

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Untuk membantu pembuatan proyek akhir ini, dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian.

1. Marsudi,Djiteng.2011 dalam bukunya yang berjudul Pembangkitan Energi Listrik. Jakarta.Erlangga
2. Rijono,Yon.2002. Dasar Teknik Tenaga Listrik.Yogyakarta. P Eman
3. Prih Sumardjati, Sofian Yahya dan Ali Mashar.2008.Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (*prime mover*), sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya.

Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang diputar dengan penggerak mula (*prime mover*) yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut. Hubungan antara medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan pada Persamaan dibawah ini:

$$f = \frac{n \times p}{120} \quad (2.1)$$

Dimana : f = frekuensi listrik (Hz)

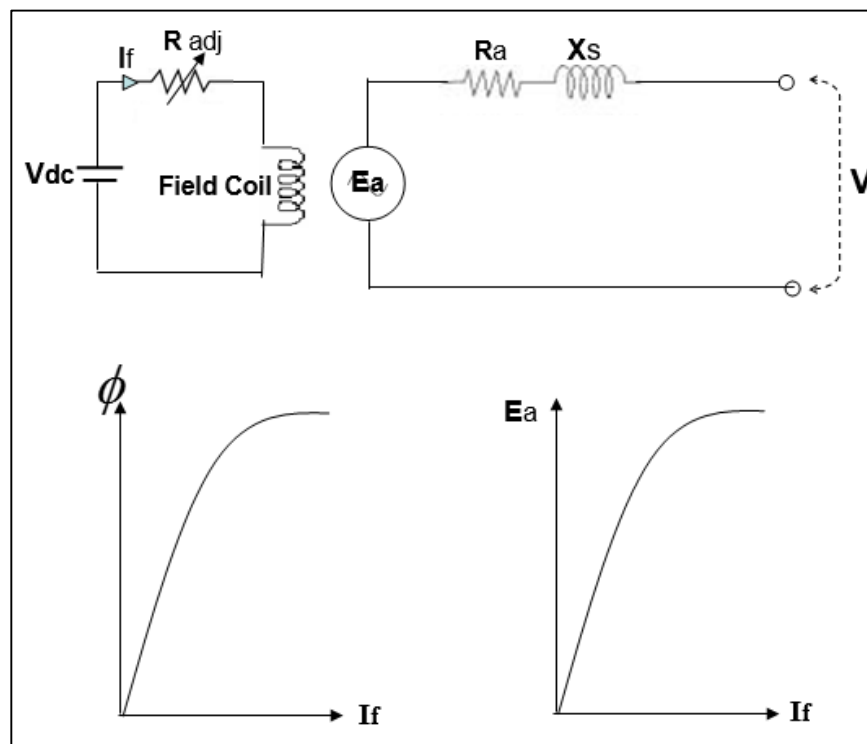
n = kecepatan putar medan magnet (rpm)

p = jumlah kutub

Generator sinkron sering kita jumpai pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik (dengan kapasitas yang relatif besar). Misalnya, pada PLTA, PLTU, PLTD dan lain-lain. Selain generator dengan kapasitas besar, kita mengenal juga generator dengan kapasitas yang relatif kecil, misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut Generator Set atau generator cadangan.

Pola operasi generator :

- Operasi generator tanpa beban



Gambar 2.1 Generator Tanpa Beban

E_a = Tegangan Induksi yang dibangkitkan

V = Tegangan terminal

R_a = Tahanan dalam Jangkar / Angker

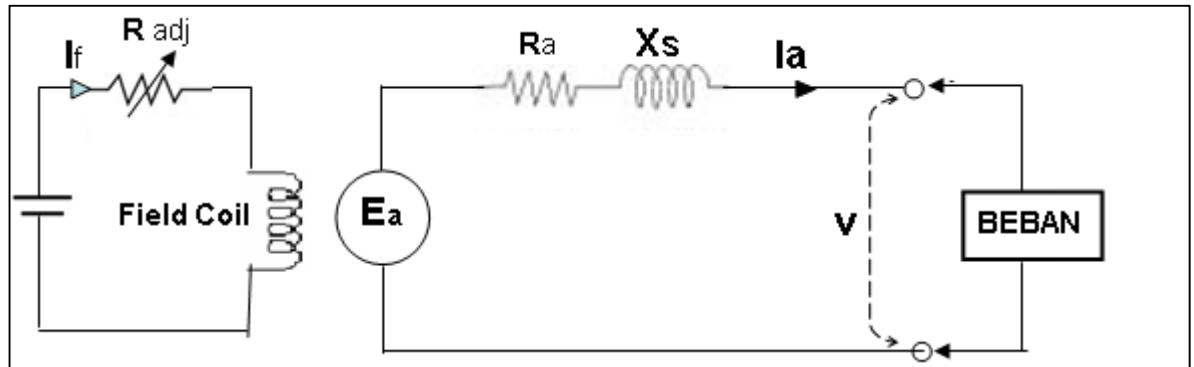
X_s = Reaktansi Sinkron ($X_a + X$)

I_f = Arus Eksitasi

$\emptyset$ = Fluksi (Medan Magnit)

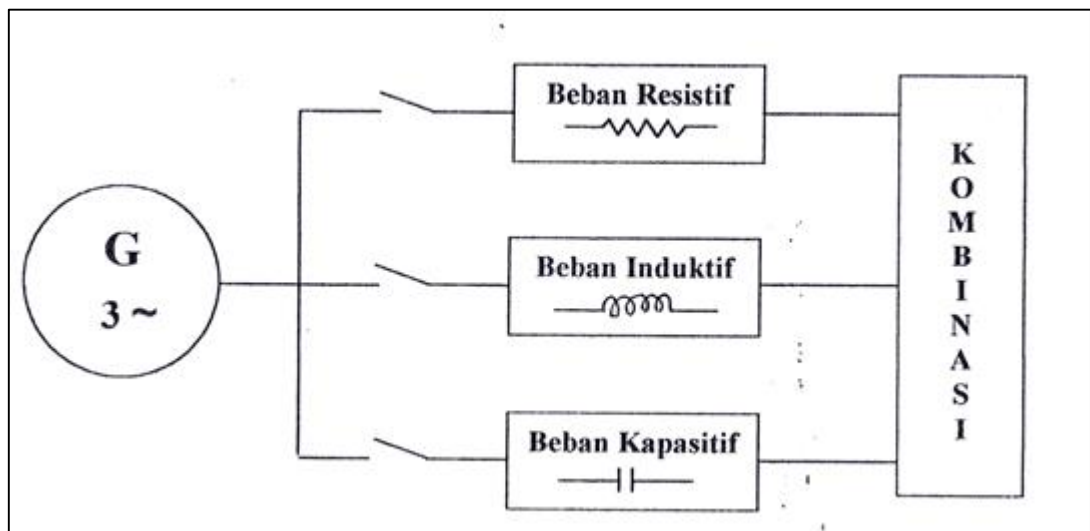
- Operasi generator berbeban terpisah

Dalam keadaan Generator berbeban akan mengalir Arus jangkar (I_a) dan tegangan E_a tidak sama dengan V kondisi ini dipengaruhi oleh jenis beban yang mempunyai power faktor berbeda dan besar Arus jangkar (I_a).



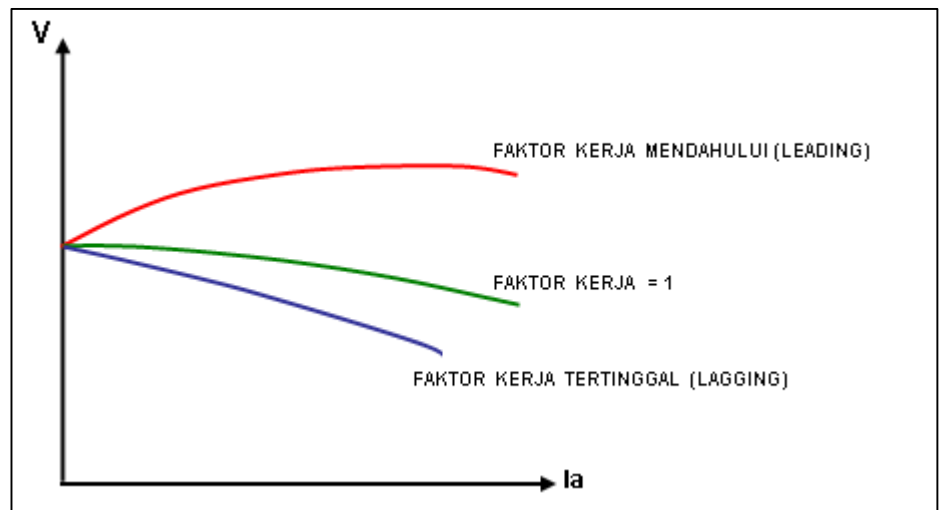
Gambar 2.2 Generator Berbeban Terpisah

Jenis – jenis beban :



Gambar 2.3 Hubungan Generator Dengan Beban

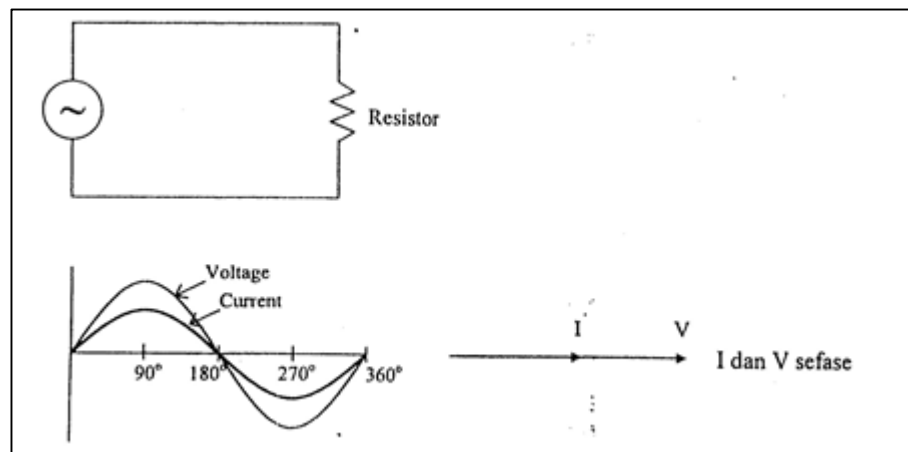
Perubahan Tegangan Akibat Pembebanan Yang Berbeda Power Faktor Akan Mengakibatkan Tegangan Generator Berubah, Maka Karakteristik Tegangan V Terhadap Arus Jangkar I , Digambarkan Sbb :



Gambar 2.4 faktor kerja pada generator

- Beban resistif

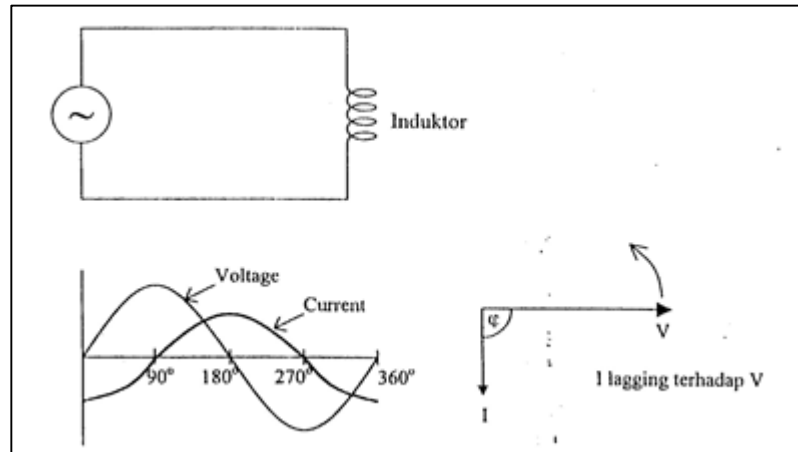
Beban resistif adalah beban yang berupa tahanan murni



Gambar 2.5 Beban Resistif

- Beban induktif

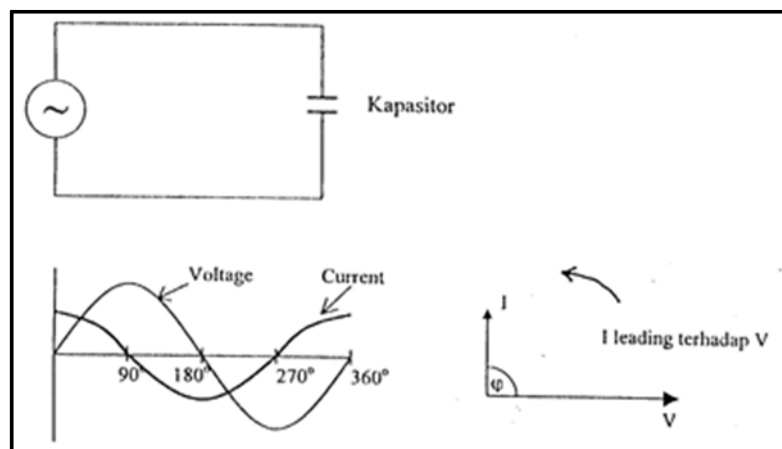
Beban induktif adalah beban yang berupa kumparan atau coil



Gambar 2.6 Beban Induktif

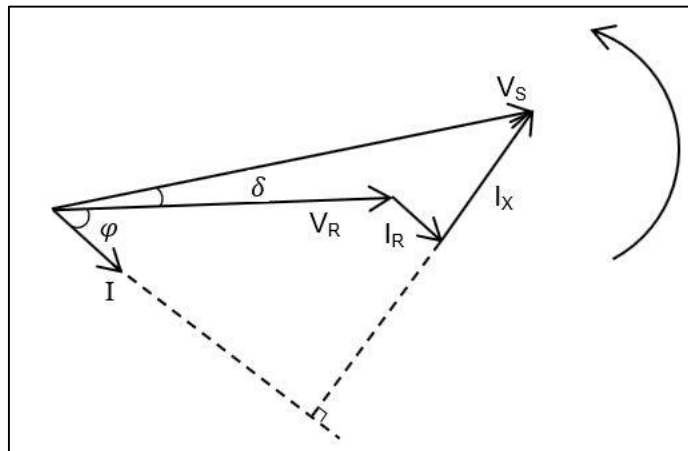
- Beban kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang berupa kapasitor atau kondensor

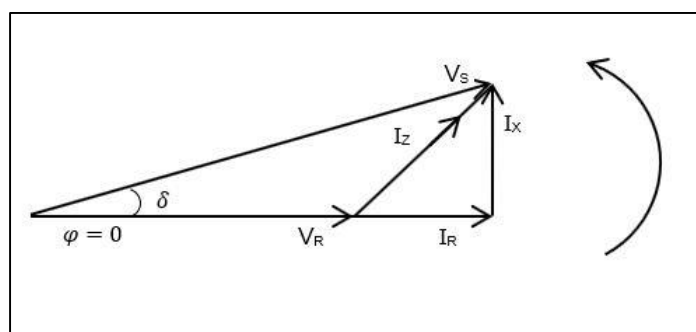


Gambar 2.7 Beban Kapasitif

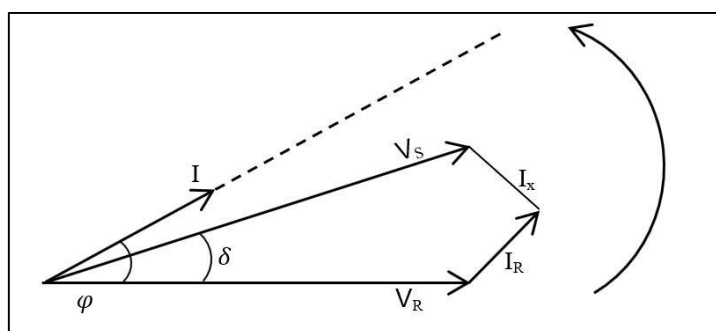
- Diagram Vektor Tegangan Generator



Gambar 2.8 Diagram Vektor Lagging



Gambar 2.9 Diagram Vektor Tanpa Beban

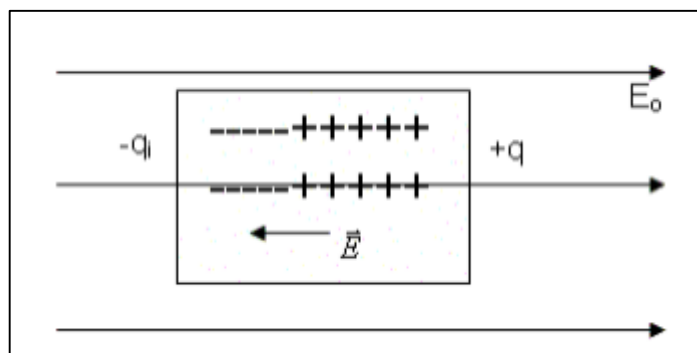


Gambar 2.10 Diagram Vektor Leading

2.2.1 Fenomena Prinsip GGL Induksi

Bila sebatang logam panjang berada di dalam medan listrik, (E_0), maka akan menyebabkan elektron bebas akan bergerak ke kiri yang akhirnya akan

menimbulkan medan listrik induksi yang sama kuat dengan medan listrik (Gambar 2.11) sehingga kuat medan total menjadi nol. Dalam hal ini potensial kedua ujung logam menjadi sama besar dan aliran elektron akan berhenti, maka kedua ujung logam terdapat muatan induksi. Agar aliran elektron bebas berjalan terus maka harus muatan induksi ini terus diambil, sehingga pada logam tidak timbul medan listrik induksi. Dan sumber ggl (misal baterai) yang dapat membuat beda potensial kedua ujung logam harganya tetap, sehingga aliran electron tetap berjalan.



Gambar 2.11 Aliran Elektron

Selanjutnya sumber ggl atau sering disebut sumber tegangan), bila dihubungkan dengan perumusan medan listrik, dapat dilakukan melalui hubungan kerja. Bila dalam rangkain tertutup ada sumber tegangan dengan ggl sebesar $\mathcal{E}$, muatan q mendapat tambahan energi $q\mathcal{E}$, sehingga kerja yang dilakukan oleh medan listrik untuk menggerakkan muatan q dalam lintasan tertutup haruslah:

$$W = q.e \quad (2.4)$$

Dimana :

W = energi (Joule)

q = muatan (Coloumb)

e = elektron

Sesuai hukum Faraday bahwa apabila suatu penghantar digerak-gerakkan dalam medan magnet maka penghantar tersebut timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi atau dapat menghasilkan listrik, yang besarnya GGL induksi tersebut adalah :

$$e = - N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.5)$$

dimana :

e = besarnya GGL induksi (volt)

$\frac{d\phi}{dt}$ = laju perubahan fluks magnet

$$e = - N \frac{d\phi}{dt}$$

$$e = - N \frac{d(\phi \max \cos \omega t)}{dt}$$

$$e = N \phi \max \sin \omega t \frac{d\omega t}{dt}$$

$$e = 2 \pi f N \phi \sin \omega t$$

(E maksimum dicapai saat jika $\sin \omega = \sin 90^\circ$, $\sin 90^\circ = 1$)

Harga maksimum :

$$E \max = 2 \pi f N \phi$$

Harga efektif :

$$E \text{ eff} = \frac{E \max}{\sqrt{2}}$$

$$E \text{ eff} = \frac{2 \pi f N \phi}{\sqrt{2}}$$

$$E \text{ eff} = \sqrt{2} \pi f N \phi$$

$$E_{eff} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi \quad (2.6)$$

Dimana :

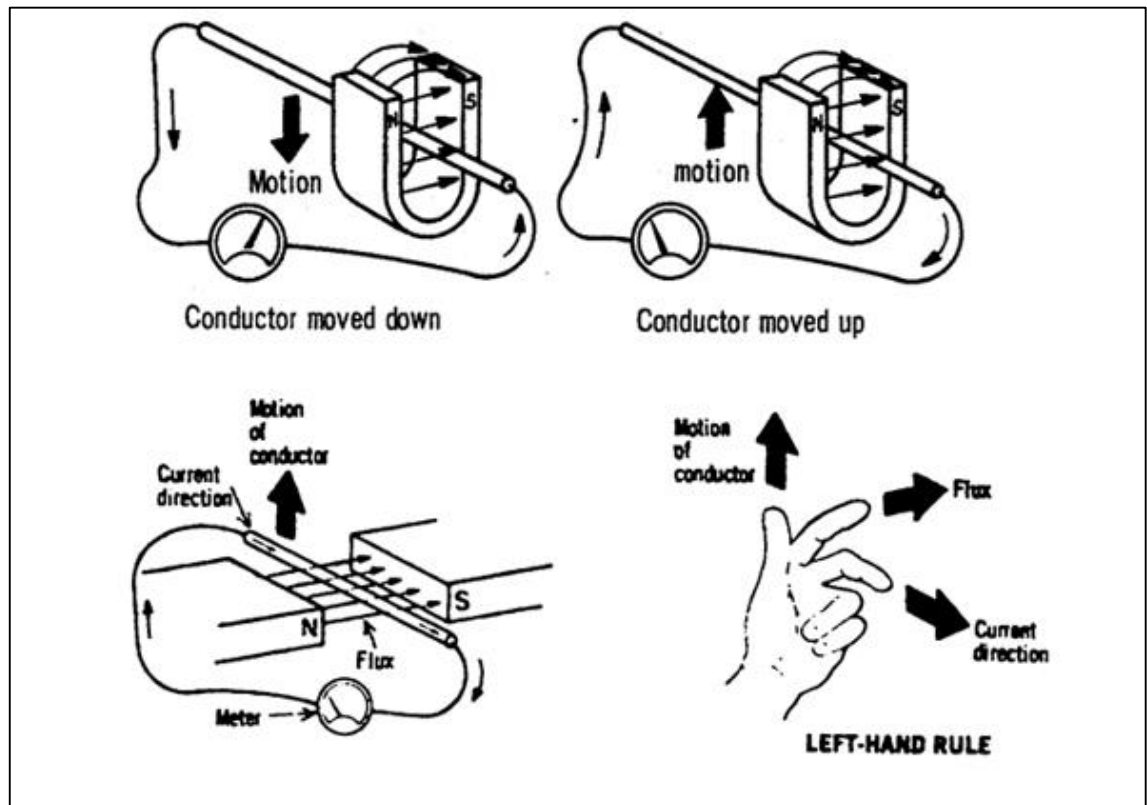
e = tegangan sesaat (volt)

E_{max} = tegangan maksimum (volt)

E_{eff} = tegangan efektif (volt)

f = frekuensi (Hz)

N = banyaknya lilitan



Gambar 2.12 Perpindahan GGL Induksi

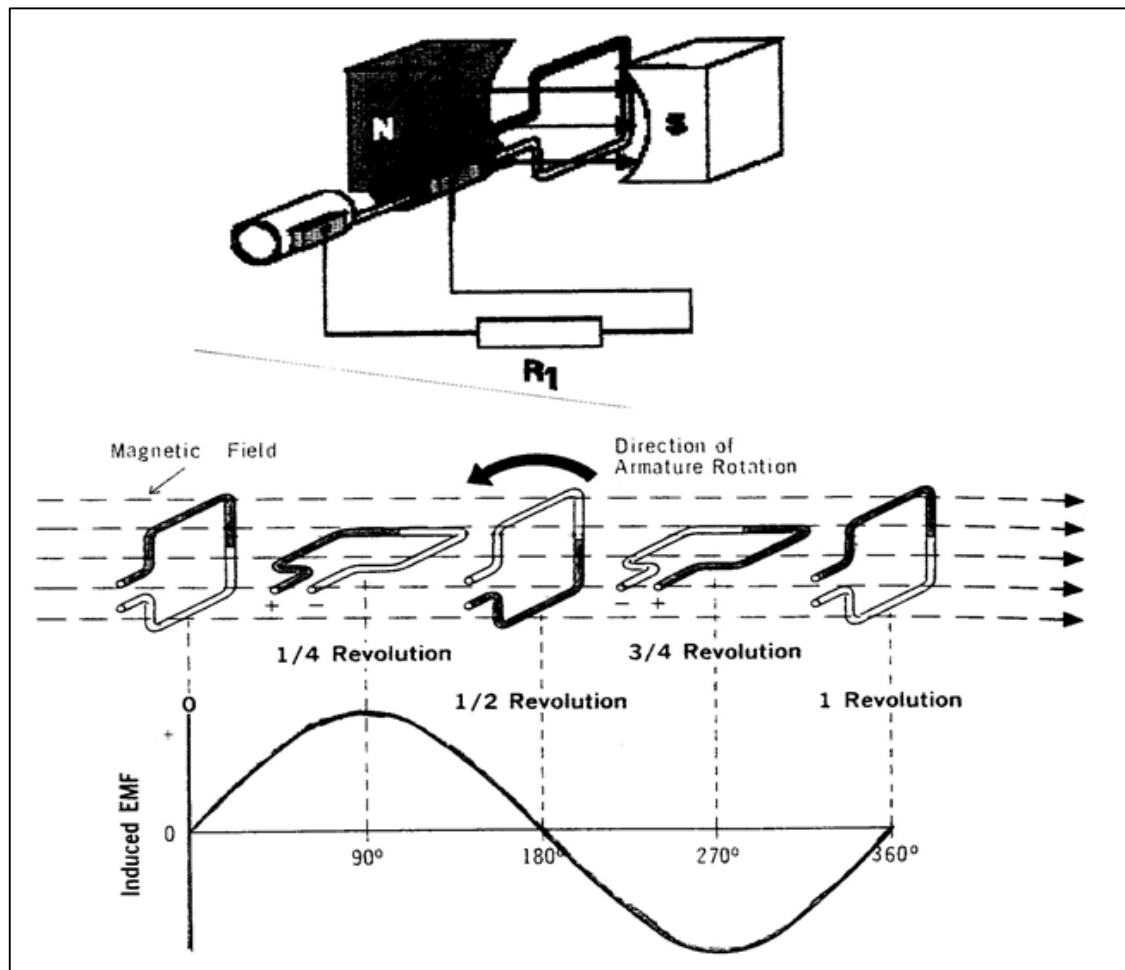
Dari prinsip tersebut pada gambar 2.12 digunakan sebagai dasar generator pembangkit listrik. Sehingga syarat terjadinya GGL induksi adalah harus adanya yaitu :

- Medan magnet

- Penghantar
- Gerakan Relatif

maka besar kecilnya GGL tergantung ketiga unsur diatas.

Adapun prinsip pada mesin listrik/ generator yang dapat membangkitkan listrik, seperti gambar berikut :



Gambar 2.13 Prinsip Arus Bolak-balik yang dibangkitkan

Pada Gambar 2.13 menunjukkan sebuah gulungan penghantar diputar di dalam media medan magnet pada satu putaran (360°), menghasilkan GGL induksi arus bolak-balik satu periode. Gelombang arus bolak-balik tersebut biasa disebut gelombang Sinusoida.

Sehingga apabila penghantar tersebut diputar oleh turbin dengan putaran 3000 rpm atau sama dengan putaran tiap detik 50 putaran, maka gelombang

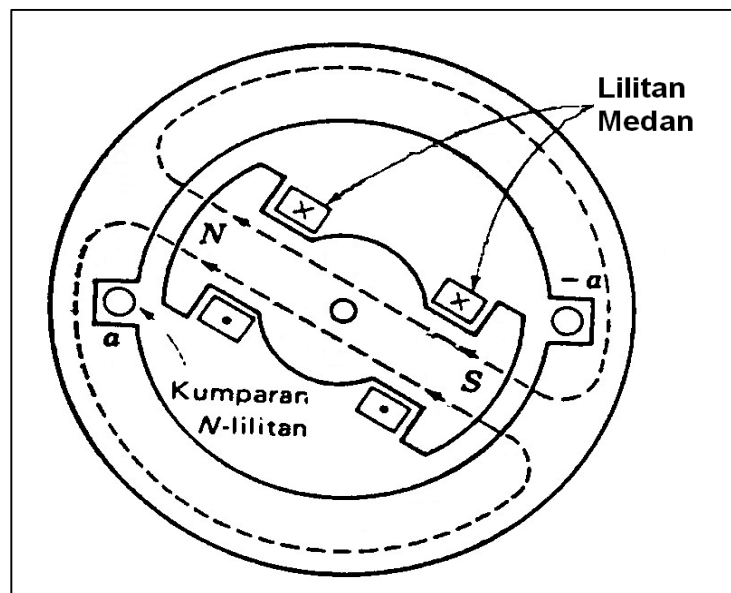
arus bolak-balik yang dihasilkan adalah juga sebanyak 50 periode atau dikatakan dengan frekwensi 50 Hz.

2.2.2 Komponen Generator Sinkron

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator.

Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dimana diletakkan kumparan medan yang disuplai oleh arus searah dari Eksiter. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor.

Pada umumnya mesin pembangkit listrik diputar adalah kemagnitan atau rotor sebagai magnet dan kumparan penghantar ditempatkan di bagian stator. Adapun konstruksi secara prinsip sebagai berikut :



Gambar 2.14 Kontruksi Prinsip Generator (Altenator)

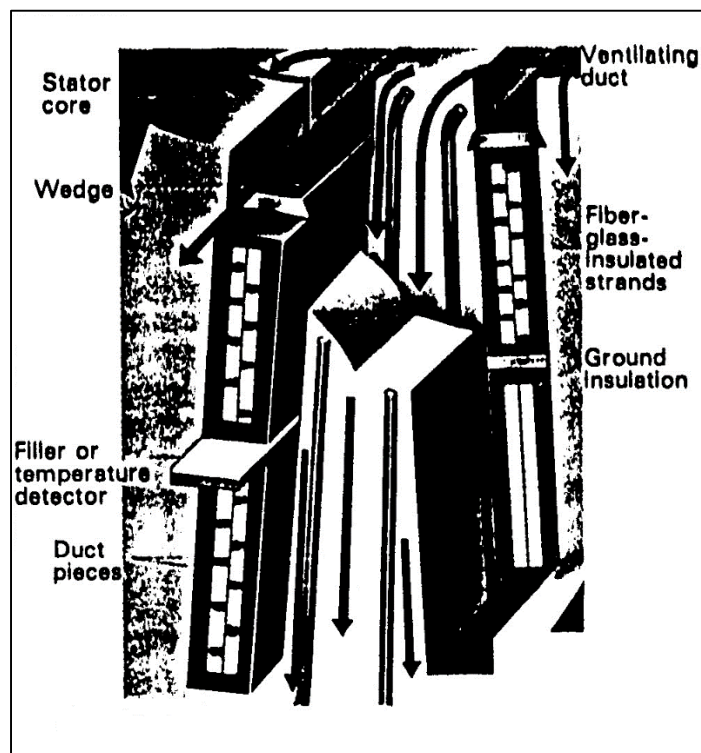
1) Stator

Stator pada alternator merupakan gulungan kawat penghantar yang disusun sedemikian rupa dan ditempatkan pada alur-alur inti besi. Pada

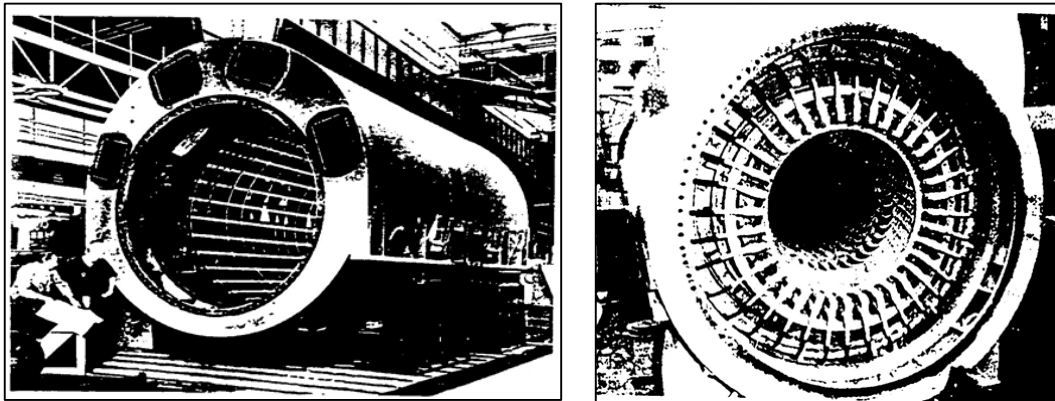
penghantar tersebut adalah tempat terbentuknya GGL induksi yang diakibatkan dari medan magnet putar dari rotor yang memotong kumparan penghantar stator.

Kumparan yang ditempatkan pada alur-alur tersebut dibagi menjadi 3 (tiga) grup, sehingga menjadi keluaran 3 fasa, dan biasanya disambung sistem bintang (Y). Inti besi stator terdiri dari laminasi-laminasi plat besi yang satu dan lainnya terisolasi dengan vernis atau kertas isolasi (impregnated paper). Tujuan dari laminasi-laminasi tersebut adalah untuk mengurangi besarnya arus pusar (Eddy Current), karena arus pusar ini dapat menimbulkan panas pada inti stator dan akhirnya dapat merusak isolasi kumparan penghantar. Kumparan penghantar yang bertegangan tersebut harus terisolasi dengan baik. Bahan isolasi tersebut biasanya dari fibreglass atau pita mica.

Disela-sela penghantar dan pada inti stator terdapat lubang-lubang (rongga) untuk sirkulasi bahan pendingin, atau seperti pada gambar potongan berikut :



Gambar 2.15 Konstruksi Potongan Stator Dengan Sistem Sirkulasi Pendingin



Gambar 2.16 Stator

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :

a. Rangka Stator

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator.

b. Inti Stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang ke rangka stator.

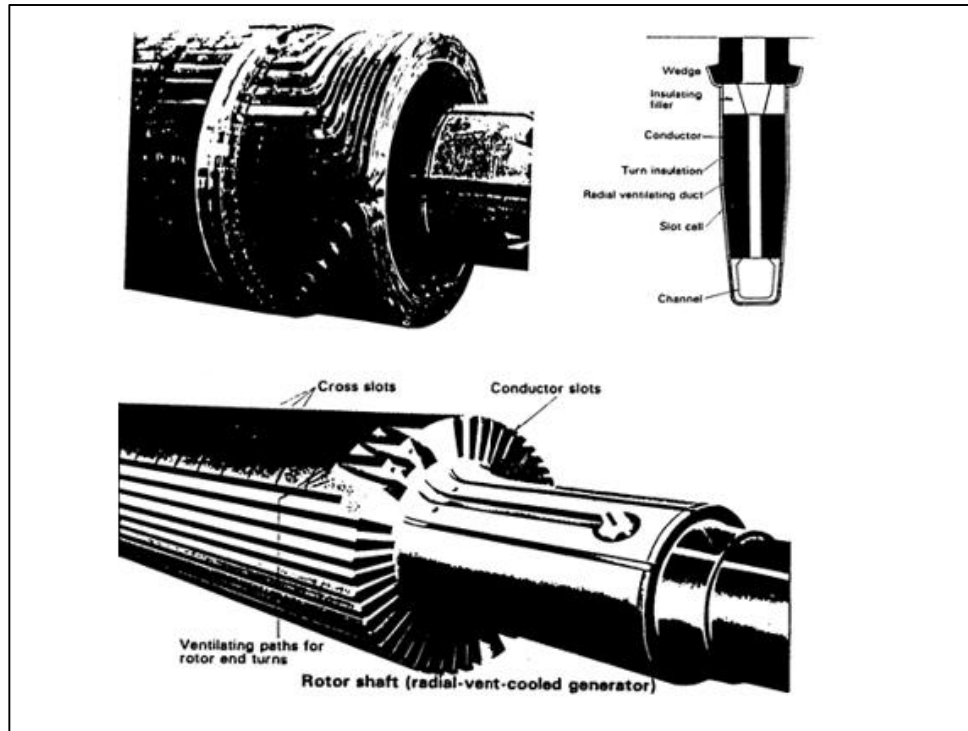
c. Alur (slot) dan Gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator.

d. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

2) Rotor

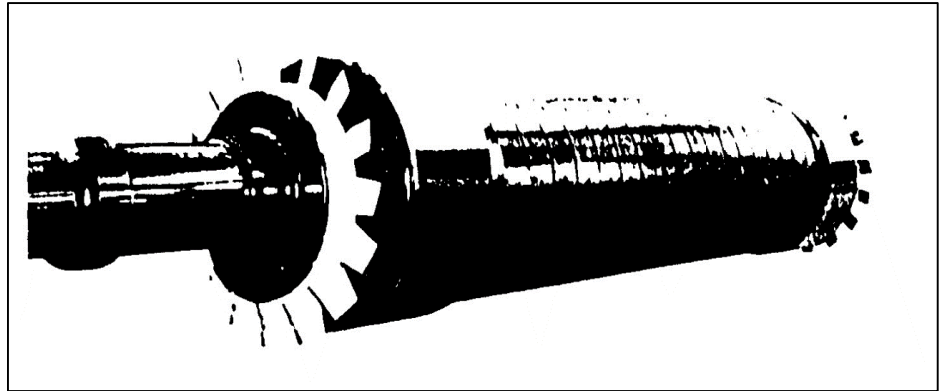


Gambar 2.17 Rotor

Rotor pada generator merupakan bagian untuk menempatkan kumparan medan magnet eksitasi. Kumparan medan magnet disusun pada alur-alur inti besi rotor, sehingga apabila pada kumparan tersebut dialirkan arus searah (DC) maka akan membentuk kutub-kutub magnet Utara dan Selatan.

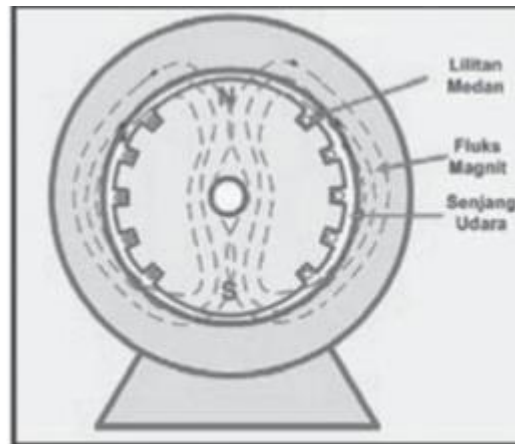
Seperti kita ketahui bahwa untuk membuat kutub magnet pada rotor tersebut adalah dengan sistem elektromagnet, yaitu dengan mengalirkan arus searah pada kumparan. Untuk memberikan arus listrik tersebut atau dengan istilah eksitasi ke rotor dapat melalui media "Slip Ring" atau langsung lewat poros dari mesin eksitasi dengan sistem penyearah. Akibat dari arus eksitasi atau penguatan medan magnet tersebut pada rotor dapat menimbulkan adanya arus pusar (eddy current), maka rotor tersebut perlu didinginkan. Untuk mendinginkan rotor generator cukup dengan mengalirkan udara dingin atau media hidrogen melewati saluran atau rongga-rongga pada sisi kumparan dan intinya secara bersama-sama dengan pendinginan pada bagian stator. Agar sirkulasi media pendingin ke rongga-rongga rotor dan stator dapat bersikulasi, maka pada rotor

generator dipasang baling-baling sebagai blower, atau seperti pada gambar berikut :



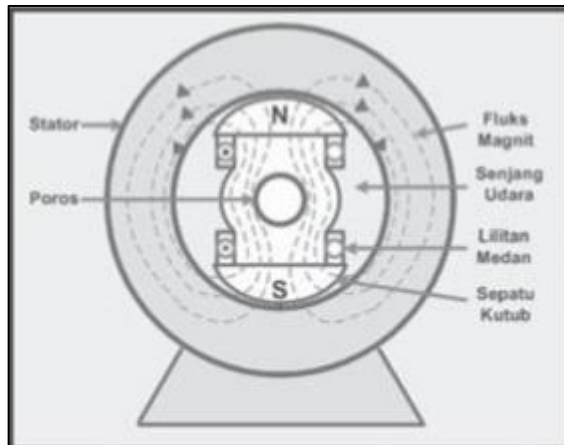
Gambar 2.18 Kontruksi Rotor Komplet Dengan *Blower*

Untuk medan rotor yang digunakan tergantung pada kecepatan mesin, mesin dengan kecepatan tinggi seperti turbo generator mempunyai bentuk silinder.



Gambar 2.19 Rotor Bentuk Silinder

Sedangkan mesin dengan kecepatan rendah seperti hydroelectric atau generator listrik diesel mempunyai rotor kutub menonjol.



Gambar 2.20 Rotor Bentuk Menonjol

Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu :

a. Slip Ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasangkan ke slipring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.

b. Kumparan Rotor (kumparan medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

c. Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor. Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient pole (kutub menonjol) dan non salient pole (kutub silinder).

2.2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja dari generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan

medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.

2. Penggerak mula (prime mover) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120 satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

2.3 Eksitasi Generator

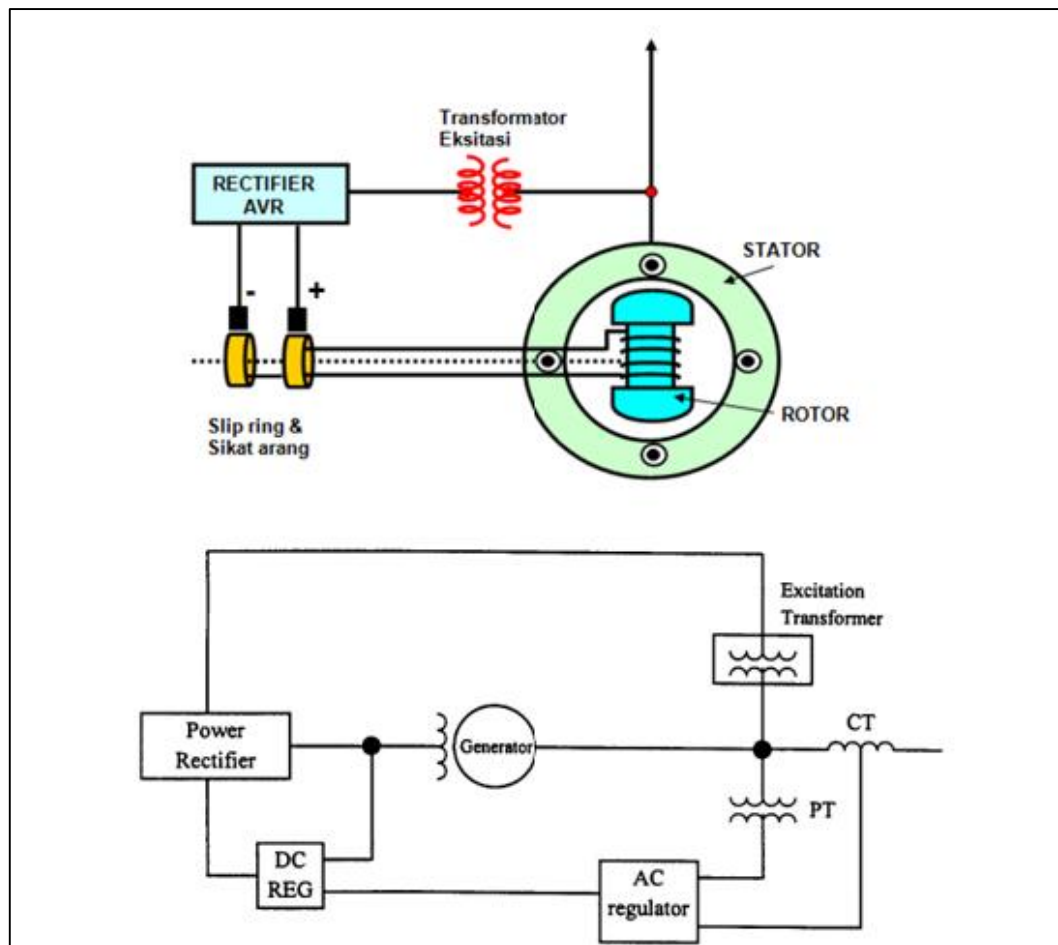
Untuk membangkitkan medan magnet pada rotor, maka diperlukan arus searah (DC) yang dialirkan ke kumparan rotor generator yang umumnya disebut penguat. Dalam keadaan start atau beroperasi sendiri tegangan generator tergantung pada besarnya arus eksitasi. Apabila arus eksitasi berubah tegangan generator juga berubah. Perubahan arus eksitasi merubah tegangan, faktor kerja ($\cos \phi$) dan daya reaktif (Var).

Perangkat yang berfungsi untuk memasok arus penguat ini dinamakan eksiter (exciter). Pada prinsipnya terdapat 2 macam sistem eksitasi yaitu eksitasi statik dan sistem eksitasi dinamik.

1. Sistem Eksitasi Statik

Sistem Eksitasi Statis adalah sistem eksitasi generator tersebut disuplai dari eksiter yang bukan mesin bergerak, yaitu dari sistem penyearah yang sumbernya

disuplai dari output generator itu sendiri atau sumber lain dengan melalui transformator. Secara prinsip dapat digambarkan sebagai berikut :



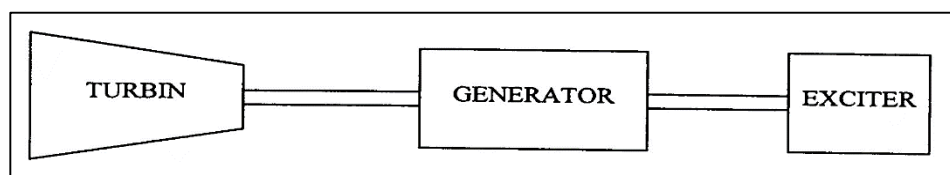
Gambar 2.21 Diagram Prinsip Sistem Eksitasi Statis

Seperti pada gambar 2.21 dapat kita lihat bahwa suplai daya listrik untuk eksitasi mengambil dari output generator melalui excitation transformer, kemudian disearahkan melalui power rectifier dan disalurkan ke rotor generator untuk eksitasi atau penguat medan dengan melalui sikat arang.

Untuk pengaturan besaran tegangan output generator diatur melalui DC regulator dan AC regulator, sehingga besarnya arus eksitasi dapat diatur sesuai kebutuhan. Kemudian apabila generator tersebut pada waktu start awal belum mengeluarkan tegangan, maka untuk suplai arus eksitasi biasanya diambil dari baterai.

2. Sistem Eksitasi Dinamik

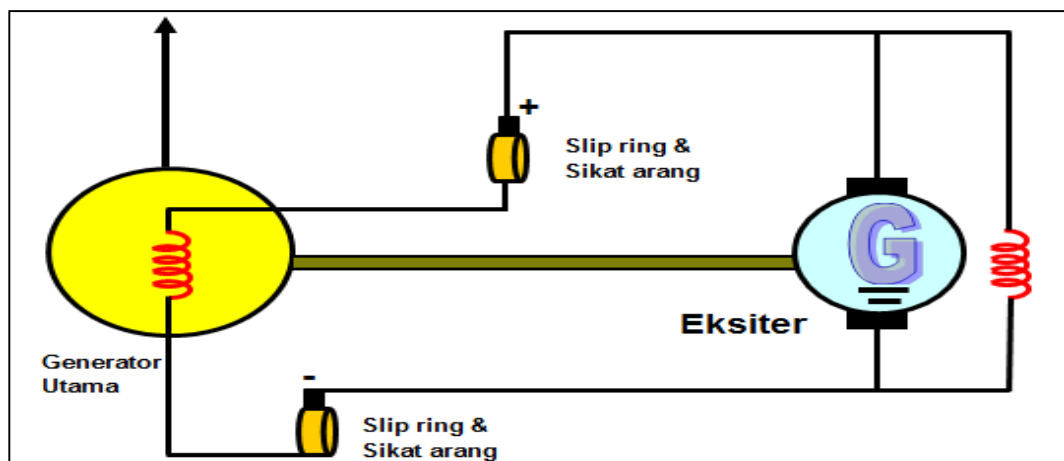
Sistem Eksitasi Dinamik adalah sistem eksitasi yang sumber suplai arus eksitasi diambil dari mesin yang bergerak, dan mesin yang bergerak tersebut disebut Eksiter. Arus eksitasi adalah arus searah, maka sebagai eksiternya adalah mesin arus searah (generator DC) atau dapat juga dengan mesin arus bolak-balik (generator AC) kemudian disearahkan dengan rectifier. Biasanya eksiter tersebut sebagai tenaga penggerakanya dipasang satu poros dengan generator.



Gambar 2.22 Turbin Seporos Dengan Generator Dan Exciter

Sistem Eksitasi Dinamik terdiri dari 2 macam, yaitu :

1) Eksitasi Dengan Sikat Arang



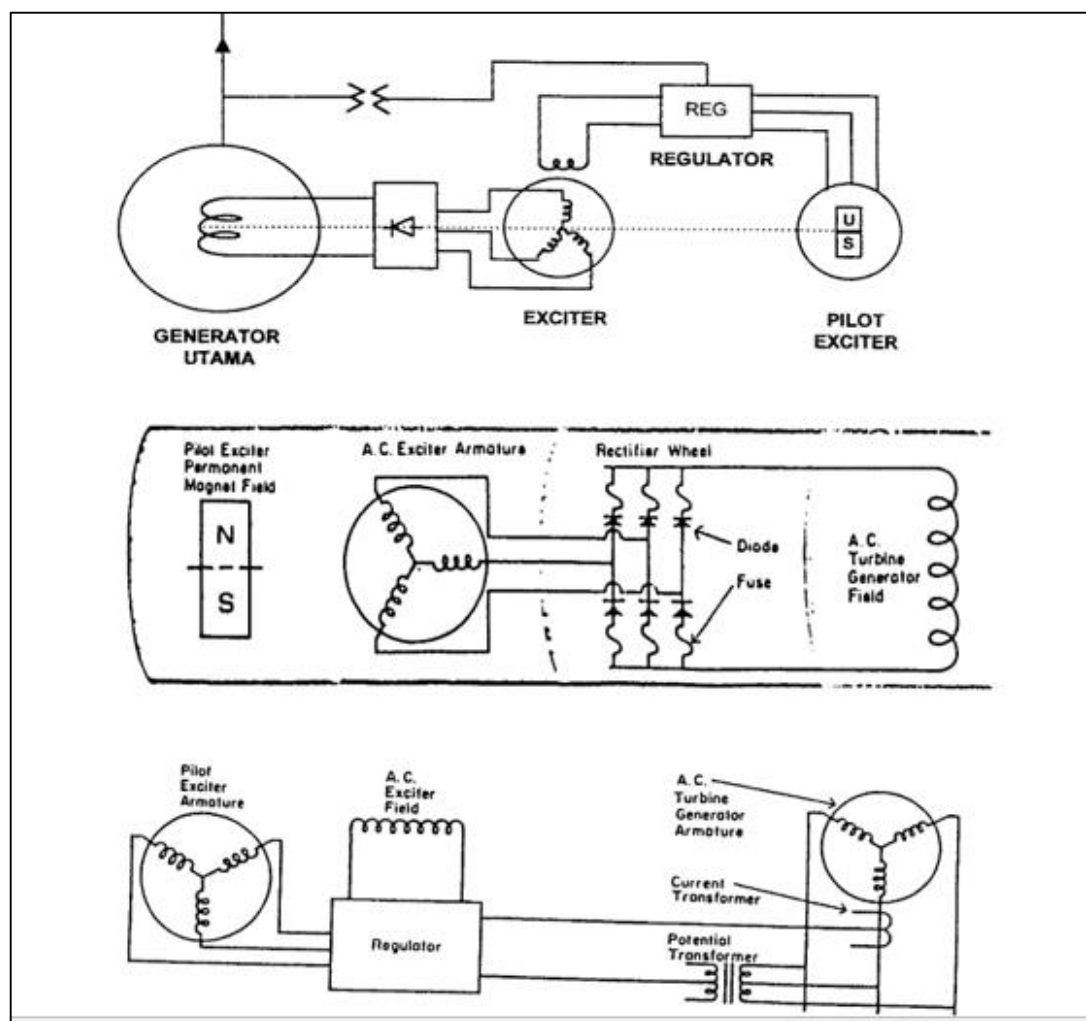
Gambar 2.23 Sistem Eksitasi Dinamik Pakai Sikat

Seperti pada gambar diatas, bahwa sistem eksitasi dengan menggunakan eksiter generator DC untuk menyalurkan arus eksitasi generator utama dengan media sikat arang dan slip ring. serta output arus searah dari generator eksiter melalui sikat arang

2) Eksitasi Tanpa Sikat Arang (Brushless Excitation)

Ditinjau dari segi pemeliharaan sistem Eksitasi dengan sikat arang tersebut diatas kurang efektif, sehingga mulai dikembangkan dengan sistem eksitasi tanpa sikat atau disebut “ Brushless Excitation” .

Brushless Excitation adalah sistem eksitasi tanpa sikat, yang maksudnya adalah pada sistem tersebut untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator utama, maupun untuk eksitasi eksiter tanpa melalui media sikat arang. Adapun diagram prinsip kerjanya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.24 Sistem Eksitasi Dinamik Tanpa Sikat

Pada gambar 2.24 dapat kita lihat bahwa untuk eksitasi generator disuplai dari generator AC eksiter dengan melalui penyearah (rectifier wheel) yang terpasang pada poros, sehingga arus eksitasi langsung terhubung dengan rotor generator. Kemudian untuk eksitasi eksiter disuplai dari Pilot Exciter dengan

kemagnitan tetap atau biasa disebut PMG (*Permanent Magnet Generator*). Output dari pilot eksiter tersebut adalah arus bolak balik 3 fasa, kemudian dengan melalui penyearah pada regulator arus eksitasi eksiter diatur besar kecilnya, sehingga dengan mengatur eksitasi eksiter, maka tegangan output generator utama akan mengalami perubahan secara langsung.

2.4 AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

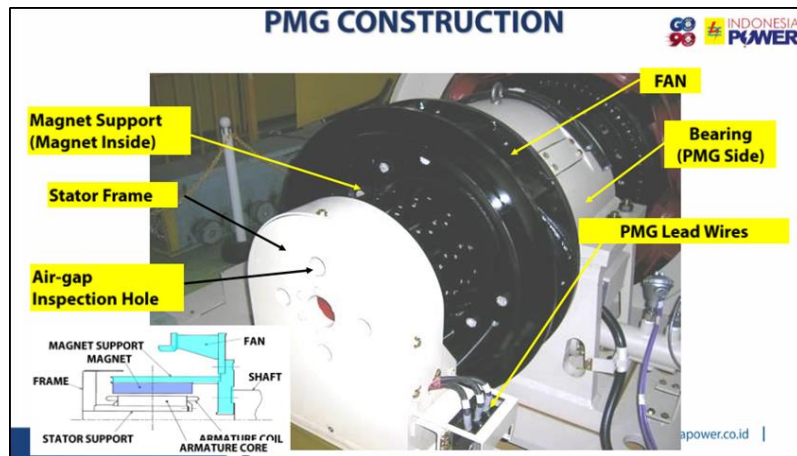
AVR adalah perangkat modul elektronik yang berfungsi untuk menjaga keluaran tegangan disisi generator tetap konstan , dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator.

Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada exciter. Apabila tegangan output generator di bawah tegangan nominal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*excitacy*) pada exciter. Dan juga sebaliknya apabila tegangan output Generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (*excitacy*) pada exciter. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output Generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maximum yang bekerja secara otomatis.

2.5 Fungsi Bagian – Bagian Sistem Eksitasi

- PMG (*Permanent Magnet Generator*)

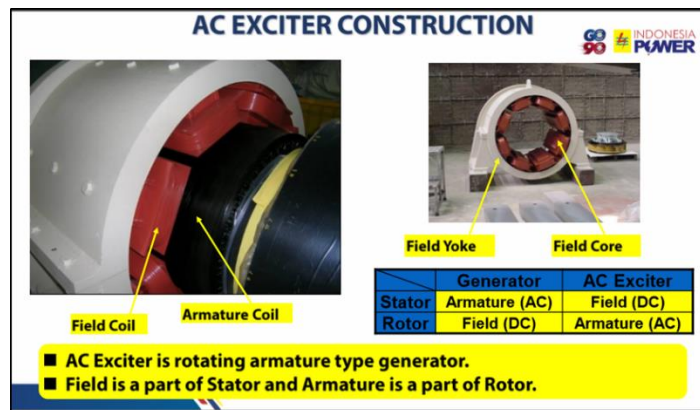
Pada sistem eksitasi *brushless* pada *pilot Exciter* menggunakan PMG (*Permanent Magnet Generator*). PMG merupakan sejenis generator pada sistem eksitasi dimana pada bagian rotornya merupakan magnet permanen, rotor PMG dipasang seporos dengan rotor generator jadi saat generator berputar maka PMG menghasilkan tegangan / arus AC yang diteruskan sebagai pemasok arus eksitasi. Dengan menggunakan PMG pembangkit menjadi efisien dan handal karena bisa menghasilkan arus eksitasi sendiri dan tidak perlu pemeliharaan jika menggunakan sikat arang.



Gambar 2.25 PMG

- *AC Exciter*

AC Exciter berfungsi untuk menguatkan tegangan/ arus AC dari PMG (*Permanent Magnet Generator*) agar didapat tegangan / arus AC yang lebih besar karena tegangan / arus AC pada PMG sangat kecil sehingga perlu dikuatkan. Pada *AC Exciter* ini didapat arus eksitasi dari PMG yang sudah diatur oleh AVR (*Automatic Voltage Regulator*) untuk mengatur tegangan keluaran generator agar tetap stabil sesuai tegangan referensinya.



Gambar 2.26 AC Exciter

- *Rotating Dioda*

Rotating Dioda merupakan dioda penyearah yang ikut berputar pada rotor generator berfungsi untuk menyearahkan tegangan / arus AC yang sudah dikuatkan pada *AC Exciter*, tujuan dirubah menjadi tegangan atau arus DC agar pada bagian rotor menjadi magnet dan menghasilkan fluks yang tetap (seperti

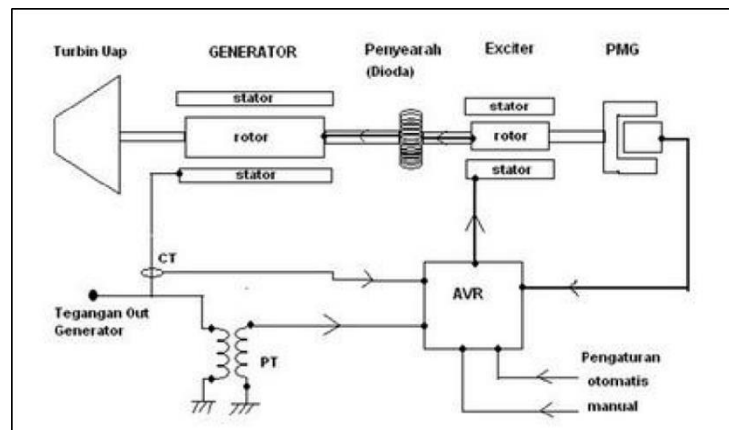
gelombang DC) sehingga saat berputar pada kecepatan tertentu pada kumparan jangkar dapat terinduksi fluks dan menghasilkan tegangan AC.

- AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

AVR berfungsi mengatur tegangan keluaran generator secara otomatis agar sesuai dengan tegangan referensinya dengan mengatur besarnya penguatan tegangan / arus pada AC *Exciter*. Prinsip kerjanya yaitu membandingkan tegangan terminal alternator dengan tegangan referensi, pada PLTU Suralaya tegangan referensi 23 kV. Bila tegangan keluaran generator melebihi tegangan nominal maka AVR (*Automatic Voltage Regulator*) akan secara otomatis menurunkan penguatan tegangan / arus pada AC *Exciter*, begitu juga jika tegangan keluaran generator dibawah tegangan nominal maka AVR akan menaikkan tegangan / arus pada AC *Exciter*.

2.6 Prinsip Kerja Pengaturan Eksitasi pada unit 1-4 PLTU Suralaya

Blok diagram excitation system tersebut bila digambar secara sederhana adalah sebagai berikut :



Gambar 2.27 Diagram Blok Sistem Eksitasi PLTU Suralaya unit 1-4

Berdasarkan Blok diagram tersebut maka dapat diuraikan sbb :

- Turbin uap sebagai penghasil putaran mekanis, dikopel dengan Generator, Penyearah (Dioda), *Exciter*, dan PMG (*Permanent Magnet Generator*) .
- Setelah Turbin uap berputar pada putaran nominal (3000 Rpm) , maka didalam proses pembangkitannya, sebuah generator membutuhkan adanya sumber medan magnet. Medan magnet ini diperoleh dari PMG (Permanen

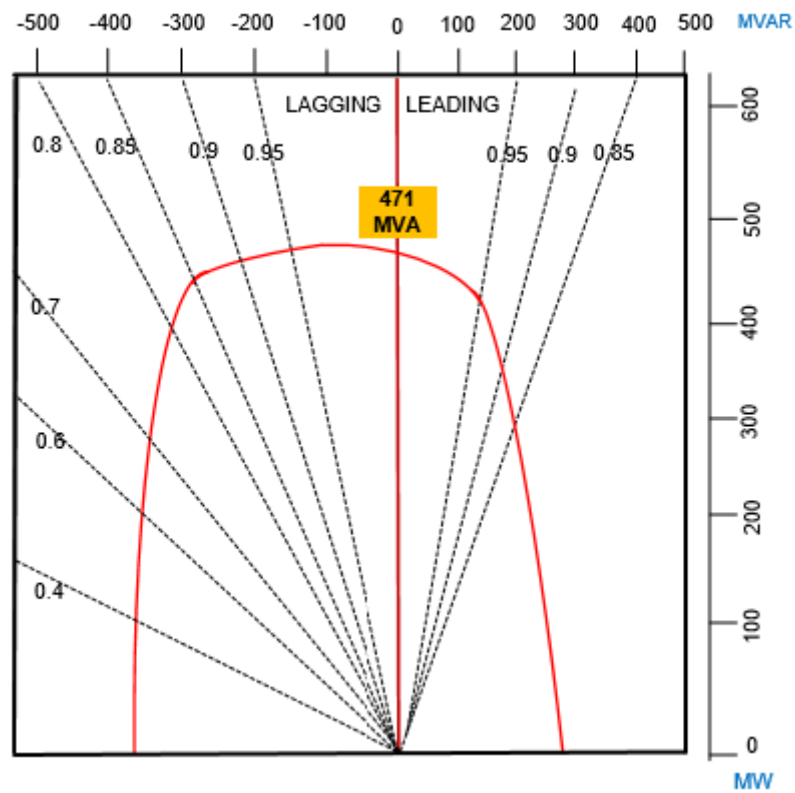
magnet generator) .PMG (*Permanent Magnet Generator*) berputar seiring dengan berputarnya rotor. PMG menghasilkan tegangan AC dari lilitan statornya , Keluaran tegangan dari PMG selanjutnya disalurkan ke AVR untuk disearahkan dan diatur besarnya . PMG sebagai pembangkit tegangan/arus AC yang disearahkan kemudian dimasukkan pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*) untuk dikontrol. Karena tegangan/arus AC pada PMG kecil , arus AC yang sudah disearahkan tersebut dimasukkan pada eksiter untuk membangkitkan tegangan AC yang lebih besar. Arus AC keluaran eksiter disearahkan oleh rotating diode untuk memberikan arus eksitasi pada rotor, sehingga pada rotor terdapat medan magnet.

- AVR menghasilkan tegangan DC yang besarnya dapat diatur besarnya (secara manual atau otomatis) dan keluaran tegangan dari AVR tersebut disalurkan ke lilitan stator generator *Exciter* . *Exciter* menghasilkan tegangan AC pada bagian rotornya yang besarnya dipengaruhi oleh besarnya tegangan/arus yang dihasilkan AVR . Keluaran tegangan *Exciter* dikirim ke rotor generator utama, dimana tegangan ini sebelumnya disearahkan dulu oleh Penyearah Dioda yang dikopel pada poros (penyearah dioda ikut berputar bersama turbin dan generator) . Keluaran tegangan dari generator akan menghasilkan 23 KV dan tegangan ini dideteksi oleh PT (*potensial transformer*) dan CT (*current transformer*) , selanjutnya disalurkan ke AVR sebagai parameter untuk menentukan besarnya tegangan atau arus output AVR . Operator dapat mengendalikan besarnya arus penguatan (field) melalui control secara manual maupun otomatis .
- Rangkaian sensor di AVR akan mendeteksi keluaran tegangan tiga fasa generator 23 KV tersebut melalui tegangan PT dan arus CT yang akan digunakan sebagai umpan balik (*feedback*) untuk AVR guna mengatur arus eksitasi pada *Exciter*. Respon keluaran tegangan sensor berbanding lurus dengan keluaran tegangan Generator.
- Rangkaian *Comparative Amplifier* di AVR akan membandingkan antara *feedback* dari rangkaian sensor dengan *set voltage* (*set point*) . Selisih antara kedua nilai tersebut disebut error dan akan disalurkan ke rangkaian amplifier untuk dikonversi menjadi pulsa PWM (sudut penyulutan) untuk pengaturan

tegangan keluaran pada rangkaian thyristor. Rangkaian Thyristor berfungsi untuk mengatur arus eksitasi pada *Exciter* dan besar kecilnya arus eksitasi bergantung dari nilai pulsa PWM (sudut penyulutan) dari rangkaian amplifier (Kontroler) . Arus yang mengalir di eksitasi dilakukan pembatasan oleh limited current sebagai rangkaian pengaman agar tidak melebihi Batasan operasi .

- Setelah Generator sudah sinkron dengan sistem , maka bila beban berubah maka tegangan keluaran generator juga akan berubah . Sehingga apabila terjadi perubahan tegangan output generator akibat perubahan beban generator, maka AVR akan mendeteksi perubahan tersebut melalui sensor dari tegangan PT dan arus CT yang akan digunakan sebagai umpan balik (*feedback*) untuk AVR guna mengatur arus eksitasi pada *Exciter*. Sehingga tegangan keluar generator tetap stabil pada nilai set poinnya yaitu 23 KV . Bila Beban generator bertambah sehingga menimbulkan penurunan tegangan output generator dibawah tegangan nominal generator , maka AVR akan memperbesar arus penguatan (eksitasi) pada *Exciter* . Dan juga sebaliknya apabila beban generator berkurang sehingga menimbulkan kenaikan tegangan output generator diatas tegangan nominal , maka AVR akan mengurangi arus penguatan (eksitasi) pada *Exciter* .
- Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis dikarenakan dilengkapi dengan peralatan seperti alat yang digunakan untuk pembatasan penguat minimum ataupun maksimum yang bekerja secara otomatis . Eksitasi berfungsi sebagai penguat pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet sehingga suatu generator dapat menghasilkan energy listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung besarnya arus eksitasinya .

2.7 kurva kapability



Gambar 2.28 Kurva kapability

Batasan daerah operasi Generator :

- 1. A-B Pembatasan panas rotor (Rotor heating limited)
- 2. B-C Pembatasan panas stator (Stator heating limited)
- 2. B-C Pembatasan panas ujung inti (Core end heating limited)