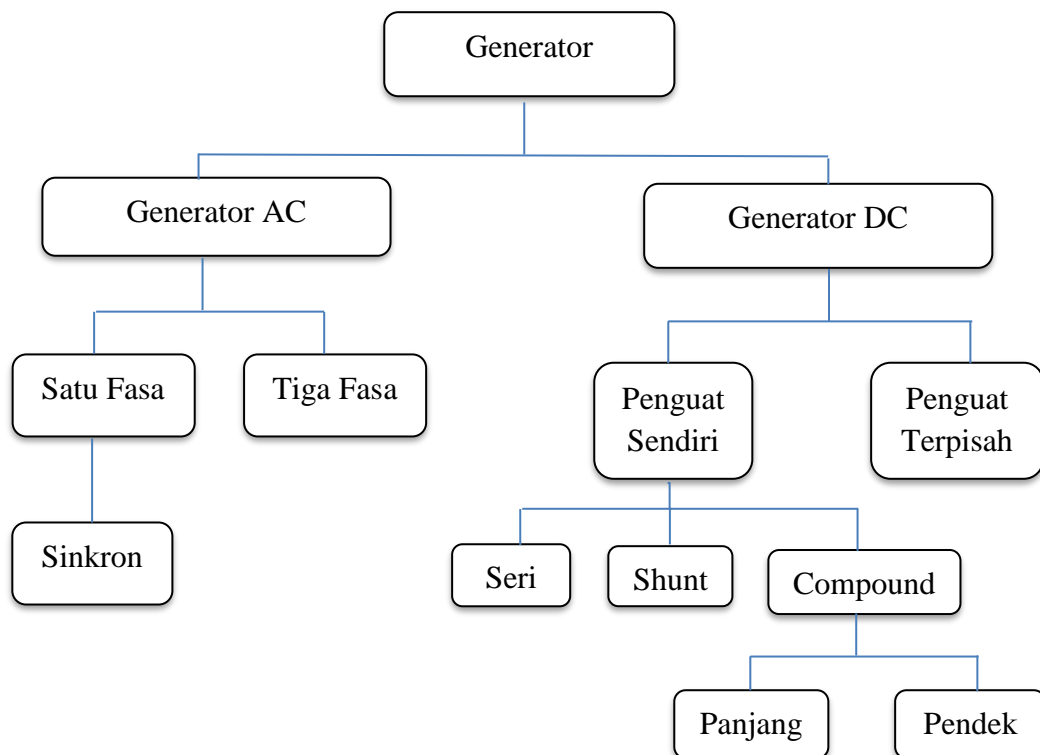


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Generator merupakan mesin pembangkit tenaga listrik yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik). Pembangkitan diperoleh dengan menerima tenaga mekanis dan diubah menjadi tenaga listrik. Generator umumnya terbagi menjadi dua berdasarkan arus yang dibangkitkan yaitu generator ac dan generator dc. Adapun jenis generator berdasarkan putaran medan yaitu generator sinkron dan generator asinkron.



Gambar 2.1 Klasifikasi Jenis Generator Listrik

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik⁴. Energi mekanik diperoleh dari penggerak mula (*prime mover*) yang terkopel dengan rotor generator, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang melibatkan kumparan rotor dan kumparan stator.



Gambar 2.2 Bentuk Fisik Generator

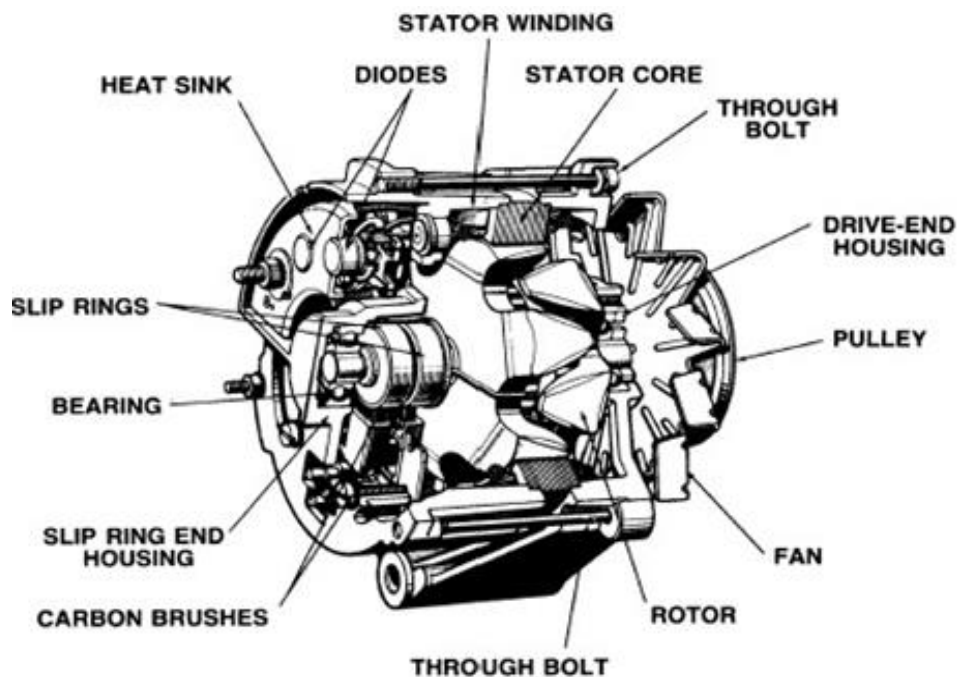
Mesin listrik arus bolak-balik ini disebut sinkron karena rotor berputar secara sinkron atau berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan medan magnet putar. Generator sinkron secara umum dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk rotornya, yaitu generator turbo atau *cylindrical-rotor generator* dan *salient pole generator*. Generator sinkron secara umum dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk rotornya, yaitu generator turbo atau *cylindrical-rotor generator* dan *salient pole generator*. Generator yang digunakan pada pembangkit listrik yang besar biasanya merupakan jenis generator turbo yang beroperasi pada kecepatan tinggi dan dikopel dengan turbin gas atau uap. Sedangkan generator *salient-pole* biasanya digunakan untuk pembangkit listrik kecil dan menengah.

Pada generator sinkron, arus dialirkan pada kumparan rotor yang kemudian menghasilkan medan magnet rotor. Rotor dari generator akan diputar oleh *prime mover*, menghasilkan medan magnet putar di dalam mesin. Pada stator generator

⁴ Sumanto, M.A, 1993, Mesin Listrik Arus Bolak-Balik, ANDI, Yogyakarta, Hal. 103

juga terdapat kumparan. Medan magnet putar menyebabkan medan magnet yang melingkupi kumparan stator berubah secara kontinu.

2.2 Konstruksi Umum



Gambar 2.3 Konstruksi Generator

Secara umum ada dua komponen utama penyusun generator sinkron yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam, tempat dimana tegangan induksi dibangkitkan. Sedangkan rotor merupakan bagian dari generator sinkron yang bergerak dan dialiri arus searah pada kumparannya.

2.2.1 Stator

Stator adalah bagian utama dari motor yang diam. Stator merupakan suatu kerangka yang dilaminasi terbuat dari besi tuang atau *aluminium alloy* tuang. Stator mempunyai bentuk alur yang tirus (*tapered*) dengan gigi yang sejajar (*parallel sided*). Alur pada stator adalah tempat kumparan utama dan kumparan

bantu berada. Dengan terdiri dari sejumlah slot yang nantinya untuk menempatkan belitan stator. Slot-slot tersebut ditempatkan dalam suatu rangka besi.



Gambar 2.4 Stator

Kecepatan medan putar (N_s) pada stator adalah sebagai berikut :

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

Dimana :

- N_s = Kecepatan medan putar (rpm)
- f = Frekuensi (Hz)
- P = Jumlah kutub

Fluks yang berputar pada stator akan menginduksi ke rotor, sehingga rotor juga akan berputar mengikuti medan putar stator. Diantara putaran rotor (N_r) dan putaran stator (N_s) tidak sama. Perbedaan antara putaran stator dan putaran rotor disebut slip (S).

Dari bagian generator yang lain (stator) dapat dibagi-bagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut²:

1. Rangka stator (*frame*)
2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet
3. Sikat

² Pahlevi, Muhammad Reza, dkk. 2015. Perencanaan Motor Induksi 3 Fasa. Palembang: Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya.

2.2.1.1 Rangka Stator



Gambar 2.5 Rangka Stator

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

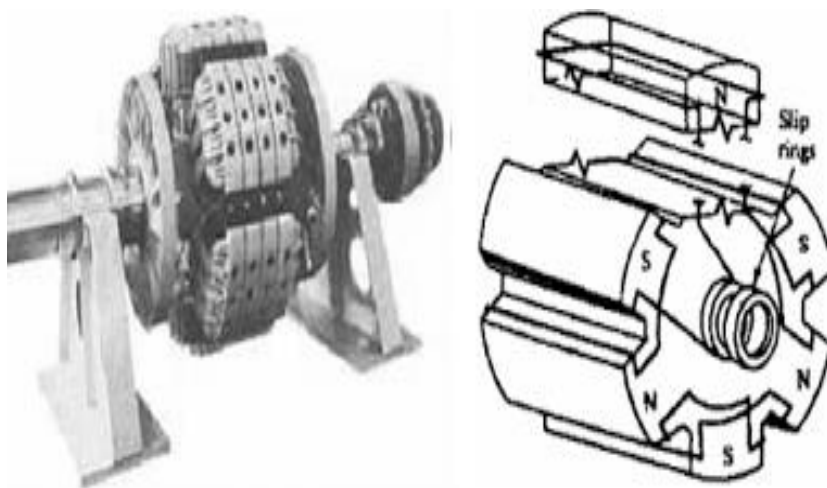
2.2.1.2 Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet

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

2.2.2 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak atau berputar. Bagian ini terdiri dari : inti rotor, kumparan rotor, dan alur rotor. Rotor generator diputar oleh *prime mover* menghasilkan medan magnet yang berputar pada mesin. Medan magnet putar ini

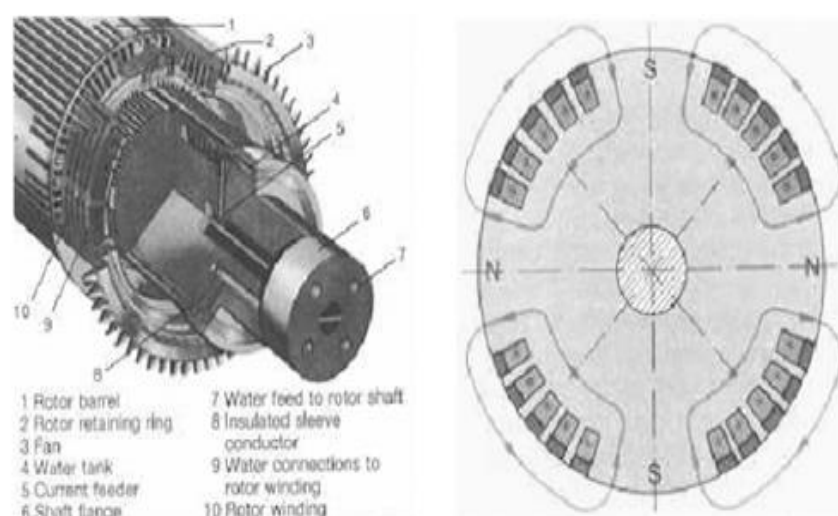
menginduksi tegangan pada kumparan stator generator. Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Ada dua jenis yang berbeda dari struktur medan generator sinkron : tipe kutub-sepatu (salient) dan silinder¹. Generator kepesatan-rendah seperti yang digerakkan oleh mesin diesel atau turbin air mempunyai rotor dengan kutub medan yang menonjol atau Kutub medan sepatu seperti rotor yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5. Keping kutub yang dilaminasi dengan kumparan medannya dipasang pada bingkai dari besi, yang terpasok pada poros.



Gambar 2.6 Rotor kutub-sepatu untuk generator ac kepesatan rendah

Generator kepesatan tinggi atau tipe turbo mempunyai rotor silinder seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7. Konstruksi silinder penting dalam mesin kepesatan tinggi. Karena tipe kutub-sepatu sukar dibuat untuk menahan tekanan pada kepesatan tinggi. Lebih lanjut, rotor kutub-sepatu mempunyai rugi angin yang tinggi pada kepesatan tinggi. Generator arus bolak-balik dengan konstruksi rotor silinder digerakkan oleh turbin uap atau gas.

¹ Lister, Eugene C. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga.



Gambar 2.7 Rotor silinder untuk generator ac kepesatan tinggi

2.2.3 Bantalan (*bearing*)

Bantalan (*bearing*) adalah elemen mesin yang menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan mempunyai umur panjang⁶. *Bearing* harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka kinerja seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya.

2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron dapat dijelaskan dengan menggunakan dua kaidah sederhana. Kaidah pertama untuk rangkaian magnetik dan kaidah yang kedua untuk tegangan yang diinduksi pada sebuah konduktor yang disebabkan karena variasi medan magnet.

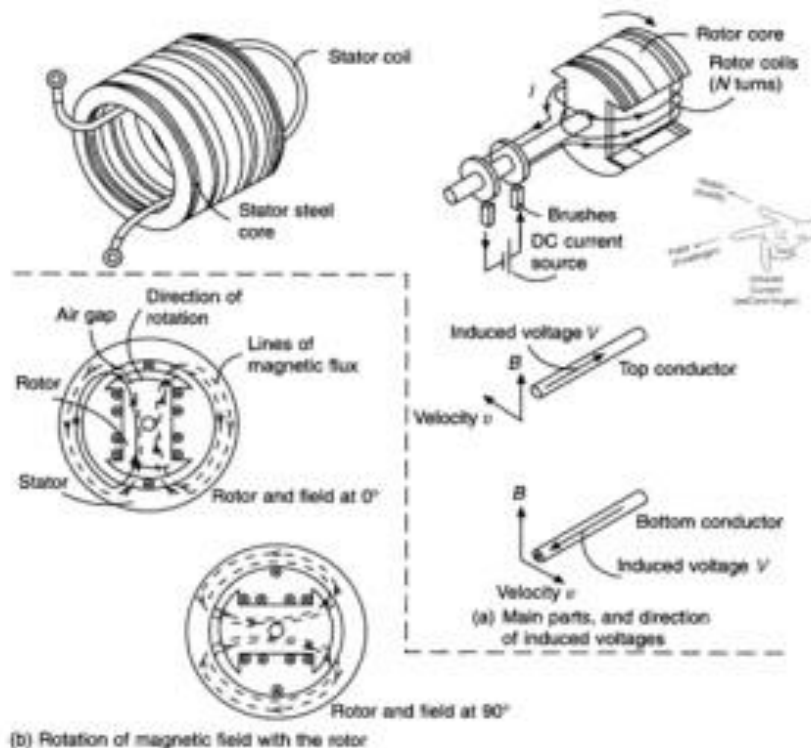
⁶ Zulkarnain, Dikki. 2015. Penggulungan Ulang (Rewinding) Kumparan Stator Pada Motor Induksi 1 Fasa. Palembang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Fluks ϕ dalam suatu rangkaian magnet yang mempunyai reluktansi R_m dihasilkan karena adanya *magnetomotive force* (*mmf*) F_m , dimana *mmf* itu sendiri berasal dari adanya arus I yang mengalir melalui lilitan berjumlah N .

$$\phi = F_m / R_m \dots\dots\dots(2.2)$$

$$F_m = I.N \dots\dots\dots(2.3)$$

Bagian magnetik dan elektrik yang utama dari generator *salient-pole* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Pada Gambar 2.8 (a), arus searah dialirkan menuju kumpulan rotor melalui *brush* dan *collector ring*. Produk antara arus medan I dan jumlah lilitan N menghasilkan F_m , sedangkan adanya reluktansi rangkaian magnet akan menghasilkan fluks magnet. Jalur fluks magnet ini ditunjukkan oleh garis putus-putus pada gambar 2 (b). Ketika rotor diputar, jalur fluks yang dibentuk karena



adanya mmf , F_m juga ikut berputar bersama putaran rotor. Hal ini diilustrasikan pada gambar kedua dari Gambar 2.8 (b). Ketika fluks magnet ϕ memotong rangkaian magnetik dengan luas penampang A , maka kepadatan fluks B dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$B = \phi / A \dots \dots \dots (2.4)$$

Gambar 2.8 (a) juga menunjukkan stator dengan lilitan tunggal sepanjang l . Ketika rotor berputar, fluks magnet rotor akan memotong lilitan stator dengan kecepatan v , sehingga *electromotive force (emf)* e_{ind} akan muncul, sesuai dengan persamaan:

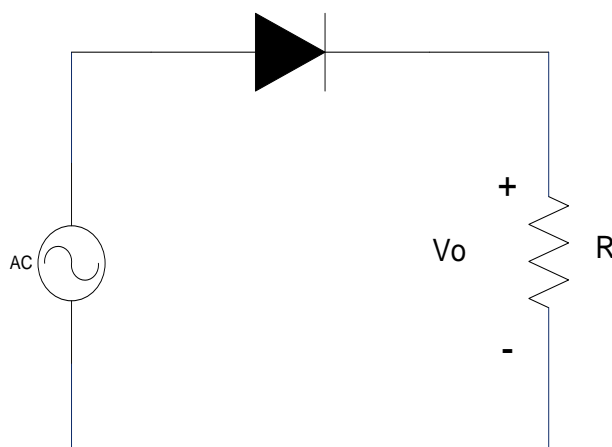
$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} \dots \dots \dots (2.5)$$

Gambar 2.8 (b) menunjukkan bahwa ketika medan magnet berotasi, kepadatan fluks pada lilitan stator berubah. Ketika *pole* berhadapan dengan lilitan, kepadatan fluks celah udara B pada kondisi ini bernilai paling tinggi, dan akan bernilai nol ketika *pole* berada sejauh 90° dari lilitan. Oleh karena itu, besar *emf* induksi atau tegangan V akan bervariasi terhadap waktu sesuai dengan variasi kepadatan fluks di sekitar rotor.

Jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Pada mesin tipe ini medan magnet diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / external pole generator) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumparan rotor. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip ring dan karbon sikat, sehingga menimbulkan permasalahan pada pembangkitan daya tinggi. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan tipe generator dengan kutub internal (internal pole generator), yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga

fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal pada tiga kumparan stator yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut 120° .

Pada rotor kutub sepatu, fluks terdistribusi sinusoidal didapatkan dengan mendesain bentuk sepatu kutub. Sedangkan pada rotor silinder, kumparan rotor disusun secara khusus untuk mendapatkan fluks terdistribusi secara sinusoidal. Untuk tipe generator dengan kutub internal (internal pole generator), suplai DC yang dihubungkan ke kumparan rotor melalui slip ring dan sikat untuk menghasilkan medan magnet merupakan eksitasi daya rendah. Jika rotor menggunakan magnet permanen, maka tidak slip ring dan sikat karbon tidak begitu diperlukan.



Gambar 2.9 Rangkaian penyearah AC ke DC

2.4 Pengaturan Generator¹

Jika beban ditambahkan pada generator ac yang sedang bekerja pada kecepatan konstan dan dengan eksitasi medan konstan, tegangan terminal akan berubah. Besarnya perubahan akan bergantung pada rancangan mesin dan pada faktor daya beban. Pengaruh dari faktor daya yang berbeda dan perubahan tegangan

¹ Lister, Eugene C. 1993. Mesin dan Rangkaian Listrik. Jakarta: Erlangga. Hal 203.



terminal dengan perubahan beban pada generator ac. Pengaturan generator ac didefinisikan sebagai persentase kenaikan tegangan terminal ketika beban dikurangi dari arus beban penuh ternilai sampai nol, dimana kepesatan dan eksitasi medan dijaga konstan, atau Persen pengaturan (pada faktor daya tertentu) = $\frac{\text{tegangan tanpa beban} - \text{tegangan beban penuh}}{\text{tegangan beban penuh}} \times 100$. Faktor – faktor yang mempengaruhi pengaturan generator adalah sebagai berikut :

1. Penurunan tegangan IR
2. Penurunan tegangan IXL pada lilitan jangkar
3. Reaksi jangkar (pengaruh magnetisasi dari arus jangkar).

2.5 Bahan Penghantar (Konduktor)

Bahan konduktor yang digunakan adalah bahan yang menghantarkan listrik dengan mudah. Bahan ini mempunyai daya hantar listrik (*electrical conductivity*) yang besar dan tahanan listrik (*electrical resistance*) kecil⁶. Bahan penghantar listrik berfungsi untuk mengalirkan arus listrik.

Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai konduktor antara lain logam biasa seperti tembaga, alumunium, besi dan sebagainya. Bahan penghantar yang paling banyak dipakai adalah tembaga, karena tembaga merupakan bahan penghantar yang paling baik setelah perak dan harganya pun murah.

⁶ Zulkarnain, Dikki. 2015. Penggulungan Ulang (Rewinding) Kumparan Stator Pada Motor Induksi 1 Fasa. Palembang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Hal 12

2.6 Tembaga



Gambar 2.10 Kawat tembaga

Tembaga mempunyai daya hantar listrik yang baik mempunyai hambatan jenis $1,67 \times 10^{-8}$ titik leleh pada kawat tembaga yaitu 1083°C dan titik panas 2595°C dan konduktivitasnya adalah 0,944 maka dari itu penulis memilih kawat tembaga sebagai penghantar listrik yang akan digunakan dalam melilit ulang kumparan stator.

Tabel 2.1 Hambatan masa jenis

Jenis Bahan	Hambatan Jenis ($\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$)
Tembaga Lunak	0,0167
Tembaga Keras	0,175
Alumunium	0,03
Seng	0,12
Timah	0,13
Besi	0,13
Perak	0,164
Baja	0,10 – 0,25
Timah Hitam	0,21
Nikelin	0,42



2.7 Perbaikan Generator Sinkron Satu Fasa

Generator yang sudah lama dioperasikan akan mengalami kemunduran kemampuan baik dari umur kumparan maupun kinerjanya. Generator yang mengalami gangguan berupa kumparan statornya mengalami hubungan singkat (*short winding*) atau kumparannya terbakar (*burned winding*) maka harus diganti dengan kumparan baru.

Penggulungan ulang kumparan (*rewinding*) generator sinkron satu fasa harus mengacu pada langkah-langkah dibawah ini⁶:

1. Pengambilan data dari sebuah generator sinkron diperoleh dari lembar data (*name plate*) yang ada pada beban generator. Lembar data (*name plate*) dari sebuah generator sinkron satu fasa.
2. Pembongkaran generator yang rusak.
3. Pembongkaran kumparan stator yang rusak akibat hubung singkat (*short cicuit*), maka hal-hal berikut harus dihitung terlebih dahulu
 - a. Jenis hubungan generator
 - b. Jenis gulungan generator
 - c. Langkah per coil
 - d. Jumlah slot
 - e. Jumlah coil
 - f. Ukuran kawat
4. Pemasangan isolasi pada alur stator
Pemasangan isolasi harus mengacu kepada kelas isolasi kumparan dan suhu maksimum yang diperbolehkan serta batas kenaikan suhu dari generator.
5. Penggulungan ulang kumparan (*rewinding*) generator
6. Test kumparan
7. Pemasangan generator
8. Pengujian generator.

⁶ Zulkarnain, Dikki. 2015. Penggulungan Ulang (Rewinding) Kumparan Stator Pada Motor Induksi 1 Fasa. Palembang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Hal 14



2.8 Hal-hal Yang Harus Diperhitungkan Dalam Penggulungan Ulang Kumbaran (*Rewinding*) Generator Sinkron Satu Fasa

2.8.1 Daya

Daya adalah sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI daya listrik adalah *watt* yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir per satuan waktu (*joule/detik*)⁵.

Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Peranti mengkonversi kerja ini ke dalam berbagai bentuk yang berguna, seperti panas (seperti pada pemanas listrik). Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau menyimpan energi seperti baterai. Daya output dapat dihitung dengan persamaan 2.6 berikut ini :

$$P_o = \frac{\tau \cdot n}{9,55} \dots\dots\dots(2.6)$$

Selain itu daya dapat juga dihitung dengan persamaan 2.7 berikut ini :

$$P = V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \dots\dots\dots(2.7)$$

Daya output dapat dihitung dengan persamaan 2.8 berikut ini³ :

$$P_i = P_o + I^2 R \dots\dots\dots(2.8)$$

Hubungan antara *HP*, torsi dan kecepatan dengan persamaan 2.9 berikut ini :

$$\tau = \frac{5250 \cdot \text{HP}}{n} \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk mendapatkan nilai efisiensi dihitung dengan persamaan 2.10 berikut ini :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

P_i = Daya input (*Watt*)

P_o = Daya output (*Watt*)

V = Tegangan nominal generator (*Volt*)

I = Arus nominal generator (*Ampere*)

τ = Torsi (*Nm*)

⁵ Zuhail. 1988. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. Hal 31

³ Siswoyo, 2008, Teknik Listrik Industri Jilid 2, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, hal. 53



- n = Kecepatan putaran (Rpm)
 $\cos \varphi$ = Faktor daya
 HP = Horse power
 η = Efisiensi (%)

2.8.2 Kumbaran Stator

Langkah kumbaran adalah sudut kisar yang dibentuk antara kedua sisi kumbaran dan diberi dengan tanda huruf Y_g . Untuk mendapatkan kopel putar yang maksimal, maka langkah kumbaran harus sama dengan satu jarak kutub. Satu jarak kutub adalah kisar sudut antara kutub utara (U) dan kutub selatan (S) yang paling berdekatan. Sedangkan jarak kutub diberi tanda Θ (δ) dan satu jarak kutub adalah 180° listrik. Apabila jumlah pasang kutub suatu generator adalah p , maka jumlah kutubnya adalah $2p$ dan perbandingan antara derajat lingkaran (derajat busur = $^\circ bs$) dan derajat listrik ($^\circ el$).

Apabila jumlah alur pada stator generator 1 fasa ada G alur, maka kisar sudut satu kali keliling stator atau G alur adalah $360^\circ bs$. Apabila sebuah generator mempunyai sebanyak G alur adalah $= p \cdot 360^\circ el$. Satu keliling stator = $2p$ jarak kutub. Jadi, satu jarak kutub = $1E = 180^\circ el = \frac{G}{2p \cdot Alur}$ karena langkah kumbaran $Y_g = 1E$, maka langkah kumbaran menjadi $Y_g = \frac{G}{2p \cdot Alur}$ untuk generator satu fasa yang mempunyai satu pasang kutub dengan satu buah kumbaran sebagai berikut :

$$Y_g = \frac{G}{p} \dots\dots\dots (2.11)$$

Untuk menentukan kumbaran tiap kelompok pada generator satu fasa sebagai berikut :

$$Q = \frac{G}{2p \cdot m} \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk menentukan jumlah sisi kumbaran dalam tiap kutub pada generator satu fasa sebagai berikut :



$$K = \frac{G}{2p} \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk mengetahui luas penampang kawat yang digunakan pada kumparan stator sebagai berikut :

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

Y_g = Langkah kumparan

G = Jumlah alur

$2p$ = Jumlah kutub

P = Jumlah pasang kutub

q = Banyaknya kumparan tiap kelompok

m = Jumlah fasa

A = Luas penampang kawat

d = Diameter kawat

K = Jumlah sisi kumparan dalam tiap kutub

2.8.3 Kecepatan Putaran Generator

Kecepatan perputaran medan magnetik generator (perputaran sinkron) N_s , dimana besarnya ditentukan oleh jumlah kutub frekuensi (2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub). Perputaran sinkron ini biasanya lebih besar dari pada perputaran nominal generator (perputaran beban penuh, n) yang ada pada lembar data (*name*



plate). Prinsip perputaran medan magnetik perputaran sinkron (N_s) diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.15 berikut ini⁵ :

Dalam lilitan dua kutub medan membuat satu putaran penuh dalam satu siklus arus. Dalam lilitan empat kutub yang mana setiap fasa mempunyai dua grup kumparan terpisah yang dihubungkan seri, dapat ditunjukkan bahwa medan magnet putar membuat satu putaran dalam dua siklus arus. Dalam lilitan enam kutub, medan membuat satu putaran dalam tiga siklus arus. Secara umum medan membuat satu putaran dalam $P/2$ siklus atau

$$\text{Siklus} = \frac{P}{2} \times \text{putaran}$$

Atau

$$\text{Siklus per detik} = \frac{P}{2} \times \text{putaran per detik}$$

Oleh karena putaran per detik sama dengan putaran per menit, putaran (n) dibagi 60 dan banyaknya siklus per detik adalah frekuensi (f), maka

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{N_s \cdot p}{120}$$

$$N_s = \frac{f}{p/2} \times 60$$

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

N_s = perputaran sinkron (Rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub (*2 kutub, 4 kutub, 6 kutub, dan 8 kutub*)

2.8.4 Reaktansi

Reaktansi induktif menyebabkan arus tertinggal di belakang tegangan yang digunakan, sedangkan rangkaian kapasitif menyebabkan arus mendahului tegangan. Oleh sebab itu, jika reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif

⁵ Zuhail. 1988. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. Hal 63



dihubungkan secara seri, pengaruhnya saling menetralkan dan pengaruh gabungannya adalah selisihnya. Pengaruh gabungan antara reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif disebut reaktansi dan ditentukan dengan menggunakan reaktansi kapasitif dari reaktansi induktif, atau dalam persamaan sebagai berikut¹ :

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

X = Reaktansi (Ω)

X_L = Reaktansi induktif (Ω)

X_C = Reaktansi kapasitif (Ω)

2.8.5 Impedansi

Impedansi adalah total perlawanan yang diberikan oleh rangkaian terhadap aliran arus. Ini merupakan pengaruh gabungan tahanan dan reaktansi dari suatu rangkaian. Simbol impedansi adalah Z , dan diukur dalam satuan ohm. Impedansi rangkaian ac sama dengan tegangan efektif yang dikenakan dibagi dengan arus efektif yang mengalir, atau

$$Z = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

Z = Impedansi (Ω)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Dalam rangkaian yang hanya mengandung tahanan, penurunan IR sefase dengan arus. Dalam rangkaian yang mengandung reaktansi induktif saja, penurunan IX_L mendahului arus 90° , yang tentu saja ekuivalen dengan mengatakan arus tertinggal 90° dari penurunan IX_L . Demikian juga halnya dalam rangkaian kapasitif penurunan IX_C tertinggal 90° dari arus. Dalam rangkaian yang mengandung baik tahanan maupun reaktansi, penurunan tegangan totalnya, atau penurunan IZ adalah sama dengan jumlah dari penurunan IR dan IX . Oleh karena penurunan IR dan IX berbeda fasa 90° , maka perbedaan fasa ini harus diperhitungkan jika keduanya

¹ Lister, Eugene C. 1993. Mesin dan Rangkaian Listrik. Jakarta: Erlangga. Hal 140.

dijumlah. Jumlah dari dua besara fasor seperti IR dan IX yang berbeda fasa 90° adalah $\sqrt{(IR)^2 + (IX)^2}$, maka :

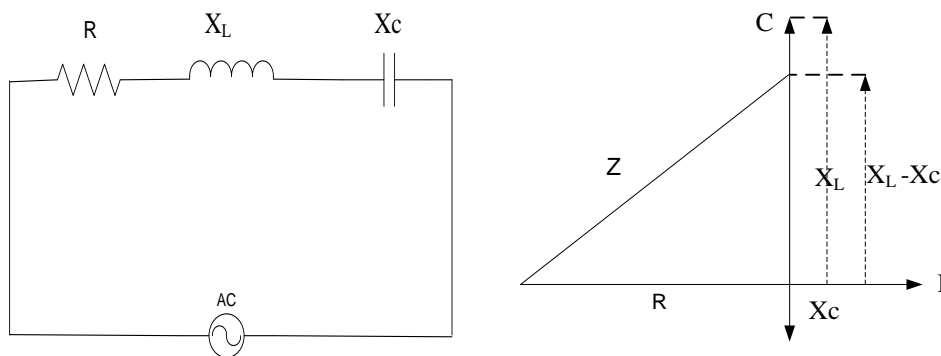
$$IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dan dengan membagi kedua belah sisi dengan I , hasilnya :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots\dots\dots (2.19)$$

Karena pengaruhnya berbeda, maka tahanan dan reaktansi tidak dapat dijumlahkan secara aritmatik tetapi harus digabungkan sesuai dengan hubungan yang diberikan dalam persamaan (2.11).

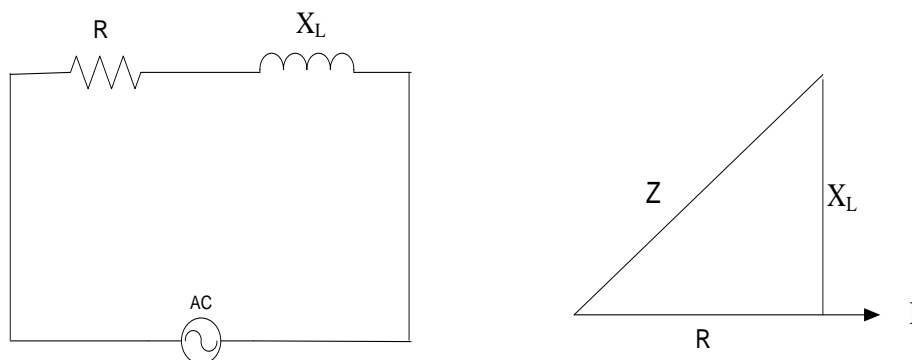
Oleh karena reaktansi telah didefinisikan sebagai $X_L - X_C$, pernyataan lengkap untuk impedansi dari suatu rangkaian seri adalah :



Gambar 2.10 Rangkaian Seri RLC

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

Jika rangkaian mengandung X_C yang dapat diabaikan dibandingkan dengan R dan X_L , pernyataan diatas menjadi :

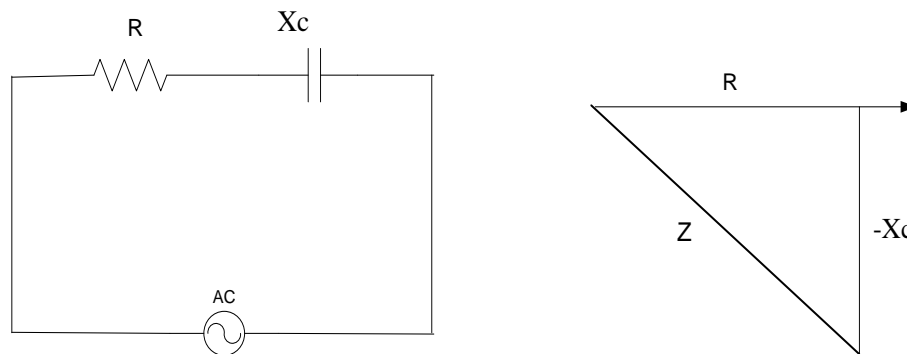


Gambar 2.11 Rangkaian Seri RL



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - 0)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots (2.21)$$

Demikian juga, jika rangkaian mengandung X_L yang dapat diabaikan, impedansi menjadi :



Gambar 2.12 Rangkaian Seri RC

$$Z = \sqrt{R^2 + (0 - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (-X_C)^2} \dots\dots\dots (2.22)$$

Tanda minus tidak mempengaruhi besarnya harga Z , karena kuadrat dari minus sama dengan bilangan positif.

2.8.6 Hambatan Kawat

Hambatan kawat tembaga ditentukan untuk mengetahui kesalahan dari tebal kawat penghantar yang digunakan. Hambatan kawat tembaga yang digunakan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.23 berikut ini:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

- R = Hambatan kawat tembaga (Ω)
- V = Tegangan nominal motor (*Volt*)
- I = Arus nominal motor (*Ampere*)⁶

⁶ Zulkarnain, Dikki. 2015. Penggulungan Ulang (Rewinding) Kumparan Stator Pada Motor Induksi 1 Fasa. Palembang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Hal 17