

Peralatan di Pembangkitan Tenaga Listrik

Pertemuan 2 : Perlengkapan Sistem Tenaga

LITERATUR TAMBAHAN

L. Baptdanov, L and Tarasov, V “ Power station and substation”, Moscow, Peace Publisher, Moscow

Sunil S Rao, “Switchgear and Protections”, New Delhi, Khana Publisher

Arismunandar, A dan Kuwahara, S, “Teknik Tenaga Listrik I”, Jakarta, Pradnya Paramita

Materi:

1. Generator → sudah
2. Transformator : Trafo Daya (Sudah), Trafo Pemakaian Sendiri/Rangkain untuk Pemakain sendiri.
3. Sistem hubung rangkaian utama dan pemakaian sendiri,
4. Sistem kontrol,
5. Panel hubung, Lemari hubung,
6. Circuit Breaker,
7. Disconnecting Switch,
8. Earthing switch,
9. Load Break Switch ,
10. Lightning arrester dan
11. Koordinasi isolasi

Dibaca-baca saja (Bab 6 Buku Arismunandar Jilid 1 : Peralatan dan Fasilitas-Fasilitas Listrik :

1. Trafo Pemakaian Sendiri/Rangkain untuk Pemakain sendiri.
2. Sistem Kontrol
3. Panel Hubung
4. Alat Pelindung/Proteksi

**Pembangkit
Tenaga Listrik**

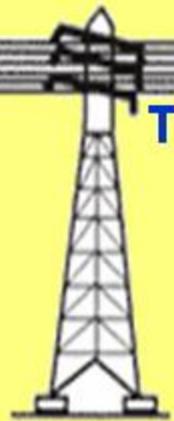


**Tegangan
Dinaikkan**



Transformator

Transmisi



**Tegangan
Diturunkan**



Transformator



**Konsumen
Perumahan**



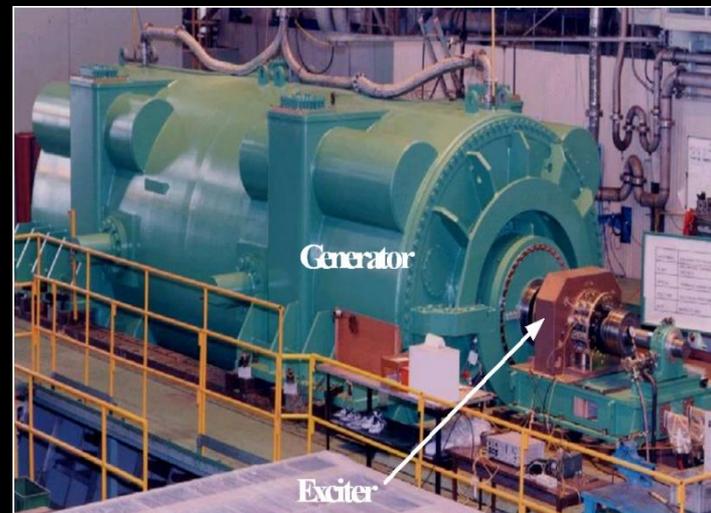
Transformator



**Konsumen
Komersial/Industri**



Generator Pembangkit



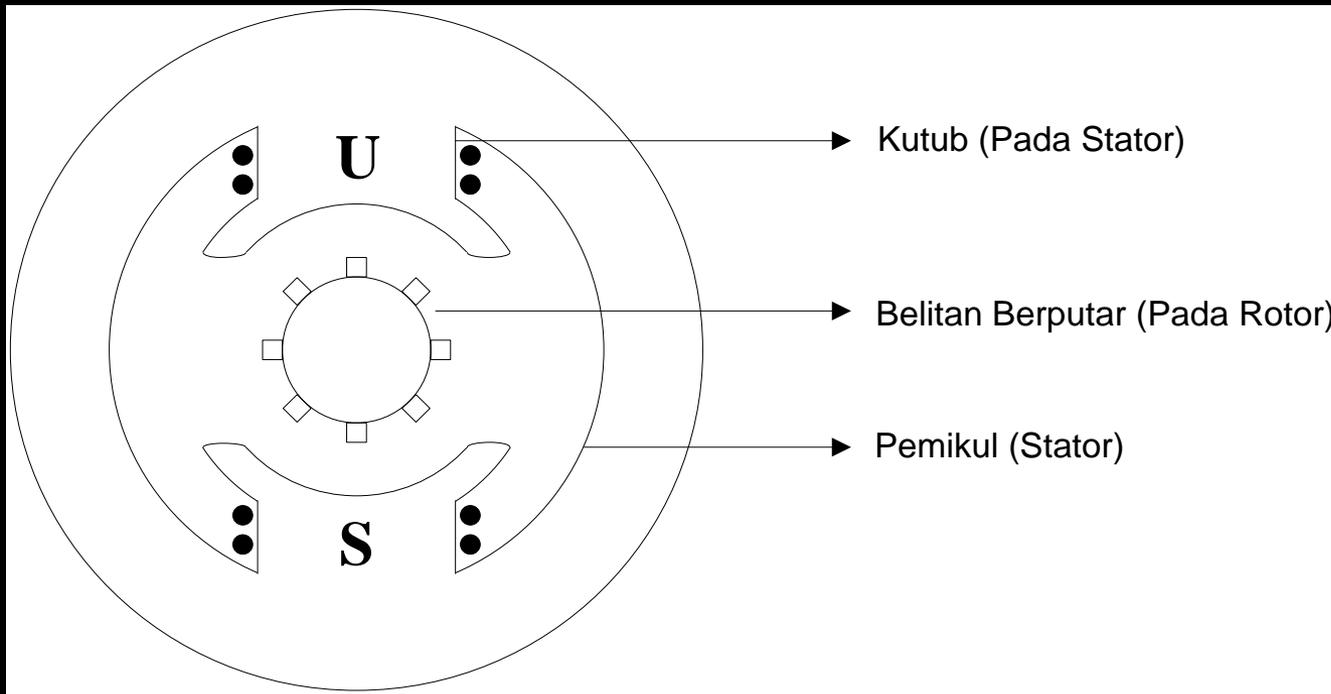
Macam-macam Generator Sinkron

I. Generator sinkron dapat diklasifikasikan dalam beberapa macam antara lain :

1. Menurut Letak Kutub.

A. Generator Sinkron Kutub Luar

Kutub-kutub (belitan medan) terletak pada stator , sedangkan belitan sebagai pembangkit tenaga listriknya terletak pada rotor , dimana tenaga listrik disalurkan keluar melalui cincin-cincin geser dan sikat. Sehingga pada generator jenis ini belitan yang berputar dan kutub magnet yang diam , seperti yang terlihat pada gambar 1.

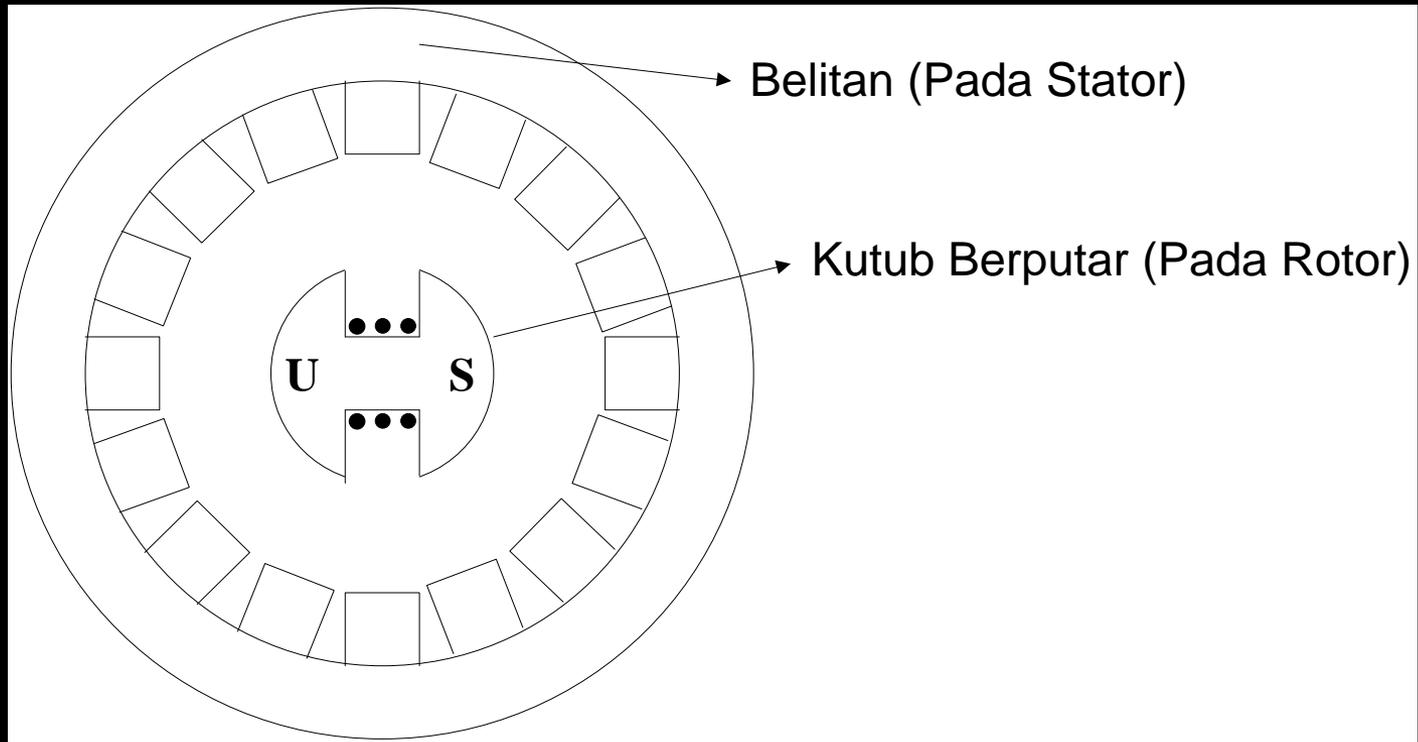


Gambar 1 : Konstruksi sederhana generator sinkron kutub luar

B. Generator Sinkron Kutub Dalam

Pada generator jenis ini kutub yang berputar, sedangkan belitan dimana tenaga listrik dibangkitkan tidak bergerak.

Kutub-kutub dipasang pada poros dan berputar dalam sebuah belitan. Kutub dipasang pada rotor sedangkan belitan pada stator. Perbedaan prinsip konstruksi ini dengan konstruksi mesin kutub diluar adalah bahwa pada mesin ini tegangan dan arus tidak diambil melalui cincin geser dan sikat, melainkan langsung dari belitan yang tidak berputar. Hal ini penting untuk rating daya yang besar dengan tegangan yang cukup tinggi dan arus yang besar. Sedangkan daya untuk kutub-kutub medan tetap disalurkan melalui cincin geser dan sikat, tetapi daya ini relatif kecil.



Gambar 2 : Konstruksi sederhana generator sinkron kutub dalam

Keuntungan generator sinkron kutub dalam dibandingkan dengan kutub luar adalah :

1. Karena kumparan jangkarnya (belitan tenaganya) terletak di stator maka arus beban dapat langsung dialirkan dari terminal stator langsung ke rangkaian beban tanpa harus melalui cincin-cincin geser.
2. Pengisolasian kumparan stator untuk tegangan tinggi dapat dengan mudah dilakukan.
3. Pemberian arus medan melalui cincin geser dan sikat kumparan medan di rotor mudah dilakukan. Karena arus medan tidak begitu besar dan tegangan rendah dibandingkan dengan arus dan tegangan yang dihasilkan oleh kumparan jangkar.

2. Menurut Cara Pemberian Arus Medan.

A. Tanpa sikat (Brushless Generator)

Pada generator ini tidak terdapat cincin geser dan sikat, arus medan diperoleh dari sebuah kumparan di rotor melalui penyearahan arus yang juga terletak di rotor, arus searah (DC) dialirkan ke kumparan medan.

B. Dengan melalui cincin geser dan sikat

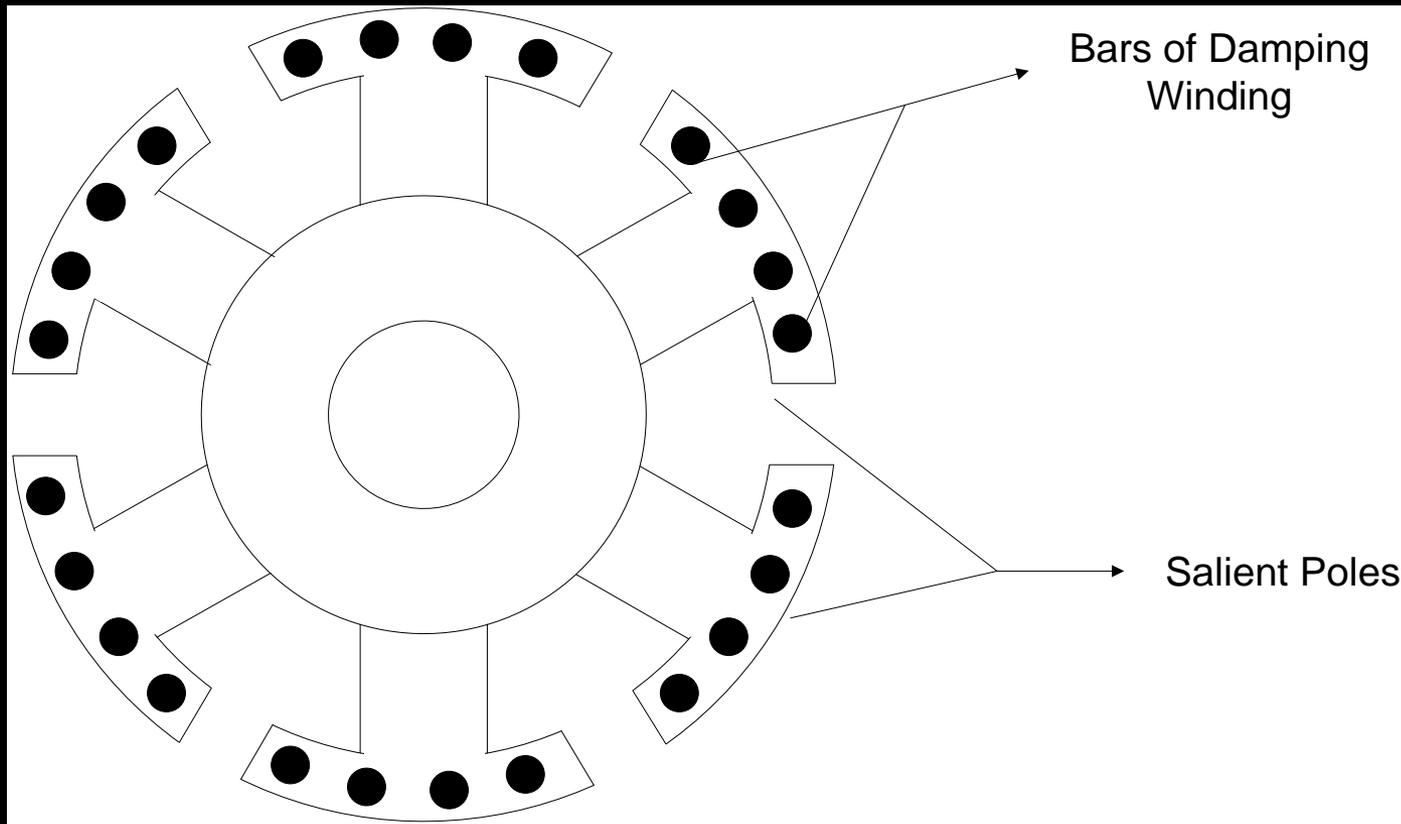
Arus medan diambilkan dari luar, melalui cincin geser dan sikat medan dialirkan ke kumparan medan yang terletak di rotor.

3. Menurut Bentuk Penampang Melintang Rotor

Menurut bentuk penampang melintang rotor (inti kutubnya), maka generator sinkron kutub dalam dibagi menjadi :

A. Generator sinkron kutub menonjol (salient Pole Generator)

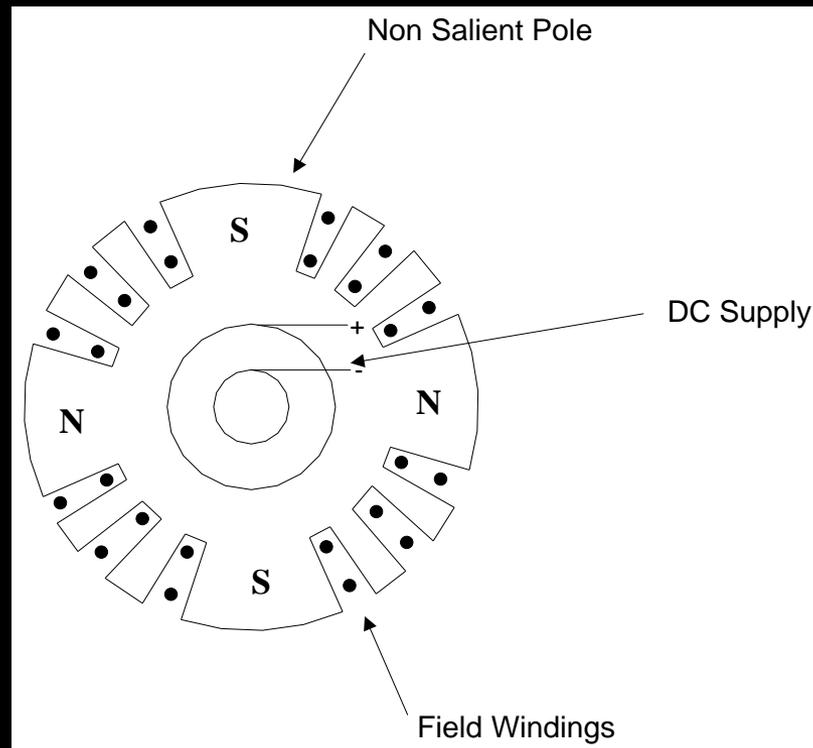
Generator ini digunakan pada putaran rendah, karena bentuk kutubnya dan penempatan kumparan medannya tidak memungkinkan mendapat gaya sentrifugal yang tinggi. Umumnya jumlah kutubnya banyak, dan ciri khusus generator ini adalah diameternya lebih lebar dibandingkan dengan panjang badannya yang relatif pendek.



Gambar 3 : Rotor Generator Singkron Kutub Menonjol

B. Generator sinkron kutub silindris (non Salient Pole Generator)

Bentuk rotornya silindris, jumlah kutubnya 2 atau 4 buah, dipakai pada putaran tinggi yaitu 1800 atau 3600 rpm untuk frekuensi generator 60 Hz, dan 1500 atau 3000 rpm untuk frekuensi generator 50 Hz. Pemakaian generator ini sebagai turbo generator, misalnya pada pusat listrik tenaga uap.



Gambar 4: Rotor Singkron Kutub Silindris

1.4. Menurut Jumlah Fasanya

1. Generator sinkron satu fasa.
2. Generator sinkron tiga fasa.

Penguatan Generator

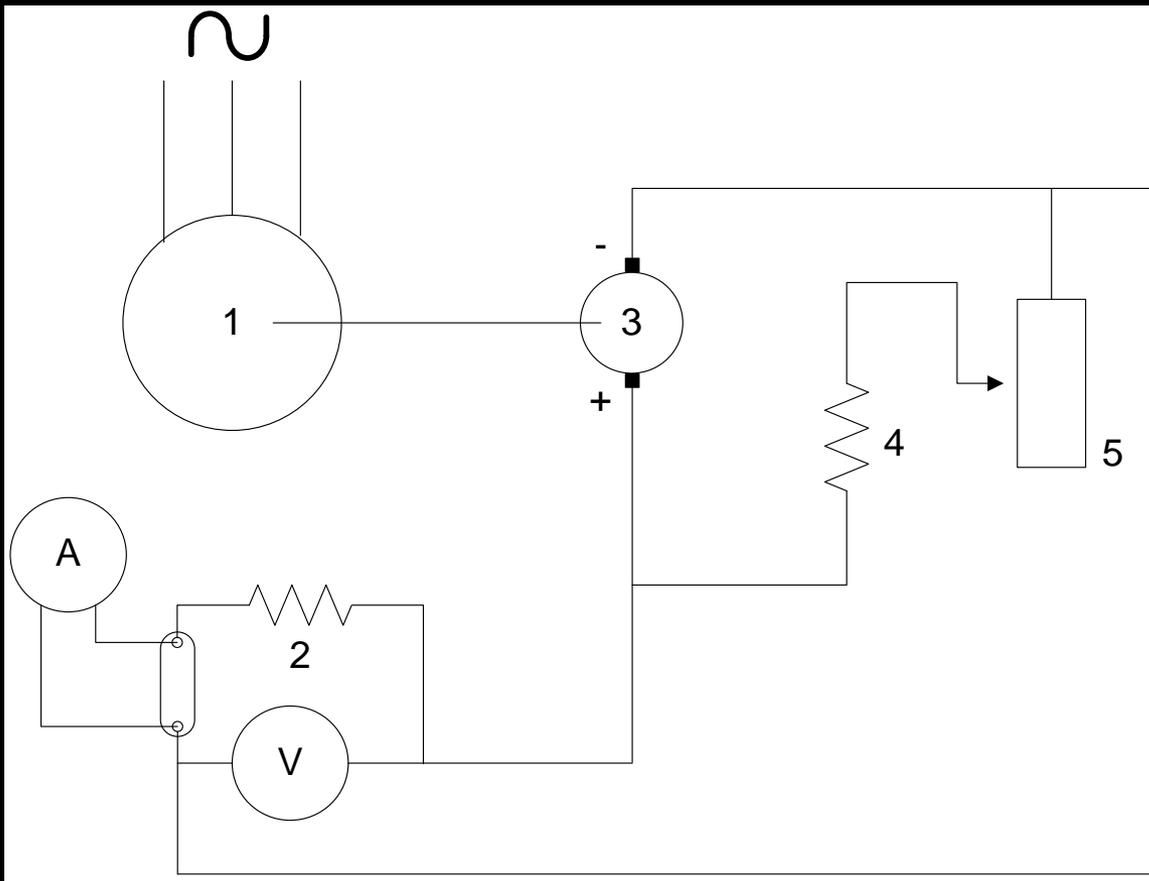
II. Penguatan Generator

Pada pusat-pusat pembangkit listrik yang modern, medan magnet (kumparan rotor) dari masing-masing generator sinkron disuplai oleh generator arus searah (Exciter).

Generator arus searah dapat dihubungkan langsung ada proses generator utama atau diputar oleh mesin lain yang terpisah tergantung pada:

- * Putaran generator utama
- * Kemampuan penguatan
- * Bekerjanya sistem kontrol

Exciter pada umumnya dari mesin arus searah dengan kumparan penguat shunt, dengan rating 0.3-1% atau lebih besar dari output generator utama.



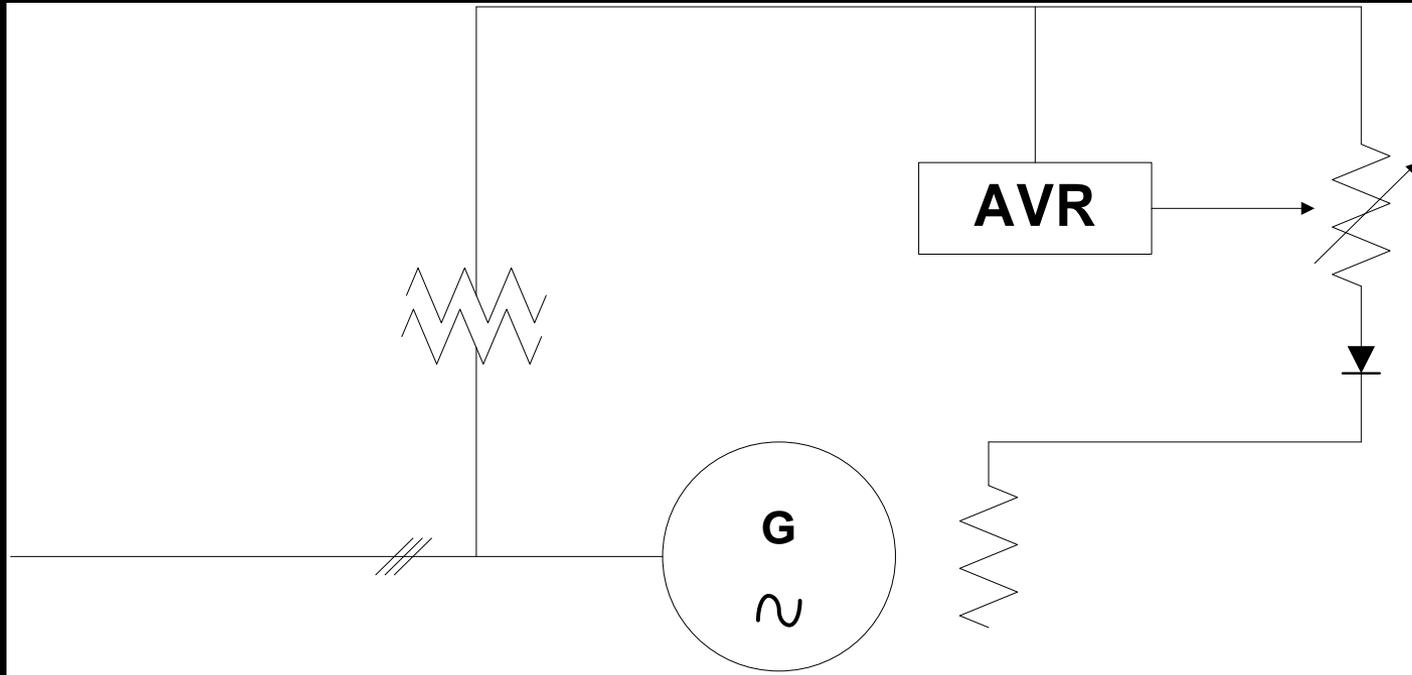
Keterangan gambar :

1. Kumbaran stator
2. Kumbaran rotor
3. Exciter
4. Kumbaran medan Exciter
5. Reostat

Gambar 5: Rangkaian dasar penguatan generator sinkron tiga phasa

Arus medan exciter diatur oleh reostat sehingga tegangan exciter berubah-ubah sesuai yang dikehendaki, dengan berubah-ubahnya tegangan exciter maka suplai DC ke kumparan rotor generator utama juga akan berubah.

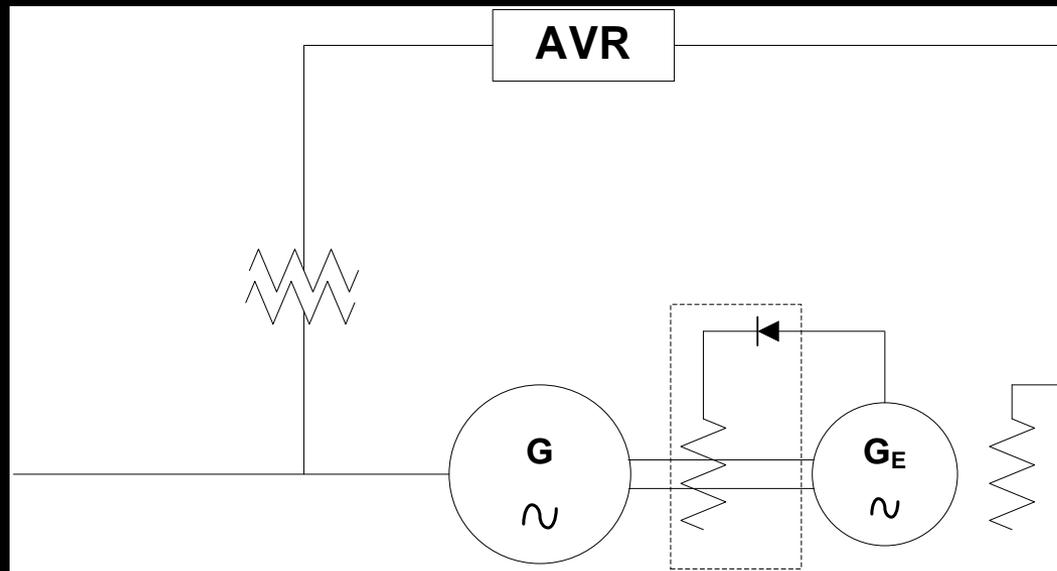
Generator arus bolak-balik dengan penguatan dimana sebagian daya arus bolak-balik yang dibangkitkan dipergunakan untuk penguatan.



Gambar 6: Generator bolak-balik (AC) dengan penguatan sendiri

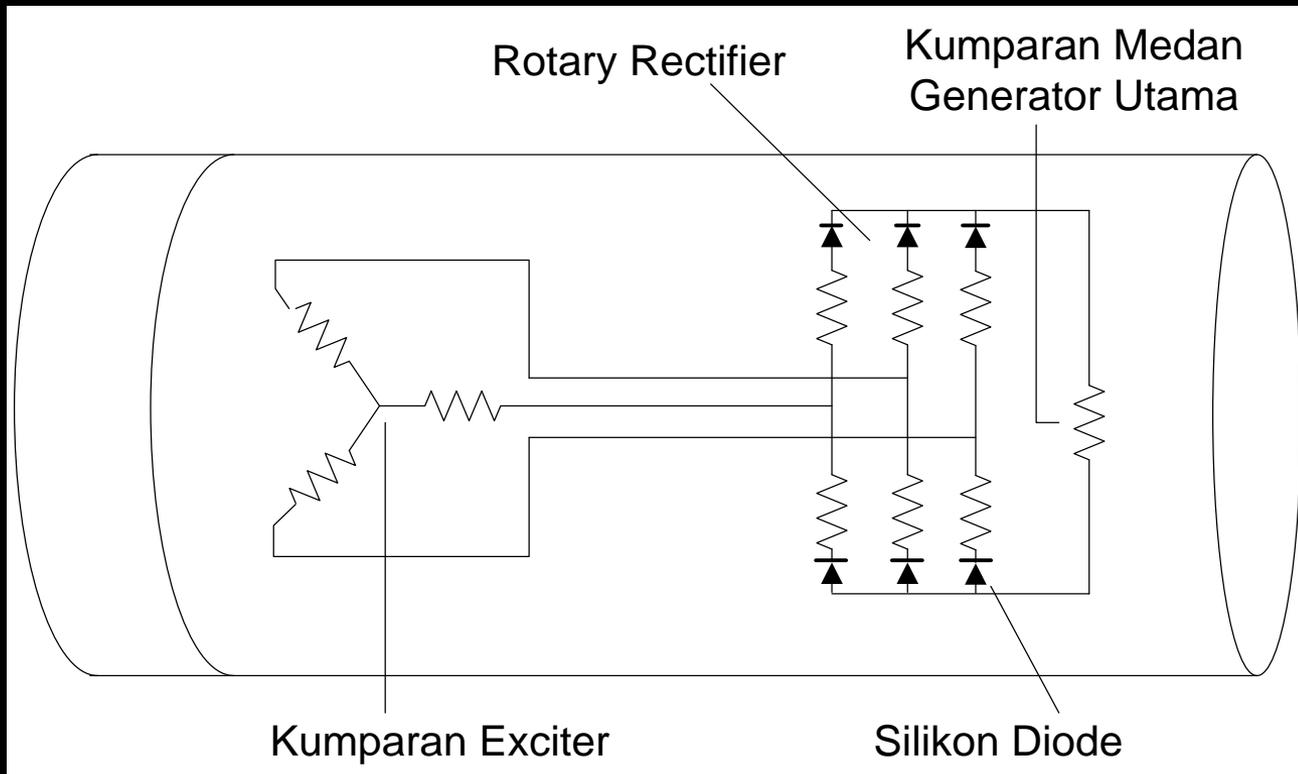
Generator arus bolak-balik tanpa sikat

Arus bolak-balik dari generator yang dipergunakan sebagai penguatan disearahkan dengan penyearah (atau rectifier) pada rotor generator utama, langsung dialirkan pada kumparan medan generator utama (tanpa menggunakan sikat-sikat).



Gambar 7 : Generator Sinkron Tanpa Sikat

Tegangan AC yang dihasilkan dari rotor exciter disearahkan oleh diode yang berputar pada poros untuk penguatan kutub rotor generator utama melalui penghantar yang dipasang pada poros. Kumparan rotor exciter dan kumparan dari rotor generator utama semuanya terdapat pada satu poros, sebab itu tidak diperlukan lagi sikat (brush), komutator dan cincin geser (lihat gambar 8).



Gambar 8 : Rangkaian penguatan tanpa sikat

Keuntungan

Keuntungan Sistem tanpa sikat

1. Kecepatan yang tinggi pada waktu berputar
2. Berkurangnya masalah atau kejadian seperti pada penguatan yang memakai sikat
3. Tidak timbul debu atau serbuk arang dan mengurangi gangguan yang menyebabkan turunnya tahanan isolasi
4. Memperkecil tahanan shunt, saklar utama, penguatan untuk generator dan mengurangi kebutuhan kawat penghantar antara exciter dan generator utama

5. Keamanan:

Keamanan bertambah dan dalam kelangsungan (operasi mesin) terjamin, karena tidak perlu mengganti-ganti sikat lagi pada waktu mesin berbeban.

6. Biaya perawatan rendah

Biaya perawatan turun karena sikat, komutator dan cincin geser tidak perlu perawatan yang khusus.

AVR

(Automatic Voltage Regulator)

III. Pengaturan Tegangan Otomatis (AVR)

* Menurut cara kerja dari Automatic Voltage Regulator di bagi menjadi 2 yaitu :

- a. Jenis kontinyu (Continuous duty)
- b. Jenis terputus (Intermitten duty)

* Sedang fungsi dari AVR adalah :

- Dipakai untuk mengatur tegangan dalam batas variasi yang kecil
- Tidak untuk harga tertentu
- Dipakai untuk mengatur tegangan dalam batas tertentu
- Batas toleransi tertentu SPLN +- 10%, distribusi +- 5% (VD)
- Menstabilkan tegangan

Prinsip kerja dari AVR

Mengatur arus penguatan (excitacy) pada exciter. Apabila tegangan output generator di bawah tegangan nominal ($V_N = 3,3 \text{ kV}$) tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (excitacy) pada exciter.

Apabila tegangan output Generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan (excitacy) pada exciter.

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.

Pada masa sekarang ini yang paling banyak digunakan adalah AVR jenis kontinyu karena biasanya AVR digunakan untuk menstabilkan tegangan dengan waktu yang relatif lama. AVR jenis kontinyu dibagi beberapa jenis yaitu :

1. Jenis tanpa kontak

Dapat bekerja kontinyu tanpa menggunakan kontak (mekanis) atau operasi mekanisnya dilakukan dengan menggunakan penguatan magnetis (magnetic amplifier), penguat berputar (rotating amplifier), tabung elektronis atau semi konduktor.

2. Jenis yang menggunakan tahanan secara langsung

Disini tahanan yang terpasang dalam rangkaian medan dari penguat atau exciter (medan) diatur langsung oleh isyarat kontrol.

3. Jenis yang tidak menggunakan tahanan langsung

Tahanan yang dipasang pada rangkaian medan diatur dengan perantara motor pengatur atau suatu mekanis hidrolik.

4. Jenis Vibrasi

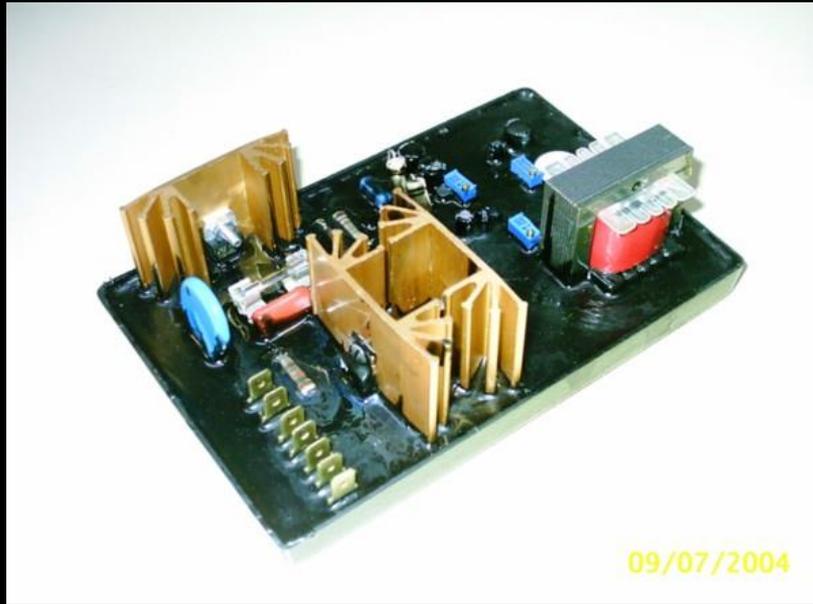
Menggunakan kontaktor untuk mengatur tegangan pada rata-rata yang konstan dengan menghubungkan atau memutuskan (on-off operation) sebagian atau seluruh tahanan yang terhubung pada rangkaian medan.

Fungsi dari penggunaan AVR pada generator sinkron yang tersambung pada sistem tenaga adalah:

- a. Mengatur agar tegangan pada keadaan kerja normal tetap konstan
- b. Mengatur besarnya daya kapasitif
- c. Mempertinggi kapasitas pemuat (charging capacity) saluran transmisi tanpa beban dengan mengontrol eksitasi sendiri
- d. Menekan kenaikan tegangan pada pembuangan beban
- e. Menaikkan batas daya stabilitas peralihan

Governor → mengatur tenaga uap yang dihasilkan.

Jatuh tegangan pada sumber tegangan akibat gangguan satu atau dua fasa terhubung singkat ke tanah besarnya 20-40%. Jatuh tegangan ini terlalu besar sehingga AVR akan bekerja efektif sekali. Namun jika respon penguat lebih besar dari 1.5 maka batas daya stabilitas peralihan tidak dapat dinaikkan karena adanya gejala kejenuhan. Karena variasi tegangan cukup lama, AVR hampir tidak mempengaruhi stabilitas keadaan tetap. Namun, stabilitas tetap naik bila respon penguat naik.

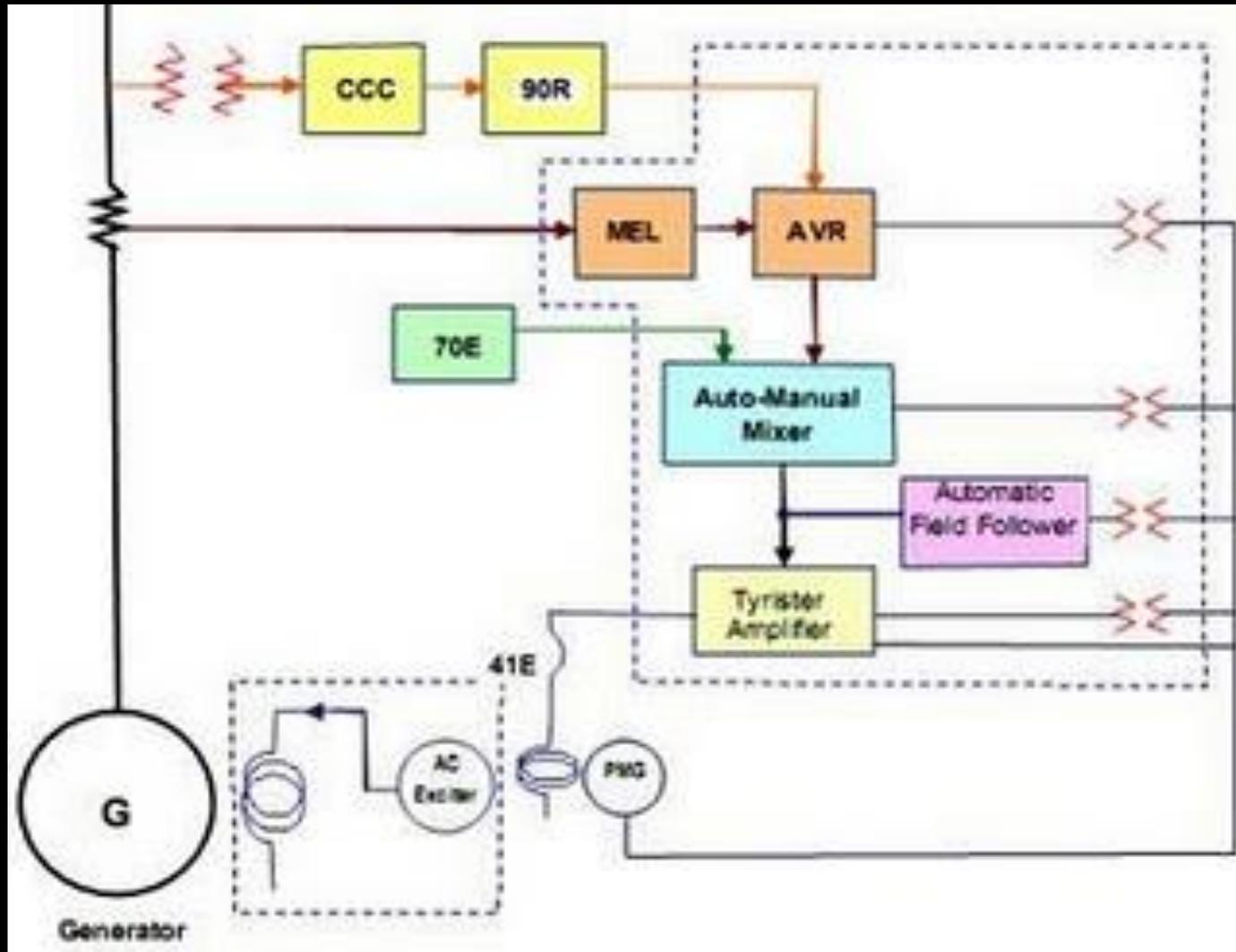


**Gambar 8 : AVR SA10a
Design by Microelectronics**



AVR Pembangkitan

Diagram sistem eksitasi.



ANALISA SISTEM PENGAMAN GENERATOR



GANGGUAN GENERATOR

Gangguan Generator relatif jarang terjadi karena:

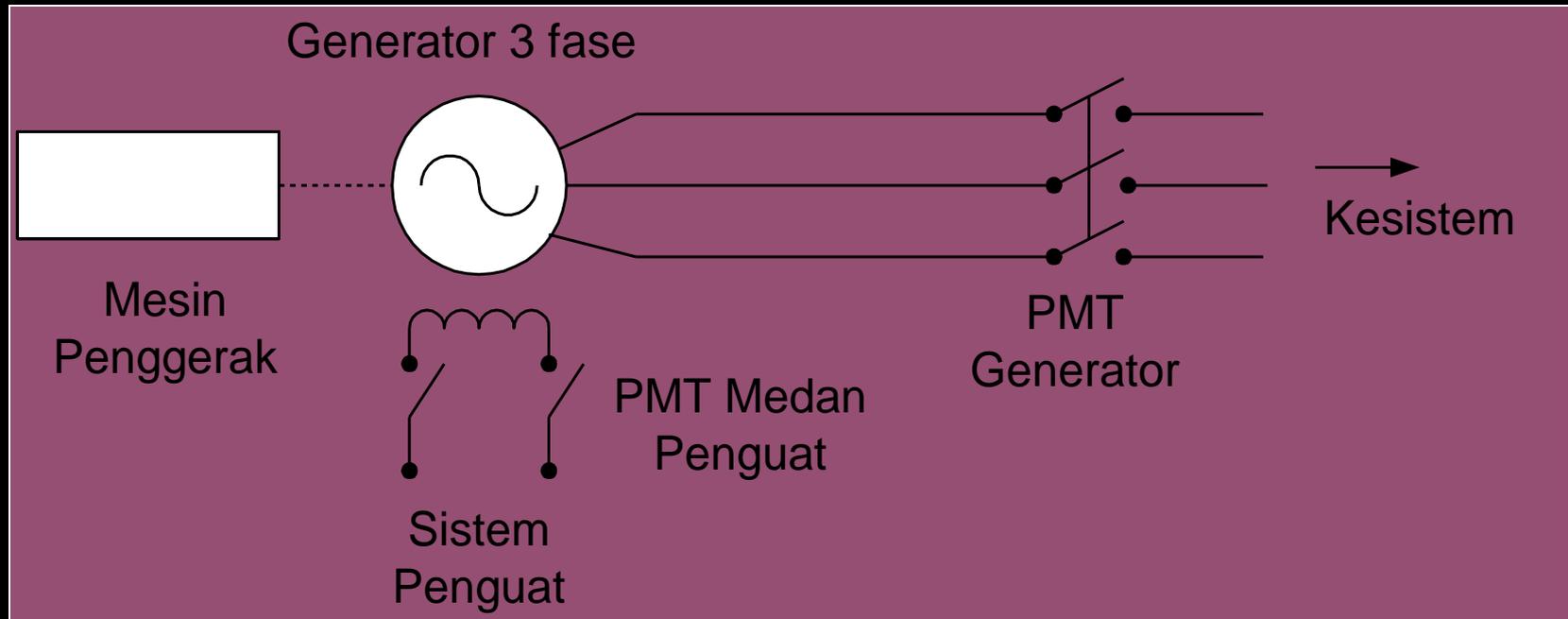
- a. Instalasi Listrik tidak terbuka terhadap lingkungan, terlindung terhadap petir dan tanaman.**
- b. Ada Transformator Blok dengan hubungan Wye-Delta, sehingga mencegah arus (gangguan) urutan nol dari Saluran Transmisi masuk ke Generator.**
- c. Instalasi Listrik dari Generator ke Rel umumnya memakai Cable Duct yang kemungkinannya mengalami gangguan kecil.**
- d. Tripnya PMT Generator sebagian besar (lebih dari 50%) disebabkan oleh gangguan mesin penggerak generator.**

Proteksi Generator

- Generator merupakan sumber energi listrik didalam sistem tenaga listrik, maka perlu diproteksi dari semua gangguan jangan sampai mengalami kerusakan karena kerusakan generator akan sangat mengganggu penyediaan tenaga listrik.

Dari segi selektifitas pengamanan sistem diharapkan agar PMT generator tidak mudah trip terhadap gangguan dalam sistem, karena lepasnya generator dari sistem akan mempersulit jalannya oprasi sistem tenaga listrik.

Generator dengan Mesin penggerak dan Medan Penguat



PMT generator hanya boleh bekerja apabila ada gangguan yang tepat ada didepan generator didalam generator atau pada mesin penggerak generator

Proteksi generator terhadap gangguan luar

Penyebab gangguan utama dalam sistem adalah petir, yang sering disambar petir adalah saluran udara transmisi dan saluran distribusi

Untuk menghadapi ganggaun diluar pusat listrik, maka PMT yang dipasang dari saluran dilengkapi dengan relay-relay

Untuk gangguan di rel yang langsung berhubungan dengan generator, maka relay arus lebih merupakan pengaman utama. Tetapi bila ada pengaman rel difrensial, maka relay arus lebih merupakan pengaman back-up

Proteksi generator terhadap gangguan dalam

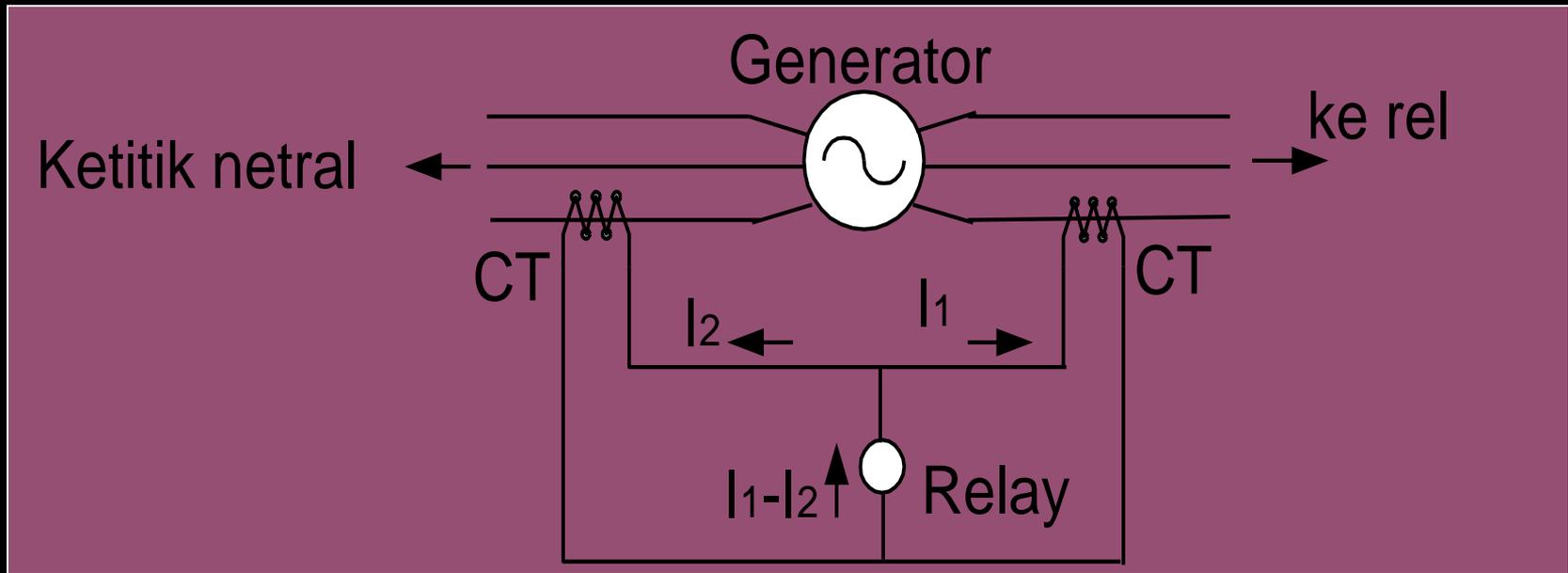
A. Hubung singkat antara fasa

Gangguan ini terjadi bila isolasi antar fasa rusak bisa terjadi dalam stator generator maupun diluar stator generator.

Untuk melindungi generator dari gangguan ini dipakai relay difrensial yang segera men-trip PMT generator, PMT arus medan penguat dan memberhentikan mesin penggerak generator.

Hal ini diperlukan untuk menghentikan sama sekali GGL yang dibangkitkan dalam stator generator, sehingga hubung singkat antar fasa dapat segera berhenti

Prinsip relay difrensial



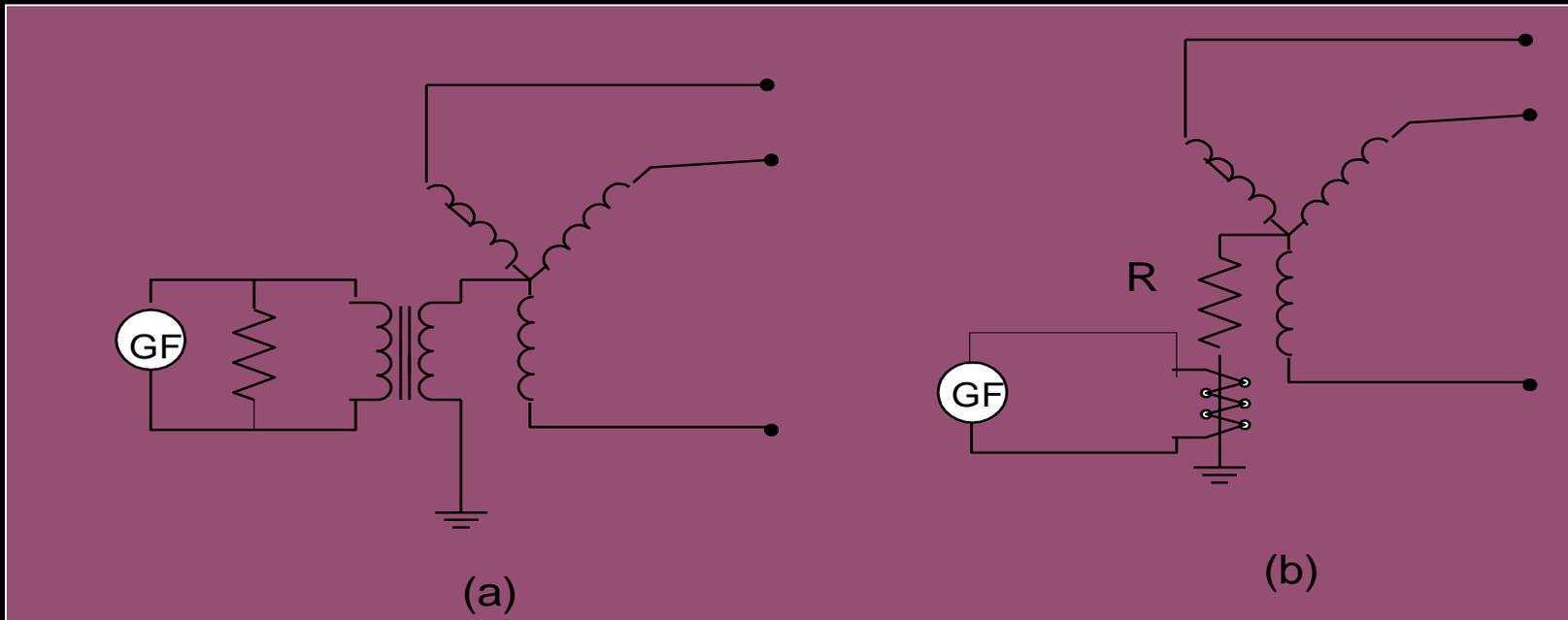
Relay difrensial tidak dapat menghindarkan terjadinya gangguan hubung singkat antar fasa, tetapi hanya dapat mendeteksi dan kemudian memberhentikan hubung singkat antar fasa yang terjadi, untuk menghindarkan kerusakan generator yang lebih besar

B. Hubung singkat fasa ke tanah

Gangguan ini tidak dapat dideteksi oleh relay difrensial bila titik netral generator tidak ditanahkan. Maka ada relay hubung tanah untuk melindungi generator terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah

Pada gambar berikutnya diperlihatkan pengaman generator terhadap gangguan hubung tanah yang titik netralnya tidak ditanahkan sehingga perlu dipasang transformator tegangan dan yang titik netralnya ditanahkan dengan melewati tahanan

Ground Fault Reley



Keterangan :

- (a) Gambar relay hubung tanah (GF) yang titik netral dari generator tidak ditanahkan dengan pemasangan transformator tegangan
- (b) Gambar relay hubung tanah (GF) yang titik netral dari generator ditanahkan melalui tahanan (R).

Untuk pengaman generator yang titik netralnya tidak ditanahkan perlu dipasang transformator tegangan yang berfungsi mendeteksi kenaikan tegangan titik netral terhadap tanah dan selanjutnya akan menyebabkan relay hubung tanah (GF) bekerja

Tegangan titik netral terhadap tanah akan naik bila ada gangguan hubung tanah dan selanjutnya akan menyebabkan relay (GF) bekerja.

C. Suhu tinggi

Hal ini bisa terjadi pada stator atau pada bantalan generator, yang menyebabkan kenaikan suhu tersebut karena pembebanan lebih pada generator yang terlalu lama, ventilasi yang kurang sempurna atau karena banyak kotoran yang menempel pada isolasi lilitan stator sehingga menghambat pelepasan panas lilitan stator.

Aliran minyak pelumas yang kurang baik juga bisa menyebabkan suhu yang tinggi.

Untuk mengamankan generator terhadap masalah suhu yang tinggi, dipakai relay suhu yang pada tahap pertama membunyikan alarm dan pada tahap berikutnya men-trip PMT generator.

D. Penguatan hilang

Bila terjadi gangguan pada rangkaian arus penguat, sehingga medan penguat generator menjadi lemah atau hilang, maka generator mengalami kondisi "*out of step*" atau lepas dari sinkronisasinya dengan sistem dan dapat menimbulkan gangguan dalam sistem khususnya

Pada generator yang mempunyai daya relatif besar disediakan *Loss of Field relay* untuk mencegah terjadinya situasi *out of step* tersebut dengan jalan men-trip PMT generator bila arus penguat hilang atau menjadi terlalu lemah karena ada gangguan pada sirkit arus penguat

E. Hubung singkat dalam sirkit rotor

Pada gangguan ini generator akan mengalami *Loss of Field relay* dan juga sirkit rotor dan rotor generator dapat mengalami kerusakan

Unutk mencegah kerusakan ini dipakai relay arus lebih atau sekering lebur dalam sirkit rotor

Jika salah satu kutub (+ atau -) mengalami hubung tanah, maka hal ini dapat menimbulkan distorsi dalam medan magnit penguat sehingga timbul getaran yang berlebihan

Untuk melindungi gangguan ini, maka generator yang besar dipasang relay pengaman terhadap rotor hubung singkat.

PROTEKSI GENERATOR TERHADAP GANGGUAN MESIN PENGGERAK

Bila tekanan minyak pada mesin penggerak terlalu rendah, maka mesin penggerak tersebut perlu dihentikan karena dapat menimbulkan kerusakan bantalan.

Untuk menghindarkan tetap berputarnya generator sebagai akibat daya balik yang merubah generator menjadi motor, maka PMT generator perlu di trip.

Trip dari PMT generator karena tekanan minyak pelumas yang terlalu rendah atau karena suhu air pendingin yang terlalu tinggi maka dipakai oleh relay mekanik.

Sehingga pada generator dengan daya terpasang diatas nilai tertentu yang digerakkan turbin uap, turbin gas atau turbin air, maka dipakai relay daya balik.

Daya balik terjadi karena ada gangguan mesin penggerak atau ada ayunan daya dalam sistem