



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin-Mesin Listrik

Mesin-mesin listrik merupakan alat listrik yang berputar dan dapat mengubah energi mekanis menjadi energi listrik (menggunakan Generator AC/DC) dan dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanis (menggunakan Motor AC/DC), serta dapat juga mendistribusikan energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain (menggunakan Transformator) dengan tegangan yang bisa berubah-ubah dan dengan frekuensi yang tetap melalui suatu medium berupa medan magnet atas dasar prinsip Elektro Magnetis. terdiri dari mesin statis (transformator) dan mesin dinamis (motor dan generator), yang dimaksud dengan mesin listrik adalah generator atau motor. ¹

2.2 Motor Listrik

Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri, sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor listrik secara umum sama , yaitu:

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torsi untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

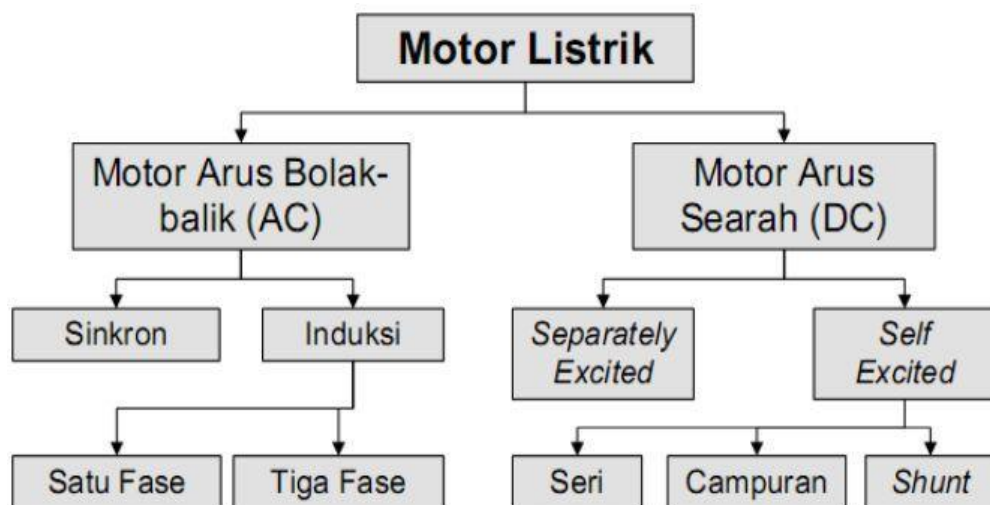
Dalam memahami sebuah motor listrik, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban mengacu kepada keluaran tenaga

¹ Andi Dahsyat Amanda. " TUGAS MAKALAH MESIN-MESIN LISTRIK " (Makassar: Universitas Hasanuddin Makassar 2015), Hal.1

putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok :

- Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsi nya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah conveyors, rotary kilns, dan pompa displacement konstan.
- Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
- Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

2.3 Jenis Motor Listrik



Gambar 2.1 Klasifikasi motor-motor listrik

Bagian ini menjelaskan tentang dua jenis utama motor listrik: motor DC dan motor AC. Motor tersebut diklasifikasikan berdasarkan pasokan input, konstruksi, dan mekanisme operasi, dan dijelaskan lebih lanjut dalam bagan dibawah ini.

2.3.1 Motor DC Arus Searah

Motor DC/arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/direct-unidirectional. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

Sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:

- Kutub medan. Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.
- Dinamo. Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.
- Kommutator. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. Kommutator juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Keuntungan utama motor DC adalah kecepatannya mudah dikendalikan dan tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor DC ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan.

- Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang, seperti peralatan mesin dan rolling mills, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC.

Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\text{Gaya elektromagnetik: } E = K\Phi N \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Torsi: } T = K\Phi I_a \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

E = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

Φ = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

N = kecepatan dalam RPM (putaran per menit)

T = torsi electromagnetik

I_a = arus dinamo

K = konstanta persamaan

Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.

Berikut tentang kecepatan motor shunt (E.T.E., 1997):

- Kecepatan pada prakteknya konstan tidak tergantung pada beban (hingga torsi tertentu setelah kecepatannya berkurang, lihat Gambar 4) dan oleh karena itu cocok untuk penggunaan komersial dengan beban awal yang rendah, seperti peralatan mesin.
- Kecepatan dapat dikendalikan dengan cara memasang tahanan dalam susunan seri dengan dinamo (kecepatan berkurang) atau dengan memasang tahanan pada arus medan (kecepatan bertambah).

2.3.2 Jenis-Jenis Motor DC Arus Searah

a. Motor DC sumber daya terpisah/ Separately Excited, Jika arus medan dipasok dari sumber terpisah maka disebut motor DC sumber daya terpisah/separately excited.

b. Motor DC sumber daya sendiri/ Self Excited: motor shunt.

Pada motor shunt, gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan dinamo (A) seperti diperlihatkan dalam gambar 4.

c. Motor DC Kompon/Gabungan.

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo (A). Sehingga, motor kompon memiliki torque penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula torque penyalaan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Contoh, penggabungan 40-50% menjadikan motor ini cocok untuk alat pengangkat hoist dan derek, sedangkan motor kompon yang standar (12%) tidak cocok (myElectrical, 2005).

2.3.3 Motor AC Arus Bolak-Balik

Motor AC/ arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik AC memiliki dua buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor".

Stator merupakan komponen listrik statis. Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor. Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekwensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah

perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC).

2.3.4 Jenis-Jenis Motor AC Arus Bolak-Balik

a. Motor Sinkron.

Motor sinkron adalah motor AC yang bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekwensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torque awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekwensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya sistim, sehingga sering digunakan pada sistim yang menggunakan banyak listrik.

Komponen utama motor sinkron adalah :

- Rotor. Perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan sebab medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus DC-excited, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.
- Stator. Stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekwensi yang dipasok.

Motor ini berputar pada kecepatan sinkron, yang diberikan oleh persamaan berikut (Parekh, 2003):

$$N_s = 120 f / P \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

f = frekwensi dari pasokan frekwensi

P= jumlah kutub

b. Motor Induksi.

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC.

Komponen Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama

- Rotor.

Motor induksi menggunakan dua jenis rotor:

- Rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak slots paralel. Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek.
- Lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi. Dibuat melingkar sebanyak kutub stator. Tiga fase digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya.

- Stator

Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama (Parekh, 2003):

- Motor induksi satu fase. Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang 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, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.

- Motor induksi tiga fase. Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, belt conveyor, jaringan listrik, dan grinder. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Hp.

c. Kecepatan Motor Induksi

Motor induksi bekerja sebagai berikut, Listrik dipasok ke stator yang akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron disekitar 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”.

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung persentase slip/geseran(Parekh, 2003):

$$\% \text{ Slip} = (N_s - N_b)/N_s \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

N_s = kecepatan sinkron dalam RPM

N_b = kecepatan dasar dalam RPM

Hubungan antara beban, kecepatan dan torsi

2.4 Generator Set

Generator adalah sebuah mesin yang mengubah energi mekanis (gerak) menjadi energi listrik (listrik), pada LRT Sumatera Selatan terdapat peralatan generator atau genset dengan kapasitas 50 kVA dan merupakan bagian dari sumber daya cadangan bagi peralatan persinyalan dan telekomunikasi LRT. Genset berfungsi sebagai *backup* apabila terjadi gangguan kelistrikan pada sumber PLN ataupun peralatan LRT yang lainnya.²

2.4.1 Prinsip dan cara kerja generator

Generator bekerja berdasarkan hukum Faraday yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (gaya gaya listrik) yang mempunyai satuan volt.

2.4.2 Jenis - Jenis Generator

Berikut ini beberapa klasifikasi dari generator:

1. Jenis generator berdasarkan letak kutubnya dibagi menjadi :
 - a. Generator Kutub Dalam
Generator kutub dalam mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang berputar (rotor).
 - b. Generator Kutub Luar
Generator kutub luar mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang diam (stator)
2. Jenis generator berdasarkan putaran medan dibagi menjadi :
 - a. Generator sinkron
 - b. Generator asinkron

² Muhammad Wahyu Santoso. " MAKALAH GENERATOR " (Makassar: Universitas Hasannuddin Makassar 2015), Hal.2

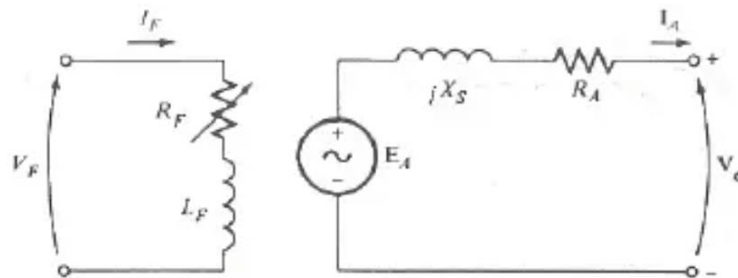
3. Jenis generator berdasarkan jenis arus yang dibangkitkan
 - a. Generator arus searah (DC)
 - b. Generator arus bolak balik (AC)
4. Jenis generator dilihat dari fasanya
 - a. Generator satu fasa
 - b. Generator tiga fasa
5. Jenis generator berdasarkan bentuk rotornya :
 - a. Generator rotor kutub menonjol biasa digunakan pada generator dengan rpm rendah seperti PLTA dan PLTD.
 - b. Generator rotor kutub rata (silindris) biasa digunakan pada pembangkit listrik I generator dengan putaran rpm tinggi seperti PLTG dan PLTU.

2.4.3 Generator Sinkron

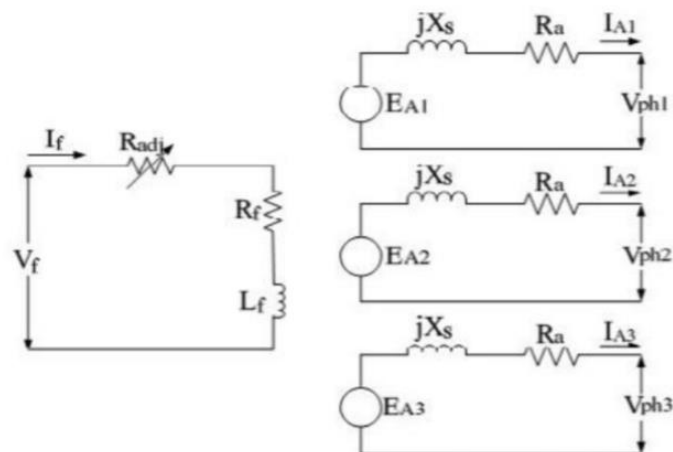
Konstruksi dari mesin sinkron baik sebagai generator maupun sebagai motor adalah sama, perbedaannya hanya pada prinsip kerjanya. Sebagaimana pada generator arus searah, belitan (kumparan) jangkar ditempatkan pada rotor sedangkan belitan medan ditempatkan pada stator, demikian pula untuk generator sinkron untuk kapasitas kecil.

Akan tetapi pada generator sinkron yang dipergunakan untuk pembangkitan dengan kapasitas besar, belitan atau kumparan jangkar ditempatkan pada stator sedangkan belitan medan ditempatkan pada rotor dengan alasan :

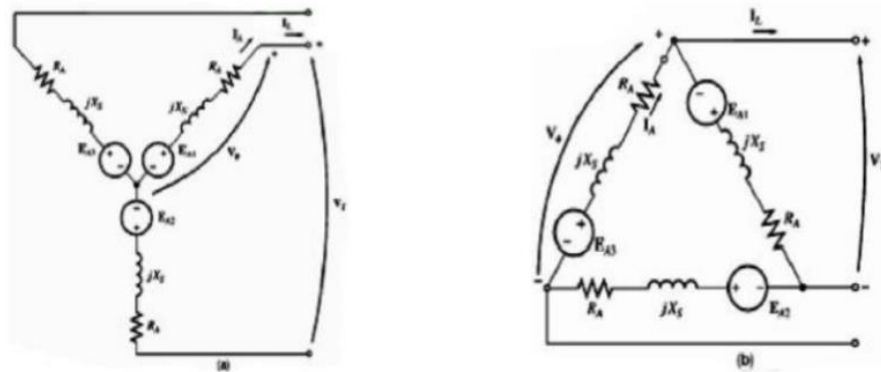
1. Belitan jangkar lebih kompleks dari belitan medan sehingga lebih terjamin jika ditempatkan pada struktur yang diam.
2. Lebih mudah mengisolasi dan melindungi belitan jangkar terhadap tegangan yang tinggi.
3. Pendinginan belitan jangkar mudah karena inti stator yang terbuat cukup besar sehingga dapat didinginkan dengan udara paksa.
4. Belitan medan mempunyai tegangan rendah sehingga efisien bila digunakan pada kecepatan tinggi.



Gambar 2.2 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron 1 Fasa



Gambar 2.3 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron 3 Fasa



**Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen generator sinkron 3 fasa
(a). Belitan-Y (b). Belitan-Δ**

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif, karena itu dinyatakan sebagai reaktansi, dan disebut reaktansi magnetisasi akibat pengaruh reaktansi jangkar (X_{ar}). Pada generator sinkron kutup silindris, kuat medan yang terjadi merata di sekitar permukaan kutup, sehingga pengaruhnya terhadap kumparan jangkar juga akan merata. Karena kuat medan yang merata, maka Reaktansi ini (X_{ar}) dapat dijumlahkan langsung bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor pada kumparan jangkar (X_a) yang kemudian dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s), Hubungan besarnya tegangan yang dibangkitkan alternator ini (E_a) terhadap reaktansi sinkron ini dan tegangan terminal alternator diperlihatkan pada persamaan persamaan sebagai berikut :

$$E_a - I_a \cdot (R_a + jX_s) + V\Phi \dots \dots \dots (5)$$

$$X_s = X_r + X_s$$

yang mana

E_a = Tegangan induksi pada jangkar yang dibangkitkan alternator (satuan Volt)

$V\Phi$ = Tegangan terminal output alternator (atau boleh dibuat V_t , satuan Volt)

R_a = Resistansi jangkar (satuan Ohm)

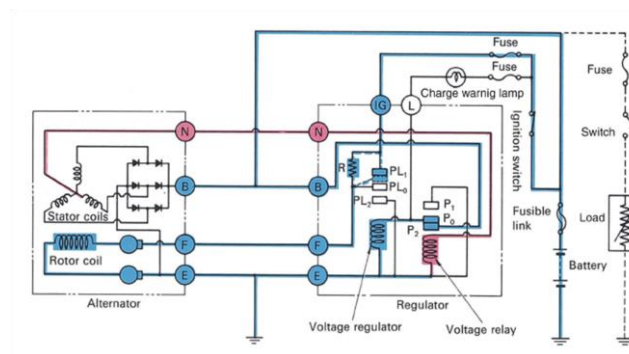
X_s = Reaktansi sinkron (satuan Ohm)

I_a = Arus yang melewati jangkar generator (satuan Ampere)

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula (prime over) dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub disuplai oleh tegangan searah maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya magnet) yang berputar kecepatannya sama dengan putaran kutub.

Berdasarkan Hukum Faraday apabila lilitan penghantar atau konduktor diputar memotong garis-garis gaya magnet yang diam atau lilitan yang diam dipotong oleh garis-garis gaya magnet yang berputar maka pada penghantar tersebut timbul EMF (Electro Motive Force) atau GGL (Gaya Gerak Listrik) atau tegangan induksi.

Ggl yang dibangkitkan pada penghantar jangkar adalah tegangan bolak-balik, perhatikan gambar. Arus yang mengalir pada penghantar jangkar karena beban tersebut akan membangkitkan medan yang berlawanan atau mengurangi medan utama sehingga tegangan terminal turun, hal ini disebut reaksi jangkar.



Gambar 2.5 Rangkaian Ekuivalen Genset³

³ <https://nurdinopraditya.blogspot.com/2012/09/sistem-pengisian/html?m=1>

Ketiga arah tersebut saling tegak lurus seperti yang diperlihatkan pada gambar diatas. Garis-garis gaya magnet yang berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar yang ada pada stator sehingga pada kumparan jangkar tersebut timbul ggl (gaya gerak listrik) atau emf (electro motive force) atau tegangan induksi. Frekuensi tegangan induksi tersebut akan mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$f = \frac{p \times n}{120} \text{ (Hz)} \dots\dots\dots 4(6)$$

Dimana :

p = banyaknya kutub.

n = kecepatan putar (rpm).

Oleh karenanya frekuensi dari tegangan induksi tersebut di Indonesia sudah tertentu ialah 50 (Hz) dan jumlah kutub selalu genap maka putaran rotor putaran kutub, putaran penggerak mula sudah tertentu pula.

Besarnya tegangan induksi yang dibangkitkan pada kumparan jangkar yang ada pada stator akan mengikuti persamaan sebagai berikut :

$$E = 4.44 k f \Phi \dots\dots\dots 5(7)$$

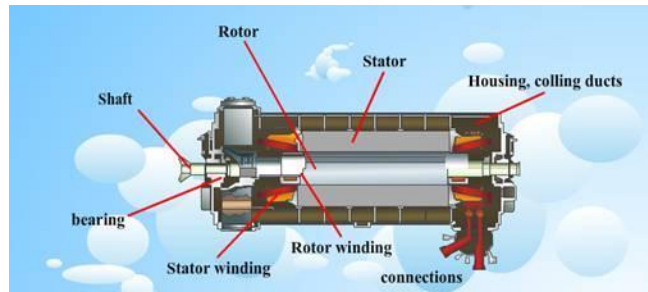
2.4.4 Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi mesin sinkron baik untuk generator maupun untuk motor terdiri dari :

1. Stator adalah bagian yang diam dan berbentuk silinder.
2. Rotor adalah bagian yang berputar juga berbentuk silinder.
3. Celah udara adalah ruangan antara stator dan rotor.

diakses tanggal 25 Mei 2020
⁴ Juhari, 2013. Generator, Hal:14
⁵ Juhari, 2013. Generator, Hal:15

Konstruksi mesin sinkron ini seperti yang diperlihatkan pada gambar dibawah

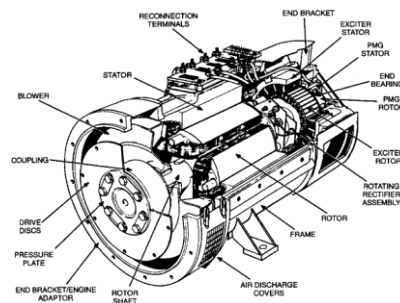


Gambar 2.6 Konstruksi generator sinkron⁶

2.4.5 Konstruksi Stator

Konstruksi stator seperti yang diperlihatkan pada gambar, terdiri dari

1. Kerangka terbuat dari besi tuang untuk menyangga inti jangkar.
2. Inti jangkar terbuat dari besi lunak (baja silikon).
3. Alur (slot) untuk meletakkan belitan (kumparan).
4. Belitan jangkar terbuat dari tembaga yang diletakan pada alur (slot)



Gambar 2.7 Kerangka dan Inti Stator Mesin Sinkron⁷

⁶ Yusran, Yasser. 2015. Simulasi Kontrol Frekuensi Otomatis, <https://yasseryusran.wordpress.com/tag/simulink/>, diakses tanggal 25 Mei 2020

⁷ Juhari. 2013. *Generator*. Hal: 7

2.4.6 Konstruksi Rotor

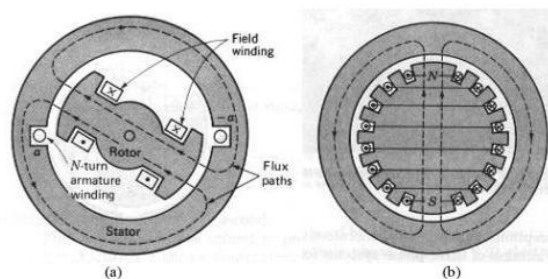
Konstruksi rotor terdiri dari dua jenis :

1. Jenis kutub menonjol (salient pole) untuk generator kecepatan rendah dan menengah. Kutub menonjol terdiri dari inti kutub dan sepatu kutub. Belitan medan dililitkan pada badan kutub, pada sepatu kutub juga dipasang belitan peredam (damper winding). Belitan kutub terbuat dari tembaga, sedangkan badan kutub dan sepatu kutub terbuat dari besi lunak.
2. Jenis kutub silinder untuk generator dengan kecepatan tinggi terdiri dari alur-alur sebagai tempat kumparan medan. Alur-alur tersebut terbagi atas pasangan-pasangan kutub.

Kedua macam kutub tersebut seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.7 dan gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8 Rotor jenis kutub menonjol (salient)⁸



Gambar 2.9. Rotor jenis kutub silinder (a) dan salient (b)⁹

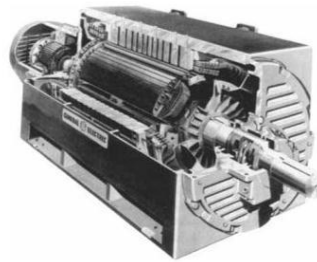
⁸ <https://blog-definisi.blogspot.co.id/2016/02/pengertian-bagian-bagian-generator.html>, diakses tanggal 26 Mei 2020

⁹ Juhari. 2013. Generator. Hal: 8

2.4.7 Belitan Jangkar

Belitan Jangkar. Beliatan jangkar yang di tempatkan pada stator disebut sebagai belitan stator untuk sistem tiga fasa hubungannya terdiri dari :

1. Belitan satu lapis (single layer winding) bentuknya dua macam :
 - a. Mata rantai (consentrislchain winding).
 - b. Gelombang (wave).
2. Belitan dua lapis (double layer winding) bentuknya dua macam :
 - a. Gelombang (Wave).
 - b. Gelung (Lap).



Gambar 2.10 Rangkaian belitan jangkar¹⁰

Generator besar menggunakan *brushless exciters* untuk mensuplai tegangan DC pada rotor. Terdiri dari generator AC kecil yang mempunyai kumparan medan magnet dipasang pada stator dan kumparan jangkar dipasang pada poros rotor.

Output generator penguat (arus bolak-balik tiga fasa) yang dirubah menjadi tegangan searah dengan penyearah tiga fasa yang juga dipasang pada rotor. Tegangan searah DC dihubungkan ke rangkaian medan magnet utama. Arus medan magnet generator utama dapat dikontrol oleh arus medan magnet generator penguat, yang berada pada stator.

¹⁰ Juhari. 2013. Generator. Hal: 9