



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Motor Induksi Tiga Phasa**

Motor induksi 3 phasa adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dimana listrik yang diubah adalah listrik tiga phasa. Motor listrik terdiri dari 2 bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan rotor atau bagian yang berputar, Motor induksi juga sering disebut dengan motor asinkron. Adapun kelebihan dan kekurangan motor induksi bila dibandingkan dengan jenis motor lainnya, adalah:

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

Kekurangan motor induksi:

1. Putarannya sulit diatur.
2. Arus asut yang cukup tinggi, berkisar antara 5-6 kali arus nominal motor.<sup>5</sup>

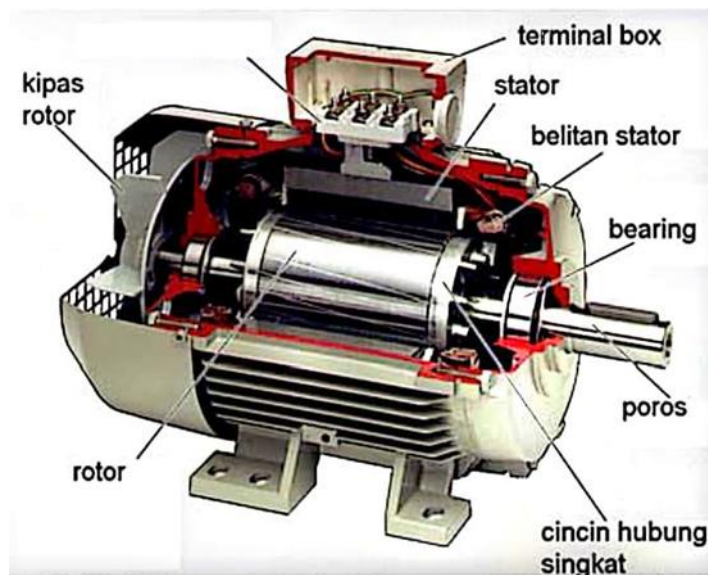
---

<sup>5</sup> Wijaya M, dasar-dasar mesin listrik,2001, hal 155



## 2.2 Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Dapat di lihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1. Tampak Dalam Motor Induksi<sup>6</sup>

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.<sup>3</sup>

<sup>6</sup> <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/konstruksi-motor-listrik-3-fasa/>

<sup>3</sup> Siswoyo, Teknik listrik industry jilid2,2008, hal 5-7



### 2.2.1. 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. 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

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.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Puri Sumardjati dkk, Teknik pemanfaatan tenaga listrik jilid3, 2008, hal 409-410



### **2.2.2. 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 rotornya terdiri atas dua tipe yaitu motor rotor sangkar dan motor rotor lilit.

#### **1. Rotor Sangkar**

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada 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.

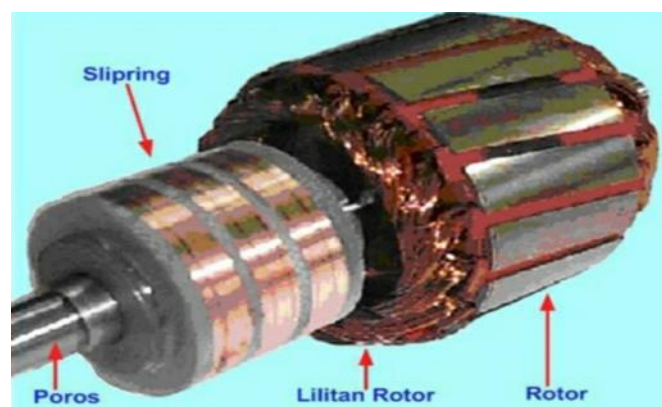
Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.

Gambar 2.2. Motor Rotor Sangkar<sup>7</sup>

## 2. 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 2.3. Motor Rotor Lilit<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <https://circuitbooks.wordpress.com/2012/10/13/motor-induksi-3-fasa/>



### 2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya, bila kumparan stator motor induksi 3 fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf(ggl) atau tegangan induksi, karena penghantar (Kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (Kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medann induksi stator.

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



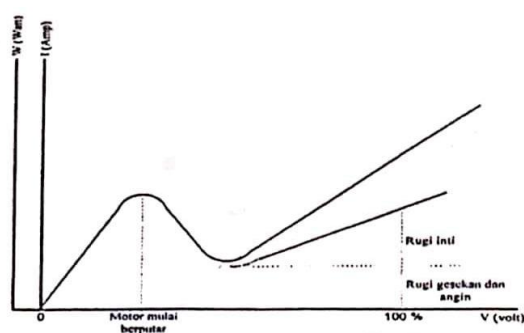
5. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya ( $f$ ) pada rotor cukup besar untuk menanggung kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
6. Supaya timbul tegangan induksi pada rotor, maka harus ada perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator dengan kecepatan putar 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.<sup>4</sup>

## 2.4 Karakteristik Motor Induksi<sup>1</sup>

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:

### 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 , jadi putaran mendekati sinkron atau sama.



Gambar 2.4. Karakteristik Beban Nol<sup>1</sup>

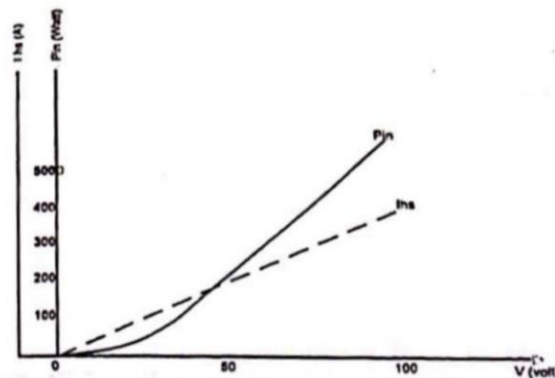
<sup>4</sup> log.cit hal 412-413

<sup>1</sup> Mohd karisma akbar, Analisa efisiensi motor induksi 3 fasa sebagai penggerak awal turbin gas di pltg jakabaring Palembang, hal 16-18



## 2. Karakteristik Rotor yang diblok<sup>1</sup>

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 2.5.) Berikut ini.

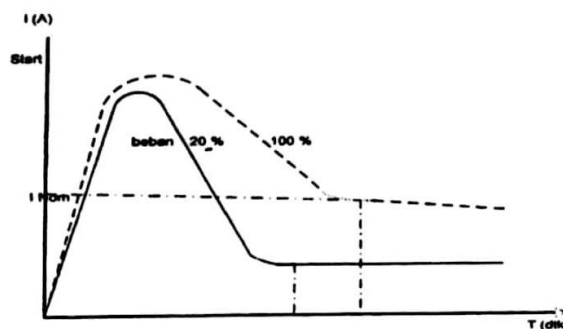


Gambar 2.5. Karakteristik Rotor yang diblok<sup>1</sup>

## 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 2.6.) 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. 2.6. Karakteristik start<sup>1</sup>

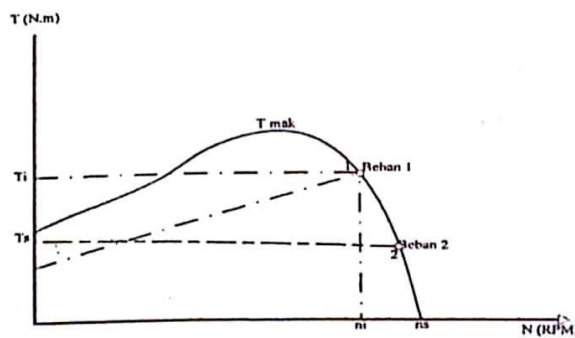
<sup>1</sup> Ibid, hal 17





4. Karakteristik Kopel dan Putaran<sup>2</sup>

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 2.7 Karakteristik Kopel dan Putaran<sup>1</sup>

**2.5 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 :

$$P_{out} = P_{in} - \text{Prugi-rugi} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana

$P_{in}$  : Total daya yang diterima motor

<sup>2</sup> Ibid hal 18



Pout : Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja

Prugi-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.

- a) Belitan dalam motor yang dinamakan rugi-rugi listrik (rugi-rugi belitan).
- b) 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.<sup>3</sup>

### **2.5.1. Rugi-Rugi Inti**

Rugi-rugi ini di peroleh pada besi magnetis didalam stator dan rotor akibat timbulnya efek histeris dan arus putar. 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 ini berkisar antara 20-25% dari total kerugian daya motor pada keadaan normal.

### **2.5.2. 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, gesekan dari bagian yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipa pendingin. Kerugian energi ini selalu berubah menjadi panas seperti pada semua rugi-rugi lainnya. Rugi-rugi mekanik dianggap konstan dari beban nol hingga beban penuh, dan ini adalah masuk akal tetapi tidak sepenuhnya tepat seperti

---

<sup>3</sup> Log.cit hal 5-8



halnya pada rugi-rugi inti. Rugi-rugi mekanik biasanya berkisar antara 5-8% dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

### 2.5.3. 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.

$$\text{Prugi-rugi} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$I^2$  = Arus Motor

R = Hambatan Motor

### 2.5.4. Rugi-Rugi Stray Load

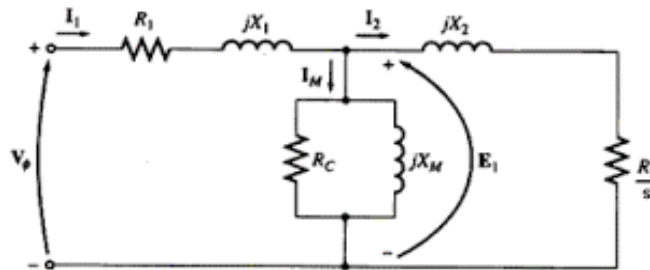
Kita telah banyak melihat bahwa beberapa macam kerugian selalu dianggap konstan dari keadaan beban nol hingga beban penuh walaupun kita tahu bahwa rugi-rugi tersebut sebenarnya berubah, secara kecil terhadap beban. Sebagai tambahan, kita tidak dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan 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. Pada mesin DC, rugi-rugi ini masih dapat disebabkan oleh faktor reaksi



jangkar, dan arus hubung singkat dalam kumparan pada saat terjadi peristiwa komutasi. Kerugian stray load ini sangat sukit ditentukan. Pada umumnya kerugian ini berkisar antara 11-14 % dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nol.<sup>2</sup>

## 2.6 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi<sup>4</sup>

Motor Induksi 3-fasa ini dapat dianalisa berdasarkan rangkaian ekivalen tanpa harus mengoperasikan motor. Dari rangkaian ekivalen (Gambar 2.8) dibawah ini  $I_1$  merupakan arus yang mengalir pada kumparan stator yang terbagi arus  $I_m$  dan  $I_2$ , dimana untuk mencari besarnya arus yang mengalir pada saat pembebanan.



Gambar 2.8. Rangkaian Ekivalen Motor induksi<sup>2</sup>

$V_\phi$  = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

$R_1$  = Resistansi kumparan stator

$jX_1$  = Reaktansi Induktif kumparan stator

$R_c$  = Tahanan Inti Besi

$R_2$  = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

$jX_2$  = Reaktansi Induktir rotor dilihat dari sisi stator

$jX_m$  = Reaktansi magnet pada Motor

$I_1$  = Arus kumparan stator

$I_2$  = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator saat motor distart.

<sup>2</sup> Zuriman Anthony erhaneli, motor induksi, 2019, hal 21-22

<sup>4</sup> Log.cit hal 415

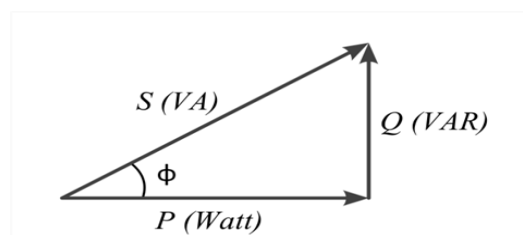


## 2.7 Pengertian Daya

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 :

- 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 ( $X_L$ ) dan reaktansi kapasitif ( $X_C$ ), 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 2.9 Segitiga Daya<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Log.cit hal 3-24



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

$$S = V.I \dots\dots\dots (2.4)$$

$$Q = V. I. \sin\phi \dots\dots\dots (2.5)$$

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

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

$$S = \sqrt{3}. V. I \dots\dots\dots (2.7)$$

$$Q = \sqrt{3}. V. I \sin \phi \dots\dots\dots (2.8)$$

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:

$$P = \frac{W}{T} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana, P = Daya mekanik (W)

W= Usaha (joule)

t = Waktu (s)



## 2.8 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:

Efisiensi ( $\eta$ ) = Karena efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen, maka rumusan umum yang digunakan ialah:

$$\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{out}$  = Daya keluaran (Watt)

$P_{in}$  = Daya masukan (Watt)<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Op.cit hal 5-8



## 2.9 Kipas Pendingin Oli

Kipas pendingin oli/Fin fan lube oil cooler fan adalah bagian dari system generator/gerbox lube oil. sebagai bagian dari system GLO yang berfungsi mendinginkan minyak pelumas yang akan di suplai ke Generator/Georbox pada pembangkit listrik tenaga gas, prinsip kerja dari kipas pendingin minyak pelumas ini adalah dengan cara udara yang dihembuskan dari bawah sirip ke atas.



Gambar 2.10 Kipas Pendingin Oli unit 1 PLTG Borang