduktor, dalam hal ini digunakan dalam campuran tembaga.



2.2.2. Rotor (Bagian Motor yang Bergerak)

Berdasarkan hukum *faraday* tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relatif merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (GGL). Frekuensi imbas ggl ini sama dengan frekuensi jala-jala.

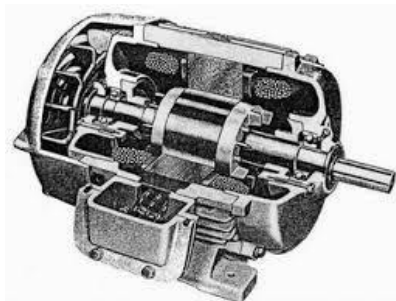
Besar ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relative antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar-penghantar rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian pelaju bagi arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz.

Dalam hal ini arus rotor itu ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluks atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor ini akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator.

Sedangkan menurut bentuk rotor, motor induksi terbagi atas dua golongan yaitu :

1. Motor induksi rotor sangkar

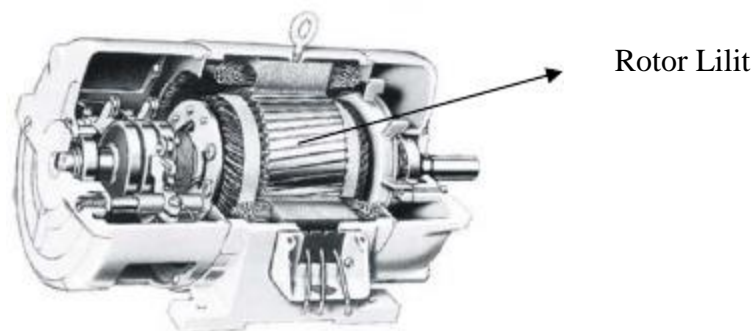
Motor induksi rotor sangkar konstruksinya sangat sederhana, yang mana motor dari rotor sangkar adalah konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor dipasang paralel, atau kira-kira paralel dengan poros yang mengelilingi permukaan inti. Konduktornya tidak terisolasi dari inti karena arus rotor secara alamiah akan mengalir melalui tahanan yang paling kecil konduktor rotor. Pada setiap ujung rotor, konduktor rotor semuanya dihubungkan dengan cincin ujung, batang rotor dan cincin ujung sangkar 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 didalam alur kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Adapun konstruksi dari motor induksi rotor sangkar dapat dilihat berikut ini :



Gambar 2.2 Motor Induksi Rotor Sangkar⁴

2. Motor induksi Rotor Lilit

Motor rotor lilit atau motor cincin *slip* berbeda dengan motor rotor sangkar dalam konstruksi rotornya, seperti namanya rotor dililit dengan lilitan terisolasi seupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dengan poros motor. Ketiga cincin slip yang terpasang pada cincin *slip* dan sikat-sikat dapat dilihat berada pada sisi sebelah kiri lilitan rotor dan lilitan rotor tidak dihubungkan ke pencatu. Cincin slip dan sikat-sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan keandali variable luar kedalam rangkaian motor. Motor rotor lilit kurang banyak digunakan dibandingkan dengan motor rotor sangkar karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar. Adapun konstruksi dari motor rotor lilit dapat dilihat berikut ini.



Gambar 2.3 Motor Induksi Rotor Lilit⁵

⁴ repository.usu.ac.id

⁵ repository.usu.ac.id



Belitan stator untuk kedua golongan sama, ketiga belitan phasanya dapat dibentuk dalam hubungan delta (Δ) maupun hubungan bintang (Y).

Pada jenis rotor sangkar badan rotor terbuat dari plat-plat berbentuk batang-batang konduktor yang dipasang miring terhadap as dalam alur yang letaknya membujur dan disatukan oleh cincin yang terbuat dari tembaga. Pada jenis rotor belitan, belitan serupa dengan belitan stator tetapi selalu dalam bentuk hubungan bintang. Untuk hubungan sirkuit keluar terdapat 3 buah pasangan cincin gesek dan sikat. Biasanya hubungan keluar ini diperuntukkan bagi sirkuit tahanan start.

Tipe-tipe belitan stator motor induksi sama dengan belitan motor sinkron yang secara prinsip tidak jauh pula bedanya dengan belitan mesin arus searah. Kadang-kadang belitan motor induksi dibuat dengan bermacam hubungan dengan maksud :

- a. Memungkinkan motor dapat bekerja pada 2 macam tegangan dengan perubahan hubungan delta atau bintang. Ataupun bagi keperluan start motor guna memperkecil arus start.
- b. Memungkinkan motor bekerja pada beberapa macam putaran berdasarkan perubahan jumlah kutub stator.

2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Phasa

Adapun prinsip kerja motor induksi (tiga phasa) mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Apabila catu daya arus bolak-balik tiga phasa dihubungkan pada kumparan stator (jangkar) maka akan timbul medan putar dengan kecepatan :

Perhitungan dapat menggunakan rumus pada persamaan (1.1)

2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL) sebesar



$$E_{2s} = 4,44 \cdot F_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m \dots\dots\dots(2.2)^6$$

E_{2s} : Tegangan induksi pada saat rotor berputar

N_2 : Putaran rotor

f_2 : Frekuensi rotor

ϕ_m : Fluks

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka E_2 akan menghasilkan arus (I)
5. Adanya arus I dalam medan magnet akan menimbulkan gaya F pada rotor.
6. Bila kopel awal yang dihasilkan oleh gaya F pada rotor cukup besar untuk menggerakkan beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan induksi terjadi karena terpotongnya konduktor rotor oleh medan putar, artinya agar terjadi tegangan induksi maka diperlukan adanya perbedaan kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan medan putar rotor (N_r).
8. Perbedaan kecepatan antara N_s dan N_r disebut Slip (S).

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.3)^7$$

9. Bila $N_r = N_s$ maka tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir, dengan demikian kopel tidak akan ada dan motor tidak berputar, kopel motor akan ada kalau ada perbedaan antara N_r dengan N_s , $N_r < N_s$.

2.4 Definisi Daya Listrik Secara Umum

Definisi daya listrik adalah laju perpindahan energi persatuan waktu, yang dilambangkan dengan P. Satuan internasional adalah Watt, yang diambil dari nama James Watt (1736 – 1819). Dalam satuan yang umumnya dipakai adalah Horse Power (HP), dimana : 1 HP = 746 watt.

⁶ Drs. Sumanto, MA. 1993, *Motor Arus Bolak-Balik*, Yogyakarta. Hal : 7

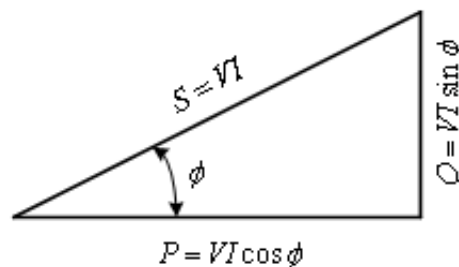
⁷ Sumardjati, Prih. 2007, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*, Jakarta. Hal : 413



Adapun beberapa pengertian daya yakni : daya aktif (daya nyata), daya reaktif dan daya semu ialah

- Daya aktif (nyata) adalah daya yang dapat diubah menjadi daya Thermos mekanis langsung dapat dirasakan oleh konsumen. Satuannya adalah Watt (W), Kilo Watt (KW), dan Mega Watt (MW).
- Daya reaktif adalah daya yang diperlukan oleh rangkaian megnetisasi peralatan listrik, jadi tidak langsung dipakai, hanya untuk tujuan magnetisasi. Satuannya Volt Ampere Reaktif (VAR), Kilo Volt Ampere Reaktif (KVAR), dan Mega Volt Ampere Reaktif (MVAR).
- Daya semu adalah jumlah secara vektoris daya aktif (nyata) dan daya reaktifnya. Satuannya adalah Volt Ampere (VA), Kilo Volt Ampere (KVA) dan Mega Volt Ampere (MVA).

Jadi hubungan antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu dapat digambarkan pada segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 2.4 Segitiga Daya⁸

Dari gambar diatas terdapat tiga jenis persamaan daya untuk tegangan 1 phasa dan 3 phasa . Penjelasan dari gambar diatas dapat kita lihat sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(2.4)^9$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(2.5)^{10}$$

⁸ konversi.wordpress.com

⁹ www.alfianelectro.com/konsep-segitiga-daya/

¹⁰ Locid.



$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(2.6)^{11}$$

2.5. Daya Pada Motor Induksi

Pada motor induksi terjadi perubahan energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor. Pada motor induksi daya mekanik yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan yang diinginkan.

Daya pada motor listrik dapat dihitung menggunakan perhitungan perphasa maupun tiga phasa dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_1 \theta = V_p \cdot I_p \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2.7)^{12}$$

Atau

$$P_3 \theta = 3 \cdot P_1 \theta \dots\dots\dots(2.8)^{13}$$

$$P_3 \theta = 3 \cdot V_p \cdot I_p \cdot \cos \theta \dots\dots\dots(2.9)^{14}$$

Harga tegangan phasa (V_p) adalah :

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.10)^{15}$$

Dimana :

$P_1 \theta$: Daya aktif satu phasa (W)

$P_3 \theta$: Daya aktif tiga phasa (W)

V_L : Tegangan line-line (V)

V_p : Tegangan perphasa (V)

I : Arus (A)

$\cos \theta$: Faktor daya

Pada motor induksi tiga phasa digunakan *Gear Reducer* sebagai penghubung untuk menggerakkan *Belt Conveyor*. Poros *Belt Conveyor* dihubungkan pada kopling

¹¹ Locid

¹² Hagan, Ganta.2009. Analisa Daya Motor Induksi 3 Phasa, Palembang : Politeknik Negeri Sriwijaya

¹³ Locid

¹⁴ Locid

¹⁵ Locid



yang ada di *Gear Reducer*. Daya keluaran pada *Gear Reducer* ditentukan oleh beberapa faktor antara lain :

- M : Momen pada poros *Gear Reducer* (N.m)
- F : Gaya keliling pada poros (N)
- r : Jari-jari pada *pulley* penggerak (m)
- n : Frekuensi putaran dalam detik (dt^{-1})
- ω : Kecepatan sudut dalam rad/detik

Sehingga daya mekanik pada *Gear Reducer* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$P_{mekanik} = M \cdot \omega \dots\dots\dots(2.11)^{16}$$

Momen di *Gear Reducer* pada kondisi berbeban dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$M = F \cdot r \dots\dots\dots(2.12)^{17}$$

Sedangkan percepatan pada *Belt Conveyor* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$a = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2.13)^{18}$$

Dimana :

- a : Percepatan pada *belt conveyor* (m/s^2)
- t : Waktu yang ditempuh *belt conveyor* dari kecepatan awal hingga mencapai kecepatan konstan
- V : Kecepatan *linier* pada *belt conveyor* (m/s)

Momen pada poros (M) *Gear Reducer* saat *belt conveyor* pada *Stacker Reclaimer* tidak ada batubara dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (2.12). Sedangkan gaya keliling pada poros dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

¹⁶ Siswoyo. 2008. Teknik Listrik Industri Jilid 2. Jakarta : Departemen Nasional. Hal : 5-8

¹⁷ Locid

¹⁸ Brodjonegoro, Satriyo Soemantri. 2001. Konveyor Sabuk Dan Peralatan Pendukung. Junto Engginering. Bandung



$$F = m \cdot a \dots\dots\dots(2.14)^{19}$$

Dimana :

m : Berat total *belt conveyor* (kg/meter)

a : Percepat pada *belt conveyor* (m/s^2)

Untuk kecepatan sudut pada saat *belt conveyor* pada *Stacker Reclaimer* dalam keadaan tidak berbeban dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \dots\dots\dots(2.15)^{20}$$

Sedangkan pada *Gear Reducer* dipasang *pulley* penggerak sebagai media untuk menggerakkan *Belt Conveyor*. Poros pada *Gear Reducer* dihubungkan dengan *pulley* penggerak. Daya keluaran pada *Belt Conveyor* tersebut ditentukan oleh beberapa faktor yaitu :

F : Gaya keliling pada *pulley* penggerak (N)

m : Berat batubara dalam satu menit (kg/menit)

a : Percepatan *Linier* (m/s^2)

V : Kecepatan *linier* dalam (m/s)

t : Waktu yang ditempuh *belt conveyor* dari kecepatan awal hingga mencapai kecepatan konstan (s)

I : Momen *Inersia* ($Kg \cdot m^2$)

r : Jari-jari *pulley* penggerak (m)

α : Percepatan sudut (rad/s^2)

ω : Kecepatan sudut dalam(rad/s)

Sehingga perhitungan daya mekanik pada *Belt Conveyor* dapat ditentukan dengan 2 cara yaitu dalam Gerak Translasi dan Gerak Rotasi :

Gerak Translasi

$$P_{mekanik} = F \cdot V \dots\dots\dots(2.16)^{21}$$

¹⁹ Locid.

²⁰ Locid.

²¹ Frederick, J, BUECHE, PH. D. *Teori dan Soal-Soal Fisika. Hal 88*



Dimana gaya (F) disana adalah gaya keliling pada *pulley* dan nilai dari gaya (F) tersebut.

. Dan pada *Belt Conveyor* ini terdapat energi kinetik yang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus yaitu :

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot V^2 \dots\dots\dots(2.17)^{22}$$

Dimana :

F : Gaya keliling pada *pulley* penggerak (N)

a : Percepatan *linier* (m/s^2)

V : Kecepatan *linier* dalam (m/s)

t : Waktu yang ditempuh *Belt Conveyor* dari awal hingga mencapai kecepatan konstan (s)

E_k : Energi Kinetik ada *Belt Conveyor* (*Joule*)

Gerak Rotasi

$$P_{mekanik} = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots(2.18)^{23}$$

Dimana untuk mencari torsi (τ) dapat ditentukan dengan rumus :

$$\tau = I \cdot \alpha \dots\dots\dots(2.19)^{24}$$

Untuk mencari momen *Inersia* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$I = M \cdot k^2 \dots\dots\dots(2.20)^{25}$$

Sedangkan untuk mencari persepatan sudut (α) kita dapat menggunakan rumus :

$$\alpha = \frac{\omega f - \omega_0}{t} \dots\dots\dots(2.21)^{26}$$

Dan untuk mencari kecepatan sudut (ω) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sama seperti persamaan (2.15)

²² Brodjonegoro, Satriyo Soemantri. 2001. *Konveyor Sabuk Dan Peralatan Pendukung*. Junto Engginering. Bandung

²³ Frederick, J, BUECHE, PH. D. *Teori dan Soal-Soal Fisika*. Hal : 88

²⁴ Freder17ick, J, BUECHE, PH. D. *Teori dan Soal-Soal Fisika*. Hal : 88

²⁵ Locid.

²⁶ Locid.



Dimana :

- I : Momen *Inersia* ($Kg.m^2$)
- M : Berat total pada *Belt Conveyor* (N)
- α : Percepatan sudut (rad/s^2)
- k : Radius girasi (m)

2.6 Rugi-Rugi Pada Motor Induksi

Seperti diketahui bahwa motor-motor listrik adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkonfirmasi energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistem konversi energi, yaitu : mempunyai daya output tepat sama dengan daya input yang dapat dikatakan efisiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi dibawah 100%. Dalam sistem konversi energi elektromekanik, yakni dalam operasi motor-motor listrik terutama pada motor induksi, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{in} = P_{out} + \text{Prugi-rugi} \dots \dots \dots (2.22)^{27}$$

Dimana :

- P_{in} : Total daya yang diterima
- P_{out} : Daya yang diberikan motor untuk melakukan kerja.
- Prugi : Total kerugian yang dihasilkan oleh motor.

Efisiensi motor listrik dapat didefinisikan dari bentuk diatas, sebagaimana perbandingan dimana :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{P_{in} - \text{Prugi}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.23)^{28} \end{aligned}$$

²⁷ Siswoyo. 2008. Teknik Listrik Industri Jilid 2. Jakarta : Departemen Nasional. Hal : 5-7

²⁸ Drs. Sumanto, MA. 1993, *Motor Arus Bolak-Balik*, Yogyakarta. Hal : 134



Dari persamaan diatas, perlu dipelajari faktor-factoryang menyebabkan efisiensi selalu dibawah 100%. Untuk itu perlu diketahui kerugian apa saja yang timbul selama motor beroperasi.

1. Rugi-Rugi Inti

Rugi-rugiinti diperoleh magnetis dalam stator dan rotor akibat timbulnya efek hesteris dan arus pusar (Eddy Current). Timbulnya rugi-rugi inti ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi-rugi ini tidak bergantung pada beban. Tetapi merupakan fungsi daripada fluks dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi-rugi inti berkisar antara 20-25 dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

2. Rugi-Rugi Mekanik

Rugi-rugi gesekan atau mekanik adalah energi mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan bantalan poros, gesekan sikat melawan komutator atau slip ring, gesekan dari bagian yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipas pendingin. Kerugian energi ini selalu berubah menjadi panas seperti pada semua rugi-rugi lainnya.

Rugi- rugi mekanik dianggap konstan dari beban nol hingga beban penuh, dan ini adalah masuk akal tetapi tidak sepenuhnya tepat seperti halnya pada rugi –rugi inti. Macam-macam ketidaktepatan ini dapat dihitung dalam rugi-rugi *stray load*, rugi-rugi mekanik biasanya berkisar antara 5 – 8% dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

3. Rugi-Rugi Belitan

Rugi-rugi belitan atau sering juga disebut rugi-rugi tembaga, tetapi pada saat sekarang tidak begitu, hanya notor listrik terutama motor dengan ukuran sangat kecil diatas 750 W, mempunyai belitan stator dari kawat kawat aluminium. Yang lebih tepat disebut rugi-rugi ($I^2 \cdot R$) yang menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor tembaga atau aluminium. Total kerugian ($I^2 \cdot R$) adalah jumlah dari rugi-rugi ($I^2 \cdot R$) primer (stator) dan rugi-rugi ($I^2 \cdot R$) sekunder



(rotor), termasuk rugi-rugi kontak sikat pada motor. Rugi-rugi ($I^2 \cdot R$) dalam belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, tetapi juga pada tahanan belitan dibawah kondisi operasi. Sedangkan tahanan efektif dari belitan selalu berubah dengan perubahan temperature, *skin effect* dan sebagainya.

Sangat sulit untuk menentukan daya yang sebenarnya dari tahanan belitan dibawah kondisi operasi. Kesalahan pengukuran kerugian belitan dapat dimasukan ke dalam kerugian *stray load*. Pada umumnya rugi-rugi belitan ini berkisar antara 55 – 60% dari total kerugian motor pada keadaan beban normal.

4. Rugi-Rugi Stray Load

Kita telah melihat beberapa macam kerugian selalu dianggap konstan dari keadaan beban nol hingga beban penuh walaupun kita tahu bahwa rugi-rugi tersebut sebenarnya berubah secara kecil terhadap beban. Perubahan fluks terhadap beban, *skin effect*, geometri konduktor sehingga arus terbagi sedikit tidak merata dalam konduktor bertambah, mengakibatkan pertambahan tahanan konduktor dan karena itu rugi-rugi konduktor harus bertambah. Dari semua kerugian yang relative kecil ini, baik dais ember yang diketahui menjadi rugi-rugi *stray load* yang cenderung bertambah besar apabila beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban).

2.7 Cara Menentukan Rugi-Rugi Pada Motor

Rugi-rugi pada motor listrik sebagian dapat ditemukan dengan cara konvensional, yaitu dengan percobaan beban nol seluruh daya listrik input motor digunakan untuk mengatasi rugi-rugi inti dan rugi-rugi mekanik.

Pada motor AC tahanan equivalen motor dapat ditentukan dengan percobaan block rotor (hubungan singkat). Dimana pada keadaan ini rangkaian equivalen motor adalah sama dengan rangkaian equivalen hubung singkat dari suatu transformator, jadi daya pada keadaan ini merupakan rugi-rugi tahanan atau belitan dan pada keadaan ini rugi-rugi inti dapat diabaikan karena tegangan hubungan singkat relative kecil dibandingkan dengan tegangan nominalnya.



Rugi-rugi *stray load* adalah rugi-rugi yang paling sulit ditukar dan berubah terhadap beban motor. Rugi-rugi ini ditentukan sebagai rugi-rugi sisa (rugi-rugi pengujian dikurangi rugi-rugi konvensional). Rugi-rugi pengujian adalah daya input dikurangi daya output. Rugi-rugi konvensional adalah jumlah dari rugi-rugi inti, rugi-rugi mekanik, rugi-rugi belitan. Rugi-rugi *stray load* juga dapat ditentukan dengan anggapan kira-kira 1% dari daya output dengan kapasitas daya 150 KW atau lebih, dan untuk motor yang lebih kecil dari itu dapat diabaikan.

2.8 Efisiensi Daya Pada Motor Induksi

Effisiensi daya motor adalah perbandingan daya output dengan daya input. Daya output dapat dinyatakan sebagai daya input dikurangi rugi-rugi pada motor induksi tersebut.

$$\% \text{ Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{Daya Mekanik}}{\text{Daya Listrik}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.24)^{29}$$

$$\% \text{ Efisiensi } (\eta) = \frac{\text{Daya Listrik} - \text{Rugi-rugi}}{\text{Daya Listrik}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.25)^{30}$$

Rugi-rugi motor terdiri dari rugi-rugi konstan dan variable. Rugi-rugi konstan dianggap tidak berubah dari beban nol hingga beban penuh. Rugi-rugi variabel tergantung pada beban motor, berbanding kuadrat dengan arus beban. Motor berefisiensi rendah apabila beban pada motor rendah, karena kerugian daya pada motor relative besar dibandingkan dengan daya output pada beban yang besar, kerugian output menjadi relative kecil terhadap daya output.

Efisiensi motor tidak distandarisasi, masing-masing pabrik pembuat motor memproduksi motor-motor dengan harga efisien sesuai dengan pertimbangan aspek ekonomis dan teknis, atau dengan kata lain motor-motor mempunyai data efisiensi yang berbeda untuk ukuran tipe yang sama tetapi pabrik pembuat motor tersebut

²⁹ Drs. Sumanto, MA. 1993, *Motor Arus Bolak-Balik*, Yogyakarta. Hal : 134

³⁰ Locid.



berbeda. Selain itu, efisiensi motor juga berbeda apabila kapasitasnya berbeda, makin besar kapasitasnya makin tinggi efisiensinya.

Perubahan kecepatan pada motor juga akan mempengaruhi nilai efisiensinya. Perubahan kecepatan motor dari slip s_1 dan s_2 mengakibatkan efisiensinya berubah dari suatu harga ke harga lainnya.

2.9 Pemeliharaan Motor Induksi

Hampir semua inti motor dibuat dari baja silicon atau baja gulung dingin yang dihilangkan karbonnya, sifat-sifat listriknya tidak berubah dengan usia. Walau begitu, perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi motor karena umur motor dan operasi yang tidak handal.

Sebagai contoh, pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatnya gesekan pada motor dan penggerak transmisi peralatan. Kehilangan resistansi pada motor, yang meningkat dengan kenaikan suhu. Kondisi ambient dapat juga memiliki pengaruh yang merusak pada kinerja motor.

Sebagai contoh, suhu ekstrim, kadar debu yang tinggi, atmosfir yang korosif, dan kelembaban dapat merusak sifat-sifat bahan isolasi, tekanan mekanis karena siklus pembebanan dapat mengakibatkan kesalahan penggabungan.

Perawatan yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja motor. Sebuah daftar periksa praktek. Perawatan yang baik akan meliputi :

- Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian bearings dan rumahnya (untuk mengurangi kehilangan karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendingin motor).
- Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban. Perubahan pada beban motor dari pengujian terakhir mengindikasikan suatu perubahan pada beban yang digerakan, penyebabnya yang harus diketahui.



- Pemberian pelumas secara teratur. Pihak pembuat biasanya member rekomendasi untuk cara dan waktu pelumas motor. Pelumasan yang tidak cukup dapat menimbulkan masalah, seperti yang telah diterangkan diatas. Pelumasan yang berlebihan dapat juga menimbulkan masalah, misalnya minyak atau gemuk yang berlebihan dari bearing motor dapat masuk ke motor dan menjenuhkan bahan isolasi motor, menyebabkan kegagalan dini atau mengakibatkan resiko kebakaran.
- Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakan. Sambungan yang tidak benar dapat mengakibatkan sumbu as dan bearing lebih cepat aus, mengakibatkan kerusakan terhadap motor dan peralatan yang digerakkan.
- Dipastikan bahwa kawat pemasok, ukuran kotak terminal dan pemasangannya yang benar.
- Sambungan-sambungan pada motor dan starter harus diperiksa untuk meyakinkan kebersihan dan kekencangannya.
- Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih untuk membantu penghilang panas untuk mengurangi kehilangan yang berlebihan. Umur isolasi pada motor akan lebih lama, untuk setiap kenaikan suhu operasi motor 10° C diatas suhu puncak yang direkomendasikan, waktu penggulung ulang akan lebih cepat, diperkirakan separuhnya.