

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Motor Induksi 3 Phasa

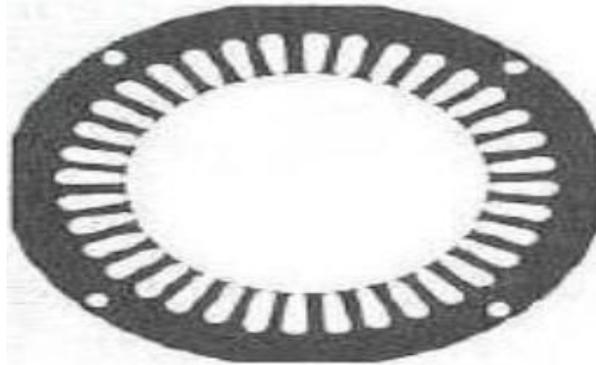
Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan Hukum *Lentz*, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar.

Jadi, bila beban motor bertambah, putaran motor cenderung menurun. Pada umumnya motor induksi terbagi menjadi dua macam jenis berdasarkan jumlah fasa yang digunakan, yaitu : motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Disebut motor tiga fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik tegangan yang dimasukkan pada rotor tersebut adalah tegangan tiga fasa. Keuntungan motor induksi :

- A. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksi hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe sangkar tupai).
- B. Harga relatif murah dan perawatan mudah.
- C. Efisiensi tinggi. Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat dan karenanya rugi daya yang di akibatkan dapat dikurangi.

Berikut ini contoh lempengan laminasi inti, lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah dilekatkan pada cangkang untuk motor induksi tiga phasa.

**a****Gambar 2.1.** Gambar Lempengan inti**b****Gambar 2.2.** Gambar inti dengan kertas isolasi pada beberapa alurnya



Gambar 2.3. Gambar Tumpukan inti dan belitan dalam cangkang stator.

Kekurangan motor induksi :

- a. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa pengorbanan efisiensi.
- b. Tidak seperti motor DC atau motor shunt, kecepatannya menurun seiring dengan tambahan beban.
- c. Kopel awal mutunya rendah jika dibandingkan dengan motor DC shunt.¹

2.2 Kelebihan Motor Induksi

Motor Induksi mempunyai konstruksi yang sederhana dan harganya relatif lebih murah bila dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya. Motor Induksi juga menghasilkan putaran yang konstan, mudah perawatannya, serta untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula dan tidak membutuhkan sikat – sikat, sehingga rugi gesekan bisa dikurangi.

2.3 Kekurangan Motor Induksi

Motor Induksi mempunyai kekurangan yaitu putarannya sulit diatur, power faktor rendah pada beban ringan, dan arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5 sampai dengan 6 kali arus nominal motor.

¹ Cekdin, Taufik.2013.*Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta : Andi Offset

2.4 Klasifikasi Motor Induksi

Motor induksi memiliki berbagai jenis yang dapat diklasifikasikan antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus, dan berdasarkan kecepatan.

2.4.1 Berdasarkan Prinsip Kerja

1. Motor Sinkron.
 - Biasa (tanpa slip ring)
 - Super (dengan slip ring)
2. Motor Asinkron
 - Motor Induksi (Squirrel Cage & Slip Ring)

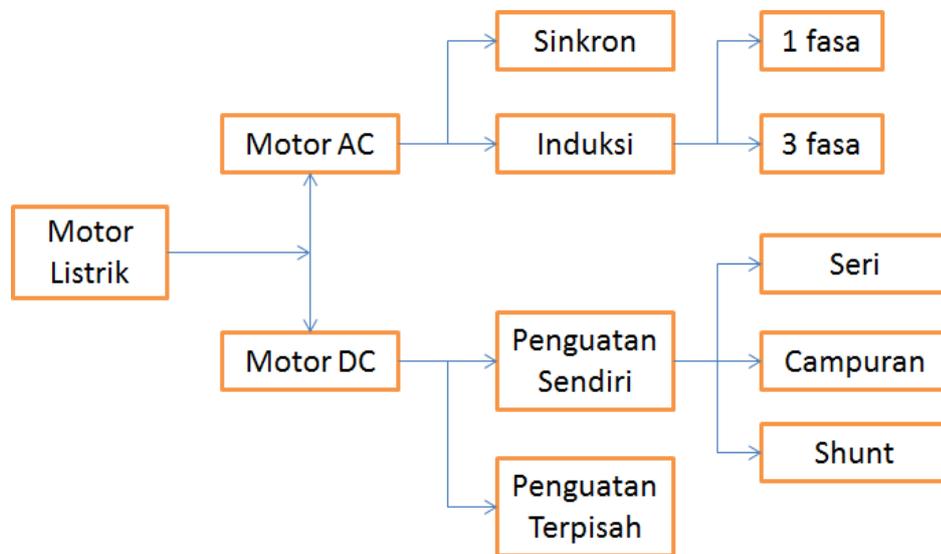
2.4.2 Berdasarkan Macam Arus

Berdasarkan macam arus motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Motor induksi satu fasa. Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor sangkar tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya.
2. Motor induksi tiga fasa. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi dan penyalaan sendiri.

2.4.3 Berdasarkan Kecepatan

1. Kecepatan Konstan
2. Kecepatan Berubah
3. Kecepatan Diatur²

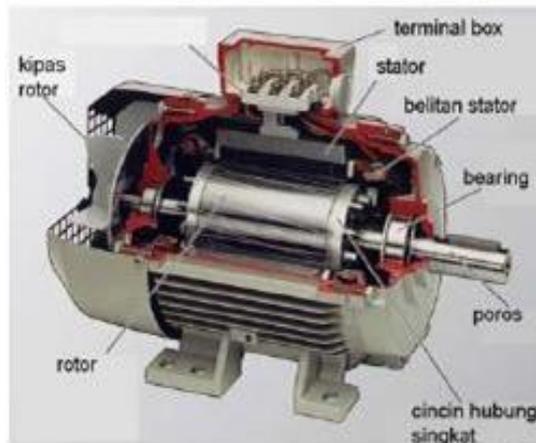


Gambar 2.4. Klasifikasi Motor Listrik

² Prih Sumardjati, dkk., Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3

2.5 Konstruksi Motor Induksi Tiga Phasa

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor dapat di lihat pada Gambar



Gambar 2.5. Bentuk Fisik Motor Induksi

Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan stator, karena dalam motor induksi tidak ada komutator dan sikat arang, selain itu juga konstruksi motor induksi lebih sederhana di bandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi sangat mudah yaitu di bagian mekanik nya saja, dan konstruksinya juga begitu sederhana serta motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu di pelihara rutin adalah pelumas bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box apabila terjadi kondor atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

2.5.1 Stator

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga phasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga phasa. Stator terdiri dari pelat-pelat besi

yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Lalu akan timbul flux medan putar , karena adanya flux medan putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar sinkron dengan kecepatan putar stator. Dari bagian stator dapat dibagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut :

1. Rangka (Frame)

Fungsi utama dari rangka adalah sebagai tempat mengalirnya fluks magnet, karena itu rangka mesin di buat dari bahan ferromagnetik. Selain itu rangka berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Mesin – mesin yang kecil di buat dari besi tuang, sedangkan mesin-mesin yang besar rangkanya di buat dari plat campuran baja yang berbentuk silinder.

2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

Fluks magnet yang terdapat pada mesin motor listrik dihasilkan oleh kutub kutub magnet. Kutub magnet diberi lilitan penguat magnet yang berfungsi untuk tempat aliran arus listrik supaya terjadi proses elektromagnetisme. Pada dasarnya kutub magnet terdiri dari magnet dan sepatu kutub magnet. Karena kutub magnet berfungsi menghasilkan fluks magnet, maka kutub magnet di buat dari bahan ferromagnetik, misalnya campuran baja-silikon. Di samping itu kutub magnet di buat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas karena adanya arus pusar yang terbentuk pada kutub magnet tersebut.

3. Sikat komutator

Fungsi dari sikat adalah sebagai sebagai penghubung untuk aliran arus dari lilitan jangkar ke terminal luar(generator) ke lilitan jangkar (Motor). Karena itu sikat sikat di buat dari bahan konduktor. Di samping itu sikat juga berfungsi untuk terjadinya komutasi bersamaan dengan komutator, bahan sikat harus lebih lunak dari komutator. Supaya hubungan/kontak antara sikat sikat yang diam dengan komutator

yang berputar dapat sebaik mungkin, maka sikat memerlukan alat pemegang dan penekan berupa per/pegas yang dapat diatur.

4. Komutator

Seperti diketahui komutator berfungsi sebagai alat penyearah mekanik, yang ber-sama-sama dengan sikat membentuk suatu kerjasama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan jumlahnya banyak. Karena itu tiap belahan/segmen komutator tidak lagi merupakan bentuk sebagian selinder, tetapi sudah berbentuk lempeng- lempeng. Diantara setiap lempeng/ segmen komutator terdapat bahan isolator. Isolator yang digunakan menentukan kelas dari mesin berdasarkan kemampuan suhu yang timbul dalam mesin tersebut.

5. Jangkar

Jangkar yang umum digunakan dalam mesin arus searah adalah yang berbentuk silinder, yang diberi alur pada bagian permukaannya untuk melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya Ggl imbas. Jangkar dibuat dari bahan yang kuat yang mempunyai sifat ferromagnetik dengan permeabilitas yang cukup besar, dengan maksud agar kumparan lilitan jangkar terletak dalam daerah yang imbas magnetnya besar sehingga ggl yang terbentuk dapat bertambah besar.

2.5.2 Rotor

Berdasarkan hukum Faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relative merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi imbas ggl ini sama dengan frekuensi jala-jala (sumber). Besarnya ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relative antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar – penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian pelaju arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum Lenz.

Dalam hal ini arus rotor ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator. Berdasarkan bentuk rotornya, motor induksi terbagi menjadi dua kelompok besar, Motor induksi bila ditinjau dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu motor rotor sangkar dan motor rotor lilit.

1. Motor Rotor Lilit.

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan kedalam alur- alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor.

Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubungkan singkat. Motor Induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.



Gambar 2.6. Motor Rotor Lilit

2.5.3 Rotor Sangkar

1. Motor Rotor Sangkar

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan dari pada jenis rotorkilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang- batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, alloy atau aluminium. Ujung- ujung batang penghantar dihubungkan singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut dengan Motor Induksi Rotor Sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.³

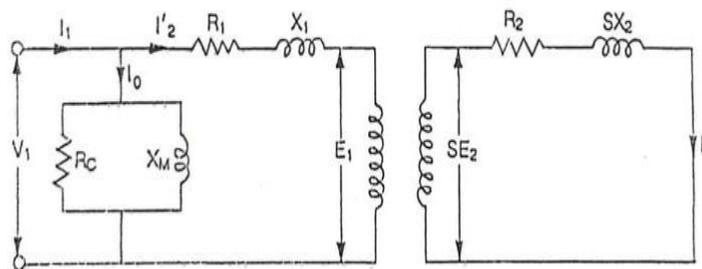


Gambar 2.7. Motor Rotor Sangkar

³ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008).

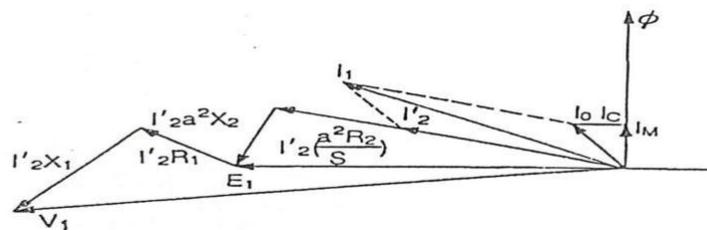
2.6 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Kerja motor induksi juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Oleh karena itu motor induksi dapat dianggap sebagai transformator dengan rangkaian sekunder yang berputar. Dengan demikian rangkaian motor induksi dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.

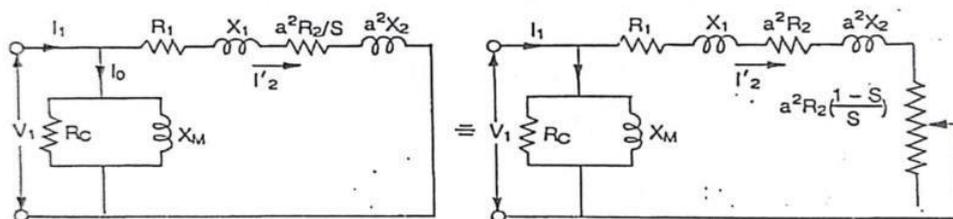


Gambar 2.8. Rangkaian motor induksi

Vektor diagram dapat dilihat pada gambar 2.9, sedangkan rangkaian ekivalen motor induksi dapat dilihat pada gambar 2.10, vektor diagram untuk rangkaian ekivalen motor induksi di atas dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.9. Vektor diagram motor induksi



Gambar 2.10. Rangkaian ekivalen motor induksi

2.7 Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor-motor induksi yaitu :

- a. Apabila sumber tegangan tiga fasa di pasang pada kumparan stator timbulah medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 f/p$ (2.1)
- b. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor
- c. Akibatnya pada kumparan rotor timbul (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44.f_2.N_2.m$$
 (2.2)
- d. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
- e. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada motor.
- f. Bila torsi mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator
- g. Tegangan magnet induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r)
- h. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s) dinyatakan dengan

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2.3)$$

- i. Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s . Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

2.8 Pengasutan Motor Induksi

Pengasutan motor induksi adalah cara menjalankan pertama kali motor, tujuannya agar starting kecil dan drop tegangan masih dalam batas toleransi. Dibawah ini beberapa macam pengasutan motor induksi :

2.8.1 Pengasutan Hubungan Langsung (DOL)

Jala-jala tegangan rendah 380 V melalui pemutus rangkaian atau kontaktor Q1 langsung terhubung dengan motor induksi. Sekering berfungsi sebagai pengaman hubungsingkat, jika terjadi beban lebih diamankan oleh relay pengaman beban lebih (overload relay). Saat pemutus rangkaian/ kontaktor di ON kan motor induksi akan menarik arus starting antara 5 sampai 6 kali arus nominal motor. Untuk motor induksi dengan daya kecil 5 KW, hubungan langsung bisa dipakai. Arus starting yang besar akan menyebabkan drop tegangan disisi suply.

2.8.2 Pengasutan Segitiga-Bintang⁴⁹

Metode starting Y – Δ banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi rotor sangkar yang mempunyai daya di atas 5 kW (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih starter yang umum dipakai antara lain : saklar rotari Y – Δ , saklar khusus Y- Δ atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor magnit beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untuk rangkaian starter Y – Δ . Arus starting sekitar 1,8 sampai 2,6 kali arus nominal. Dan torsi awal sekitar 0,5 torsi nominal.

2.8.3 Tahanan Depan Stator (*Primary Resistor*)

Starting dengan menggunakan tahanan primer adalah suatu cara menurunkan tegangan yang masuk ke motor melalui tahanan yang disebut tahanan primer karena tahanan ini terhubung pada sisi stator. Hal ini menggunakan prinsip tegangan jatuh.

⁴Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah MenengahKejuruan,2008),jilid2,hal.5-11.¹Cahyo.2015.(online).
<http://blog.unnes.ac.id/crowds/pengasutan-motor-listrik/> .

2.8.4 Autotransformator

Prinsipnya sama dengan menggunakan tahanan primer namun digantikan dengan trafo otomatis yang akan mengatur tegangan start dari motor. Setelah beberapa saat motor dipercepat, transformator diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh.

2.8.5 Tahanan Rotor Lilit

Metoda lain untuk menurunkan arus starting adalah dengan menggunakan tahanan (R) yang dihubungkan pada rangkaian rotor. Starting ini hanya dapat dipakai untuk motor induksi motor rotor lilit (motor slip ring), sedangkan untuk motor induksi rotor sangkar hal ini tidak bisa dilakukan. Motor induksi rotor lilit juga disebut motor induksi cincin geser (slipring), rotornya mempunyai lilitan yang dihubungkan ke tahanan luar. Pada waktu starting, motor dihubungkan dengan tahanan dengan harga R yang maksimum. Setelah motor running, maka rheostat dihubung singkat.⁵

2.9 Cara – Cara Menentukan Rugi – Rugi Pada Motor

Rugi – rugi motor listrik sebagian dapat ditemukan dengan cara konvensional yaitu dengan percobaan beban nol dan percobaan block rotor (hanya untuk motor arus bolak – balik). Percobaan beban nol dapat menentukan rugi – rugi rotasi motor. Pada keadaan beban nol, seluruh daya listrik input motor digunakan untuk mengatasi rugi – rugi inti dan rugi – rugi mekanik.

Rugi – rugi listrik motor dapat ditentukan yaitu pada tahanan DC, tahanan belitan dapat langsung diukur pada terminal belitan jangkar dan belitan penguat secara pengukuran DC, yaitu dengan mengukur tegangan dan arus dengan sumber DC pada belitan tersebut, atau dengan menggunakan ohm meter (jembatan wheatstone).

⁵ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah MenengahKejuruan,2008),jilid2,hal.5-11.¹Cahyo.2015.(online).

<http://blog.unnes.ac.id/crowds/pengasutan-motor-listrik/>

Pada motor AC, tahanan equivalenten motor dapat ditentukan dengan percobaan block rotor (hubungan singkat), dimana pada keadaan ini rangkaian equivalenten motor adalah sama dengan rangkaian equivalenten 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 hubung singkat relatif kecil dibandingkan dengan tegangan nominalnya.

Rugi – rugi stray load adalah rugi – rugi yang paling sulit ditukur 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 – motor yang lebih kecil dari itu dapat diabaikan.

2.9.1 Rugi – Rugi pada Motor Induksi

Seperti kita ketahui bahwa motor – motor listrik adalah suatu alat untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistemkonversi energi, yaitu mempunyai daya output tepat sama dengan daya input yang dapat dikatakan efesiensi 100%. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efesiensi dibawah 100%. Dalam sistem konversi energi elektro mekanik 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. Motor listrik tidak pernah mengkonversikan semua daya yang diterima menjadi daya mekanik, tetapi selalu timbul kerugian daya yang semuanya berubah menjadi energi panas yang terbuang. Efesiensi motor listrik dapat didefinisikan dari bentuk Dari persamaan diatas, perlu dipelajari faktor – faktor yang menyebabkan efesiensi selalu dibawah 100%. Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa saja yang timbul selama motor beroperasi.

1. Belitan dalam motor yang dinamakan rugi–rugi listrik (Rugi – rugi belitan).
2. Kerugian daya yang timbul langsung karena putaran motor, yang dinamakan rugi – rugi rotasi.

Rugi – rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis yaitu:

rugi – rugi mekanis akibat putaran dan rugi – rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan fluks medan.

Tabel 2.1 Tabel Jenis Rugi Motor Induksi 3 Fasa

Jenis Rugi – rugi	Persentase rugi – rugi total
Rugi – rugi tetap atau rugi – rugi inti	25
Rugi – rugi variable : rugi – rugi pada stator	34
Rugi – rugi variable : rugi – rugi pada rotor	21
Rugi – rugi gesekan	15
Rugi – rugi beban menyimpang	5

2.9.2 Rugi – Rugi Inti

Rugi – rugi inti diperoleh pada besi magnetis didalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeris dan arus pusar (eddy current). Timbulnya rugi – rugi inti, ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi – Rugi ini tidak tergantung pada beban, tetapi merupakan fungsi dari pada fluks dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi – rugi inti berkisar antara 20 – 25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

Rugi – rugi arus eddy tergantung pada kuadrat dari kerapatan fluks, frekuensi dan ketebalan dari lapisan. Pada keadaan mesin normal besarnya dapat didekati dengan Harga Kc tergantung pada satuan yang digunakan, volume besi dan resistensi vitas besi. Ragam dari rugi – rugi histerisis dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan secara empiris saja.

Pada mesin induksi, Rugi – rugi intinya terdapat di stator dan rotor hampir boleh diabaikan karena frekuensi di rotor relatif kecil. Jadi total rugi – rugi inti sesuai tabel.

2.9.3 Rugi – rugi Mekanik

Rugi – rugi gesekan dan angin adalah energi mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan bantalan poros, gesekan sikat melawan komutator atau slip ring, gesekan dari bagain yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipas pendingin. Kerugian energi ini selalu berubah menjadi panas 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 ketidak tepatan ini dapat dihitung dalam rugi – rugi stray load. Rugi – rugi mekanik biasanya berkisar antara 10 – 15% dari total rugi – rugi daya motor pada keadaan beban nominal

2.9.4 Rugi – Rugi Belitan

Rugi – rugi belitan sering disebut rugi – rugi tembaga tetapi pada saat sekarang sudah tidak begitu. Banyak motor listrik, terutama motor ukuran sangat kecil diatas 750 W, mempunyai belitan stator dari kawat alumunium yang lebih

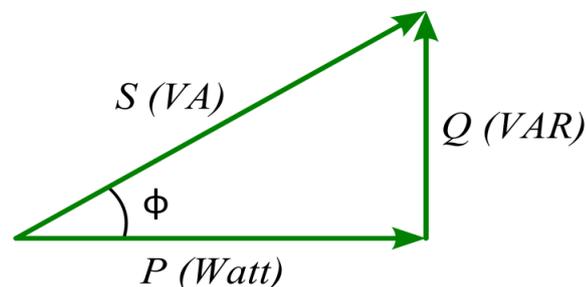
tepat disebut rugi – rugi I^2R yang menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor tembaga atau aluminium. Total kerugian I^2R adalah jumlah dari rugi – rugi I^2R primer (stator) dan rugi – rugi I^2R sekunder (rotor), termasuk rugi –rugi kontak sikat pada motor AC belitan dan motor DC.

Rugi – rugi I^2R dalam belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, tetapi juga pada tahanan belitan di bawah kondisi operasi. Sedang tahanan efektif dari belitan selalu berubah dengan perubahan temperatur, skin effect dan sebagainya. Sangat sulit untuk menentukan nilai yang sebenarnya dari tahanan belitan dibawah kondisi operasi. Kesalahan pengukuran kerugian belitan dapat dimasukkan ke dalam kerugian stray load. Pada umumnya rugi – rugi belitan ini berkisar antara 55 - 60% dari total kerugian motor pada keadaan beban nominal.

2.10 Pengertian Daya

Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak - balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif. Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya efektif, daya reaktif dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

- Daya nyata (P) adalah daya yang diubah menjadi energi, persatuan waktu atau dengan kata lain daya aktif adalah daya yang benar - benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah watt (W)
- Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi. Daya reaktif ditimbulkan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C), satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR).
- Daya semua (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan volt ampere (VA). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya dibawah ini :⁶



Gambar 2.11 Sistem segitiga daya

⁵Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung.

Dimana :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\theta \quad (2.4)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\theta \quad (2.5)$$

$$S = V \cdot I \quad (2.6)$$

Untuk daya tiga phasa rumus daya aktif, daya reaktif dan daya semu adalah seperti dibawah ini.

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \quad (2.7)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin \theta \quad (2.8)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \quad (2.9)$$

- *Daya Input*

Daya Input adalah daya masukan atau total daya yang diterima. Dibawah ini adalah rumus dari perhitungan P_{input} untuk daya masukan 3 phasa :

$$P_{input} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \quad (2.10)$$

- *Daya Output*

Daya Output adalah daya keluaran atau daya yang diterima motor untuk melakukan kerja. Dibawah ini adalah rumus dari perhitungan daya keluaran :

$$P_{out \max} = \frac{T \times N}{9,55} \quad (2.11)$$

$$P_{out \max} = P_{in} - P_{rugi-rugi} \quad (2.12)$$

2.11 Rugi – rugi Daya Pada Motor Induksi

Pada setiap motor tentu ada rugi – rugi pada motor hal ini karena motor dapat menkonversikan energi Dalam sistem konversi energi elektro mekanik 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.

$$P_{\text{rugi-rugi}} = \left| \frac{P_{in}}{P_{in \text{ maks}}} \right|^2 \cdot P_{\text{rugi-rugimax}} \quad (2.13)$$

P_{In} : daya input

$P_{In \text{ maks}}$: daya input maksimum

$P_{\text{rugi-rugi} \text{ maks}}$: Total kerugian daya maksimum yang dihasilkan oleh motor

$P_{\text{rugi-rugi}}$: Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor

2.12 Torsi Motor

Tenaga gerak yang dihasilkan dari sebuah motor listrik di sebut dengan torsi. Dan biasanya menggunakan satuan Nm (Newtonmeter). Adapun cara menghitung torsi adalah sebagai berikut :

$$T = (5252 \times P) / N \quad (2.14)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

P = Daya Motor (HP)

n = Kecepatan Motor (RPM)

5252 = Adalah nilai ketetapan (konstanta)

2.13 Efisiensi

Di dalam setiap mesin daya keluaran yang tersedia adalah lebih rendah daripada daya masukannya karena terjadinya rugi - rugi didalam mesin bersangkutan. Rugi - rugi in dapat terjadi karena adanya gesekan pada bantalan, tahanan udara dari bagian - bagian mesinyang bergerak, panas ataupun getaran.

Motor listrik tidak pernah mengkonversikan semua daya yang diterima menjadi daya mekanik, tetapi selalu timbul kerugian daya yang semuanya berubah

menjadi energi panas yang terbuang. Perbandingan dari besarnya daya keluaran terhadap daya masukan dikenal sebagai efisiensi mesin yang disimbolkan dengan huruf latin 'eta' atau η . Jadi

$$\eta = P_{\text{out}}/P_{\text{in}} \quad (2.15)$$

Karena efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen, maka rumusan umum yang digunakan ialah :

$$\eta = P_{\text{out}}/P_{\text{in}} \times 100\% \quad (2.16)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)

2.14 Klasifikasi Pompa

Pompa dapat diklasifikasikan atas dasar cara memindahkan fluidanya, Kondisi kerja pompa, jenis penggerakannya, dan sifat zat cair yang dipindahkan.

2.14.1 Klasifikasi Pompa Berdasar Cara Memindahkan Fluidanya

Menurut cara memindahkan fluidanya, pompa dapat dibedakan atas :

1. *Positive Displacement Pump (Displacement Pump)*

Displacement pump adalah pompa dengan volume ruangan yang berubah secara periodic dari besar ke kecil atau sebaliknya. Pada waktu pompa bekerja, energi yang dimasukkan ke fluida adalah energi potensial sehingga fluidanya berpindah dari volume per volume.

2. *Non – Positive Displacement Pump (Dynamic Pump)*

Pada pompa jenis *dynamic*, volume ruangnya tidak berubah. Waktu pompa bekerja, energi yang dimasukkan ke dalam fluida adalah energi kinetik sehingga perpindahan fluida terjadi akibat adanya perubahan kecepatan.

2.14.2 Klasifikasi Pompa Berdasar Kondisi Kerja Pompa

Menurut kondisi kerjanya, pompa dapat dibedakan atas :

- a. Kondisi hisap dan tekan
- b. Kondisi sistem *siphon*

2.14.3 Klasifikasi Pompa Berdasar Jenis Penggerakannya

- a. Pompa tangan (*hand driven pump*),
- b. Pompa mekanis (dengan penggerak mesin uap, motor bakar maupun motor listrik).

2.14.4 Klasifikasi Pompa Berdasar Sifat Zat Cair yang Dipindahkan

- a. Pompa air panas dan dingin.
- b. Pompa panas berlumpur.
- c. Pompa untuk cairan kental.
- d. Pompa untuk cairan korosif.
- e. Pompa minyak: bensin, solar, residu.

2.15 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan salah satu pompa hidrolok yang paling umum ditemui. Penggunaan pompa sentrifugal secara luas dikarenakan kemampuan untuk membangkitkan head yang tinggi, dan konstruksi yang beragam sesuai kebutuhan pemakaian. Pompa sentrifugal digunakan untuk mengalirkan fluida alir dengan kapasitas yang lebih kecil dan tekanan yang tinggi.

Impeller yang digerakkan oleh poros memberikan energi kepada fluida alir yang diawali dengan percepatan fluida melewati sudu putar. Fluida pada awalnya memasuki rumah pompa searah dengan sumbu poros . karena putaran dari sudut – sudut impeller (*blade*), fluida, yang berada diantara sudu ikut berputar dan mengalami percepatan tangensial dan radial sehingga mengalir keluar menuju volute. secara bersamaan pergerakan fluida pada sisi masuk impeller menciptakan tekanan isap, dan mendorong fluida pada pipa isap untuk mengalir secara kontinu.

Fluida yang mengalir melewati volute telah memiliki tinggi tekan total yang lebih besar dari fluida pada sisi isap. Tinggi tekan total ini terdiri dari komponen tekanan, kecepatan, dan ketinggian.

$$H = \frac{\rho}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z$$

Dimana :

H = Tinggi tekan total (m)

ρ = Tekanan statis (Pa)

γ = Berat jenis fluida ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)

v = Kecepatan rata – rata fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s)

Z = Ketinggian (m)

Pompa sentrifugal, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.9. , mempunyai sebuah impeller (baling – baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi

$$H = \frac{\rho}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z$$

Dimana :

H = Tinggi tekan total (m)

ρ = Tekanan statis (Pa)

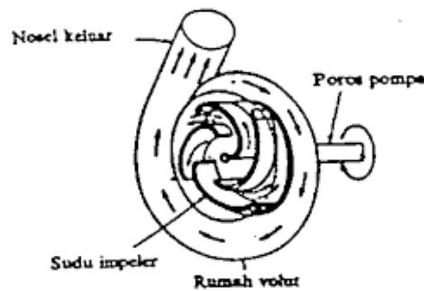
γ = Berat jenis fluida ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$)

v = Kecepatan rata – rata fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s)

Z = Ketinggian (m)

Pompa sentrifugal, seperti , mempunyai sebuah impeller (baling – baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi



Gambar 2.12 Gambar Bagan Aliran Fluida di Dalam Pompa Sentrifugal

Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeller di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam impeller, oleh dorongan sudu – sudu ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeller ke tinggi. Demikian pula head kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung oleh saluran berbentuk volut (spiral) di keliling impeler dan disalurkan ke luar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian head kecepatan aliran diubah menjadi head tekanan.

Jadi impeler pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang dikandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi per satuan berat atau head total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut head total pompa.

Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan head tekanan, head kecepatan, dan head potensial pada zat cair yang mengalir kontinyu.

Pada sebuah mesin listrik yang digunakan sebagai motor pompa, daya listrik yang dihasilkan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain :

- A = Luas Penampang pipa (m^2)
- ρ = Massa jenis cairan (kg/m^3)
- Q = Debit aliran (m^3/s)
- V = Kecepatan aliran (m/s)

Debit aliran pada pompa adalah luas penampang pipa yang digunakan dikali dengan kecepatan aliran cairan yang dipompakan pada pipa tersebut dan secara teoritis dirumuskan dengan :

$$Q = A \cdot V$$

dimana :

- Q = Debit aliran (m^3/s)
- V = Kecepatan aliran (m/s)
- A = Luas Penampang pipa (m^2)

nilai luas penampang ini dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$A = \pi \cdot r^2$$

dimana :

- A = Luas penampang (m^2)
- π = Konstanta (3,14)
- r = Jari – jari lingkaran (m)

2.16 Zat Kimia Phosphta

Fosfat adalah sumber utama unsur kalium dan nitrogen yang tidak larut dalam air, tetapi dapat diolah untuk memperoleh produk fosfat dengan menambahkan asam. *Phosphate* merupakan salah satu bahan kimia yang sangat penting bagi makhluk hidup. Fosfat yang terdapat dialam dibagi menjadi dua yaitu senyawa fosfat organik dan anorganik. Senyawa fosfat organik terdapat pada tumbuhan dan hewan sedangkan anorganik terdapat di tanah dan di laut. Kegunaan fosfat yaitu sebagai pupuk pertanian, dan secara luas dapat digunakan dalam bahan peledak, korek api, pestisida, odol dan deterjen. Fosfat juga diperlukan untuk memperkuat tulang dan gigi.⁷

⁷ M.T, Pudjanarsa, Astu.2006.*Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta Andi Offset.