

BAB II

GENERATOR SINKRON

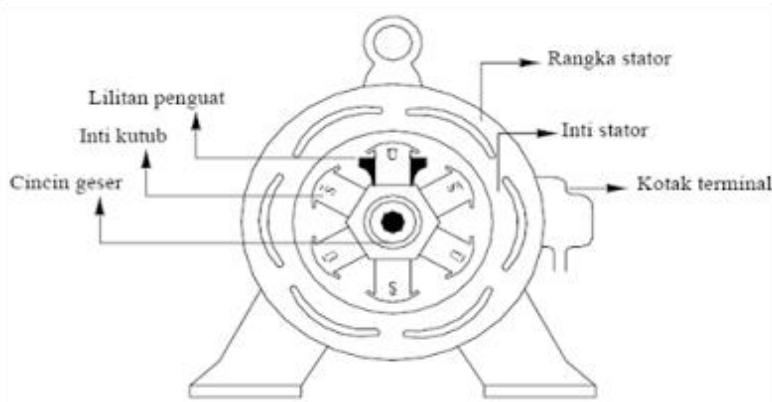
2.1 Tinjauan umum

Dalam suatu pembangkit listrik, generator sinkron merupakan salah satu peralatan utama dalam suatu pembangkit yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator sinkron terdiri dari stator tempat kumparan jangkar dan rotor tempat kumparan medan yang dialiri arus searah sebagai eksitasi. Kumparan jangkar merupakan tempat menyalurkan energi listrik ke sirkuit beban, karena di tempat inilah ggl bolak balik 3 fasa dihasilkan. Kumparan medan menghasilkan medan magnet karena dialiri arus searah.

2.1.1 Bagian Utama Generator Sinkron

Komponen utama generator Sinkron terdiri dari :

1. Bagian yang diam (stator).
2. Bagian yang bergerak (rotor).



Gambar 2.1 Kontruksi Generator

A. Stator terdiri dari beberapa bagian :

1. Inti stator.

Bentuk dari inti stator ini berupa cincin laminasi-laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy (*eddy current losses*). Pada inti ini terdapat slot-slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnetnya.

2. Belitan stator.

Bagian stator yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang terdapat di dalam slot-slot dan ujung-ujung kumparan. Masing-masing slot dihubungkan untuk mendapatkan tegangan induksi.

3. Alur stator.

Merupakan bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan.

4. Rumah stator.

Bagian dari stator yang umumnya terbuat dari besi tuang yang berbentuk silinder. Bagian belakang dari rumah stator ini biasanya memiliki sirip-sirip sebagai alat bantu dalam proses pendinginan.

B. Rotor

Rotor merupakan bagian berputar yang berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang menghasilkan tegangan dan akan diinduksikan ke stator. Beberapa komponen utama rotor yaitu :

a) Slip Ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi

dipisahkan oleh isolasi tertentu. Dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Terminal kumparan rotor dipasangkan ke-slip ring ini kemudian dihubungkan kesumber arus searah melalui sikat (*brush*) yang letaknya menempel pada slip ring.

b) Sikat

Sebagian dari generator sinkron ada yang memiliki sikat ada juga yang tidak memiliki sikat. Sikat pada generator sinkron

berfungsi sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus DC ke-kumparan medan pada rotor generator sikron. Sikat terbuat dari bahan karbon tertentu.

c) 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.

d) Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

2.1.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron 3 Fasa

Pada generator bolak balik 3 Fasa, kumparan jangkar berada pada bagian yang diam (stator) dan kumparan medan berada pada bagian yang bergerak (rotor). Pada saat kumparan medan di rotor diberi arus searah (penguatan) maka akan timbul medan magnet. Pada saat rotor diputar oleh penggerak mula (*prime mover*) maka medan magnet akan memotong kumparan jangkar di stator sehingga pada kumparan jangkar di stator akan timbul gaya gerak listrik (ggl). Pada saat generator dibebani maka akan mengalirkan arus bolak balik 3 fasa pada beban.

2.1.3 Pengaturan Frekuensi Generator Sinkron

Sistem tenaga listrik harus mampu menyediakan tenaga listrik bagi para pelanggan dengan frekuensi yang praktis konstan. Penyimpangan frekuensi dari nilai nominal harus selalu dalam batas toleransi yang diperbolehkan.

Cara pengaturan frekuensi :

1. Pengaturan daya aktif (sisi generator)

Pengaturan daya aktif ini erat kaitannya dengan kenaikan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menaikkan daya aktif. Pengaturan bahan bakar ini dilakukan dengan menggunakan governor.

2. Load shedding (sisi beban)

Jika terdapat gangguan dalam sistem yang menyebabkan daya tersedia tidak dapat melayani beban, misalnya karena ada unit pembangkit yang besar jatuh (trip), maka untuk menghindarkan sistem menjadi *collapsed* perlu dilakukan pelepasan beban. Keadaan yang kritis dalam sistem karena jatuhnya unit pembangkit dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat.

3. Pengalihan daya pada saluran

Cara lain untuk mengatur frekuensi sistem yaitu dengan mengatur pengiriman daya aktif pada daerah yang memiliki kerapatan beban yang tinggi.

2.1.4 Pengaturan Tegangan Generator Sinkron

Dalam Penyediaan tenaga listrik bagi para pelanggan, tegangan yang konstan seperti halnya frekuensi yang konstan, merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Oleh karenanya masalah pengaturan tegangan merupakan masalah operasi sistem tenaga listrik yang perlu mendapat penanganan tersendiri. Pengaturan tegangan erat kaitanya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem.

Pengaturan tegangan dipengaruhi oleh :

- a. Arus penguat Generator
- b. Daya reaktif Beban
- c. Daya reaktif yang didapat dalam system (selain generator), misalnya dari kondensator dan dari reaktor

- d. Posisi tap transformer

2.2 Pengertian Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi adalah suatu peralatan atau sistem yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan parameter sistem, mengisolasi dan memisahkan bagian yang berubah parameternya atau terkena gangguan dari suatu keadaan yang tidak normal. Berdasarkan fungsinya pengaman dapat dibagi dua yakni :

1. Pengaman Utama

Pengaman utama merupakan pengaman yang paling berperan didaerah pengamanan atau daerah yang dilindungi dan sebagai pengaman utama, maka bekerjanya selektif serta lebih cepat mengisolasi bagian sistem yang diamankan dari gangguan yang terjadi..

2. Pengaman Cadangan

Pengaman cadangan (*back-up*) merupakan pengaman dibelakang pengaman utama. Maksudnya adalah pengaman ini bekerja jika pengaman utama gagal operasi. Pengaman ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

- a. Lokal *back-up* yaitu dimana pengaman cadangan terletak satu lokasi dengan pengaman utama.
- b. *Remote back-up* yaitu dimana pengaman cadangan tersebut diletakkan pada lokasi yang berlainan dengan pengaman utama.

2.2.1 Macam Macam Proteksi Generator

Untuk menjaga keandalan dari kerja generator, maka dilengkapilah generator dengan peralatan-peralatan proteksi. Peralatan proteksi generator harus betul-betul mencegah kerusakan generator, karena kerusakan generator selain akan menelan biaya perbaikan yang mahal juga sangat mengganggu operasi sistem. Generator perlu diproteksi terhadap gangguan berikut :

1. Gangguan Hubung Singkat

a. Hubung singkat 3 fasa

Arus lebih yang timbul akibat terjadinya hubungan singkat 3 fasa/ *3 phase fault* akan menimbulkan loncatan bunga api dengan suhu yang tinggi yang akan melelehkan belitan dengan resiko terjadinya kebakaran, jika isolasi tidak terbuat dari bahan yang anti api /*nonflammable*.

b. Hubung singkat 2 fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa/*unbalance fault* akan menyebabkan terjadi kerusakan pada belitan dan akan timbul pula vibrasi pada kumparan stator. Kerusakan lain yang timbul adalah pada poros/*shaft* dan kopling turbin akibat adanya momen puntir yang besar.

c. Stator hubung singkat 1 fasa ke tanah/*stator ground fault*

Kerusakan laminasi besi (*iron lamination*) akibat gangguan 1 fasa ke tanah yang menimbulkan bunga api dan merusak isolasi dan inti besi adalah kerusakan serius yang perbaikannya dilakukan secara total.

d. Rotor hubung tanah/*field ground*

Pada rotor generator yang belitannya tidak dihubungkan oleh tanah (*ungrounded system*). Bila salah satu sisi terhubung ke tanah belum menjadikan masalah. Tetapi apabila sisi lainnya terhubung ke tanah, sementara sisi sebelumnya tidak terselesaikan maka akan terjadi kehilangan arus pada sebagian belitan yang terhubung singkat melalui tanah.

2. Kehilangan medan penguat/*Loss of excitation*

Hilangnya medan penguat akan membuat putaran mesin naik, dan berfungsi sebagai generator induksi. Kehilangan medan penguat dapat dimungkinkan oleh :

- a) Jatuhnya/trip saklar penguat (41AC)
- b) Hubung singkat pada belitan penguat
- c) Kerusakan kontak-kontak sikat arang pada sisi penguat
- d) Kerusakan pada sistem AVR

3. Tegangan lebih/Over voltage

Tegangan yang berlebihan melampaui batas maksimum yang diijinkan dapat berakibat tembusnya (*breakdown*) design insulasi yang akhirnya akan menimbulkan hubungan singkat antara belitan. Tegangan lebih dapat dimungkinkan oleh mesin putaran lebih/*overspeed* atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis/AVR.

4. Generator berfungsi sebagai motor (*motoring*)

Motoring adalah peristiwa berubah fungsi generator menjadi motor akibat daya balik (*reverse power*). Daya balik terjadi disebabkan oleh turunnya daya masukan dari penggerak utama (*prime mover*).

5. Pemanasan lebih setempat

Pemanasan lebih setempat pada sebagian stator dapat dimungkinkan oleh :

- a. Kerusakan laminasi
- b. Kendornya bagian-bagian tertentu di dalam generator seperti pasak-pasak stator (*stator wedges*).

6. Kesalahan paralel

Kesalahan dalam memparalel generator karena syarat-syarat sinkron tidak terpenuhi dapat mengakibatkan kerusakan pada bagian poros dan kopling generator, dan penggerak utamanya karena terjadinya momen puntir. Kemungkinan kerusakan lain yang timbul, kerusakan PMT dan kerusakan pada kumparan stator akibat adanya kenaikan tegangan sesaat.

7. Gangguan pendingin stator

Gangguan pada media sistem pendingin stator (pendingin dengan media udara, hidrogen, atau air) akan menyebabkan kenaikan suhu belitan stator.

8. Frekuensi operasi yang tidak normal (*abnormal frequency operation*)

Perubahan frekuensi keluar dari batas-batas normal di sistem dapat berakibat ketidakstabilan pada turbin generator. Perubahan frekuensi sistem dapat dimungkinkan oleh tripnya unit-unit pembangkit atau penghantar (transmisi).

9. Lepas sinkron (*Loss of synhcron*)

Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak, *switching*, hubung singkat dan peristiwa yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem.

10. Arus beban kumparan yang tidak seimbang (*unbalance armature current*)

Pembebanan yang tidak seimbang pada sistem/adanya gangguan 1 fasa dan 2 fasa pada sistem yang menyebabkan beban generator tidak seimbang yang akan menimbulkan arus urutan negatif.

2.2.2 Syarat Pokok Sistem Proteksi

Perkembangan teknologi yang berkaitan dengan desain, teknik isolasi, dan sistem proteksi pada generator yang semakin baik diharapkan mampu meminimalisasi gangguan pada mesin pembangkit. Proteksi yang dilakukan pada generator harus memiliki kriteria dan pertimbangan yang teliti. Hal ini bertujuan agar sistem proteksi tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsinya, ekonomis dan memiliki keandalan yang tinggi.

Beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam merancang sistem pengamanan pada generator antara lain :

1. Keandalan

Sistem proteksi yang digunakan harus mampu bekerja sesuai fungsinya sehingga, apabila terjadi gangguan maka rele-rele proteksi tersebut harus mampu merasakan dan bekerja sesuai dengan urutannya.

2. Efisiensi

Pemasangan sistem proteksi tersebut disesuaikan dengan kapasitas generator, sistem penguatan, dan sistem penggerak sehingga jumlah pengaman yang dipasang tidak berlebihan atau dengan kata lain relativ lebih ekonomis.

3. Selektifitas

Pada setiap rele yang dipasang dituntut untuk mampu bekerja sesuai dengan fungsi dan daerah kerjanya, sehingga daerah yang terganggu dapat dilokalisir seminimal mungkin.

4. Kecepatan

Rele proteksi yang merupakan bagian penting dari sistem proteksi yang dirancang harus mampu memberi sinyal gangguan dengan cepat sesuai dengan settingannya begitu terjadi gangguan sehingga tidak terjadi gangguan yang fatal pada generator.

5. Sensitifitas

Sistem proteksi harus peka mendeteksi setiap gangguan dalam bentuk besaran (seperti: tegangan, arus, frekuensi, dan lain lain) dalam nilai terkecil sekalipun dengan respon waktu yang relativ singkat.

2.2.3 Fungsi Rele Pengaman

Pengaman pada sistem tenaga listrik berfungsi :

1. Membunyikan alarm, menutup rangkaian trip dari pemutus rangkaian untuk membebaskan peralatan dari gangguan yang terjadi.

2. Membebaskan bagian yang bekerja tidak normal
3. Membebaskan dengan segera bagian yang terganggu
4. Melokalisir akibat dari gangguan
5. Memberikan petunjuk atas lokasi serta macam dari gangguan.

2.2.4 Sistem Proteksi Generator

1. Proteksi Stator

a. Rele Stator Hubung Tanah (64G)

Digunakan sebagai pengaman listrik, bila terjadi hubungan antara stator dan tanah (gangguan satu fasa ke tanah). Gangguan dapat terjadi di stator yang disebabkan oleh kerusakan pada laminating dari inti stator, dan hubung singkat antara gulungan stator di dalam slot dan inti stator

b. Over Current Relay (50/51N)

Digunakan sebagai pengaman listrik ,bila gangguan hubung singkat terjadi antara belitan fasa (2 fasa atau 3 fasa) , bila gangguan ini bertahan lama dapat merusak isolasi dari generator itu sendiri.

c. Rele Differensial (87G)

Rele ini bekerja berdasarkan perbedaan diantara besaran arus yang masuk dan arus keluar rangkaian.

d. Over Voltage Relay (59)

Rele ini mengamankan generator karena adanya indikasi :

- 1) Karena adanya gangguan di penghantar dan pengamannya trip (beban lepas), tetapi governor tidak cepat merespon.
- 2) Atau adanya kerusakan pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) untuk mengatur bekerjanya turun naiknya tegangan.

2. Proteksi Gangguan Mekanis

a. Rele daya balik (*reserve power relay*)(32)

Daya balik dapat terjadi karena adanya pasokan listrik dari generator lain yang diparalel atau generator diputarkan dari sistem saat eksitasinya mengalami gangguan .

b. Rele Periksa Sinkron (*Synchro Check Relay* (25))

Peran rele ini adalah pengamanan bantu generator untuk mendeteksi persyaratan sinkronisasi, jika persyaratan sinkron generator tidak terpenuhi maka relay ini akan memberi sinyal berupa alarm, indikator lampu dan bila perlu memberi perintah trip terhadap CB.

4. Proteksi Gangguan Sistem

a. *Over Frequency Relay* (81 O)

Putaran generator yang terlalu cepat, dapat mengakibatkan vibrasi pada mesin, kerusakan pada fondasi dan frekuensi ke beban naik diatas standar ($> 52\text{Hz}$).

b. *Under Frequency Relay* (81 U)

Rele ini mengamankan generator , karena adanya indikasi :

- 1) Karena adanya generator yang trip karena gangguan, sehingga daya generator lebih kecil dari beban, bila governor tidak cepat respon maka frekuensi generator bisa $< 50\text{ Hz}$
- 2) Adanya penambahan beban secara mendadak di sistem tenaga listrik, sehingga daya generator lebih kecil dari daya beban.

c. Relay Kehilangan Sinkronisasi (*Out of Sync Relay* (78))

Peristiwa lepasnya sinkronisasi pada generator yang sedang beroperasi disebabkan oleh generator yang beroperasi

melampaui batas stabilnya, yang dimaksud dengan stabilitas adalah kemampuan sistem untuk kembali bekerja normal setelah mengalami sesuatu seperti perubahan beban, *switching*, dan gangguan lain.

d. *Negative Phase Sequence Relay / Unbalance Relay (46)*

Rele ini bekerja jika terjadi pembebanan yang tidak seimbang dalam sistem atau adanya gangguan satu fasa dan dua fasa pada sistem menyebabkan generator tidak seimbang dan menimbulkan arus urutan negatif.

5. Proteksi Gangguan Elektris

a. Relay Jarak (*Distance Relay (21)*)

Rele jarak merupakan proteksi gangguan 2 fasa atau 3 fasa dimuka generator sampai batas jangkauannya.

b. *Loss of Field Relay Protection (40)*

Rele kehilangan medan (*Loss of Field relay*) adalah untuk mengamankan generator bila terjadi kehilangan medan listrik karena :

- 1) Gangguan pada medan listrik dan terbukanya breaker
- 2) Gangguan pada *automatic voltage regulation* (AVR)
sehingga arus medan berkurang yang menuju zero.

c. Rele Penguat Lebih (*Over Excitation Relay (59/81)*)

Relay ini berfungsi untuk mendeteksi penguat lebih pada generator, adapun potensi bahaya yang timbul adalah *over flushing* pada generator dan generator transformer dan pemanasan yang lebih pada inti stator.

d. *Under Voltage Relay (27)*

Relai ini mengamankan generator karena adanya indikasi

- 1) Generator mengalami beban lebih dari kapasitasnya, sehingga tegangan di generator menjadi turun dibawah standar.
 - 2) Karena kerusakan pada *Automatic Voltage Regulation* (AVR) yang mengatur bekerjanya turun naiknya tegangan.
 - 3) Atau terjadi gangguan hubung singkat di sistem tenaga listrik yang menyebabkan tegangan turun, tetapi pengaman di penghantar terlalu lama tripnya atau tidak trip.
- e. Rele Keseimbangan Tegangan (*Voltage Balance Relay* (60))

Relay ini berfungsi untuk mendeteksi hilangnya tegangan dari trafo tegangan ke Pengatur Tegangan Otomatis (AVR) agar tegangan 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.

6. Rele Pengirim Sinyal Trip

a. Rele Pengunci (*Lock Out Relay* (86))

Fungsi rele ini adalah untuk mengirim sinyal trip dari rele-rele proteksi dan kemudian meneruskan sinyal trip ke PMT, alarm, dan peralatan lainnya.