

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa¹

Motor induksi berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor induksi terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan transformator. Oleh karena itu motor AC dikenal dengan motor induksi. Dilihat dari kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan kokoh serta mempunyai karakteristik kerja yang baik, motor induksi tiga fasa yang cocok dan paling banyak digunakan dalam bidang industri.

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut :

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti .
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan .
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi daya diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor-faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut:

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

¹ Septianto, Fajar; Widodo, Achmad; Sinaga, Nazaruddin. Analisa Penurunan Efisiensi Motor Induksi Akibat Cacat Pada Cage Ball Bantalan. Jurnal teknik Mesin, 2015, 3.4: 397-407.

Disebut motor induksi, karena motor ini bekerja dengan adanya arus yang terinduksi sebagai akibat dari adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan magnet berputar yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi ini terdiri dari dua jenis, yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan motor induksi rotor sangkar.

Motor induksi bekerja sebagai berikut: listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron di sekitar rotor. Arus rotor menghasilkan medan magnet kedua, yang berusaha untuk melawan medan magnet stator, yang menyebabkan rotor berputar. Walaupun begitu, didalam prakteknya motor tidak pernah bekerja pada kecepatan sinkron namun pada kecepatan dasar yang lebih rendah. Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan tersebut disebabkan adanya slip/geseran yang meningkat dengan meningkatnya beban. Slip hanya terjadi pada motor induksi. Untuk menghindari slip dapat dipasang sebuah cincin geser/slip ring dan motor tersebut dinamakan motor cincin geser/slip ring motor.

2.2 Klasifikasi Motor Induksi

Motor listrik AC memiliki beberapa jenis, yang jenis ini membedakan beberapa faktor utama yang antara lain berdasarkan prinsip kerja, berdasarkan macam arus dan berdasarkan kecepatan.

2.2.1 Berdasarkan Prinsip Kerja

Berdasarkan prinsip kerja motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu, pertama motor sinkron biasa , Kedua motor asinkron yaitu motor induksi (*squirrel cage & slip ring*).

1. Motor Sinkron

Motor Sinkron adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan mesin induksi, sedangkan kumparan medan mesin sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (*rotor silinder*).

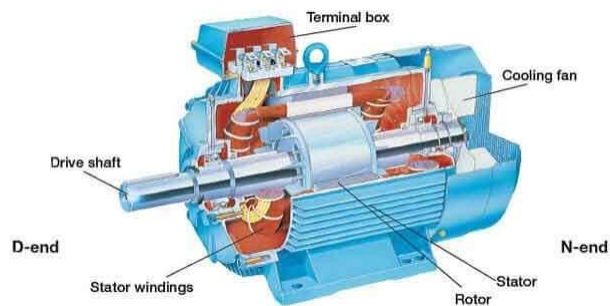
Arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin dan sikat. Jadi konstruksi motor sinkron ini adalah sama dengan generator sinkron, bedanya hanya bahwa generator sinkron rotornya diputar untuk menghasilkan tegangan, sedangkan motor sinkron statornya diberi tegangan agar rotornya berputar.



Gambar 2.1 Motor Sinkron

2. Motor Asinkron

Motor induksi atau motor asinkron merupakan mesin listrik yang berfungsi mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada motor induksi terdapat slip antara putaran medan stator dan medan rotor, arus yang dihasilkan di rotor terjadi akibat induksi antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh stator. Terdapat berbagai macam motor induksi yang digunakan pada industri - industri salah satunya yaitu motor induksi tiga fasa tipe sangkar tupai (*squirrel cage*) dan motor induksi tipe rotor lilit (*slip ring*).



Gambar 2.2 Motor Asinkron

2.2.2 Berdasarkan Macam Arus²

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

1. Satu phasa

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. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian.

2. Tiga phasa

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki sangkar tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor sangkar tupai) dan penyalan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, compressor, belt conveyor, jaringan listrik dan grinder.

2.2.3 Berdasarkan Kecepatan³

1. Kecepatan Konstan

Kecepatan konstan pada motor induksi dengan lilitan kecepatan banyak cocok untuk pemakaian yang memerlukan kecepatan sampai dengan empat kecepatan yang berbeda. Kecepatan ini dipilih dengan menghubungkan lilitan pada konfigurasi yang berbeda dan sangat konstan pada tiap-tiap penyetelan. Motor kecepatan banyak ada dua jenis kecepatan yang utama, yaitu: motor 11 lilitan terpisah dan motor berurutan.

2. Kecepatan Variabel

Kecepatan variabel digunakan untuk menyediakan kontrol kecepatan dengan proses rentang. Penggerak kecepatan variabel dapat ditunjuk dengan variasi misalnya: penggerak kecepatan yang dapat diatur, penggerak frekuensi yang dapat diatur, dan

² Rijono, Yon.1997.dasar teknik tenaga listrik. Yogyakarta : Andi, Hal : 310

³ Af Alan Fadianto. 2019. Rancang bangun mesin pemotong elektrik. Diakses pada tanggal 10 Mei 2023.
<http://repository.unim.ac.id/182/>

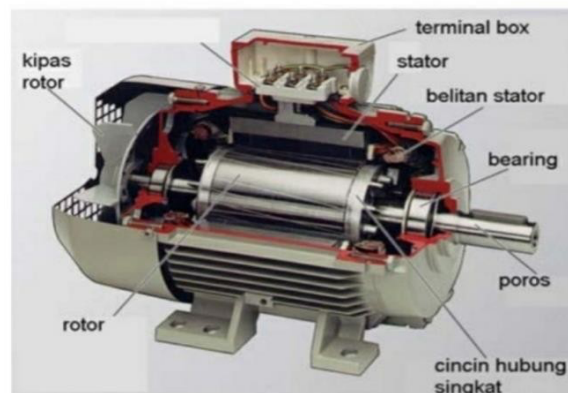
inverter frekuensi variabel. Penggerak kecepatan variabel dengan listrik adalah sistem listrik yang disusun dari motor, pengontrol operator (manual atau otomatis). Alat ini mampu mengatur kecepatan maupun torsi dari motor, pengontrol penggerak, dan pengontrol operator (manual atau otomatis).

3. Kecepatan Diatur

Kecepatan diatur atau Pengatur kecepatan adalah ukuran numerik, dalam persen, mengenai seberapa akurat kecepatan motor dapat dipertahankan. Ini adalah persentase perubahan pada kecepatan antara beban penuh dan tanpa beban. Kemampuan penggerak mengoperasikan motor pada kecepatan antara beban penuh konstan.

2.3 Konstruksi Motor Induksi 3 fasa⁴

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Dapat di lihat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3. 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

⁴ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008). Hal. 5-7.

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.

2.3.1. Stator⁵

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. Bodi Motor (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

⁵ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008). Hal. 5-7.

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 di atur KomutatorSeperti 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.

4. 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.

2.3.2. 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.

Motor induksi bila ditinjau dari dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu motor rotor sangkar dan motor rotor lilit.

1. Motor Rotor Sangkar⁶

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan dari pada jenis rotor lilit, 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 alumunium. Ujung- ujung batang penghantar dihubung singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung seperti terlihat pada gambar 2.2. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut dengan Motor Induksi Rotor Sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubung 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.

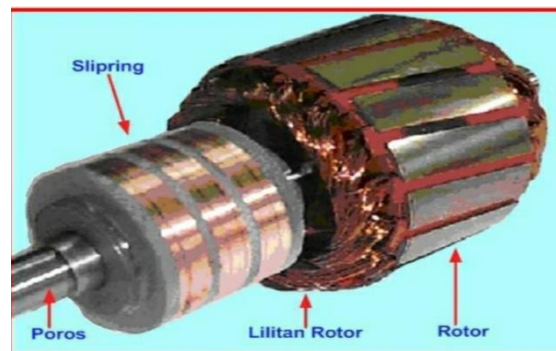


Gambar 2.4. Rotor Sangkar

2. Motor Rotor Lilit.⁷

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 seperti terlihat pada gambar 2.3.

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 dihubung singkat. Motor Induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.



Gambar 2.5. Motor Rotor Lilit

2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi⁶

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

1. Bila kumparan kumparan stator diberi suplai tegangan tiga fasa, maka akan terjadi medan putar dengan kecepatan.
2. Medan putar stator tersebut akan mengimbas penghantar yang ada pada rotor, sehingga pada rotor timbul tegangan induksi.
3. Tegangan yang terjadi pada rotor menyebabkan timbulnya arus pada penghantar rotor
4. Selanjutnya arus didalam medan magnet menimbulkan gaya (f) pada rotor
5. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (f) pada rotor cukup besar untuk menanggung kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
6. Supaya timbul tegangan induksi pada rotor, maka harus adaa perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator dengan kecepatan putar rotor. Perbedaannya disebut slip.
7. Bila putar stator dan rotor tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, sehingga tidak dihasilkan kopel. Kopel tidak akan terjadi jika putar rotor dan stator lebih kecil dari putar stator.

2.5 Pengaman Motor Induksi

Seperti halnya dengan mesin listrik yang lain, motor induksi tida lepas dari gangguan gangguan yang dapat merusaknya. Gangguan-gangguan itu dapat datang dari luar motor ataupun dari kondisi buruk motor itu sendiri. Pengaman pada motor induksi bertugas mencegah kerusakan motor bila terjadi gangguan yang sering terjadi pada motor induksi yaitu:

1. Gangguan arus lebih yang terdiri dari arus lebih hubung singkat dan arus beban lebih. Gangguan ini disebabkan oleh overload atau beban lebih.

⁶ Zuhail dan Zhanggischian, Prinsip Dasar Elektroteknik, (Jakarta: Penerbit Gramedia, 2004). Hal. 690

2. Gangguan tegangan kurang atau salah satu fasa hilang, gangguan ini sangat berbahaya sekali karena arus akan naik dengan cepat yang pada.
3. akhirnya belitan motor akan terbakar bila tidak segera diatasi.

Gangguan dari komponen mekanis motor. Gangguan ini lebih bersifat pada gangguan bearingnya, fan pendingin dan lain-lain, jika dibiarkan dalam waktu yang lama akan sangat berbahaya bagi motor tersebut.

2.6 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*)

Pada motor AC, tahanan ekuivalen motor dapat ditentukan dengan percobaan block rotor (hubung singkat) dari suatu transformator. Jadi daya pada keadaan ini merupakan Rugi-rugi tahanan atau belitan pada keadaan ini rugi-rugi inti dapat diabaikan karena tegangan nominalnya.

Rugi-rugi stray load adalah rugi-rugi yang paling sulit diukur 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 rugi-rugi mekanik, rugi-rugi belitan.

2.7 Rugi-Rugi pada Motor Induksi⁶

Seperti kita ketahui bahwa motor – motor listrik adalah suatu alat untuk

mengkonversikan 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 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, atau :

$$P_{out} = P_{in} - P_{rugi-rugi} \quad (2.1)$$

Dimana

P_{in} : Total daya yang diterima motor

P_{out} : Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja

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

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

2.7.1 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.⁷

2.7.2 Rugi-rugi Mekanik

Rugi – rugi gesekan dan angin adalah energi mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan bantal poros, gesekan sikat melawan komutator

⁷ Prih Sumardjati, dkk., Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, (Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008), Hal. 408.

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.

$$p_{in} = p_{rugi-rugi} \cdot 0,15 \quad (2.2)$$

2.7.3 Rugi-rugi Stray load

Sebagai tambahan, kita tidak dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan oleh perubahan fluks terhadap beban, 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 dari sumber yang di ketahui maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi – rugi stray load yang cenderung bertambah besar apabila beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban). Pada umumnya kerugian ini berkisar 1-5% dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nominal.⁸

2.7.4 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 $I^2 R$ yang menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor tembaga atau alumunium. Total kerugian $I^2 R$ adalah jumlah dari rugi-rugi $I^2 R$ primer (stator) dan rugi - rugi $I^2 R$ sekunder (rotor). rugi-rugi $I^2 R$ dalam belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, tetapi juga pada tahanan belitan dibawah 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 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.

$$P_{\text{rugi-rugi}} = I^2 \cdot R \quad (2.3)$$

Keterangan :

I = Arus listrik (Ampere)

R = Tahanan Arus Listrik (Ω)

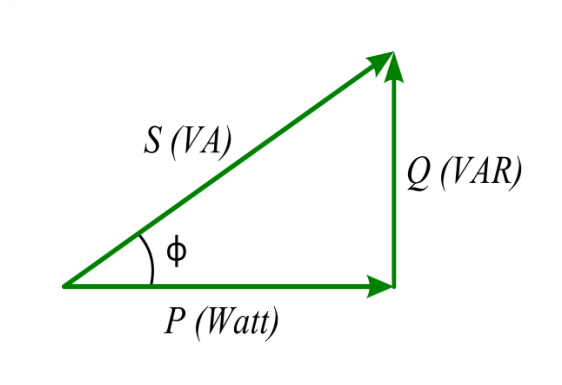
2.8 Faktor Daya

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 aktif, daya reaktif, dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

- a. Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energy, persatuan waktu atau dengan kata lain adalah daya yang benar-benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif, satuannya adalah Watt (W).
- b. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi. Daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (XL) dan reaktansi kapasitif (Xc) , satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR).
- c. Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan Volt Ampere (VA).

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya berikut ini :



Gambar 2.6. Segitiga daya

$$P = V.I. \cos\phi \quad (2.4)$$

$$S = V.I \quad (2.5)$$

$$Q = V. I. \sin\phi \quad (2.6)$$

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

$$P = \sqrt{3}. V_l. I_l. \cos\phi \quad (2.7)$$

$$S = \sqrt{3}. V_l. I_l. \sin\phi \quad (2.8)$$

$$Q = \sqrt{3}. V_l. I_l \quad (2.9)$$

Daya memiliki hubungan dengan usaha yaitu daya merupakan usaha yang dilakukan dalam satuan waktu, atau dengan kata lain daya berbanding terbalik dengan waktu sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.10)$$

Dimana, P = Daya mekanik (W)

W = Usaha (joule)

t = Waktu (s)

2.8.1 Sifat – Sifat Beban Listrik ^[4]

Dalam sistem arus bolak-balik arus dapat berbeda dengan tegangan yang disebabkan oleh jenis bebannya. Harga arus yang mengalir dalam rangkaian untuk suatu tegangan tertentu yang diberikan seluruhnya ditentukan oleh tahanan rangkaian. Harga arus bolak-balik yang mengalir dalam rangkaian tidak hanya bergantung pada rangkaian tetapi juga bergantung pada induktansi dan kapasitansi rangkaian. Tahanan memberikan jenis perlawanan yang sama terhadap aliran arus bolak-balik terhadap arus searah.

Pada motor induksi terjadi perubahan energy listrik menjadi energy 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 per fasa maupun perhitungan tiga fasa dan dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P_{1\phi} = V_P \cdot I_P \cdot \cos\phi \quad (2.11)$$

Atau,

$$P_{3\phi} = 3 \cdot P_{1\phi} \quad (2.12)$$

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_P \cdot I_P \cdot \cos\phi \quad (2.13)$$

Harga tegangan phasa (V_P) adalah:

Dimana ;

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad (2.14)$$

Dengan mensubstitusi persamaan 2.10 ke persamaan 2.9 maka diperoleh rumus sebagai berikut:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \quad (2.15)$$

Keterangan:

$P_{1\phi}$ = daya pada 1 fasa(watt)

I = Arus Line (Ampere)

$P_{3\phi}$ = daya pada 3 fasa(watt)

\cos = Faktor Daya

VP = tegangan per fasa(volt)

VL = tegangan line to line(volt)

2.8.2 Efisiensi

Di dalam setiap mesin daya keluaran yang tersedia adalah lebih rendah dari pada daya masukannya karena terjadinya rugi - rugi didalam mesin bersangkutan. Rugi - rugi ini dapat terjadi karena adanya gesekan pada bantalan, tahanan udara dari bagian - bagian mesin yang 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 yang dikenal sebagai efisiensi mesin yang disimbolkan dengan huruf latin 'eta' atau jadi:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.16)$$

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.17)$$

Dimana ;

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)

2.9 Pembebanan Pada Motor Induksi

Motor induksi 3-fasa merupakan motor listrik yang bekerja berdasarkan perputaran medan elektromagnetik yang diinduksikan dari kumparan stator ke

rotornya. Kecepatan putaran medan magnet ini dipengaruhi oleh frekuensi sumber yang masuk ke motor dengan mengacu ke persamaan berikut:

$$n_s = 120 \cdot f / p \quad (2.18)$$

dimana :

f = frekuensi sumber listrik (Hz)

p = jumlah kutub yang terbentuk pada stator

n_s = kecepatan putaran medan magnet stator (putaran/menit, rpm)

Jika beban ditambah, komponen aktif atau komponen daya dari arus bertambah, menghasilkan suatu faktor daya yang lebih tinggi. Tetapi karena besarnya arus pemagnetan, yang ada tanpa mempedulikan beban, faktor daya motor induksi sekalipun pada beban penuh jarang melebihi 90 persen.

$$\cos \phi = p / s \quad (2.19)$$

dimana:

$\cos \phi$ = faktor daya.

P = daya aktif (Watt).

S = Slip

2.10 \ Menghitung Impedansi Motor

Prosedur perhitungan jatuh tegangan pada motor saat starting motor adalah dengan menghitung impedansi antara motor sampai pada titik dimana tegangan dapat diasumsikan konstan. Impedansi suatu motor dapat ditentukan dari katalog pabrikasinya, yang biasanya memberikan data arus beban penuh dan arus block rotor.

Semua impedansi dinyatakan dalam satuan ohm, persen atau satuan perunit dengan base yang telah ditentukan. Jika drop tegangan dihitung dengan mengabaikan resistansi rangkaian dan hanya memperhitungkan reaktansi rangkaian, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$V_s = \frac{Z_m}{Z_m + X_s} \times V_t \quad (2.20)$$

Impedansi motor dapat dihitung dengan persamaan :

$$Z_m = \frac{V_m}{\sqrt{3} \cdot I_s} \quad (2.21)$$

Dimana :

V_m = tegangan rating motor (Volt)

I_s = arus start pada tegangan rated motor (Ampere)