



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi

Motor induksi atau motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada kegiatan industri energi mekanik tersebut digunakan untuk berbagai kegiatan seperti memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain sebagainya. Tak hanya di industri Motor listrik juga sering digunakan untuk keperluan rumah tangga (pompa air, bor listrik, kipas angin). Motor listrik dalam dunia industri umumnya memakai jenis motor asinkron yang memegang peranan sangat vital, karena sekitar 70% beban listrik total di industri digunakan untuk motor – motor listrik

Mesin – mesin listrik digunakan untuk mengubah suatu bentuk energi ke energi yang lain, misalnya mesin yang mengubah energi mekanis ke energi listrik disebut generator, dan sebaliknya energi listrik menjadi energi mekanis disebut motor. Masing – masing mesin mempunyai bagian yang diam dan bagian yang bergerak.

Pada umumnya mesin – mesin penggerak yang digunakan di industri mempunyai daya keluaran lebih besar dari 1 HP dan menggunakan motor induksi tiga fasa. Adapun kelebihan dan kekurangan motor induksi bila dibandingkan dengan jenis motor lainnya, adalah :

2.1.1 Kelebihan motor induksi:

1. Mempunyai konstruksi yang sederhana.
2. Relatif lebih murah harganya bila dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya.
3. Menghasilkan putaran yang konstan.
4. Mudah perawatannya.
5. Untuk pengasutan tidak memerlukan motor lain sebagai penggerak mula.

Tidak membutuhkan sikat-sikat, sehingga rugi gesekan bisa dikurangi.



2.1.2 Kekurangan motor induksi:

1. Putarannya sulit diatur.
2. Arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5 – 6 kali arus nominal motor

2.2 Klasifikasi Motor Induksi

Pabrik motor listrik telah mencoba dalam beberapa dekade terakhir, untuk menyempurnakan variasi tipe motor ac yang cocok untuk semua industri dan untuk suplai satu dan tiga phasa. Motor ac dapat dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan kelompoknya masing – masing, diantaranya :

2.2.1 Hubungan Putaran Motor dengan Frekuensi

Bila ditinjau dari hubungan putaran dan frekuensi/putaran fluks magnet stator, maka motor AC dapat dibedakan atas :

1. Motor Sinkron (Motor Serempak)

Disebut motor sinkron karena putaran motor sama dengan putaran fluks magnet stator

Pada motor sinkron, motor tidak dapat berputar sendiri walaupun lilitan-lilitan stator telah dihubungkan dengan tegangan luar (dialiri arus). Agar motor sinkron dapat berputar, diperlukan penggerak permulaan. Sebagai penggerak permulaan umumnya dikerjakan oleh mesin.

2. Motor Asinkron

Disebut motor asinkron karena putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator. Dengan kata lain, bahwa antara pada rotor dan fluks magnet stator terdapat selisih perputaran yang disebut dengan slip. Jadi pada notor asinkron jumlah putran motor dapat ditulis dengan persamaan:



2.2.2 Berdasarkan Cara Penerimaan Tegangan dan Arus

Ditinjau dari segi cara rotor menerima tegangan atau arus, dapat dikenal dua jenis motor, yaitu :

1. Motor yang rotornya menerima tegangan secara langsung

Motor jenis ini biasanya dijumpai pada motor universal, motor DC. Jenis motor DC (motor arus searah) tidak dibahas dalam laporan akhir ini.

2. Motor Induksi

Disebut motor induksi karena dalam hal penerimaan tegangan dan arus pada rotor dilakukan dengan induksi. Jadi ada rotor-rotor induksi, rotor tidak langsung menerima tegangan atau arus dari luar.

2.2.3 Berdasarkan Macam Arus

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

1. 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. 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 fasa

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu cabang dari jenis motor listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak berupa putaran yang mempunyai slip antara medan stator dan rotor dengan sumber tegangan 3 fasa. Arus rotor motor ini bukan diperoleh dari suatu sumber listrik, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar.

Motor induksi tiga fasa merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan untuk keperluan dalam kelangsungan proses suatu industri.



Konstruksinya yang sederhana dan kuat mendasari alasan keluasaan pemakaiannya. Dengan menggunakan motor induksi 3 fasa, banyak hal yang bisa dilakukan. Salah satunya adalah dengan membalik arah putarannya sesuai dengan yang diinginkan. Cara yang sering dilakukan dalam pembalikan arah putaran adalah dengan menukar salah satu fasa dengan fasa yang lainnya yang terhubung pada lilitan stator motor.



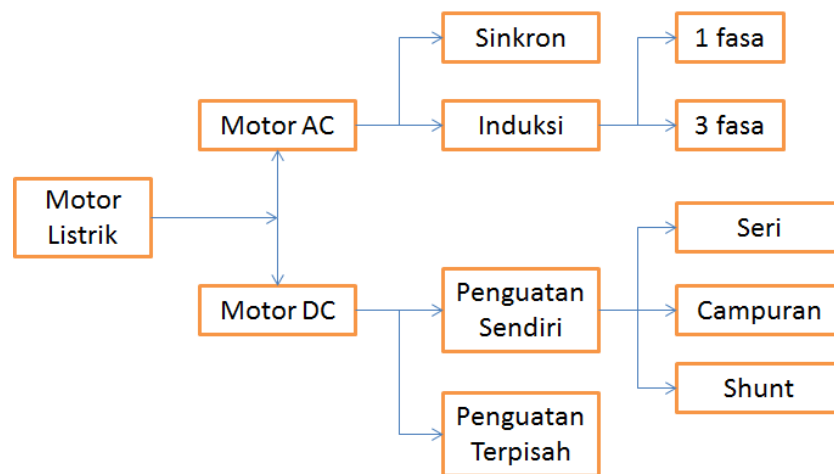
Gambar 2.1. Grafik Arus 3 Fasa

Pada gambar di atas, arus 3 fasa memiliki perbedaan phase 60 derajat antar fasanya.

2.2.4 Berdasarkan Kecepatan

1. Kecepatan Konstan
2. Kecepatan Berubah
3. Kecepatan Diatur

¹ Rijono, Yon, Dasar Teknik Tenaga Listrik. (Yogyakarta : Andi Offset, 1997), hal : 309.



Gambar 2.2 Klasifikasi Motor Listrik

2.3. Jenis – Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan Karakteristik Kelas- nya

2.3.1 Kelas A

Motor Induksi 3 Fasa Kelas A memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Torsi awal normal (150 – 170%) dari nilai ratingnya) dan torsi breakdownnya tinggi
- Arus awal relatif tinggi dan Slip rendah ($0.0015 < \text{Slip} < 0.005$)
- Tahanan rotor kecil sehingga efisiensi tinggi
- Baik digunakan untuk torsi beban kecil saat start dan cepat mencapai putaran penuhnya

Contoh : Pompa dan Fan

2.3.2 Kelas B

Motor Induksi 3 Fasa Kelas B memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Torsi awal normal hampir sama seperti kelas A
- Arus awal rendah (lebih rendah 75% dari kelas A) dan Slip rendah (slip < 0.005)
- Arus awal dapat diturunkan karena rotor mempunyai reaktansi tinggi
- Rotor terbuat dari plat atau saklar ganda



- e) Efisiensi dan faktor dayanya pada saat berbeban penuh tinggi

Contoh : Fan, Blower, dan Motor Generator set

2.3.3 Kelas C

Motor Induksi 3 Fasa Kelas C memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a) Torsi awal lebih tinggi (200 % dari nilai ratingnya)
- b) Arus awal rendah dan Slip rendah ($\text{slip} < 0.005$)
- c) Reaktansi rotor lebih tinggi dari kelas B
- d) Rotor menggunakan sankar rendah

Contoh : Kompresor, Konveyor, Crushers, dan Fort

2.3.4 Kelas D

Motor Induksi 3 Fasa Kelas D memiliki karakteristik sebagai berikut :

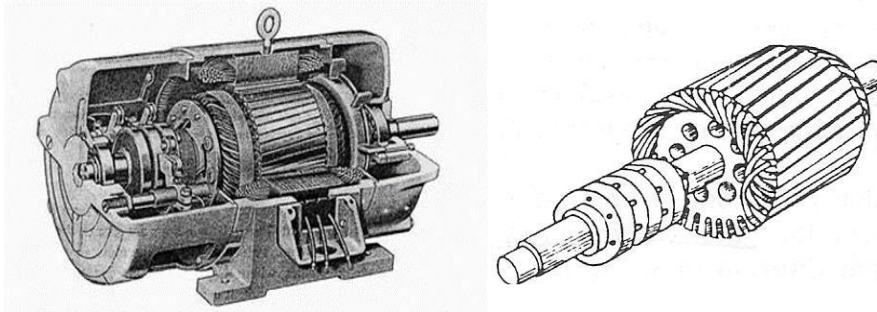
- a) Torsi awal yang paling tinggi dari kelas lainnya
- b) Arus awal rendah dan Slip tinggi
- c) motor ini cocok untuk aplikasi dengan perubahan beban dan perubahan kecepatan secara mendadak pada motor
- d) Ketika torsi maksimum slip mencapai harga 0.5 atau lebih, sedangkan ketika beban penuh slip antara 8% hingga 15% sehingga efisiensinya rendah

Contoh : Elevator, Crane, dan Ekstraktor.

2.4 Jenis – Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Berdasarkan bentuk Rotor-nya

2.4.1 Motor Induksi Rotor Belitan (*Wound* - Rotor Motor)

Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dan masing – masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Konstruksi motor tiga fasa rotor belitan ditunjukkan pada gambar di bawah ini



Gambar 2.3 Rotor Lilit

2.4.2 Motor Induksi Sangkar Tupai (*Squirrelcage Motor*)

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

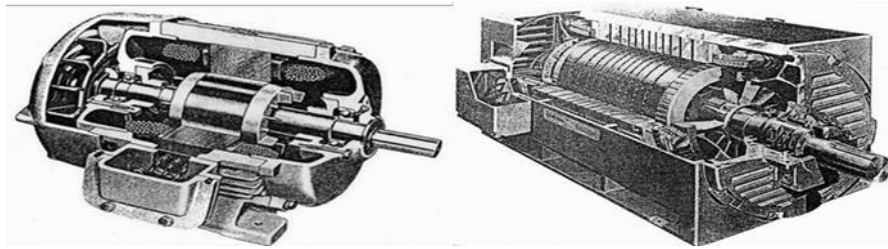


Gambar 2.4 Rotor Sangkar

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan ke dalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan



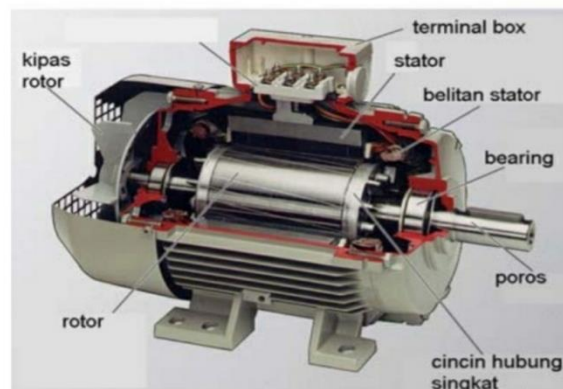
juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan membawa arus yang besar pada tegangan rendah. Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.5 Konstruksi Motor Induksi Rotor Sangkar

2.5 Konstruksi Motor Induksi 3 fasa

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Dapat di lihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Bentuk Fisik Motor Induksi

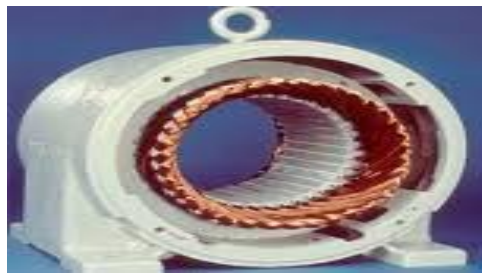
Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan stator, 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

2.5.1 Stator

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



Gambar 2.7 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,

³Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008). Hal. 5-7.



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 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. 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 silinder, 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.



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.



Gambar 2.8 Rotor

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

1. Motor Rotor Sangkar

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 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.

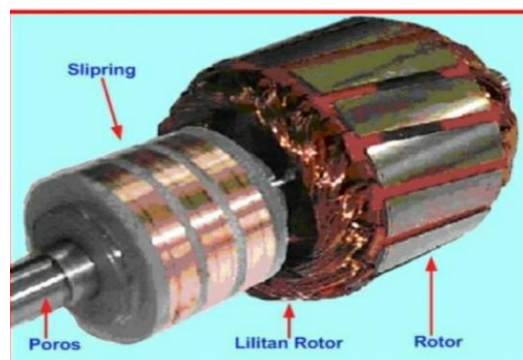


Gambar 2.9 Rotor Sangkar

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



Gambar 2.10. Rotor Lilit



2.6 Pengertian *SootBlower*

Sootblower merupakan alat pembersih slag yang menempel pada pipa-pipa boiler yang terbentuk sebagai akibat hasil pembakaran. Hasil pembakaran batu bara selain menghasilkan *Battom Ash* dan *Fly Ash* juga akan menyebabkan *slagging* dan *fouling* yang akan mengurangi efisiensi boiler. Dengan semakin tebal flag yang akan terbentuk, maka akan mengurangi perpindahan panas pada pipa-pipa boiler.

Sootblower adalah alat yang dirancang untuk menghilangkan slag dan abu dari dinding tungku dan bagian lainnya yang serupa (dinding-dinding boiler/*wall tubes*, *superheater*, *reheater*, *economizer*, dan *air heater*) ketika boiler beroperasi. *Sootblower* beroperasi pada interval tertentu. Tujuannya adalah agar perpindahan panas tetap berlangsung secara baik dan efektif. Sebagai media pembersih digunakan uap. Suplai uap ini diambil dari primary superheater melalui suatu pengaturan tekanan PVC yang diset pada tekanan 40 kg/cm². Setiap *sootblower* dilengkapi dengan *poppet valve* untuk mengatur kebutuhan uap *sootblower*. Katup ini membuka pada saat *sootblower* dioperasikan dan menutup kembali saat *lance tube* dari *sootblower* tersebut mundur menuju *stop*.

Laju (*Rate*) perpindahan panas didalam boiler sangat ditentukan oleh tingkat kebersihan dari Boiler tubes atau *heating surface* dari alat penukar kalor (*Furnace*, *Superheater*, *Reheater*, *Economizer* dan *Air Heater*). Untuk mengendalikan perlu dijaga kesiapan dari *sootblower*. *Monitoring* dari tingkat kebersihan *heating surface* secara operasional dapat dimonitor dari temperature *Flue Gas* Keluar *Air Heater*, idealnya adalah 145 °C. sampai 150 °C.

Dalam pembakaran yang terjadi dalam boiler, maka akan menghasilkan sejumlah gas, Abu, dan *slag*. Beberapa boiler cenderung menghasilkan penumpukan tersebut pada tingkat yang lebih besar, baik karena bahan bakar yang di gunakan, atau karena tidak beroperasi secara efisien. Seiring waktu, slag yang menumpuk dalam boiler akan menimbulkan permasalahan yang serius.

Permasalahan yang pertama adalah slag akan bertindak sebagai isolator panas, dan membatasi pertukran panas. Hal ini membuat kinerja boiler kurang efisien, karena hal itu tergantung pada pertukran panas untuk beroperasi.



Dan demikian, dari waktu ke waktu maka akan menghasilkan sedikit panas, dan harus lebih banyak membutuhkan energi. Yang kedua adalah *slagging* akan menyebabkan kebakaran. Kondisi boiler akan menjadi lebih panas (*overheating*), dan slag dapat terbakar, sehingga dapat merusak boiler dan efeknya dapat meluas ke komponen-komponen pendukung boiler.

Mengingat peranan *sootblower* yang sangat penting dalam mempertahankan efisiensi boiler, maka keandalan dan kesiapan *sootblower* harus tetap dijaga. Kelainan-kelainan yang timbul baik menyangkut pengoperasian dan pemeliharaan perlu segera dikaji dan dilakukan tindakan perbaikannya. Dalam jadwal pengoperasian *sootblower* berbeda-beda, tergantung tipe dan kebutuhannya. Semakin menurun nilai kalor dari batu bara, maka akan semakin banyak kotoran yang timbul, sehingga pengoperasian *sootblower* akan semakin dibutuhkan dari jadwal pengoperasian semula.

2.7 Jenis-Jenis *Sootblower*

Adapun jenis-jenis *sootblower* yang digunakan pada PT.PLN (Persero) Bukit Asam sebagai berikut :

2.7.1 *Sootblower Wall Blower*

Sootblower Wall Blower yaitu *sootblower* dinding nozzle tunggal (*Single Nozzle Wall Blower*) merupakan jenis *blower* yang mana *gun blower* bisa bergerak maju ataupun mundur. *Sootblower* tipe ini cenderung berukuran pendek. Nozzle diarahkan pada susunan pipa dinding boiler (*wall tube*). Sehingga biasanya digunakan pada dinding ruang bakar bagian tengah hingga bagian bawah. Tipe ini menghembuskan uap dengan tekanan $17,6 \text{ kg/cm}^2$ dengan waktu pengoperasian 180s per *sootblower*.

Gambar 2.11 *Wall Blower SootBlower*

2.7.2 Sootblower Long retractable sootblower

Sootblower Long retractable sootblower yaitu *sootblower* lance tube digunakan untuk membersihkan pipa - pipa di dinding ruang bakar bagian atas, superheater dan reheater, serta economizer, dapat maju mundur dengan kecepatan 6-20 feet/menit dan berputar dengan putaran 6-15 rpm.. Gerakan maju-mundurnya merupakan gerakan translasi dan rotasi. Tekanan uap yang dihembuskan tipe ini cukup bervariasi mulai dari 19,5 kg/cm² yang terletak pada zona yang terdekat dengan bola api sampai dengan tekanan 6,3 kg/cm² yang terletak pada Low Temperature Superheater dan Economizer dengan waktu pengoperasian 420s per sootblower

Gambar 2.12 *Long retractable sootblower*



2.7.3 Sootblower Air Heater

Sootblower Air Heater yaitu *sootblower multi jet* merupakan jenis blower yang mempunyai banyak *gun blower* dan dapat diputar namun tidak dapat ditarik keluar. Tipe ini digunakan untuk membersihkan komponen yang suhu kerjanya tidak terlalu tinggi seperti pada *Air Heater* khususnya *Primary Air Heater*. Tipe ini kira-kira menghembuskan uap dengan tekanan $6,5 \text{ kg/cm}^2$ dengan waktu pengoperasian 3600s per *sootblower*.



Gambar 2.13 *Air Heater Sootblower*

2.7.4 Sootblower Half Retractable

Sootblower Half Retractable yaitu *sootblower multi jet* merupakan jenis blower yang menyerupai jenis *Air Heater*. Perbedaan di antara keduanya terletak pada ukuran jenis *Half Retractable* yang cenderung lebih panjang dibandingkan dengan jenis *Air Heater*. Hal ini dikarenakan *Half Retractable* digunakan pada *Secondary Air Heater* yang ukurannya lebih besar dibandingkan *Primary Air Heater*. Sehingga tentu saja membutuhkan *Sootblower* yang lebih panjang pula. Tipe ini menghembuskan uap dengan tekanan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan tipe *Air Heater* namun dengan waktu pengoperasian 2700s per *sootblower*.



Gambar 2.14. *Half Retractable Sootblower*.

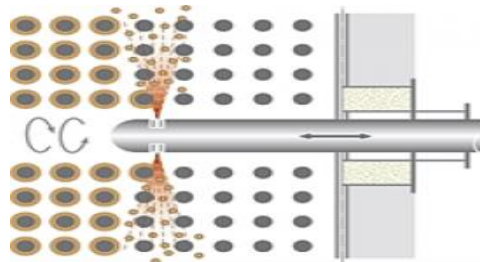
2.8 Prinsip Kerja Sootblower

Sootblower menggunakan steam yang diambil dari *Low Temperature Superheater* ataupun dari *Cold Reheat Steam* untuk melakukan pembersihan. Tekanan *steam* pada masing-masing *blower* diturunkan menggunakan suatu *orifice plate* sehingga sesuai dengan kebutuhan penggunaan. Namun, ketika sistem aliran air untuk *sootblower* terdapat masalah, dapat digunakan udara bertekanan 6 sampai 7 kg/cm² untuk menggantikan peran uap. *Steam* yang diambil dari sumber disalurkan ke pipa *header sootblower*.

Adapun dapat dilihat dari cara kerja/mekanik pada *sootblower* dibagi atas :

2.8.1 Axial Sootblower

- Berbeda dengan *Long Retractable Sootblower*, pada *sootblower* ini poros pipa tidak berputar hanya bergerak bolak-balik.

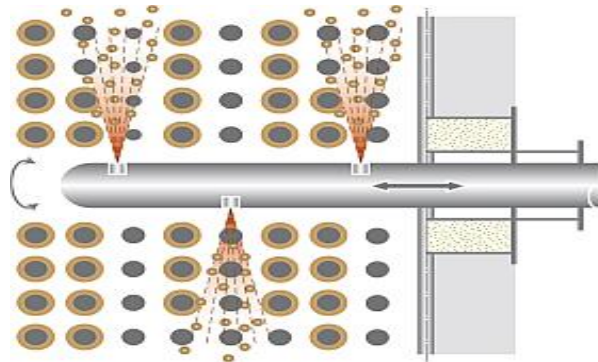


Gambar 2.15 *Axial Sootblower*.



2.8.2 Helical Sootblower

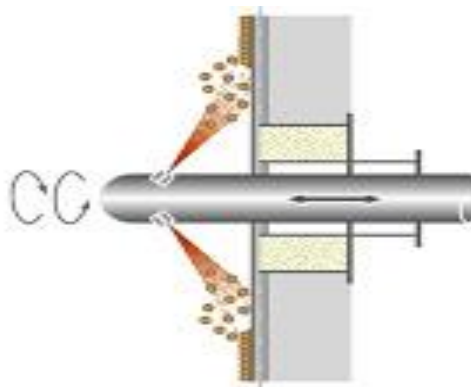
- Sama dengan *Long Retractable Sootblower*, yaitu pipa poros berputar bolak balik.
- Hanya saja *nozzle* dibuat selang-seling.



Gambar 2.16 *Helical Sootblower*.

2.8.3 Wall Deslagger Sootblower

- Digunakan untuk membersihkan dinding boiler.
- *Nozzle* ini hanya di arahkan ke dinding boiler.

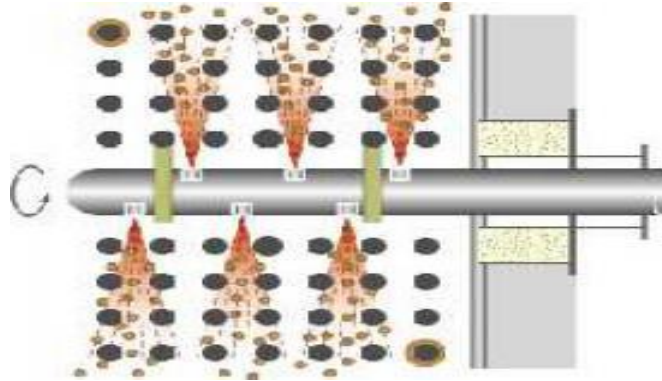


Gambar 2.17 *Wall Deslagger Sootblower*.



2.8.4 Rotating Element Sootblower

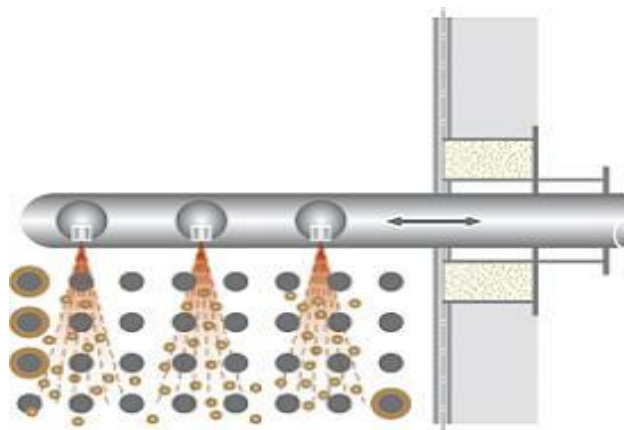
- Hanya ada satu gerakan berputar selama proses hembusan.
- Poros pipa berputar satu arah.



Gambar 2.18 Rotating Element Sootblower.

2.8.5 Rake Sootblower

- Tidak ada putaran pada poros pipa
- Tipe sootblower seperti ini digunakan diatas pipa-pipa boiler
- Penyemprotan hanya di lakukan satu arah.

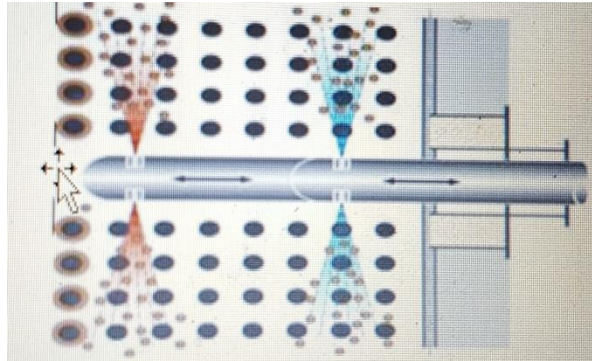


Gambar 2.19 Rake Sootblower.



2.8.6 Multi Media Sootblower

- Poros pipa hanya bergerak maju-mundur.
- Media yang di hembuskan adalah udara, uap air dan air.



Gambar 2.20 Multi Media Sootblower.

2.9 Cara Pengoperasian Sootblower

Secara umum ada dua cara pengoperasian *sootblowing* yaitu secara *automatis* dan secara manual.

a. Secara *Automatis (Auto mode)*

Bila operasai yang dipilih adalah secara *automatis*, maka *push button* ditekan dan urutan kerjanya adalah sebagai berikut:

Block valve akan membuka karena digerakkan oleh motor, kemudian *pressure control valve* akan megatur tekanan, bila tekanan air water masih rendah (belum memenuhi syarat kerja) maka akan indikasinya pada ruang kontrol (*control room*).

Jika tekanan air water sudah siap untuk pengoperasian *sootblowing* maka akan ada indikasinya juga. Ketika kondisi tekanan uap sudah terpenuhi, *push button start* ditekan untuk *sootblowing* yang dikehendaki. Pengoperasian ini sudah di program sehingga proses *sootblowing* akan berjalan secara *automatis* dari awal hingga selesai, dan bila selama proses berlangsung terjadi gangguan, maka akan ada indikasi dimana akan ditunjukkan juga lokasi gangguan pada indikator tersebut seperti pada



motor bila terjadi *overload*, stall dan sebagainya. Bila proses *sootblowing* secara keseluruhan sudah selesai maka *block valve* akan menutup.

b. Secara Manual

Bila memilih secara manual maka urutan prosesnya adalah sebagai berikut:

Push button manual ditekan, sehingga secara keseluruhan indikator motor *block valve*, *pressure control valve*, dan *warm up interval* akan menyala. Hal ini menandakan seluruh sistem pipa saluran uap *sootblowing* sudah terisi air water . Langkah selanjutnya adalah menekan *push button start* sesuai *sootblowing* yang dikehendaki (prosesnya sama seperti *auto mode*).

Pada cara manual ini, *block valve* tetap terbuka setelah proses *sootblowing* selesai. Letak perbedaan dari kedua cara ini adalah pada *block valve*.

2.10 Gangguan Yang Sering Terjadi Pada Motor

Gangguan pada motor dan pengaruh nya terdiri dari :

1. Gangguan pada listrik motor yaitu kesalahan antara tegangan atau arus yang tidak seimbang, satu fasa arus tegangan yang kurang ataupun lebih, fasa urutan terbalik, gangguan ketanah, beban berlebih dan gangguan *short sirkuit* pada motor.
2. Gangguan pada mesin motor antara lain kerusakan pada batang rotor, massa motor yang tidak seimbang, keanehan pada celah udara, kerusakan pada *bearing* motor, dan kesalahan pada kumparan stator.
3. Gangguan ruang lingkup motor antara lain temperatur lingkungan luar sering kali kita temui yaitu embun yang dapat mempengaruhi performa induksi motor. Vibrasi mesin yang disebabkan oleh kerusakan instalasi, kerusakan fondasi dan lain sebagainya.



2.10.1 Gangguan Yang Sering Terjadi Pada Motor Sootblower Di PT.PLN (Persero) Bukit Asam.

1. *Phasa Overcurrent*

Pada *phasa overcurrent* atau dapat disebut juga gangguan arus berlebih pada fasa dapat terjadi akibat dari akibat arus yang berlebih yang telah melampaui batas kemampuan maksimum dari motor tersebut.

2. *Thermal Overload*

Thermal Overload dapat disebut juga gangguan panas akibat beban yang berlebih sehingga terjadi motor lama kelamaan motor terjadi panas dan mengakibatkan motor terbakar.

3. *Block Rotor*

Gangguan pada block rotor dapat terjadi akibat dari beban yang berlebih sehingga rotor terkunci pada saat rotor teerkunci atau tidak bergerak maka arus akan mengalir ke stator sehingga lama kelamaan motor akan panas. Adapun dampak yang lain yaitu pada rotor, yang mengakibatkan kerusakan pada *bearing* motor.

2.11 Prinsip Kerja Motor Induksi

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

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan statortimbulah medan putar dengan kecepatan.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \phi_m \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

E_2 = Tegangan Induksi

f_2 = frekuensi jala-jala

N_2 = banyaknya lilitan

⁴Zuhal. 1991. Dasar Tenaga Listrik. ITB, Bandung. Hal : 68



ϕ_m = fluks magnet

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada motor.
6. Bila torsi mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. 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).
8. Perbedaan kecepatan antara N_r dan N_s disebut slip (s) dinyatakan dengan

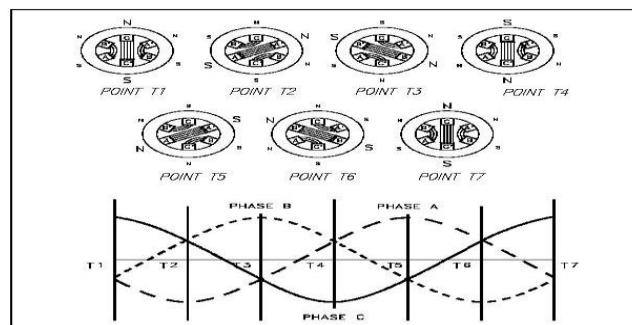
$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : S = Slip motor (%)

N_s = Medan putar stator (Rpm)

N_r = Medan putar rotor (Rpm)

9. 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 .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.



Gambar 2.21 Bentuk gelombang dan timbulnya medan putar pada motor induksi 3 fasa.

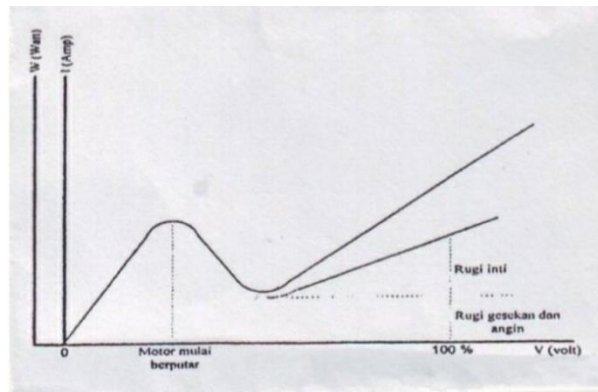


2.12 Karakteristik Motor Induksi

Secara umum motor induksi yang baik mempunyai standar bentuk karakteristik tertentu. Tiap-tiap motor mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Dibawah ini disebutkan beberapa karakteristik yang menggambarkan hubungan antara suatu parameter dan mesin yang lain, yaitu:

2.12.1 Karakteristik Beban Nol

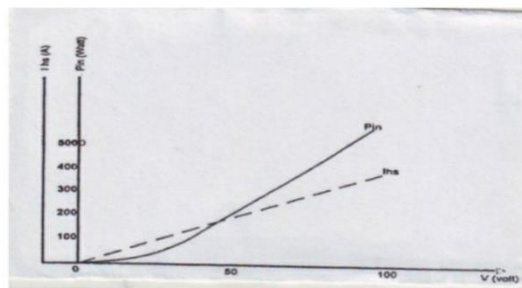
Karakteristik beban nol adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan ke motor dengan arus daya $\cos \phi$ motor pada keadaan tanpa beban, seperti yang ditunjukkan pada (gambar 2.22) , jadi putaran mendekati sinkron atau sama.



Gambar 2.22. Karakteristik Beban Nol

2.12.2 Karakteristik Rotor yang diblok

Karakteristik motor yang diblok adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan masuk dan arus yang masuk, $\cos \phi$, dan daya masuk. Seperti yang ditunjukkan pada (gambar 2.23.) Berikut ini.



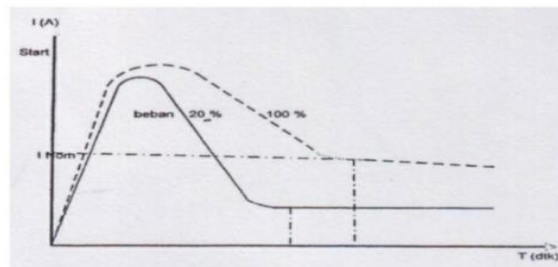
Gambar 2.23. Karakteristik Rotor yang diblok



2.12.3 Karakteristik Start

Karakteristik start ini dipakai untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan arus. Putaran untuk macam-macam beban pada tegangan masuk konstan. Dari (gambar 2.24.) dibawah berikut dapat dijelaskan bahwa:

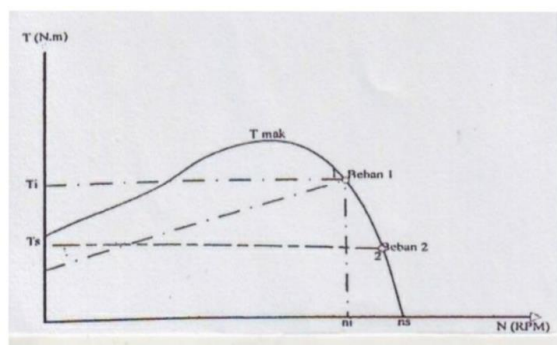
- Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap lifetime dari motor.
- Arus akhir ke motor lebih tinggi.
- Putaran akhir motor akan lebih rendah.



Gambar. 2.24. Karakteristik start

2.12.4 Karakteristik Kopel dan Putaran

Daerah kerja motor terletak pada daerah perputaran mendekati n_s . Kopel lawan beban 1 dan 2 pada waktu start $< T_s$ maka motor dapat distart, masing-masing dengan titik kerja 1 (kopel kerja = T_1 dan putaran kerja n_1) dan titik kerja 2. Bila kopel lawan beban pada saat start $> T_s$ maka motor tidak dapat Distart. Selama motor belum berputar, arus motor tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.25. Karakteristik kopel dan putaran.



2.13 Rugi – Rugi Pada Motor Induksi

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 :

$$P_{in} = P_{out} + P_{\text{rugi-rugi}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana

P_{in} : Total daya yang diterima motor

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

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

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.

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 arena putaran motor, yang dinamakan rugi - rugi rotasi. Rugi - rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu :
 - a. Rugi - rugi mekanis akibat putaran.
 - b. Rugi - rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan *fluks* medan.

2.13.1 Rugi - rugi inti

Rugi - rugi inti rangkaian terbuka terdiri atas rugi-rugi histeris dan arus-edy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga. Pada mesin DC dan mesin serempak, rugi-rugi ini terutama dialami oleh besi armatur, meskipun pembentukan pulsa



fluks yang berasal dari mulut celah akan menyebabkan rugi-rugi pada besi medan juga, terutama pada sepatu kutub atau permukaan besi medan. Pada mesin induksi rugi-rugi terdapat terutama pada besi strator. Rugi-rugi inti rangkaian terbuka dapat diperoleh dengan mengukur masukkan pada mesin pada saat bekerja tanpa beban pada kecepatan ukuran atau frekuensi ukuran dan dengan fluks atau tegangan yang semestinya dan kemudian mengurangi rugi-rugi perlilitan dan gesekan dan jika mesin tersebut bekerja sendiri selama dites, rugi-rugi I^2R armature tanpa beban (rugi-rugi I^2R stator tanpa beban pada motor induksi). 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 daripada *fluks* dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi - rugi inti berkisar antara 20 - 25% dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

2.13.2 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 kedalam kerugian *stray load*. Pada umumnya rugi - rugi belitan ini berkisar antara 55 - 60% dari total kerugian motor pada keadaan beban nominal.



2.14 Torsi Motor Induksi

Secara umum torsi merupakan gaya yang digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan jarak dan arah tertentu. Dari penjelasan tersebut, maka rumusan torsi adalah sebagai berikut :

$$\tau = \frac{T \times N}{9,55} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

τ = Torsi (N.m)

N = Kecepatan putaran rotor (Rpm)

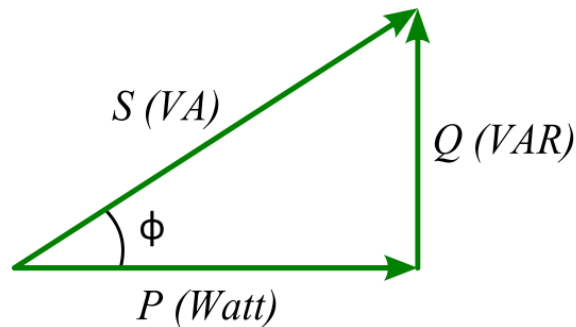
2.15 Pengertian Daya

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

1. 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).
2. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi. Daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (X_L) dan reaktansi kapasitif (X_C) , satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR).
3. 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 2.26. Segitiga daya

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

$$P = \sqrt{3} \cdot V_l \cdot I_l \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana, P = Daya mekanik (W)

V= Tegangan (V)

I= Arus (I)

2.16 Sifat – Sifat Beban Listrik

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 tergantung pada induktansi dan kapasitas rangkaian. Tahanan memberikan jenis perlawanan yang sama terhadap aliran arus bolak – balik seperti terhadap arus searah.

Pada motor induksi terjadi perubahan energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor. Pada motor industri daya mekanik yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan yang diinginkan seperti digunakan sebagai penggerak pompa air hasil kondensasi.

Daya pada motor listrik dapat dihitung menggunakan perhitungan perfasa maupun perhitungan tiga fasa.



2.17 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 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 yang dikenal sebagai efisiensi mesin yang disimbolkan dengan huruf latin 'eta' atau jadi:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.6)$$

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

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)