

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Generator sinkron merupakan mesin listrik yang mengubah energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik. Energi mekanis diberikan oleh penggerak mulanya sedangkan energi listrik akan dihasilkan pada rangkaian jangkarnya. Dengan ditemukannya generator sinkron atau alternator, telah memberikan hubungan yang penting dalam usaha pemanfaatan energi yang terkandung pada batu bara, air, minyak, gas uranium ke dalam bentuk yang bermanfaat dan mudah digunakan yaitu listrik dalam rumah tangga dan industri.

Konstruksi umum dari suatu generator sinkron terdiri dari penggerak mula, rotor atau bagian yang berputar, stator atau bagian yang diam, dan celah udara antara stator dan rotor. Konstruksi rotor sendiri terdiri atas rotor silinder dan rotor kutub sepatu yang masing-masingnya memiliki fungsi yang berbeda. Disamping itu juga perlu rangkaian eksitasi sebagai penghasil tegangan induksi pada terminal jangkar. Untuk generator sinkron yang besar, rangkaian jangkar diletakkan pada stator untuk menghindari timbulnya bunga api jika rangkaian jangkar pada bagian rotor. Untuk rangkaian eksitasi dapat dibagi atas dua yaitu eksitasi dengan sikat dan tanpa sikat.

Alternator tiga fasa dituntut untuk bekerja stabil (tegangan dan frekuensi yang dihasilkan tetap stabil). Ketidakstabilan kedua hal tersebut sangat berpengaruh terhadap beban terutama beban-beban elektronik. Selain itu kestabilan kedua hal tersebut sangat penting jika sebuah alternator diparalelkan dengan alternator yang lain untuk melayani beban yang makin besar. Seiring makin besarnya jumlah beban yang harus dilayani oleh sebuah alternator, ditambah dengan makin beragamnya beban yang ada, tentu memerlukan pengaturan kerja dari sebuah alternator. Fluktuasi yang terjadi pada beban antara lain impedansi beban. Dimana jumlah beban yang harus dilayani tidak sama untuk setiap saat, ini berpengaruh pada impedansi total beban. Impedansi beban mempengaruhi faktor daya dari beban, yang kemudian hal itu berpengaruh pada arus beban. Karena tegangan dituntut untuk tetap stabil, maka

fluktuasi arus beban akan mengakibatkan ketidakstabilan tegangan. Untuk itulah perlu dilakukan perubahan pada arus eksitasi.

Dalam penelitian ini penulis akan membandingkan hasil sebelum dan sesudah pengendalian tegangan terminal generator sinkron. Pengendalian ini dilakukan dengan cara mengatur arus eksitasinya sehingga tegangan terminal generator dapat di jaga konstan walaupun arus beban berubah-ubah. Untuk memperoleh data penulis akan melakukan analisis pada PLTA Wampu Electric Power. Dari data yang diperoleh dan perhitungan menggunakan rumus maka hubungan antara tegangan terminal ( $V_t$ ), arus medan ( $I_f$ ), arus beban ( $I_a$ ) dapat di tentukan. Untuk membantu dalam perhitungan penulis menggunakan bantuan komputer dalam melakukan pengolahan data.

## **1.2 Tujuan Penulisan**

1. Pengendalian tegangan terminal generator sinkron terhadap perubahan arus beban supaya konstan 11 kv baik pada saat terjadi perubahan beban maupun tidak terjadi perubahan beban.
2. Mendapatkan analisis sistem pengendalian tegangan terminal generator sinkron pada PLTA Wampu Electric Power.

## **1.3 Manfaat Penulisan**

Manfaat dari pengendalian tegangan terminal generator sinkron terhadap perubahan arus adalah untuk lebih memahami tentang generator sinkron serta efek perubahan arus beban terhadap tegangan terminal generator sinkron.

## **1.4 Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan masalah yang ingin dibahas, perlu dibuat batasan masalah. Adapun batasan masalah dalam penulisan ini adalah :

1. Generator sinkron yang penulis ambil sebagai aplikasi adalah generator sinkron tiga fasa pada PLTA Wampu Electric Power.
2. Beban yang digunakan adalah beban tiga fasa seimbang.
3. Pengendalian tegangan terminal generator sinkron tiga fasa dengan mengatur arus eksitasi.

### **1.5 Metodologi Penulisan**

Didalam memenuhi dan melengkapi data-data yang diperlukan untuk memperkuat penulisan skripsi ini, penulis melakukan berbagai macam metode antara lain.

#### **A. Studi Literatur**

Beberapa studi keputusan dengan mempelajari buku-buku (teks book) yang terkait, baik yang bersumber dari media cetak, elektronik maupun internet.

#### **B. Diskusi interaktif**

Melakukan diskusi dalam bentuk tanya jawab dengan pihak PT PLTA Wampu Electric Power terkait hal-hal yang berkaitan dengan tegangan yang telah ditentukan.

#### **C. Pengamatan lapangan langsung ke PT PLTA Wampu Electric Power.**

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan merupakan garis besar penulisan yang memudahkan jalan pemikiran dalam memahami keseluruhan isi, antara lain:

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pendahuluan membahas tentang latar belakang masalah, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, metode pembahasan, dan sistematika penulisan.

**BAB II : GENERATOR SINKRON**

Berisikan tentang teori umum generator sinkron dan komponen pendukung beserta fungsi-fungsinya.

**BAB III : KARAKTERISTIK GENERATOR SINKRON DAN METODE PENGATUR TEGANGAN**

Berisikan tentang karakteristik generator sinkron dan metode pengatur tegangan.

**BAB IV: ANALISA PENGENDALIAN TEGANGAN TERMINAL GENERATOR SINKRON PLTA WAMPU ELECTRIC POWER**

Berisikan tentang analisa data lapangan pada PLTA Wampu Electric Power.

**BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang didapat penulis selama melakukan penelitian.

## **BAB II**

### **GENERATOR SINKRON**

#### **2.1 Umum**

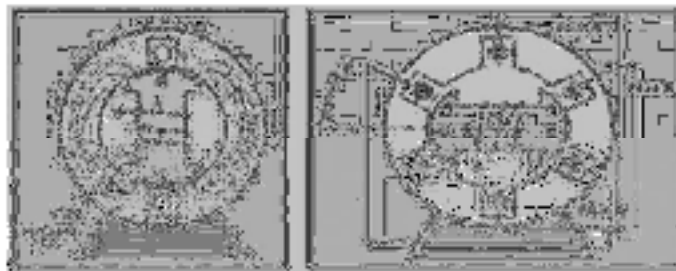
Konversi energi elektromagnetik pada generator sinkron (alternator) merupakan proses yang terjadi pada mesin listrik yang untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis diperoleh dari putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula (prime mover) dimana perputaran rotor sekaligus menginduksikan arus eksitasi dari rotor itu sendiri kedalam kumparan statornya, sehingga energi listrik diperoleh dari induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator.

Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang terdiri dari belitan medan magnet yang biladisuplai arus searah akan menghasilkan medan magnet yang diputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor.

Generator arus bolak-balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

- a) Generator arus bolak-balik 1 fasa
- b) Generator arus bolak-balik 3 fasa

Gambar diagram kedua bentuk generator arus bolak-balik tersebut dapat dilihat dari Gambar 2.1 berikut.



(a)

(b)

Gambar 2.1 (a) Generator AC satu fasa dua kutub

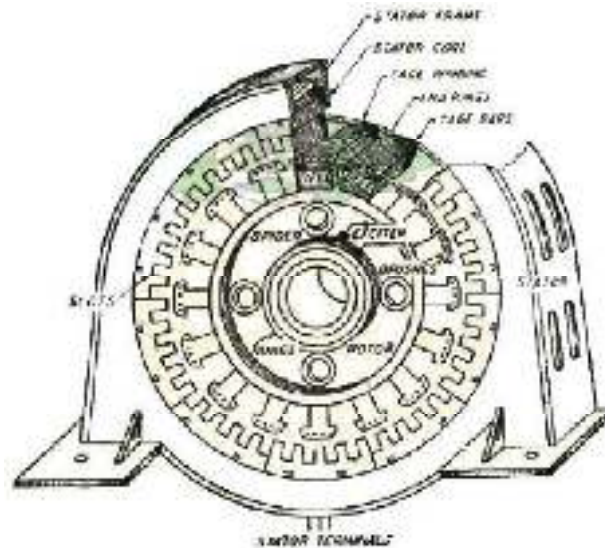
(b) Generator AC tiga fasa dua kutub

Generator sinkron sering dijumpai 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 kapasitas yang relatif kecil. Misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut Generator set.

## 2.2 Konstruksi 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.

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bentuk sederhana dari sebuah generator sinkron.



Gambar 2.2 Konstruksi generator sinkron

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. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor,

Pada bagian ini akan dibahas mengenai konstruksi generator sinkron secara garis besar. Bagian-bagian generator yang dibahas pada bagian ini antara lain :

- (a) Stator
- (b) Rotor
- (c) Celah Udara

### 2.2.1 Stator

Stator (armature) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui ujung-ujung kumparan

stator. Komponen ini berbentuk rangkaian silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak.

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu :

a. Rangka Stator

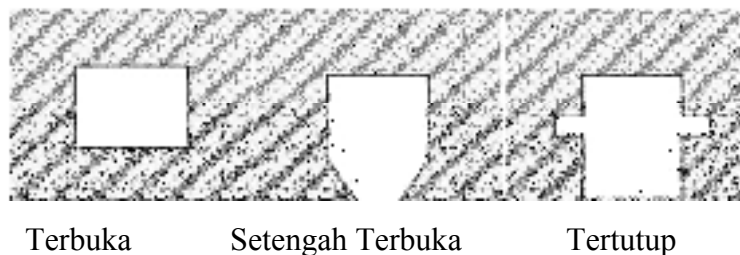
Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator.

b. Inti Stator

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

c. Alur (slot) dan Gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 jenis bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup seperti pada gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Bentuk-bentuk alur

d. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

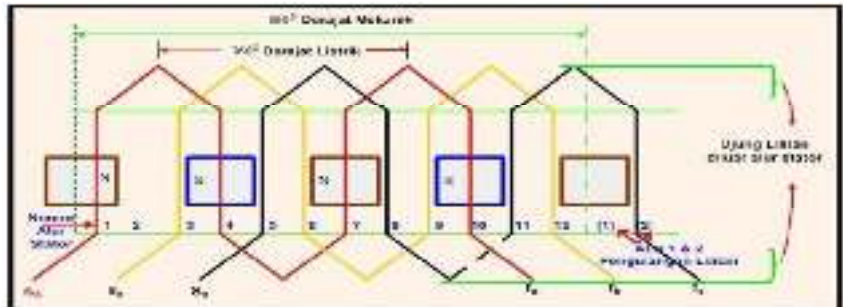
Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

Belitan jangkar (stator) yang umum digunakan oleh mesin sinkron tiga fasa, ada dua tipe yaitu :

a. Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*)

Gambar 2.4 memperlihatkan belitan satu lapis karena hanya ada satu lilitan didalam masing-masing alur. Bila kumparan tiga fasa dimulai pada  $S_a, S_b,$  dan  $S_c$  dan berakhir di  $F_a, F_b,$  dan  $F_c$  bisa disatukan dalam dua cara, yaitu hubungan bintang dan segitiga. Antar kumparan fasa dipisahkan 120 derajat listrik atau 60 derajat mekanis, satu siklus ggl penuh akan dihasilkan bila rotor dengan 4 kutub berputar 180 derajat mekanis. Satu siklus ggl penuh menunjukkan 360 derajat listrik, adapun sudut rotor mekanis  $\alpha$  mek dan sudut listrik  $\alpha$  lis, adalah :

$$\alpha_{lis} = \frac{p}{2} \alpha_{mek} \dots\dots\dots (2.1)$$



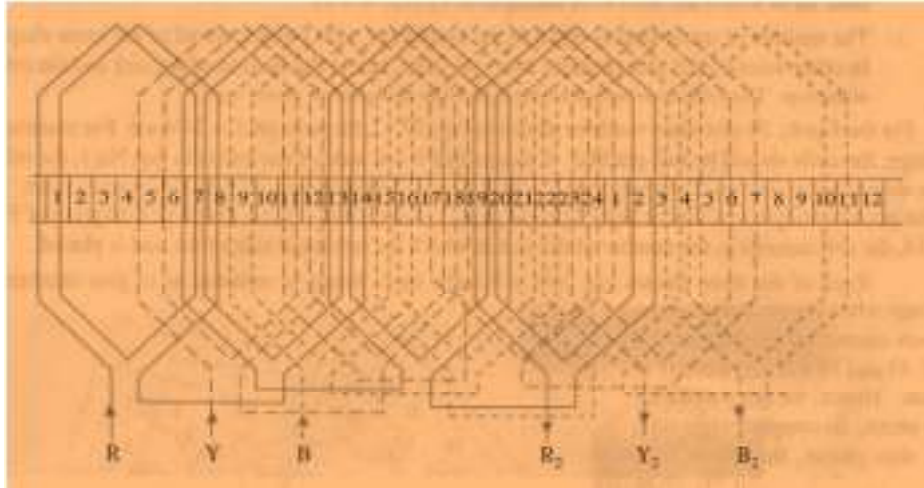
Gambar 2.4 Belitan satu lapis generator sinkron tiga fasa

b. Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*)

Kumparan jangkar yang diperlihatkan hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing-masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama. Masing-masing tegangan fasa akan sama untuk menghasilkan tegangan per penghantar dan jumlah total dari penghantar per fasa.

Dalam kenyataannya cara seperti ini tidak menghasilkan cara yang efektif dalam penggunaan inti stator, karena variasi kerapatan fluks dalam inti dan juga melokalisir pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik. Untuk mengatasi masalah ini, generator praktisnya mempunyai kumparan terdistribusi dalam beberapa alur per kutub per fasa.





Gambar 2.5 Bagian dari sebuah kumparan jangkar

Gambar 2.5 memperlihatkan bagian dari sebuah kumparan jangkar yang secara umum banyak digunakan. Pada masing-masing alur ada dua sisi lilitan dan masing-masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak ke alur biasanya disebut *winding overhang*, sehingga tidak ada tegangan dalam *winding overhang*.

### 2.2.2 Rotor

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 dipasang ke slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.

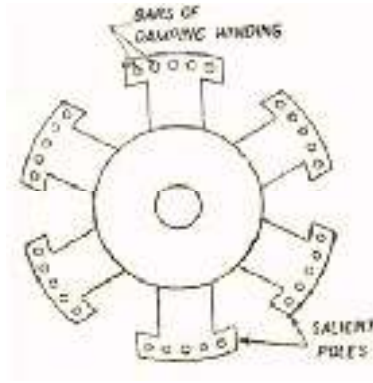
#### b. Kumparan Rotor (Kumparan Medan)

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

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet dapat berupa silent pole (kutub menonjol) dan non silent pole (kutub silinder).

#### a. Jenis Kutub Menonjol (Silent Pole)

Pada jenis silent pole, kutub magnet menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan belitan medannya dihubungkan seri. Ketika belitan medan ini disuplai dari exciter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub berlawanan. Gambaran bentuk kutub menonjol generator sinkron seperti pada gambar 2.6 :



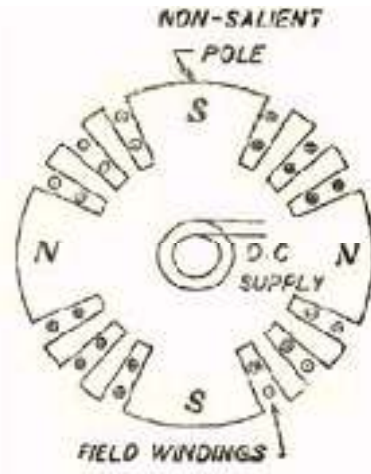
Gambar 2.6 Rotor kutub menonjol

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putar rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

- Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi angin yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.
- Konstruksi kutub menonjol tidak cukup kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.

#### b. Jenis Kutub Silindris (Non Silent Pole)

Pada jenis non silent pole, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor. Jenis rotor ini terbuat dari baja tempa halus yang berbentuk silinder yang mempunyai alur-alur terbuat di sisi luarnya. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang dienerjais oleh eksiter. Gambaran bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7 Rotor kutub silindris

Rotor silinder umumnya digunakan pada generatorsinkron dengan kecepatan putar tinggi (1500 atau 3000 rpm) seperti yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan tinggi karna:

- Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik yang baik pada kecepatan putar tinggi
- Distribusi disekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.

### 2.3 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja dari suatu generator sinkron adalah:

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 Power) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.

$$n = \frac{120.f}{p} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana : n = kecepatan putar rotor (rpm)

p = Jumlah kutub rotor

$f = \text{frekuensi (Hz)}$

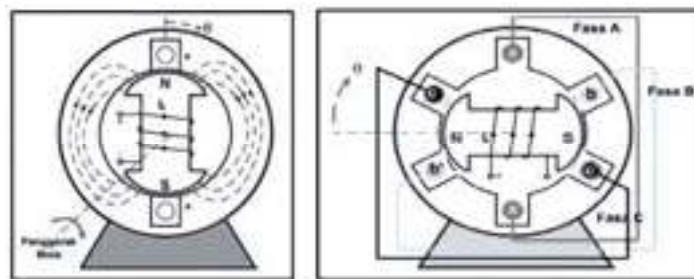
- Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar, sehingga kumparan jangkar yang terletak di stator akan menghasilkan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut, hal tersebut sesuai dengan persamaan:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

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  $120^\circ$  satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

### 2.4 Reaksi Jangkar Generator Sinkron

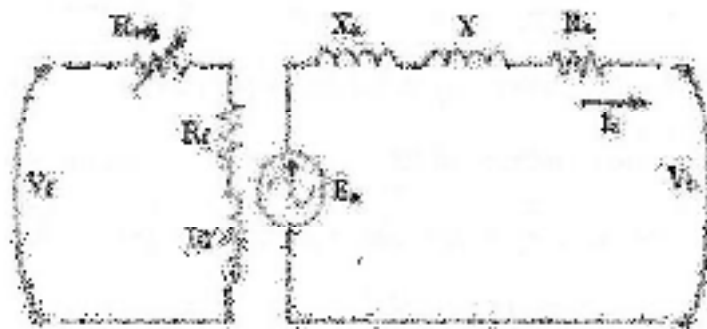
Saat generator sinkron bekerja pada beban nol tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator), sehingga yang ada pada celah udara hanya fluksi arus medan rotor. Namun jika generator sinkron diberi beban, arus jangkar  $I_a$  akan mengalir dan membentuk fluksi jangkar. Fluksi jangkar ini kemudian mempengaruhi fluksi arus medan dan akhirnya menyebabkan berubahnya harga tegangan terminal generator sinkron. Reaksi ini kemudian dikenal sebagai reaksi jangkar seperti pada gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8 Reaksi jangkar

## 2.5 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron

Stator merupakan group belitan jangkar yang terbuat dari tembaga. Belitan-belitan ini diletakkan pada alur-alur (slot), dimana suatu belitan konduktor akan mengandung tahanan (R) dan induktansi (L), maka belitan stator akan mengandung tahanan stator ( $R_A$ ) dan induktansi sendiri ( $L_A$ ). Akibat adanya pengaruh reaktansi reaksi jangkar  $X_a$  dan reaktansi bocor jangkar  $X$  maka rangkaian ekivalen suatu generator sinkron dapat dibuat seperti gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9 Rangkaian ekivalen generator sinkron

Dengan melihat gambar 2.9 maka dapat dituliskan persamaan tegangan generator sinkron sebagai berikut :

$$E_a = V_t + (R_a + jX_a) I_a \dots\dots\dots (2.4)$$

Dan persamaan terminal generator sinkron dapat ditulis

$$V_t = E_a - (R_a - j (X_a + X) I_a \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan menyatakan reaktansi reaksi jangkar dan reaktansi fluks bocor sebagai reaktansi sinkron, atau  $X_s = X_a + X$  dapat dilihat pada gambar 2.8 maka persamaan menjadi :

$$V_t = E_a - (R_a + jX_s) I_a \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$V_f$  = Tegangan Eksitasi (Volt)

$R_f$  = Tahanan Belitan Medan (Ohm)

$L_f$  = Induktansi Belitan Medan (Henry)

$R_{adj}$  = Tahanan Varibel (Ohm)

$E_a$  = Ggl yang dibangkitkan generator sinkron (Volt)

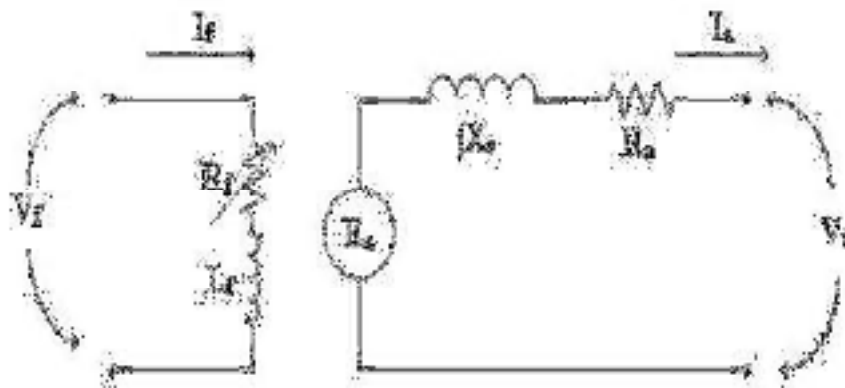
$V_t$  = Tegangan terminal generator sinkron (Volt)

$X_a$  = Reaktansi armatur (Ohm)

$X$  = Reaktansi Bocor (Ohm)

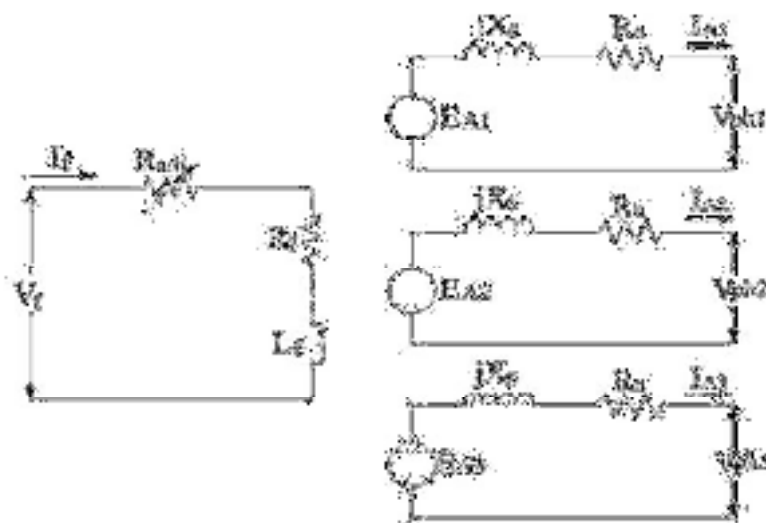
$X_s$  = Reaktansi sinkron (Ohm)

$I_a$  = Arus Jangkar (Ampere)



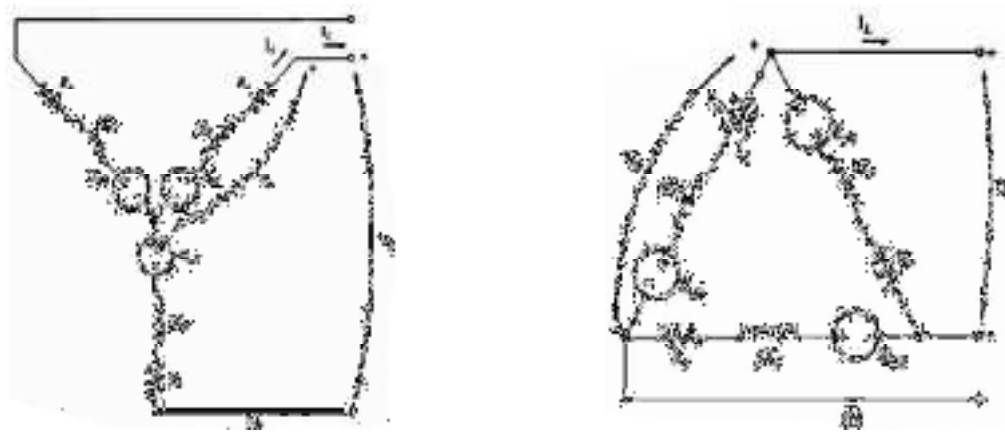
Gambar 2.10 Rangkaian generator sinkron

Karena tegangan yang dibangkitkan oleh generator sinkron adalah tegangan bolak-balik tiga fasa maka gambar yang menunjukkan hubungan tegangan induksi perfasa dengan tegangan terminal generator akan ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut :



Gambar 2.11 Rangkaian ekivalen generator sinkron tiga fasa

Sementara itu rangkaian ekivalen generator sinkron tiga fasa untuk tiap jenis hubungan ditunjukkan oleh Gambar 2.12 berikut ini :



Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen belitan stator tiga fasa generator sinkron

(a). hubungan – Y dan (b). hubungan –  $\Delta$

## 2.6 Metode Pengaturan Tegangan Generator Sinkron

Cara menentukan pengaturan tegangan untuk mesin-mesin kecil dapat diperoleh dengan cara langsung, yaitu generator sinkron diputar pada kecepatan nominal, eksitasi diatur sehingga menghasilkan tegangan nominal (V) pada beban penuh, kemudian beban dilepas dengan menjaga agar putaran tetap konstan. Maka akan diperoleh harga tegangan pada beban nol ( $E_0$ ) sehingga regulasi tegangan dapat dihitung.

Untuk mesin-mesin besar, metode yang digunakan untuk menentukan regulasi tegangan dengan cara langsung seringkali tidak dapat dilakukan. Hal ini disebabkan oleh rating KVA yang sangat tinggi. Terdapat beberapa metode tidak langsung yang hanya memerlukan sejumlah kecil daya yang diperlukan pada metode langsung. Beberapa metode tersebut antara lain :

- a) Metode impedansi sinkron
- b) Metode ampere lilit
- c) Metode potier
- d) Metode new ASA (*American Standard Association*)

Dimana, untuk penulisan ini penulis menggunakan metode impedansi sinkron. Metode impedansi sinkron memerlukan data-data sebagai berikut :

1. Karakteristik beban nol atau *open circuit characteristic* (OCC)

Sama seperti kurva magnetisasi pada suatu mesin DC, karakteristik beban nol dari suatu generator sinkron adalah kurva antara tegangan terminal jangkar (tegangan phasa-phas) pada keadaan hubungan terbuka dan arus medan ketika generator sinkron (alternator) bekerja pada kecepatan nominal.

2. Karakteristik hubung singkat atau *short circuit characteristic* (SCC)

Karakteristik hubung singkat (SCC) ditentukan dengan cara terminal-terminal armatur dihubung singkat melalui ampere meter dan arus medan ( $I_f$ ) bernilai hampir dua kali arus nominal. Selama test ini kecepatan yang mungkin bukan kecepatan sinkron harus dijaga konstan. Untuk metode portier faktor daya adalah nol.

Tidak diperlukan pembacaan lebih dari sekali karena SCC merupakan suatu garis lurus yang melewati titik awal. Hal ini disebabkan karena tahanan jangkar  $R_a$  lebih kecil daripada reaktansi sinkron ( $X_s$ ), arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) tertinggal hampir sebesar  $90^\circ$  terhadap tegangan terinduksi  $V_f$ . Akibatnya fluks armatur ( $\Phi_a$ ) dan fluks medan ( $\Phi_f$ ) berlawanan arah sehingga fluks resultan ( $\Phi_R$ ) bernilai kecil, pengaruh saturasi akan diabaikan dan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) berbanding lurus dengan arus medan melebihi batas (range) dari nol sampai melampui arus nominal.



## **BAB III**

### **KARAKTERISTIK GENERATOR SINKRON**

### **DAN METODE PENGATUR TEGANGAN**

#### **3.1 Umum**

Struktur generator hidrolik terdiri dari braket atas, stator, rotor, rem braket bawah pipa, pendingin udara, sistem pengukur suhu dan sebagainya.

##### a) Bracket Upper

Braket Upper adalah braket pemuatan dari pelat baja dengan tipe kaki radial dengan jumlah total kira-kira 103 ton (termasuk berat bagian yang berotasi baik dari turbin air dan generator dan dorongan air aksial dari turbin). Fleksibilitas braket atas tidak akan melebihi 1 mm sehingga dapat dipastikan unit untuk beroperasi dengan aman.

##### b) Pendingin Oli

Struktur pendingin oli sudah terpasang didalam. Terdiri dari pipa tembaga, diameter luarnya adalah 19  $\varphi$  dan diameter dalam 17  $\varphi$ . Tekanan air pendingin tidak lebih dari 0.4 Mpa.

c) Stator

Bingkai stator terdiri dari pengelasan pelat baja dengan diameter 4000 $\varphi$  mm, tinggi 1980 mm. Inti stator terbuat dari 0,5 mm pelat baja silikon berkualitas tinggi. Gulungan stator adalah gulungan melingkar, yang merupakan termoset dalam bentuk tertentu dengan epoksi mika dengan jumlah 150 buah, dan terhubung 5Y tiga kabel terhubung keluar dan tiga potong kabel keluar netral disediakan. Kumputan stator adalah insulasi kelas F, yang dapat bekerja dengan aman dan terus menerus dibawah 140° C.

d) Rotor

Rotor terdiri dari poros utama dan tiang, dan lain-lain.

- Poros Utama

Poros utama dilengkapi oleh empat segmen dan poros bagian luar berbentuk T slot untuk memasang tiang rotor.

- Tiang Rotor

Tiang termasuk tiang inti, tiang kumputan dan papan pendukung atas / bawah. Inti tiang dilaminasi dan ditekan dengan ketebalan pelat baja 1,5 mm.gulungan medan adalah isolasi kelas F yang dapat bekerja dengan aman dan terus menerus dibawah 150° C.

e) Pipa Rem

Empat potong rem piston ganda 160 silinder digunakan dalam sistem pengereman generator ketika unit dimasukkan ke dalam penghentian dengan penurunan kecepatan 30 %.

f) Air Cooler

Air cooler adalah pendingin string. Ada 6 pendingin udara yang disediakan digenerator. Suhu udara tidak akan lebih dari 40° setelah pendinginan. Total air tidak akan lebih dari 0.4 mPa. Jumlah air yang didinginkan untuk pendingin adalah sekitar 120 m/jam.

### 3.2 Karakteristik Generator Sinkron

Generator diputar oleh suatu tenaga penggerak mula berupa turbin untuk menghasilkan tenaga listrik. Pada prinsipnya putaran generator adalah tetap demikian pula dengan halnya putaran generator dalam pembuatan karakteristik-karakteristik harus diperhatikan.

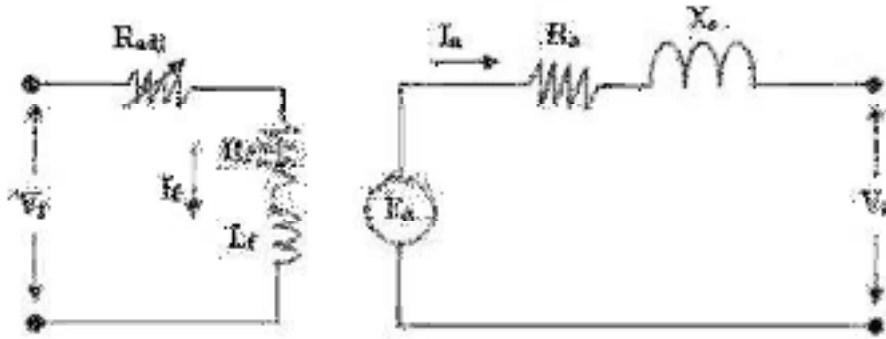
Karakteristik-karakteristik itu adalah :

- a.) Karakteristik tanpa beban
- b.) Karakteristik hubung singkat
- c.) Karakteristik luar
- d.) Karakteristik pengaturan

#### 3.2.1 Karakteristik Tanpa Beban Generator Sinkron : $E_0 = f(I_f)$

Berdasarkan gambar 3.1, karakteristik tanpa beban (beban nol) pada generator sinkron dapat ditentukan dengan melakukan test beban nol (open circuit) yang memiliki langkah-langkah sebagai berikut :

- a.) Terminal generator dibuka
- b.) Generator diputar pada kecepatan nominal ( $n$ )
- c.) Arus medan ( $I_f$ ) dinaikan dari nol hingga maksimum secara bertahap
- d.) Catat harga tegangan terminal ( $V_t$ ) pada setiap harga arus medan ( $I_f$ )
- e.) Untuk mencari nilai reaktansi sinkron ( $X_s$ )
- f.) Reaktansi sinkron dicari untuk mengetahui regulasi tegangan.



Gambar 3.1 Rangkaian test tanpa beban

Dari gambar 3.1 dapat diperoleh persamaan umum generator :

$$E_a = V_t + I_a (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.1)}$$

Pada hubungan generator terbuka (beban nol),  $I_a = 0$ , dan  $E_0$  adalah tegangan tanpa beban, maka :

$$E_0 = E_a = V_t = cn\phi \text{ ----- (3.2)}$$

Dengan  $\phi = I_f$ , sehingga :

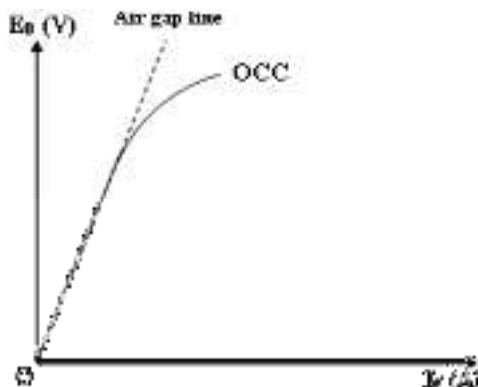
$$E_0 = cnI_f \text{ ----- (3.3)}$$

Nilai  $cn$  adalah konstan sehingga persamaan menjadi :

$$E_0 = k_1 \cdot I_f \text{ ----- (3.4)}$$

Dimana  $k_1 = cn$

Berikut diperlihatkan grafik hubungan  $E_0$  vs  $I_f$  yang disebut juga dengan karakteristik hubung singkat terbuka dari generator atau OCC (*Open-circuit characteristic*).



Gambar 3.2 Karakteristik hubung terbuka

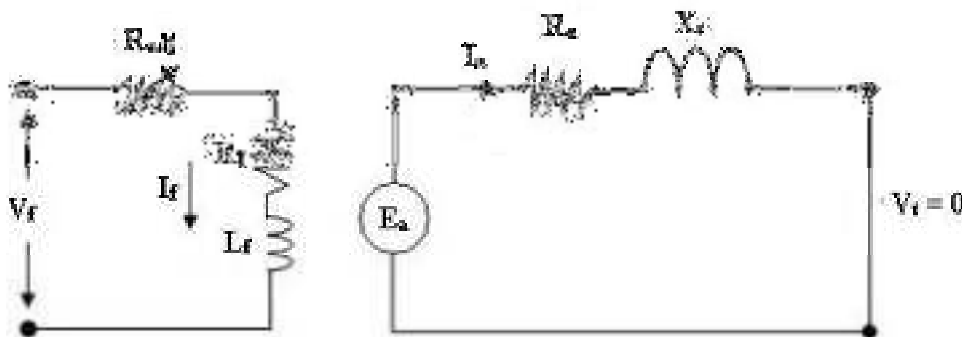
Dari gambar 3.2 di atas terlihat bahwa pada awalnya kurva berbentuk hampir benar-benar linear. Hingga pada harga-harga arus medan ( $I_f$ ) yang tinggi, bentuk kurva mulai terlihat saturasi. Inti besi yang tidak jenuh dalam bingkai mesin sinkron memiliki reluktansi beberapa ratus kali lebih rendah dari pada reluktansi air gap. Ketika inti besi mengalami saturasi, reluktansi besi meningkat secara drastis dan fluksi meningkat lebih lambat, bentuk linear dari grafik OCC disebut karakteristik air gap line.

### 3.2.2 Karakteristik Hubung Singkat Generator Sinkron : $I_{sc} = f(I_f)$

Untuk menentukan karakteristik dan parameter hubung singkat generator sinkron terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan antara lain :

- a.) Hubung singkat terminal
- b.) Generator diputar pada kecepatan normal
- c.) Atur arus medan ( $I_f$ )
- d.) Ukur arus armatur ( $I_a$ ) pada setiap peningkatan arus medan ( $I_f$ )
- e.) Membuat arus hubung singkat sebagai fungsi arus medan

Rangkaian test hubung singkat pada generator sinkron akan diperlihatkan pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Gambar rangkaian hubung singkat

Dari gambar 3.3, persamaan umum generator sinkron dihubung singkat adalah :

$$E_a = V_t + I_a (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.5)}$$

Pada saat generator sinkron dihubung singkat,  $V_t = 0$  dan  $I_a = I_{sc}$ , maka,

$$E_a = I_{sc} (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.6)}$$

$$\text{cn}\phi = I_{sc} (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.7)}$$

$$\text{cn}I_f = I_{sc} (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.8)}$$

karena  $\text{cn}$  dan  $(R_a + jX_s)$  bernilai konstan, maka :

$$\text{cn} = k_1 \text{ ----- (3.9)}$$

$$(R_a + jX_s) = k_2 \text{ ----- (3.10)}$$

Sehingga persamaan menjadi :

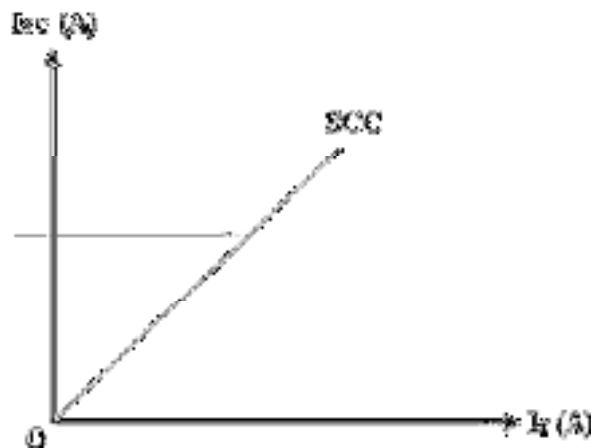
$$k_1 \cdot I_f = I_{sc} \cdot k_2 \text{ ----- (3.11)}$$

$$I_{sc} = \frac{k_1}{k_2} \text{ ----- (3.12)}$$

$$I_{sc} = k I_f \text{ ----- (3.13)}$$

Dimana  $k = \frac{k_1}{k_2}$

Pada karakteristik generator hubung singkat bentuk kurva adalah linear. Hal ini disebabkan oleh medan magnet yang terjadi sangat kecil sehingga inti besi tidak mengalami saturasi. Gambar 3.4 berikut akan memperlihatkan karakteristik hubung singkat pada generator sinkron, yaitu  $I_{sc}$  vs  $I_f$ .



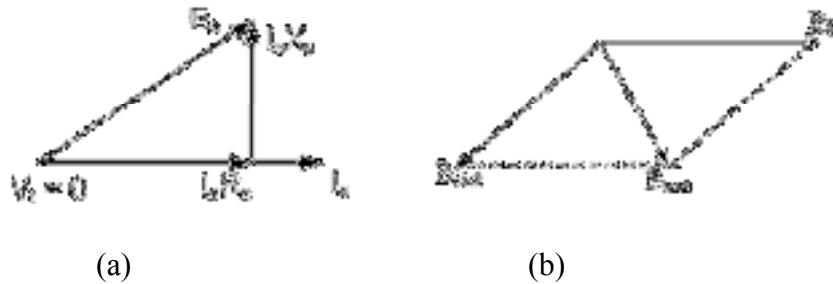
Gambar 3.4 Karakteristik hubung singkat

Ketika generator dihubung singkat, arus armatur :

$$E_a = I_a (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.14)}$$

$$I_a = I_{sc} = \frac{E_a}{R_a + jX_s} \text{ ----- (3.15)}$$

Gambar 3.5 berikut menunjukkan diagram fasor dan medan magnet yang dihasilkan pada generator yang dihubung singkat.



Gambar 3.5 (a) Diagram fasor hubung singkat

(b) Diagram fasor medan magnet saat hubung singkat

Karena  $B_{stat}$  hampir meniadakan  $B_r$ , medan magnet  $B_{net}$  sangat kecil. Oleh karena itu, mesin tidak saturasi dan SCC berbentuk linear.

Dari kedua test tersebut diperoleh :

- $E_a$  dari test beban nol (*open circuit*)
- $I_a$  dari test hubung singkat (*short circuit*)

Diperoleh impedansi sinkron :

$$Z_s = \sqrt{R_a^2 + X_s^2} = \frac{E}{I_a} \text{ ----- (3.17)}$$

### 3.2.3 Karakteristik Berbeban Generator Sinkron : $V_t = f(I_f)$

Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal akan berubah-ubah pula, hal ini disebabkan karena adanya kerugian tegangan pada :

- a. Resistansi Jangkar

Resistansi jangkar ( $R_a$ ) menyebabkan kerugian tegangan jatuh,  $R_a$  yang

Sefasa dengan arus jangkar.

b. Reaktansi Bocor Jangkar

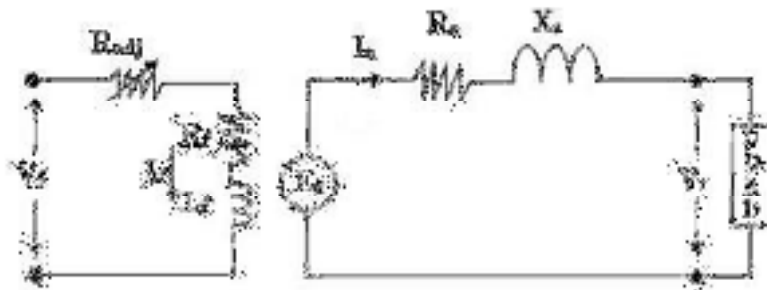
Saat arus mengalir melalui penghantar jangkar, sebagian fluks yang terjadi tidak menimbas pada jalur yang ditentukan, hal seperti ini disebut “fluks bocor”.

c. Reaksi Jangkar

Adanya arus yang mengalir pada kumparan jangkar saat dibebani akan menimbulkan fluks jangkar ( $\phi_A$ ) yang berintegrasi dengan fluks yang dihasilkan pada kumparan medan rotor ( $\phi_F$ ), sehingga akan dihasilkan suatu fluks resultan sebesar  $\phi_R = \phi_A + \phi_F$

Beberapa langkah untuk menentukan parameter generator sinkron berbeban antara lain sebagai berikut :

- a) Hubungkan beban  $Z_L$  pada terminal generator
- b) Generator diputar pada kecepatan nominal ( $n$ )
- c) Arus medan ( $I_f$ ) dari nol hingga maksimum secara bertahap
- d) Catat tegangan terminal  $V_t$  pada setiap peningkatan arus medan ( $I_f$ )



Gambar 3.6 Rangkaian generator sinkron berbeban

Dari gambar 3.6 diperoleh persamaan umum generator sinkron berbeban :

$$E_a = V_t + I_a (R_a + jX_s)$$

$$V_t = E_a - I_a (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.18)}$$

$$V_t = cnI_f - I_a (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.19)}$$

Pada generator berbeban  $I_a = I_L$ , sehingga



$$V_t = cnI_f - I_L (R_a + jX_s) \quad \text{-----} \quad (3.20)$$

$I_L$  bernilai konstan karena beban ( $Z_L$ ) tetap dan nilai  $cn$  juga konstan, maka :

$$C n = k_1 \quad \text{-----} \quad (3.21)$$

$$I_L (R_a + jX_s) = K_2 \quad \text{-----} \quad (3.22)$$

Maka :

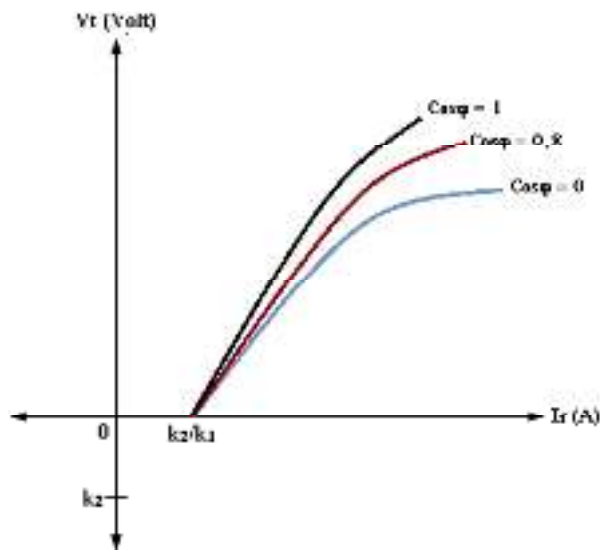
$$V_t = k_1 I_f - k_2 \quad \text{-----} \quad (3.23)$$

$$k_2 = k_1 I_f - V_t \quad \text{-----} \quad (3.24)$$

$$\frac{K_1}{K_2} = I_f \frac{V_t}{K_1} \quad \text{-----} \quad (3.25)$$

Pada saat  $V_t = 0$  maka :

$$\frac{K_2}{K_1} = I_f \quad \text{-----} \quad (3.26)$$



Gambar 3.7 Karakteristik generator sinkron berbeban

### 3.2.4 Karakteristik Luar Generator Sinkron : $V_t = f(I_L)$

Karakteristik ini akan memperlihatkan pengaruh terhadap perubahan arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan terminal generator sinkron ( $V_t$ ). Dalam penentuan karakteristik luar generator sinkron, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- a.) Kecepatan putar generator sinkron ( $n$ ) tetap
- b.) Arus medan ( $I_f$ ) konstan
- c.) Faktor daya ( $\cos\phi$ ) tetap

Dari rangkain generator sinkron berbeban yang telah diperlihatkan pada Gambar 3.6 diperoleh persamaan :

$$E_a = V_t + I_a (R_a + jX_s)$$

Dalam hal ini  $I_a = I_L$

Maka :

$$V_t = E_a - I_L (R_a + jX_s) \text{ ----- (3.28)}$$

$$V_t = c n \phi - I_L Z_s \text{ ----- (3.29)}$$

$$V_t = c n I_f - I_L Z_s \text{ ----- (3.30)}$$

Karena  $c$ ,  $n$  dan  $I_f$  konstan :

$$k_1 = c n I_f \text{ ----- (3.31)}$$

Nilai  $Z_s$  konstan :

$$K_2 = Z_s \text{ ----- (3.32)}$$

Sehingga :

$$V_t = k_1 - I_L k_2 \text{ ----- (3.33)}$$

Jika arus beban ( $I_L$ ) = 0 (beban nol), maka :

$$V_t = k_1 \text{ ----- (3.34)}$$

Jika tegangan terminal ( $V_t$ ) = 0 (hubung singkat), maka :

$$I_L = \frac{k_1}{k_2} \text{-----} (3.35)$$

### 3.2.5 Karakteristik Pengaturan Generator Sinkron : $I_f = f(I_L)$

Karakteristik ini menunjukkan hubungan antara perubahan arus beban terhadap arus medan ( $I_f$ ) generator sinkron. Dimana dalam karakteristik perlu diperhatikan hal-hal berikut :

- a.) Tegangan terminal  $V_t$  dijaga konstan
- b.) Putaran tetap
- c.) Faktor daya ( $\cos\phi$ ) tetap
- d.) Arus beban ditambah secara bertahap
- e.) Arus beban bisa dari konsumen maupun pemakaian sendiri

Persamaan untuk generator berbeban (Gambar 3.6) :

$$E_a = V_t + I_a (R_a + jX_s)$$

Pada generator berbeban :

$$I_l = I_a$$

Sehingga :

$$E_a = V_t + I_l(R_a + jX_s) \text{-----} (3.36)$$

$$c n I_f = V_t + I_l Z_s$$

$$c n I_f = V_t + I_l Z_s$$

$$I_f = \frac{V}{cn} - \frac{I_l Z_s}{cn} \text{-----} (3.37)$$

Karena nilai  $c, n, V_t$ , dan  $Z_s$  konstan, maka :

$$cn = k_1$$

$$V_t = k_2$$

$$Z_s = k_3$$

Sehingga diperoleh :

$$I_f = \frac{k_2}{k_1} - \frac{k_3 I}{k_1} \text{-----} (3.38)$$

Jika,

$$\frac{K_2}{k_1} = k_4$$

$$\frac{K_3}{k_1} = k_5$$

Maka,

$$I_f = k_4 - k_5 I_L \text{ ----- (3.39)}$$

### 3.2.6 Menentukan Impedansi Dan Reaktansi Sinkron

Jika tidak terjadi saturasi, impedansi sinkron ( $Z_s$ ) akan bernilai tetap. Secara aktual  $Z_s$  bervariasi saat terjadi saturasi. Untuk menghitung regulasi tegangan, hanya satu nilai  $Z_s$  yang digunakan didalam perhitungan. Nilai impedansi sinkron ( $Z_s$ ) dan reaktansi sinkron ( $X_s$ ) per fasa dapat dihitung.

$$Z_c = \frac{E_{bn}}{I_{cc}}$$

$$X_c = f Z_{2c} - r_{2a}$$

Dimana :

$E_{bn}$  = Tegangan induksi beban nol saat terjadi saturasi pada arus medan tertentu ( volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat pada arus medan yang sama saat saturasi (ampere)

$Z_s$  = Impedansi sinkron (ohm)

$X_s$  = Reaktansi sinkron (ohm)

$R_a$  = Tahanan jangkar (ohm)

### 3.3 Pengendalian Tegangan Terminal Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin listrik yang banyak digunakan pada pembangkit saat ini. Didalam mensuplai energi listrik ke konsumen, generator sinkron dipengaruhi oleh besar beban yang selalu berubah-ubah. Perubahan beban ini mengakibatkan perubahan pada faktor daya dan arus beban yang mengalir. Perubahan dua hal tersebut tentu saja berpengaruh juga pada stabilitas tegangan keluaran Generator Sinkron. Karena tegangan keluaran dituntut untuk selalu stabil, sehingga untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran, diaturlah kuat arus eksitasinya.

Eksitasi pada generator sinkron adalah pemberian arus searah pada belitan medan yang terdapat pada rotor. Sesuai dengan prinsip elektromagnetik yaitu apabila suatu konduktor yang berupa kumparan yang dialiri listrik arus searah maka kumparan tersebut akan menjadi magnet sehingga akan menghasilkan fluks-fluks magnet. Apabila kumparan medan yang telah diberi arus eksitasi diputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar yang terdapat pada stator akan terinduksi oleh fluks-fluks magnet yang dihasilkan kumparan medan sehingga akan menghasilkan tegangan listrik bolak-balik. Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung kepada besarnya arus eksitasi dan putaran. Jika arus eksitasi dan putaran semakin besar maka akan semakin besar juga tegangan yang akan dihasilkan oleh sebuah generator.

Sistem eksitasi generator sinkron terus mengalami perkembangan seiring dengan peningkatan kapasitas generator itu sendiri. Pada generator sinkron, arus medan diperlukan untuk membangkitkan medan magnet rotor disuplai dari sumber daya arus searah tertentu. Karena kumparan medan terletak pada rotor yang berputar, maka diperlukan perancangan khusus untuk membentuk rangkaian sumber daya arus searah terhadap kumparan medan.

Penggunaan slip ring dan sikat, biasanya digunakan pada generator yang berkapasitas kecil. Slip ring ini terbuat dari bahan metal dan biasanya telah terpasang pada poros mesin tetapi terisolasi dari poros tersebut. Dimana kedua ujung belitan medan pada rotor dihubungkan ke slip ring tersebut. Dengan menghubungkan terminal positif dan negatif sumber arus searah ke slip ring melalui sikat, maka belitan medan akan mendapatkan suplai energi listrik arus searah dari sumber luar. Penggunaan slip ring dan sikat menimbulkan sedikit masalah ketika digunakan untuk mensuplai sumber tegangan arus searah kebelitan medan pada generator sinkron, karena menggunakan slip ring dan sikat ini menambah biaya perawatan pada mesin. Selama pemakaian slip ring dan sikat ini harus diperiksa secara teratur, bahkan dengan pemakaian slip ring dan sikat ini dapat menyebabkan rugi-rugi daya yang cukup besar akibatnya ada drop tegangan pada terminal sikat, terutama pada mesin yang arus medannya cukup besar. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah ini maka digunakan penguatan statis. Didalam pengendalian tegangan terminal pada PLTA Wampu Electric Power menggunakan sistem, yakni :

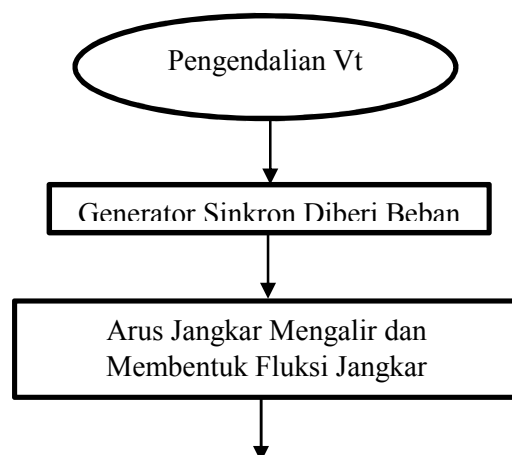
Untuk generator berkapasitas besar, penguat tanpa sikat digunakan untuk mensuplai arus searah kebelitan medan yang ada pada rotor mesin. Penguat tanpa sikat ini merupakan sebuah generator kecil dimana rangkaian medannya berada dalam stator, sedangkan jangkarnya berada

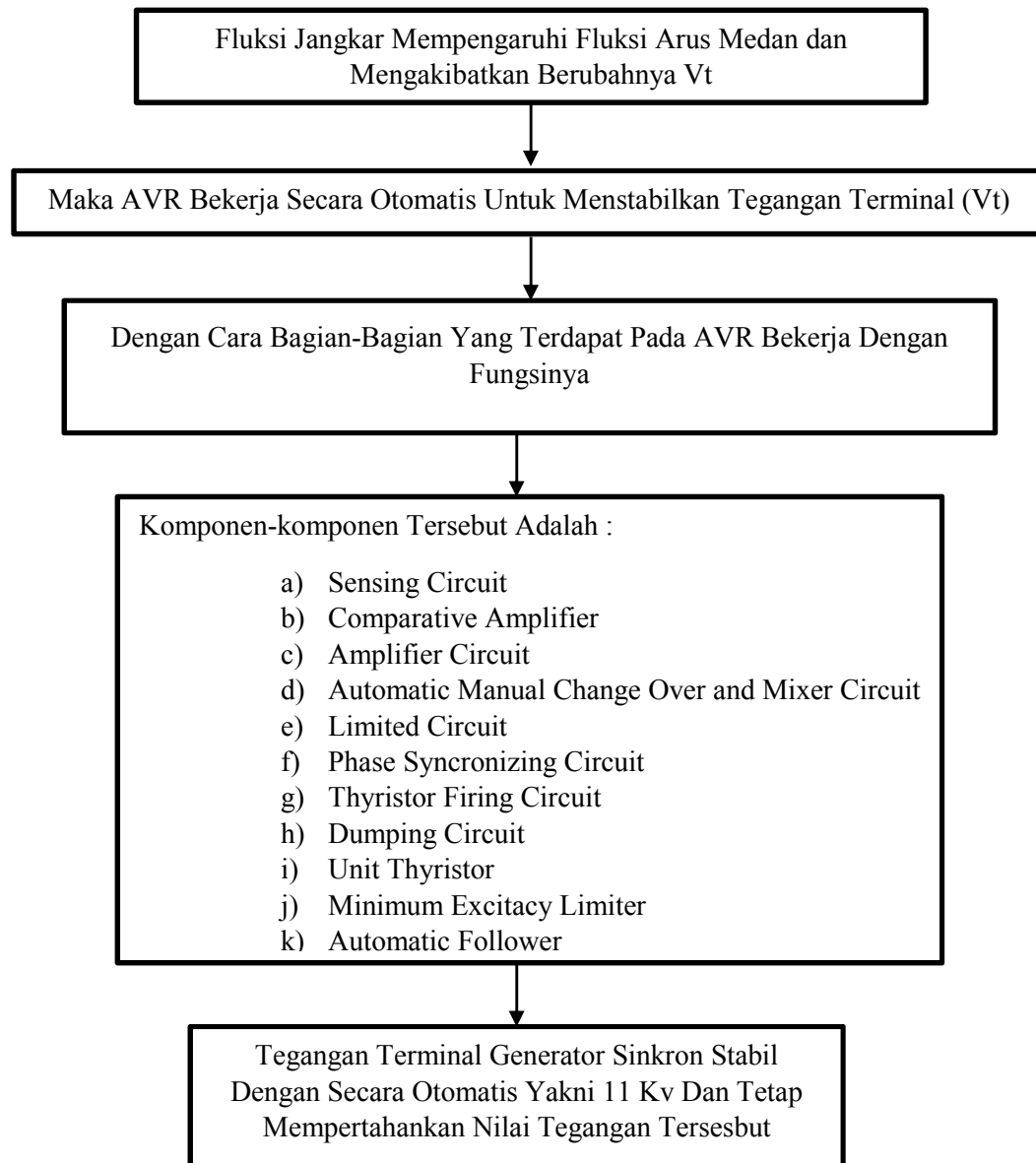
dirotor. Daya keluaran tiga fasa dari generator penguat ini disearahkan oleh penyearah untuk mendapatkan sumber arus searah. Pada PLTA Wampu Electric Power memakai sistem eksitasi :

- Sistem eksitasi dengan main ac exciter dan stationary solid-state rectifier

Sistem aplikasi ini terdiri dari ac exciter utama (main ac exciter) dan penyearah statis (stationary solid-state rectifier). Exciter utama ac yang dikopel dengan poros generator sinkron, mempunyai belitan medan yang berputar dan belitan jangkar yang statis. Output jangkar dari exciter utama ac mempunyai frekuensi sekitar 400 Hz. Output ini disearahkan oleh penyearah statis (stationary solid-state rectifier). Setelah disearahkan sumber dc digunakan untuk mensuplai belitan medan utama generator sinkron menggunakan slip ring dan sikat karbon. Akibatnya arus searah mengalir ke dalam rotor atau kumparan medan sehingga menimbulkan medan magnet yang diperlukan untuk dapat menghasilkan tegangan arus bolak-balik pada generator sinkron.

### 3.3.1 Flowchart Pengendalian Tegangan Terminal ( $V_t$ ) Generator Sinkron





### 3.4 Automatic Voltage Regulator (AVR)

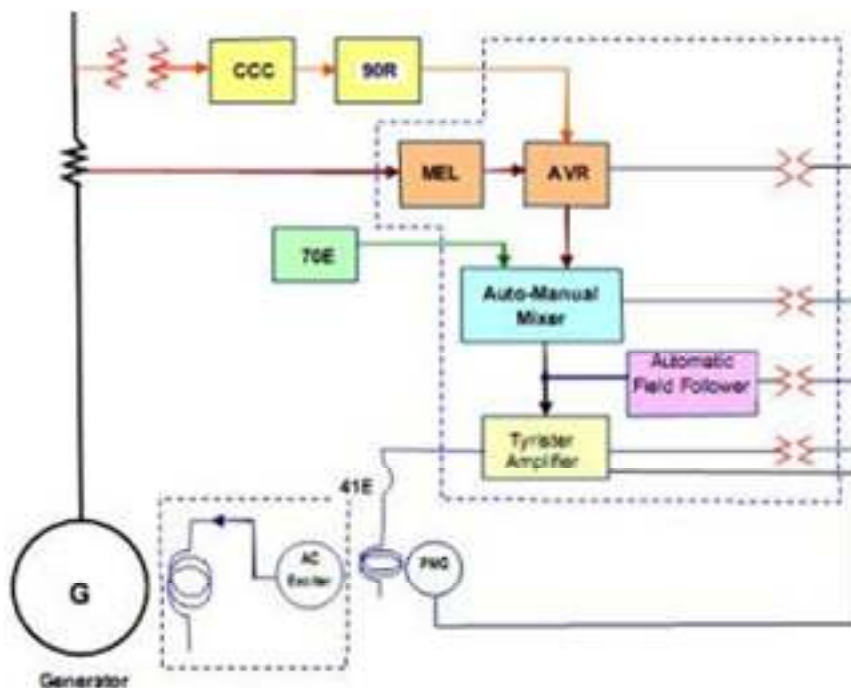
AVR (*Automatic Voltage Regulator*) adalah sebuah system kelistrikan yang berfungsi untuk menjaga agar tegangan generator tetap konstan dengan kata lain generator akan tetap mengeluarkan tegangan yang selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah, dikarenakan beban sangat mempengaruhi tegangan output generator. Sistem AVR pada pembangkit sangat penting peranannya.

### 3.5 Prinsip Kerja AVR

Prinsip kerja dari AVR adalah mengatur arus penguatan (*excitacy*) pada exciter. Apabila tegangan output generator dibawah tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan pada exciter. Dan juga sebaliknya apabila tegangan output generator melebihi tegangan nominal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan 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 maksimum ataupun minimum yang bekerja secara otomatis.

Disamping sebagai pengatur tegangan rangkaian AVR juga dilengkapi dengan alat pengontrol untuk menjamin keandalan dari generator. Jadi tugas utama AVR adalah :

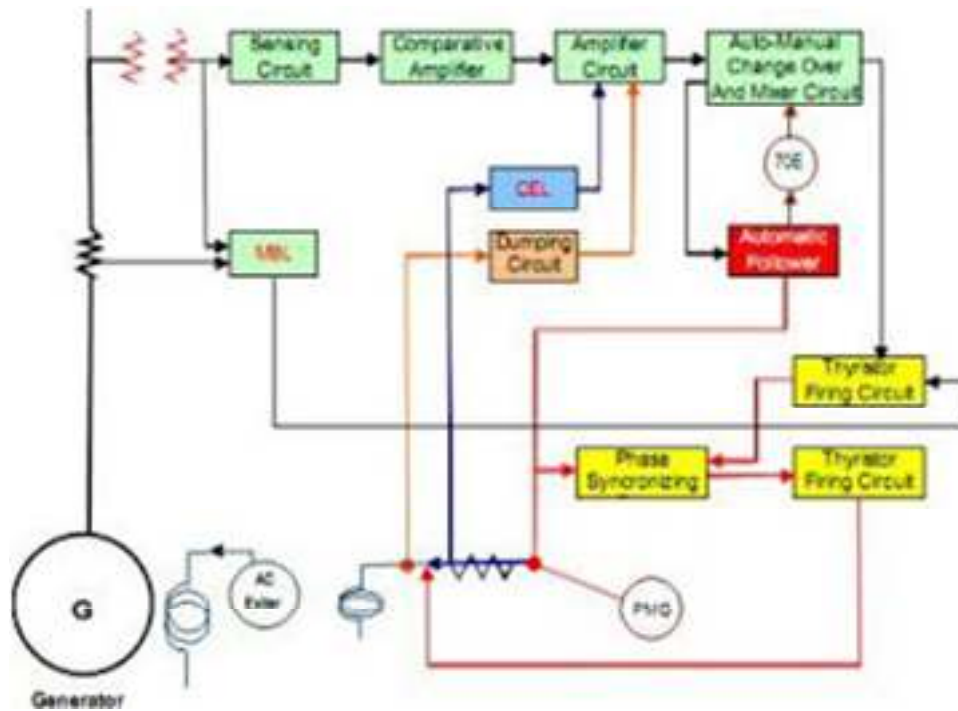
- a. Untuk mengatur keluaran tegangan generator
- b. Untuk mengatur arus eksitasi
- c. Untuk mengatur volt/Hertz



Gambar 3.8 Diagram Sistem Eksitasi

AVR dioperasikan dengan mendapat satu daya dari permanen magnet generaotor.





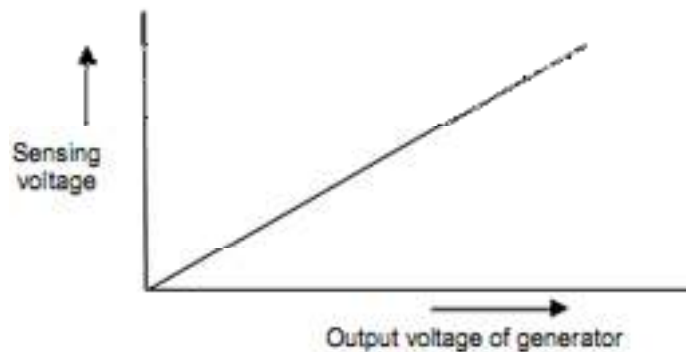
Gambar 3.9 Diagram AVR

Bagian-bagian pada unit AVR

a. Sensing Circuit

Tegangan tiga phase generator diberikan pada sensing circuit melewati power transformer (PT) dan 90R terlebih dahulu, dan tegangan tiga phase keluaran dari 90R diturunkan kemudian disearahkan dengan rangkaian dioda, dan diratakan oleh rangkaian kapasitor dan resistor dan tegangan ini dapat diatur dan  $v_r$  (variable resistor). Keuntungan dari sensing circuit adalah mempunyai respon yang cepat terhadap tegangan output generator.

Output tegangan respon berbanding lurus dengan output tegangan generator berbanding lurus seperti gambar 3.14.



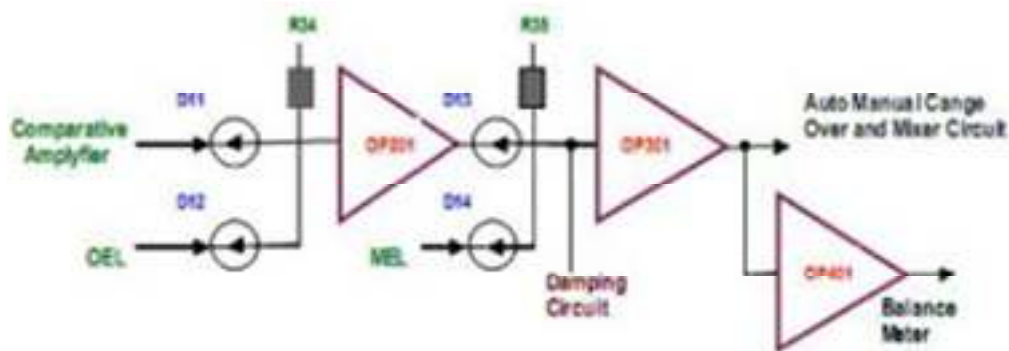
Gambar 3.10 Grafik hubungan sensing tegangan terhadap output generator

b. Comparative Amplifier

Rangkaian comparative amplifier digunakan sebagai pembanding antara sensing circuit dengan set voltage.

c. Amplifier Circuit

Aliran arus dari D11, D12, dan R34 adalah rangkaian penguat utama atau penguatan tingkat terendah. Ketika over excitation limiter (OEL) atau minimum excitation limiter (MEL) tidak operasi maka keluaran dari comparative amplifier dikuatkan oleh OP201 dan OP301 masukan dari OP301 dijumlahkan dengan keluaran dari dumping circuit. OP401 adalah amplifier untuk balance meter hubungan antara tegangan masuk dan tegangan keluaran dari OP201 dan OP401 diperlihatkan pada bagan berikut.



Gambar 3.11 Rangkaian amplifier

d. Automatic Manual Change Over and Mixer Circuit

Rangkaian ini disusun secara auto-manual pemindah hubungan dan sebuah rangkaian untuk mengontrol tegangan penguatan medan generator. Penguatan medan generator dilakukan oleh 70E, dan pada saat automatic manual change over and mixer circuit beroperasi manual maka AVR belum dapat beroperasi. Apabila rangkaian ini pada kondisi auto maka AVR sudah dapat bekerja untuk mengatur besar arus medan generator.

e. Limited Circuit

Limited circuit adalah untuk penentuan pembatasan lebih dan kurang penguatan (excitation) untuk pengaturan tegangan output pada system excitacy, VR125 untuk pembatas lebih dari keluaran terminal C6 dan VR126 untuk pembatas minimal dari keluaran terminal C6.

f. Phase Synchronizing Circuit

Unit thyristor digunakan untuk mengontrol tegangan output dengan menggunakan sinyal control yang diberikan pada gerbang thyristor. Rangkaian fase sinkronisasi berfungsi untuk mengubah besarnya sudut sinyal pada gerbang thyristor yang sesuai dengan tegangan output dari batas sinkronisasi dan sinyal control yang diberikan pada thyristor terdapat sinkronisasi.

g. Thyristor Firing Circuit

Rangkaian ini sebagai pelengkap thyristor untuk memberikan sinyal kontrol.

h. Dumping Circuit

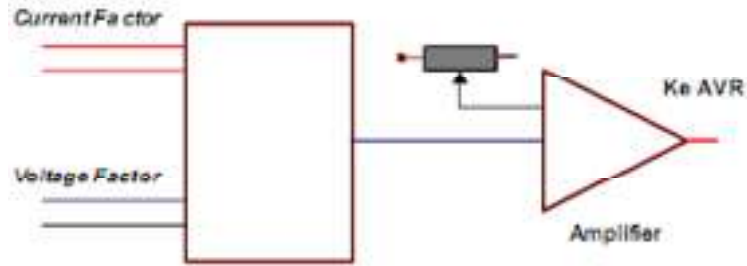
Dumping circuit akan memberikan sensor besarnya penguatan tegangan dari AC exciter dan untuk diberikan ke amplifier circuit dengan dijadikan feed back masukan terminal OP301.

i. Unit Thyristor

Merupakan susunan dari thyristor dan dioda dan juga menggunakan fuse yang digunakan sebagai pengaman lebur dan juga dilengkapi dengan indicator untuk memantau kerja thyristor yang dipasang pada bagian depan thyristor untuk tiap fase diberikan 2 fuse yang disusun secara parallel dan ketika terjadi kesalahan atau putus salah satunya masih dapat beroperasi

j. MEL (Minimum Excitacy Limiter)

MEL yaitu untuk mencegah terjadinya output yang berlebihan pada generator dan adanya penambahan penguatan untuk meningkatkan tegangan terminal generator pada level konstan. Rangkaian ini digunakan untuk mendeteksi operasional dari generator yaitu dengan mendeteksi keluaran tegangan dan arus pada generator. Rangkaian ini juga digunakan untuk membandingkan keluaran tegangan generator dengan eksitasi minimum yang telah diseting. Rangkaian ini akan memberikan batas sinyal pada rangkaian AVR apabila melebihi eksitasi minimum, kemudian output dari MEL dikuatkan dengan amplifier.



Gambar 3.12 Diagram minimum eksitasi limiter

k. Automatic follower

Prinsip kerja dari alat ini adalah untuk melengkapi penguatan dengan pengaturan secara manual oleh 70E. Untuk menyesuaikan pengoperasian generator dalam perbandingan fluktuasi dari tegangan terminal oleh sinyal error. Hal tersebut digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan pada generator. Pengoperasian ini digunakan untuk pengaturan manual yang ketepatan excitacy yang telah disesuaikan. Kondisi pengoperasian generator dan perbandingan fluktuasi dari tegangan terminal oleh sinyal tegangan error. Hal tersebut dijadikan pegangan untuk menjaga kestabilan tegangan pada generator dengan adanya perubahan beban.

### 3.6 Regulasi Tegangan Generator

Dalam metode ini, kita akan memperoleh nilai impedansi sinkron (kemudian reaktansi sinkron  $X_s$ ) sebuah generator sinkron dari karakteristik beban nol (OCC) dan hubung singkat (SCC). Oleh karena itu disebut dengan metode impedansi sinkron.

- Gambarkan karakteristik beban nol (OCC) dari data yang diberikan oleh test beban nol
- Gambarkan karakteristik hubuing singkat (SCC) dari data yang diberikan oleh test hubung singkat.

Arus medan dilambangkan dengan ( $I_f$ ). Tegangan beban nol (hubungan terbuka ) yang berpotongan dengan arus medan. ketika terminal-terminal jangkar di hubung singkat, tegangan terminal bernilai nol. Oleh karena itu dapat diasumsikan bahwa seluruh tegangan  $E_0$  digunakan untuk menggerakkan arus hubung singkat yang disimbolkan dengan  $I_s$  melawan metode impedansi sinkron. Sehingga regulasi tegangan :

$$\% V_R = \frac{(V_{NL} - V_{FL})}{V_{FL}} \times 100 \% \text{ ----- (3.40)}$$

$$V_{NL} = E_0$$

$$V_{FL} = V_t$$

Maka,

$$\% V_R = \frac{(E_0 - V_t)}{V_t} \times 100 \% \text{ ----- (3.41)}$$