

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah peneliti mencari, mempelajari beberapa penelitian yang sudah dulu dilakukan sebelumnya dan sudah di arsipkan dalam wujud buku, terdapat beberapa kesinambungan dan keterkaitan materi yang di bahas dalam buku tersebut dengan penelitian yang akan di lakukan pada Tugas Akhir ini. Penelitian yang di dapat yaitu meliputi permasalahan yang membahas mengenai pembangkitan tenaga listrik, mesin-mesin yang di gunakan, dan sistem yang di gunakan pada pembangkitan tenaga listrik. Adapun penelitian yang di dapat sebagai dasar dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

Sumber pertama yang di temukan yaitu mengenai pembangkitan tenaga listrik oleh Ir.Djiteng Marsudi (2005) yang berjudul “Pembangkitan Tenaga Listrik”. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menjabarkan mengenai bagaimana proses dari sebuah pembangkitan tenaga listrik, instalasi yang di gunakan dari pembangkit listrik, masalah-masalah mengenai oprasi yang di alami pada pusat pembangkit tenaga listrik, sistem yang di gunakan dalam sebuah pembangkit, bagaimana pengembangan pembangkit dan bagaimana menejemen dari pembangkitan tenaga listrik. Berdasar permasalahan tersebut penelitian ini di lakukan terhadap berbagai macam sumber pembangkit tenaga listrik seperti PLTA,PLTU,PLTG dan lain sebagainya yang berkaitan dengan sistem pembangkitan tenaga listrik.

Di dalam penelitian ini membahas dari bagaimana proses awal pembangkitan listrik yang mencakup mengenai proses pembangkitan ,jenis-jenis pembangkitan dan juga instalasi yang di gunakan pada pembangkitan tenaga listrik, serta permasalahan yang di hadapi dan juga

cara pengembangan yang di lakukan untuk mengembangkan pembangkit tenaga listrik.

Hasil penelitian ini memaparkan secara jelas bagaimana sebuah pembangkitan tenaga listrik dari berbagai jenis pembangkit yang bekerja dari awal produksi, yang selanjutnya di proses hingga mendapat tegangan listrik yang sesuai dengan sistem distribusinya dan selanjutnya di distribusikan kepada konsumen.

Sumber yang kedua yang di temukan yaitu membahas tentang analisis terhadap sistem tenaga listrik oleh William D.Stevenson,Jr. (1983). Yang berjudul "*Elements of Power System Analysis*". Pada pembahasannya bertujuan untuk membahas atau menganalisis sistem yang di terapkan pada pemabangkit listrik dan juga memberikan sebuah metode analisis dalam pembangkitan listrik terutama pada bagian transmisi yang di lakukan serta dalam pengoprasian sistemnya. Selain itu penelitian ini juga membahas terkait dengan hal-hal yang menyangkut tentang karakteristik elektris dan juga generator.

Dari permasalahan di atas hasil penelitian ini mencakup berbagai sistem pembangkit listrik yang di lakukan. Selain itu penelitian ini menghasilkan metode analisis dalam setiap sistem yang di gunakan pada pembangkit listrik seperti kapasitas transmisi, hubungan arus tegangan, model sistem, perhitungan jaringan, pengaturan aliran beban, operasi ekonomis, gangguan tiga fasa, dan juga kesetabilan dalam sebuah sistem.

Sumber yang ketiga yang di dapat yaitu mengenai mesin-mesin listrik yang di gunakan dalam sebuah pembangkit tenaga listrik oleh A.E.Fitzgerald (1992) yang berjudul "*Electric Machinery*". Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menjelaskan berbagai jenis mesin listrik dan juga teori-teori dasar dari sebuah peralatan elektromekanis yang menggaris besarkan pembahasan terhadap kontrol, dan mesin-mesin listrik yang menggunakan prinsip putaran.

Berdasar hasil dari pembahasannya di dapat kesimpulan tentang konversi energi pada mesin listrik yang berputar. Selain itu di dapat juga

solusi dari permasalahan yang berkaitan dengan kontrol dan juga pengembangan model dari mesin-mesin listrik. Secara umum penelitian ini menggarisbesarkan pembahasan tentang mesin-mesin listrik yang di gunakan pada pembangkit tenaga listrik agar para pembaca mengetahui fungsi dari setiap mesin atau alat yang di gunakan dalam sebuah pembangkit tenaga listrik.

Sumber yang keempat yaitu mengenai dasar dalam teknik tenaga listrik oleh Drs.Yon Rijono (2004) yang berjudul “Dasar Teknik Tenaga Listrik”. Tujuan dari pembahasannya yaitu membahas tentang dasar-dasar dari tenaga listrik dan juga komponen yang sering di gunakan dalam pembangkit tenaga listrik seperti tansformator dan generator.

Hasil dari penelitian ini di dapat hasil tentang apa itu tenaga listrik dan dasar-dasar pada sebuah pembangkit listrik. Kemudian komponen yang digunakan seperti *transformator* dan juga generator. Dalam pembahasannya menyebutkan lebih dalam mengenai peralatan yang digunakan dan perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan daya yang dihasilkan sebuah pembangkit tenaga listrik dan juga tipe peralatan yang digunakan. Karena setiap mesin yang digunakan memiliki berbagai jenis tipe dengan kemampuan yang berbeda. Disini penulis memaparkan perbedaan dari setiap jenis mesin yang di gunakan secara jelas dan menjelaskan prinsip kerja dari masing-masaing mesin-mesin tersebut. Dengan begini pembaca akan lebih mengerti tentang perbedaan mesin yang di gunakan pada sebuah pembangkit tenaga listrik serta mengetahui perbedaan kapasitas dari setiap mesin atau alat yang di gunakan.

Penelitian yang kelima yaitu mengenai sistem proteksi terhadap sistem tenaga listrik oleh Bonar Pandjaitan (2012) yang berjudul “Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik”. Tentu saja setiap pekerjaan pasti akan ada resiko ataupun permasalahan yang di dapat. Oleh karena itu sebelum kejadian yang tidak diinginkan tersebut terjadi, dibuatlah sebuah sistem yang berfungsi sebagai pengaman atau proteksi dari alat atau mesin yang digunakan. Tujuan dari penulis menyusun buku ini yaitu untuk

memaparkan bagaimana sebuah sistem tenaga listrik berkerja dan juga menjelaskan bagaimana sistem proteksi dari sistem tenaga listrik tersebut.

Hasil dari penelitian tersebut meliputi penjelasan dan pembahasan mengenai proses terbentuknya energi listrik dan juga masalah yang terjadi dalam sebuah pembangkitan energi listrik. Serta sistem yang digunakan untuk melindungi peralatan hingga sistem pembangkit tenaga agar tetap bekerja dengan baik. Secara garis besar penelitian ini menjelaskan lebih detail untuk membahas mengenai sistem proteksi yang di lakukan dalam pembangkitan tenaga listrik, mulai dari sistem proteksi dari mesin yang di gunakan hingga proteksi untuk sistem yang di gunakan dalam pembangkitan tenaga listrik.

Penelitian atau sumber yang terakhir yang di dapat yaitu mengenai dasar-dasar dari tenaga listrik oleh zuhal (1988) yang berjudul “Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya”. Tujuan dari buku ini yaitu untuk memaparkan materi tentang saluran transmisi dan analisis jaringan. Penelitian ini di buat berdasarkan pengalaman dari penulis sebagai pengajar di Universitas di Indonesia.

Hasil dari penelitian ini menjelaskan tentang saluran transmisi dari tegangan listrik dan bagaimana cara menganalisi jaringan yang berupa rumus perhitungan. Selain itu peneliti juga membahas mengenai motor sinkron dan elektronika daya yang berkaitan dengan penelitian yang akan di lakukan.

## **2.2 Landasan Teori**

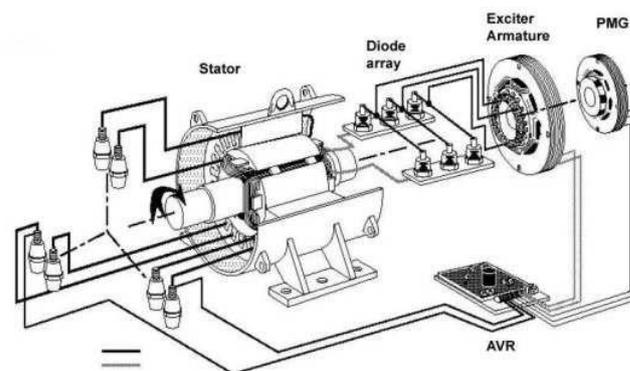
### **2.2.1. Pembangkitan Tenaga Listrik**

Pada era baru ini semakin pesatnya kemajuan teknologi yang sebagian besar bergantung pada tenaga listrik baik itu untuk konsumsi pribadi dalam skala kecil seperti instalasi penerangan atau peralatan rumah tangga ataupun kebutuhan tenaga listrik dalam skala besar seperti pada perusahaan besar yang menggunakan mesin-mesin bertenagakan listrik untuk memproduksi suatu barang

dalam skala besar. Dengan besarnya kebutuhan sumber tenaga listrik ini para penyedia tenaga listrik harus meningkatkan pengoperasian mesin dalam pembangkitan tenaga listrik, agar sumber tenaga listrik yang di hasilkan dapat mencukupi kebutuhan konsumen yang semakin besar dengan daya yang setabil untuk berbagai jenis beban yang berbeda-beda.

Pada pembangkit tenaga listrik mesin yang di pakai kebanyakan menggunakan generator sinkron yang akan menghasilkan arus bolak-balik atau di sebut juga dengan generator sinkron. Dalam sebuah pembangkitan tenaga listrik generator tidak begitu saja dapat di operasikan hingga dapat menghasilkan tenaga listrik. Generator masih membutuhkan suatu tenaga untuk menggerakan generator, lebih tepatnya untuk memutar rotor pada generator sinkron. Tenaga yang di gunakan sebagai penggerak untuk memutar rotor generato

r menggunakan mesin penggerak awal atau disebut juga dengan penggerak mula (*Prime Mover*).



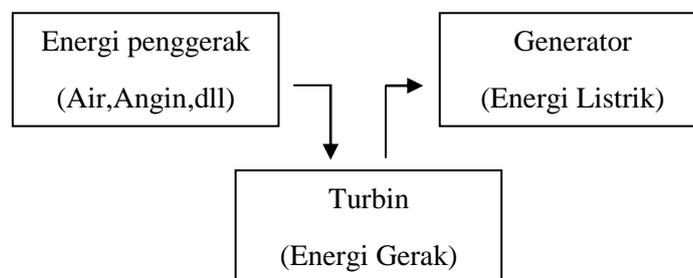
Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik

(Sumber : Ugmagatika : 2013)

Dalam sebuah pembangkitan listrik bersekala besar mesin penggerak yang di gunakan memanfaatkan tenaga alam yang melimpah dan akan selalu di perbaharui. Hal ini di karenakan

semakin besarnya kebutuhan akan tenaga listrik dengan jumlah yang cukup besar. Para penyedia tenaga listrik lebih banyak memanfaatkan tenaga alam karena memiliki ketersediaan yang melimpah dan dalam jumlah yang cukup besar untuk dapat memutar turbin dengan ukuran besar, sehingga mampu untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan tenaga listrik guna mencukupi kebutuhan konsumen.

Seiring perkembangan teknologi yang semakin maju dan semakin besarnya kebutuhan akan energi listrik, sumber tenaga untuk menggerakkan turbin semakin sedikit dan jika ada maka biaya untuk sumber tenaga tersebut sangatlah mahal. Oleh karena itu di masa ini para penyedia energi listrik mengembangkan berbagai macam sumber energi terbarukan yang jumlah energi yang di hasilkan akan selalu ada dan juga akan di perbaharui terus menerus dengan jumlah yang cukup besar sehingga dapat mencukupi akan kebutuhan sumber tenaga listrik yang semakin besar.



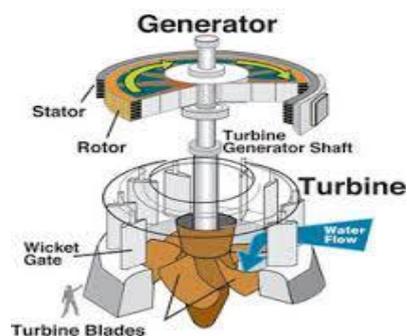
Gambar 2.2 Diagram Alur Pembangkitan Tenaga Listrik

Pada pembangkitan tenaga listrik dengan mesin penggerak turbin air, prinsip kerjanya yaitu menggunakan sebuah tandon atau waduk untuk mengumpulkan air sebagai sumber utama energi penggerak utama dalam jumlah besar yang kemudian di salurkan melalui sebuah pipa menuju kipas-kipas turbin air untuk memutar turbin. Turbin tersebut sudah di sambungkan dengan generator

sehingga saat turbin berputar secara otomatis akan menggerakkan generator.

Dalam proses ini generator berperan sebagai pengubah tenaga gerak menjadi energi listrik. Namun listrik yang di hasilkan tidak dapat begitu saja di transformasikan kepada konsumen untuk mencukupi kebutuhan peralatan yang di gunakan, karena energi listrik yang di hasilkan perlu melalui beberapa proses agar tegangan yang di hasilkan tetap stabil dengan adanya beban. Karena beban sangat berpengaruh terhadap tegangan yang di hasilkan oleh sebuah generator pembangkit.

Semakin banyak beban yang menggunakan tenaga listrik, semakin menurun juga tenaga yang di hasilkan oleh sebuah pembangkit. Hal ini yang mempengaruhi performa dari pembangkit untuk dapat mencukupi kebutuhan energi listrik konsumen. Oleh sebab itu setelah energi listrik di dapat, di buatlah sistem yang berfungsi sebagai penyetabil tegangan agar berapapun beban yang menggunakan tidak akan mengganggu proses pembangkitan tenaga listrik.



Gambar 2.3 Mesin Pembangkitan Tenaga Listrik

(Sumber : Porgas, 2016)

### 2.2.2. Pembangkitan Listrik di PLTA Wonogiri

PLTA wonogiri yaitu salah satu pusat pembangkit listrik yang menjadi cabang atau sub unit dari perusahaan pembangkit listrik

PT.Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica. PLTA Wonogiri memanfaatkan aliran sungai Bengawan Solo dari bendungan Wonogiri yaitu Waduk Gajah Mungkur yang melimpah sebagai sumber tenaga utama dalam pembangkitan tenaga listrik. Kapasitas dari pembangkit listrik PLTA Wonogiri yaitu mencapai 12,4 MW yang terbagi menjadi dua, karena PLTA Wonogiri menggunakan dua buah unit mesin pembangkit yang masing-masing memiliki kapasitas sebesar 6,2 MW.

PLTA Wonogiri mampu menghasilkan energi listrik yang cukup besar dengan kemampuan dua unit mesin pembangkit yang bekerja secara bersamaan jika keadaan air pada waduk mencukupi untuk menggerakkan dua mesin secara bersamaan. Energi yang mampu di hasilkan oleh mesin pembangkit PLTA Wonogiri yaitu sebesar 108 juta KWH dalam waktu satu tahun. Energi yang di hasilkan kemudian di distribusikan ke Gardu Induk Pelem Wonogiri melalui saluran menengah sebesar 22 KV yang selanjutnya di hubungkan dengan sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali melalui Transmisi 150 KV.

Perinsip kerja pembangkitan tenaga listrik pada PLTA Wonogiri sama hanya dengan pembangkitan listrik umum lainnya yang memanfaatkan melimpahnya jumlah air sebagai sumber tenaga penggerak utama dalam pembangkitan. Pada PLTA Wonogiri mesin pembangkit listrik yang di gunakan yaitu dua buah unit generator AC 3 fasa.

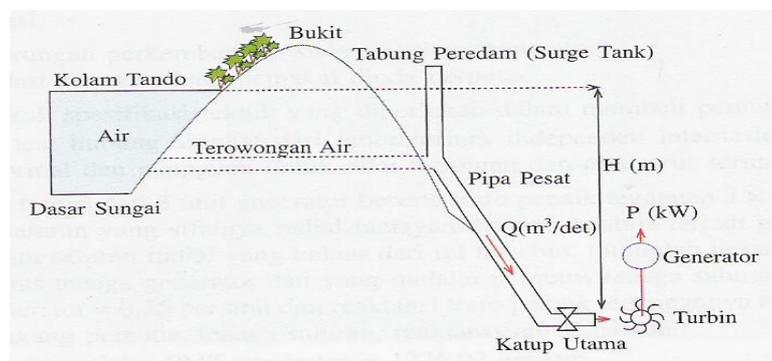
Pada pembangkitan PLTA Wonogiri, dengan memanfaatkan sumber aliran air dari sungai Bengawan Solo yang di tampung pada sebuah waduk yang dijadikan sumber tenaga utama untuk menggerakkan mesin pembangkit pada PLTA Wonogiri. Potensi air dari waduk akan di alirkan melalui sebuah pipa (*penstock*) menuju turbin yang berada pada bawah generator. Aliran air tersebut akan

menabrak baling-baling (*Blade Runner*) turbin untuk menciptakan momentum dari kecepatan aliran air untuk menggerakkan turbin.

Jumlah daya yang mampu di hasilkan oleh sebuah pembangkit listrik bertenaga air yaitu bergantung pada ketinggian ( $h$ ), dimana air akan mengalir jatuh menuju sistem pembangkit. Sedangkan kecepatan aliran air pada pipa menjadi volume dari air ( $qm^3/s$ ) . Ketinggian jatuhnya air ke turbin akan berpengaruh pada energi potensial yang dihasilkan oleh pusat pembangkit. Berdasarkan hal tersebut di dapat daya teoritis ( $P$  Kw) yang tersedia dapat di tulis :

$$P=9.81qh \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan memanfaatkan momentum percepatan air memutar turbin tersebut, secara bersamaan generator yang berada tepat di atas turbin akan ikut berputar pada bagian rotornya. Disinilah proses dimana energi gerak di ubah menjadi energi listrik dimana rotor akan berputar dan kumparan medan akan bergesekan pada medan magnet yang di pasang pada bagian stator. Pergesekan tersebut akan menghasilkan fluks listrik yang selanjutnya akan di simpan ke dalam sebuah wadah berupa *battery* yang akan di gunakan untuk memperbaiki kualitas tegangan pada jaringan distribusinya.



Gambar 2.4 Proses Konversi Energi di PLTA

(Sumber : Djiteng Marsudi, 2005)

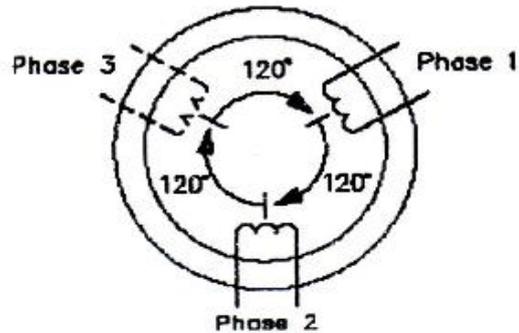
### 2.2.3. Definisi Generator Sinkron

Dalam sebuah pembangkit listrik terdapat berbagai macam alat yang di gunakan. Salah satu komponen utama yang di perlukan yaitu generator. Secara umum generator yaitu komponen yang berfungsi sebagai pengubah energi gerak menjadi energi listrik yang akan di proses oleh sebuah sistem yang kemudian akan disalurkan kepada konsumen. Generator yang di gunakan pada pembangkit listrik biasanya menggunakan generator AC 3 fasa. Pada penggunaan generator di aplikasikan dengan mesin sebagai tenaga penggerak generator agar dapat menghasilkan energi listrik.

Kebanyakan mesin penggerak atau turbin yang di pakai dalam pembangkitan tenaga listrik sekarang menggunakan sumber tenaga alam yang melimpah seperti tenaga air, angin, panas bumi dan lain sebagainya yang cukup besar untuk dapat menggerakkan generator. Turbin uap perinsip kerjanya dengan cara memanfaatkan tekanan uap sebagai penggerak turbin. Biasanya memanfaatkan panas bumi yang berada di dasar tanah. Selain itu ada juga dengan menggunakan turbin air yaitu dengan menggunakan aliran air sebagai tenaga pemutar turbin untuk dapat menggerakkan generator sebagai pengubah energi gerak menjadi energi listrik.

Di dalam sebuah pembangkit tenaga listrik, jenis generator yang sering di gunakan yaitu generator jenis AC (Alternator Current). Generator arus bolak balik yang di sebut alternator atau generator sinkron. Generator ini dinamakan sinkron karena dalam jumlah dari putaran rotor sama dengan medan magnet pada bagian statornya. Generator AC masih terbagi menjadi dua tipe yaitu generator 1 fasa dan generator 3 fasa . Dalam pengaplikasiannya generator yang sering di gunakan dalam pembangkitan tenaga listrik yaitu generator AC 3 Fasa. Prinsip kerjanya hampir sama dengan generator 1 fasa namun yang membedakanya yaitu pada lilitan yang di gunakan. Pada generator 3 fasa lilitan yang di gunakan berjumlah

3 buah lilitan 1 fasa dengan tegangan yang di bangkitkan berbeda sudut fasanya sebesar  $120^\circ$ .



Gambar 2.5 Belitan Generator Tiga Fasa  
( Sumber : Nuefendi, 2014 )



Gambar 2.6 Generator unit 1 dan 2 PLTA wonogiri  
( Sumber : Dokumentasi PLTA Wonogiri )

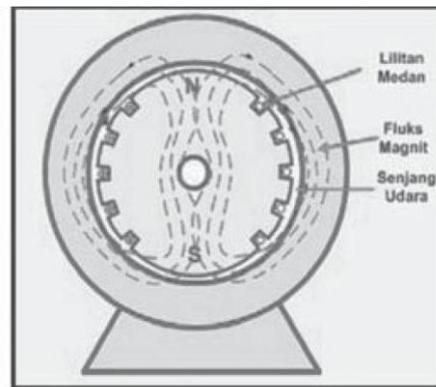
#### 2.2.4. Komponen Generator Sinkron 3 Phase

Dalam sebuah generator terdapat komponen yang menghasilkan tenaga listrik dari sebuah pembangkitan dari tenaga yang di gunakan, yaitu terdapat dua komponen yang berperan sebagai penggerak dari generator tersebut yaitu :

### a) Rotor

Rotor yaitu salah satu bagian dari generator yang bekerja secara berputar. Rotor yang berputar akan di aliri oleh arus searah pada kumparan rotor tersebut. Prinsip kerja dari rotor yaitu sebagai medan magnet yang berputar dan selanjutnya di gunakan oleh stator untuk membangkitkan tegangan listrik. Rotor memiliki kumparan koil yang terletak pada tubuh rotor yang pada kedua bagian ujung rotor terhubung pada *slipring*, kemudain di hubungkan dengan sistem eksitasi untuk membangkitkan medan magnet.

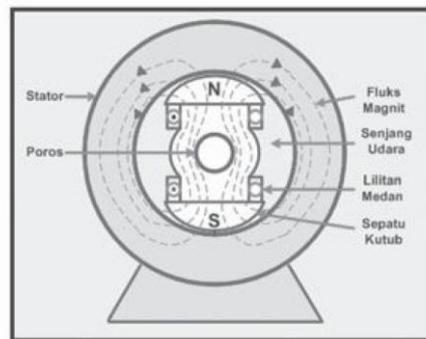
Di lihat dari sistem kecepatan putaran yang di gunakan dalam pembangkit listrik, rotor dibagi menjadi dua bentuk yang bekerja sesuai kecepatan yang di gunakan. Bentuk yang pertama yaitu bentuk silinder. Hal ini karena pada jenis ini kecepatan yang di gunakan cukup tinggi dalam pembangkitan tenaga listrik.



Gambar 2.7 Bentuk Rotor kutub silinder.

(Sumber : wahyu sunarlik, 2014 )

Pada bentuk rotor yang kedua yaitu berbentuk menonjol, karena pada jenis ini rotor diperuntukkan dalam putaran rendah.

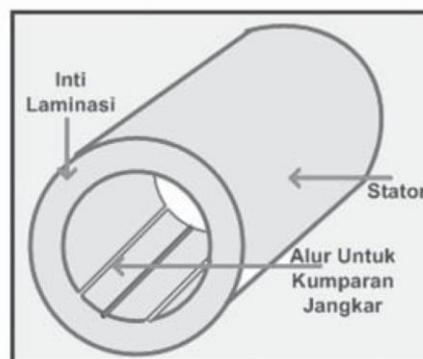


Gambar 2.8 Bentuk Rotor kutub menonjol

(Sumber : wahyu sunarlik, 2014 )

#### b) Stator

Stator adalah rangkaian yang tidak bergerak pada bagian generator. Fungsinya yaitu membangkitkan tegangan induksi yang akan di alirkan. Prinsip kerja dari stator pada generator yaitu sebagai pembangkit tenaga listrik. Pada bagian stator terdapat alur yang mengelilingi rotor. Pada alur tersebut akan diberi belitan kumparan. Kumparan tersebut akan bekerja pada saat mendapat medan magnet yang bergerak secara berputar mengelilingi alur pada stator.



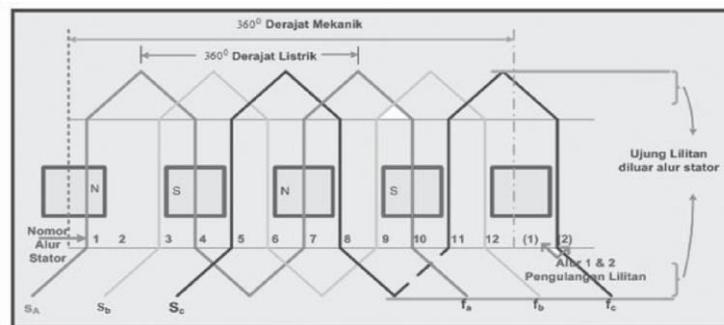
Gambar 2.9 Inti dan Alur Stator

(Sumber : wahyu sunarlik, 2014 )

Pada bagian alur stator ini akan terbentuk kumparan jangkar sebagai proses terbentuknya tegangan listrik. Kumparan jangkar yang sering di gunakan pada pembangkitan tenaga listrik terbagi menjadi dua, yaitu kumparan satu lapis (*Single Layer Winding*) dan kumparan ganda (*Double Layer Winding*). Berikut adalah perbedaan dari kedua kumparan tersebut yaitu :

### 2.2.1. Kumparan Satu Lapis (*Single Layer Winding*)

Kumparan ini hanya menggunakan satu lapis kumparan yang berada pada bagian salah satu sisi dalam lilitan masing-masing alur yang di gunakan.



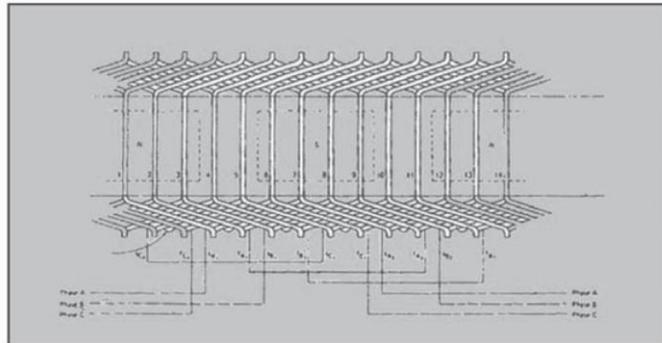
Gambar 2.10

Kumparan Satu Lapis Generator Sinkron 3 Fasa

(Sumber : wahyu sunarlik, 2014 )

### 2.2.2. Kumparan Ganda (*Double Layer Winding*)

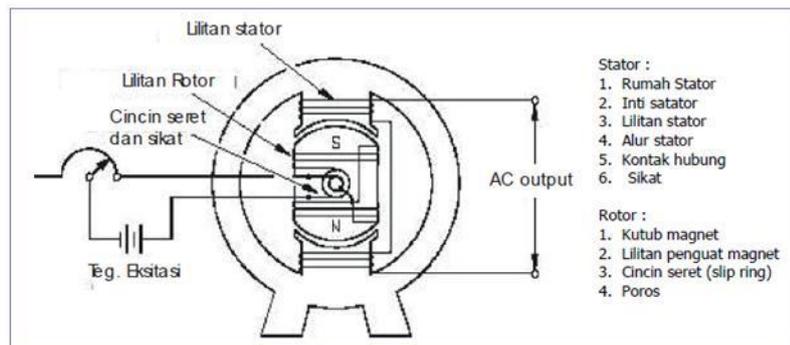
Pada kumparan ganda, hanya menggunakan sebuah lilitan pada setiap kutub dan fasa. Hal ini mengakibatkan pada setiap kumparan hanya terdapat dua buah lilitan yang di rangkai secara seri. Jika alur yang di pasang tidak terlalu lebar maka tegangan yang di bangkitkan akan sama yang di hasilkan oleh setiap penghantar yang berada dalam alur.



Gambar 2.11

Kumparan Ganda Generator 3 Fasa

(Sumber : wahyu sunarlik, 2014)



Gambar 2.12 Konstruksi Generator Sinkron

(Sumber : Arifsh, 2009)

### 2.2.5. Prinsip Kerja Generator Sinkron 3 Phase

Generator adalah bagian utama dalam sebuah pembangkit listrik, karena dalam sebuah pembangkitan tenaga listrik generator berperan utama sebagai pengubah energi gerak menjadi energi listrik. Generator terbagi menjadi dua tipe, yaitu tipe AC dan DC. Namun generator yang sering di gunakan pada pembangkit tenaga listrik sekarang yaitu generator sinkron.

Berdasarkan hukum faraday yang berbunyi “*Bila suatu konduktor bergerak atau berputar pada suatu medan magnet maka konduktor tersebut akan memotong garis-garis gaya magnet dan akan timbul gaya gerak listrik pada konduktor tersebut*” Hal ini di

karenakan konduktor yang di gunakan tidak lagi tegak lurus dalam pergerakannya sehingga menimbulkan perpotongan garis pada kumparan medan magnet yang akan menghasilkan fluks medan pada sudut tertentu saat konduktor berputar mengelilingi garis-garis gaya. Di lihat dari hukum Faraday di atas, prinsip kerja dari sebuah generator yaitu bergantung pada besar induksi yang di alirkan pada kumparan. Besar kecilnya tegangan induksi tergantung pada :

1. Panjang kumparan
2. Kecepatan putaran
3. Kuat medan magnet

Berdasar sifat-sifat yang mempengaruhi tegangan induksi tersebut di dapatlah persamaan :

$$E = - N \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : E = Gaya gerak listrik induksi

N = Jumlah lilitan kumparan

$\frac{d\theta}{dt}$  = perubahan fluks magnet dengan waktu (Wb/s)

Secara umum prinsip kerja dari generator sinkron yaitu dengan memanfaatkan kumparan medan yang berada pada rotor yang di hubungkan dengan sistem eksitasi melalui *slip ring* yang terpasang pada dua ujung rotor. Sistem eksitasi ini akan menghasilkan arus eksitasi yang di gunakan untuk mengalir pada kumparan medan. Dengan begini akan terjadinya fluks saat ada arus eksitasi yang mengalir pada kumparan medan.

Selanjutnya pada penggerak mula yang telah di hubungkan dengan rotor akan segera di jalankan untuk memutar rotor hingga mencapai kecepatan nominal yang telah di tentukan untuk pembangkitan tenaga listrik. Pada saat rotor mulai berputar

bersamaan pula dengan bekerjanya medan magnet pada kumparan medan. Medan yang di hasilkan selanjutnya dialirkan ke bagian kumparan jangkar yang berada di bagian stator. Medan putar tersebut akan mengakibatkan kumparan jangkar menghasilkan fluks magnetik yang tidak stabil atau berubah-ubah. Terbentuknya fluks yang berubah-ubah pada suatu kumparan ini akan memicu terbentuknya Gaya Gerak Listrik (GGL) yang terjadi pada ujung kumparan.

Kecepatan pada putaran rotor generator akan mempengaruhi frekuensi arus listrik yang di hasilkan. Dengan kata lain semakin cepat putaran pada rotor maka tenaga listrik yang di hasilkan akan semakin besar juga. Hubungan medan magnet yang berada di bagian mesin terhadap frekuensi listrik yang di hasilkan yaitu :

$$f_e = \frac{n_r \cdot p}{120} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$f_e$  :Frekuensi Listrik (Hz)

$n_r$  :Kecepatan putar Rotor (rpm)

$p$  :Kutub Magnet

Berdasarkan persamaan di atas kecepatan putaran rotor akan mempengaruhi frekuensi listrik yang di hasilkan. Karen putaran motor sama dengan putaran medan magnet yang terdapat pada rotor.

Jumlah daya pada setiap pembangkitan tenaga listrik akan berbeda, hal ini di karenakan perbedaan tenaga yang di gunakan untuk memutar sebuah turbin akan berbeda setiap waktunya. Daya yang di hasilkan oleh sebuah generator dapat di hitung dengan persamaan :

$$P = k \cdot \eta \cdot H \cdot Q \text{ (kW) ..... (2.4)}$$

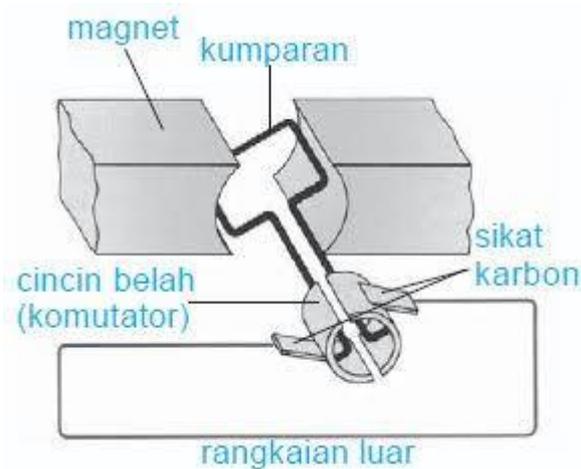
Dimana : P = Daya yang dibangkitkan

k = Konstanta tetap (9,8)

$\eta$  = Efisiensi turbin bersama generator

H = Tinggi jatuh air (meter)

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Generator AC

( Sumber : Artikel-teknologi.com, 2014 )

#### 2.2.6. Sistem Eksitasi Generator Sinkron

Sistem Eksitasi adalah sebuah rangkaian Exiter atau disebut juga dengan penguat yang mensuplay medan penguat. Sistem eksitasi sangat berpengaruh terhadap daya reaktif yang di hasilkan. Jika sistem eksitasinya lemah daya reaktif yang di hasilkan menjadi rendah, sedangkan jika sistem eksitasi kuat daya reaktif akan menjadi naik. Prinsip kerja sistem eksitasi secara umum yaitu mengalirkan listrik searah sebagai penguat dari listrik yang di hasilkan oleh generator. Sehingga generator akan menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar dari pada listrik yang di hasilkan

oleh generator itu sendiri. Oleh karena itu besar kecilnya tegangan keluaran dari sebuah generator bergantung pada besar kecil arus eksitasinya.

Dalam sistem eksitasi terdapat beberapa tipe yang di gunakan. Namun pada penelitian ini yang akan di bahas yaitu sistem eksitasi *statis* berdasarkan dengan sistem yang di gunakan pada PLTA Wonogiri. Dalam sistem eksitasi *statis* yaitu dengan menggunakan sikat arang dan juga *slip ring* guna menciptakan medan magnet pada sistem eksitasi.

Pada saat ini sistem eksitasi menjadi peran utama dalam pengendalian kestabilan pembangkit, karena jika terjadi fluktuasi beban maka eksitasi akan bekerja sebagai penyetabil keluaran. Sistem kerja eksitasi pada gangguan yaitu dengan mengontrol atau menstabilkan besaran-besaran sehingga di dapat keseimbangan baru. Namun terdapat juga keadaan dimana sistem eksitasi tersebut mengalami kerusakan dimana saat sistem eksitasi yang di salurkan terlalu kecil, maka yang terjadi adalah daya reaktif yang di hasilkan kembali mengalir atau di serap kembali oleh generator. Dampak penyerapan daya reaktif tersebut oleh generator mengakibatkan generator akan mengalami pemanasan yang berlebihan. Pada dasarnya sistem eksitasi pada sebuah generator di bagi menjadi dua jenis yaitu :

#### 1. Menggunakan Sikat Arang

Pada sistem eksitasi yang menggunakan sikat arang atau di sebut juga dengan *brush excitation* menggunakan sumber tenaga dari generator. Pada generator tipe AC yang memiliki arus bolak-balik arus yang di hasilkan di searahkan terlebih dahulu sebelum masuk proses selanjunya menggunakan penyearah tegangan.

Berbeda ketika pembangkit listrik memakai tegangan DC, medan magnet yang di hasilkan berasal dari magnet permanent.

Dalam sistem eksitasi ini terdapat sebuah tempat yang berupa lemari yang berisi sistem penyearah. Pada tempat inilah tenaga listrik yang berarus bolak-balik di ubah menjadi arus searah yang kemudian arus yang semula dari AC telah di rubah menjadi DC akan di gunakan sebagai kontrol untuk medan eksiter utama (*main exciter*).

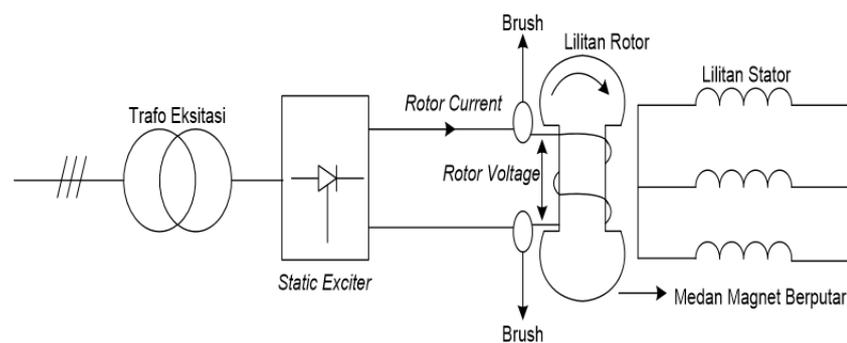
Arus yang telah di searahkan tadi kemudian akan di alirkan ke bagian generator yaitu bagian rotor yang berputar pada generator. Arus tadi di alirkan menggunakan bantuan *slip ring* dan juga sikat arang. Hal ini sama juga di lakukan pada penyaluran arus dari *pilot exciter* menuju *main exciter* yang menggunakan prinsip sama seperti penyaluran arus dari generator ke *main exciter*. Prinsip kerja dari sistem eksitasi generator menggunakan sikat arang yaitu pada sistem ini generator menjadi bagian utama dalam proses sistem eksitasi karena generator utama akan di ambil dayanya. Pada generator utama pengaturan tegangan yang di hasilkan dengan mengatur arus eksitasinya, dengan cara mengatur potensiometer atau sering di sebut juga dengan tahanan asut. Tahanan asut ini berfungsi agar arus eksitasi yang di hasilkan oleh generator tidak terlalu besar.

Pada sistem eksitasi ini juga menggunakan sebuah PMT atau lebih di kenal dengan *circuit breaker* yang prinsip kerjanya seperti saklar yang berfungsi sebagai pemutus tegangan. Dalam penguatan tegangan PMT di lengkapi dengan sebuah tahanan yang berfungsi sebagai penampung medan magnet yang berasal dari generator utama. Hal ini di lakukan karena jika dalam proses eksitasi terjadi pemutusan arus penguatan pada generator utama harus di buang ke tanah untuk menghindari konsleting ataupun kerusakan pada sistem eksitasinya.

Selanjutnya sistem eksitasi ini juga menggunakan cincin geser. Pada sistem eksitasi ini cincin berperan sebagai penyalur

arus dari generator pertama ke medan penguatan generator utama. Arus yang di alirkan menggunakan cincin geser hanyalah bernilai kecil sehingga dalam sistem eksitasi ini penggunaan cincin geser tidak menjadi permasalahan dalam sistem eksitasi. Kemudian arus yang di hasilkan oleh generator utama di atur kembali dengan pengaturan tegangan otomatis agar nilai tegangan yang di hasilkan oleh generator utama konstan.

Namun penggunaan sikat arang dalam sistem eksitasi memiliki kendala yang dapat mengganggu sistem eksitasi yang di lakukan. Yaitu pada saat rotor melakukan putaran dalam kecepatan yang tinggi sikat arang yang di gunakan dapat mengakibatkan loncatan api pada saat generator bekerja.



Gambar 2.14 Sistem Eksitasi Dengan Sikat Brush

( Sumber : Hery Irawan, 2010 )

## 2. Tanpa Sikat Arang

Pada sistem eksitasi tanpa menggunakan sikat arang memiliki perbedaan yang cukup jauh dengan sistem eksitasi yang menggunakan sikat arang. Sangat jelas perbedaannya yaitu pada penggunaan sikat arang. Pada sistem ini sikat arang dan *slip ring* sudah tidak di gunakan lagi yang di gantikan oleh sebuah dioda yang di pasang pada poros generator utama. Alasan kenapa sikat arang dan *slip ring* tidak di gunakan karena kedua komponen tersebut memiliki kelemahan yaitu dalam mengalirkan arus

sangatlah kecil oleh karena itu sistem eksitasi dengan menggunakan sikat arang kurang maksimal dalam menjalankan sistem untuk mengalirkan arus. Namun pada sistem eksitasi tanpa sikat arang mempunyai banyak keuntungan dari pada menggunakan sikat arang yaitu :

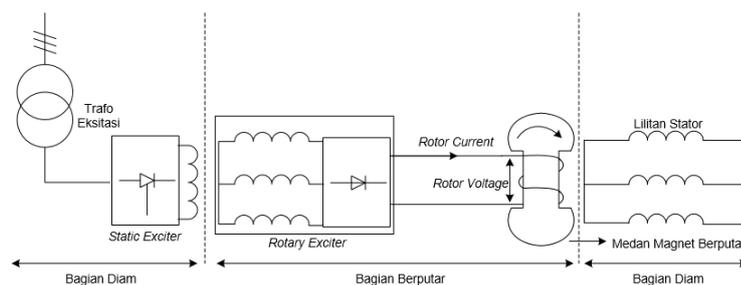
- a) Energi yang di butuhkan untuk sistem eksitasi di dapat dari generator utama yaitu dari poros generator yang telah di pasang sebuah dioda sehingga keandalan dalam sistem eksitasi jauh lebih baik di banding menggunakan sikat arang.
- b) Dengan tidak adanya sikat arang tentu saja memperkecil kerusakan terutama pada bagian isolasi yang akan lebih baik karena tidak terganggunya oleh limbah debu dari sikat arang yang bertebaran karena gesekan dengan rotor yang melekat pada bagian *farnish*.
- c) Keuntungan berikutnya yaitu dari segi ekonomi. Semua perusahaan pasti ingin melakukan suatu pekerjaan dengan keuntungan besar dengan biaya perawatan murah, oleh karena itu sistem eksitasi tanpa sikat arang ini sangat membantu karena tidak di gunakannya lagi sikat arang dan juga *slip ring* sebagai sistem eksitasi, yang di gantikan sebuah dioda yang terpasang pada poros generator utama.

Prinsip kerja dari sistem eksitasi tanpa sikat arang tentu saja berbeda degan sistem eksitasi yang menggunakan sikat arang. Perbedaanya yaitu pada sistem eksitasi tanpa sikat arang pada fungsi generator pertama dan kedua. Generator pertama pada sistem ini disebut *pilot exciter* sedangkan generator kedua sebagai generator utama atau di sebut *main exciter*.

Sistem kerjanya yaitu pada saat rotor berputar kemudian menghasilkan arus bolak-balik. Arus bolak balik tersebut akan di searahkan oleh dioda yang terpasang pada poros generator utama (*Main Exciter*) yang menggantikan peran sikat arang

dan *slip ring*. Selanjutnya arus searah yang terbentuk dari dioda tersebut dijadikan penguatan generator utama. Arus searah tersebut di alirkan ke bagian kutub magnet pada bagian stator generator utama. Pada sistem eksitasi tanpa sikat arang besar kecilnya arus yang mengalir pada kutub *main exciter* di atur oleh sebuah alat yang di sebut *Automatic Voltage Regulator* atau di sebut juga dengan AVR. Sistem kerjanya secara otomatis akan mengatur besaran tegangan yang di alirkan pada kutub *main exciter* sesuai dengan setingan yang di butuhkan untuk mencapai sistem eksitasi yang di inginkan.

Pada setiap sistem dalam pembangkit tenaga listrik pasti ada beberapa masalah yang terjadi. Pada sistem eksitasi tanpa sikat arang memiliki kendala yaitu pada saat terjadi konsleting atau hubung singkat dan juga hubung tanah pada rotor. Kerusakan ini akan berakibat pada bagian medan magnet yang akan mengalami distorsi pada generator utama. Hal ini menyebabkan terjadinya getaran yang berlebih pada generator utama yang akan menyebabkan kerusakan pada unit tersebut jika tidak di lakukan perbaikan ataupun melakukan pencegahan pada permasalahan tersebut.



Gambar 2.15 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat Brush

(Sumber : Hery Irawan, 2010)

### 2.2.7. Peralatan Sistem Eksitasi

Dalam pembangkitan tenaga listrik menggunakan berbagai peralatan yang di gunakan untuk membantu pembangkitan tenaga listrik. Begitu juga dengan sistem eksitasinya. Berikut adalah beberapa peralatan yang di gunakan untuk membangkitkan sistem eksitasi dalam pembangkitan tenaga listrik :

#### 1. AVR (*Auto Matic Regulator*)

Dalam pembangkitan tenaga listrik di harapkan dapat memproduksi tegangan listrik yang baik. Yaitu dengan cara menjaga agar tegangan yang di hasilkan selalu konstan atau stabil. Namun pada kenyataanya tenaga listrik yang di hasilkan oleh pembangkit listrik akan berubah-ubah di karenakan adanya beban dan beban yang ada tidak pernah sama setiap waktunya. Karena tegangan akan berpengaruh dengan adanya beban. Semakin besar beban yang ada maka tegangan keluaran akan menurun. Oleh karena itu di ciptakanlah alat yang bernama *Automatic Voltage Regulator (AVR)*.

Secara umum perinsip kerja dari *Automatic Voltage Regulator* yaitu sebagai penstabil tegangan keluaran yang di hasilkan oleh generator agar tetap stabil tidak terpengaruh oleh beban. Prinsip kerja dari *Automatic Voltage Regulator* yaitu mengatur nilai arus penguatan pada bagian *exciter*. AVR bekerja bedasar pada tegangan yang di keluarkan oleh generator yaitu jika tegangan yang di keluarkan oleh generator tidak konstan di karenakan beban maka AVR secara otomatis akan bekerja.

Apabila tegangan yang di keluarkan generator kurang dari batas nominal dari generator maka AVR akan bekerja untuk menaikkan tegangan tersebut hingga batas normal. Sedangkan jika generator menghasilkan tegangan dengan besar yang melebihi batas normal keluaran generator maka AVR akan bekerja untuk menurunkan tegangan hingga batas normal. AVR dapat bekerja

secara otomatis karena di lengkapi dengan alat untuk mengukur batasan maximum dan minimum pada generator sehingga AVR dapat bekerja dengan sendirinya sesuai batasan yang telah di tentukan.

AVR dapat selalu bekerja selama generator beroperasi karena daya yang di gunakan oleh AVR yaitu berasal dari *permanen magnet generator* (PMG). Selain itu AVR juga dapat merespon ketidakstabilan tegangan karena pada AVR terhubung dengan sebuah sensor dari komponen yang ada pada generator yaitu *Potencial Transformer* (PT) dan *Current Transformer* (CT).

## 2. Trafo Eksitasi (*Excitation Transformator*)

Tranformator daya yaitu sebuah alat yang berfungsi sebagai tranformator daya yang di hasilkan. Transformator daya di bagi menjadi dua tipe, yang pertama yaitu transformator yang berfungsi sebagai penurun tegangan atau di sebut juga dengan trafo *step down*, sedangkan tipe yang kedua yaitu tranformator yang bekerja untuk menaikkan tegangan atau di sebut juga dengan trafo *step up*.

Pada sistem eksitasi berdasarkan pengaplikasiannya trafo yang di gunakan adalah trafo *step down* yang berfungsi sebagai penurun tegangan agar dapat di gunakan sebagai sistem eksitasi sebagai pembangkitan tenaga listrik. Berikut adalah jenis transformator yang di gunakan di PLTA Wonogiri :

Tabel 2.1 Spesifikasi Transformator PLTA Wonogiri

Nama peralatan	AC Exciter transformator (A2G-171A)
Type	ASN-0-320
Frequenecy	50 Hz
Output	10 KVA
Current	80.2 A
Voltage	115 V
Exc. Volt	110 V
Role	JEC-114
Machine No	A092363701
Insul	Arm. Class B
Temp Rise	Arm ; 60C
	Fld : 65c
MFG Date	Nov-81
Mass	1400kg

(Sumber : Dokumen PLTA Wonogiri )

Pada pengoprasainya yang di lakukan pada pembangkitan listrik PLTA Wonogiri terdapat istilah pemakaian sendiri (PS). Daya tersebut berfungsi sebagai suplay daya untuk mengoprasikan alat bantu pada saat melakukan proses pembangkitan tegangan listrik. Salah satunya yaitu sebagai sumber daya untuk sistem eksitasi generator.

Daya yang di gunakan untuk pemakaian sendiri berasal dari transformator yang memiliki tegangan sebsar 380V yang kemudian di turunkan menjadi tegangan sebesar 115V dengan menggunakan tranformator *step down* khusus untuk mensuplay daya pada sistem eksitasai.

### 3. Thyristor

Pada komponen sistem eksitasi generator terdapat komponen yang bernama *thyristor* penyearah . Di lihat dari namanya, *thyristor* penyearah berfungsi sebagai penyearah dengan menggunakan bantuan *gate* sebagai kontrol awal dari penyearah arus.

Prinsip kerja dari *thyristor* penyearah yaitu dengan cara di rangkai secara paralel dengan konfigurasi *bridge*. Hal ini di lakukan untuk memaksimalkan kerja dari sebuah *thyristor* dalam melakukan tugasnya sebagai penyearah saat melewati arus dalam sistem eksitasi generator. Selain itu juga agar jika terjadi kerusakan pada salah satu *thyristor* yang di gunakan pada sistem penyearah, akan tetap dapat di lakukan secara normal dan tidak mengakibatkan gangguan pada sistem eksitasinya. Konfigurasi *bridge* sendiri di lakukan pada sistem eksitasi dimaksudkan untuk menjadikan *thyristor* dapat mengalirkan arus secara penuh.

### 4. *Filed Circuit Breaker*

Dalam sistem eksitasi generator, *filed circuit breaker* berperan sebagai pengaman sistem jika terjadi kerusakan. Secara umum prinsip kerja dari *filed circuit breaker* yaitu sebagai pemutus tegangan. Namun dalam pengaplikasiannya terhadap sistem eksitasi *filed circuit breaker* bekerja sebagai pemutus kumparan medan dan juga peralatan yang di gunakan pada medan sistem eksitasi. *Filed circuit breaker* yang di gunakan pada sistem eksitasi di lengkapi dengan sebuah komponen yaitu *Filed discharging*.

*Filed discharging* berfungsi sebagai pengaman untuk melindungi kerusakan pada saat mesin beroperasi yaitu pada saat rotor berputar yang pada saat itu juga terjadi kerusakan pada sistem eksitasi ataupun pada saat mesin berhenti. Karena biasanya

ketika sistem eksitasi atau generator berhenti bekerja akan terjadi arus medan balik ke rotor yang akan mengakibatkan kerusakan.

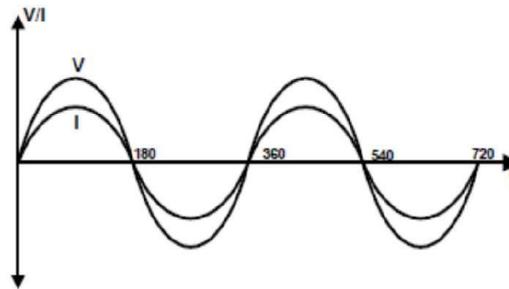
Cara kerjanya yaitu jika terjadi sebuah gangguan pada sistem eksitasi maka *field breaker* akan membuka secara otomatis yang kemudian *discarging* akan menutup. Yang selanjutnya akan berpengaruh pada arus medan yang tersimpan pada rotor akan diperkecil dengan cara mengalirkan arus medan tersebut menuju *field discharging resistor*. Sehingga arus yang mengalir pada rotor tidak akan mengakibatkan kerusakan pada bagian rotor generator.

#### 2.2.8. Jenis-jenis Beban Generator Sinkron

Generator sinkron di gunakan sebagai penyuplay tegangan pada beban dan beban yang di gunakanpun akan berbeda-beda. Perbedaan jenis beban ini yang akan mempengaruhi oprasional dari generator sinkron. Berikut adalah beban yang berpengaruh terhadap pengoprasian dari generator sinkron :

##### 1. Beban Resistif

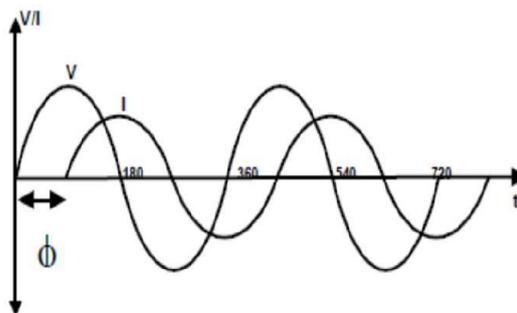
Beban resistif yaitu beban yang berasal atau di hasilkan oleh alat listrik yang di gunakan. Pada beban resistif tidak dapat menghasilkan tegangan listrik namun beban resistif akan menggunakan energi listrik yang ada (*konsumtif*). Hal ini mengakibatkan energi panas yang mengalir akan menjadi panas yang di sebabkan oleh adanya resistor yang ada pada beban yang bersifat menghambat aliran elektron dengan cara tegangan yang di gunakan di turunkan. Oleh sebab itu resistor tidak akan mempengaruhi arus yang mengalir.



Gambar 2.16 Gelombang Beban resistif  
( Sumber : Singuda Ensikom, 2013 )

## 2. Beban Induktif

Pada beban induktif bersifat menghalangi arus yang mengalir sehingga mengakibatkan arus yang mengalir akan tertinggal sebesar  $90^\circ$ . Karena ciri dari beban induktif ini memiliki kumparan seperti motor induksi dan peralatan lain yang menggunakan belitan yang di aliri listrik.

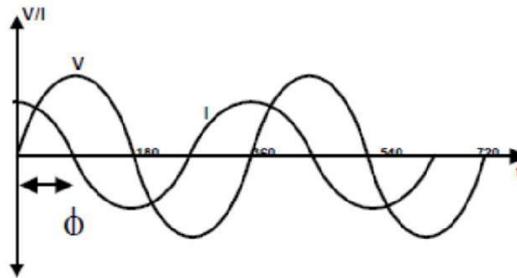


Gambar 2.17 Gelombang Beban Induktif  
( Sumber : Singuda Ensikom, 2013 )

## 3. Beban Kapasitif

Berbeda dengan pengaruh yang di sebabkan oleh beban induktif, pada beban kapasitif berlawanan dengan beban induktif karena sifat dari beban kapasitif yaitu mencegah terjadinya perubahan dari nilai tegangan. Hal ini terjadi ketika mendapat aliran AC maka arus yang mengalir akan di alirkan kembali sesuai dengan masukan awal tegangan. Oleh sebab itu pada beban

kapasitif arus yang mengalir akan mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ . Bentuk dari gelombang kapasitif dapat di lihat pada gambar berikut :



Gambar 2.18 Gelombang Beban Kapasitif

( Sumber : Singuda Ensikom, 2013 )

#### 2.2.9. Daya

Daya dalam energi listrik digambarkan sebagai kecepatan aliran energi listrik dari sebuah jaringan listrik dalam kecepatan satuan waktu. Pada dasarnya daya adalah sebuah pembeda antara beban dengan pembangkit, karena dalam sistem tenaga listrik beban bersifat pengguna atau penyerap tegangan listrik yang di hasilkan, sedangkan pembangkit bersifat penyedia atau pensuplay tegangan yang berarti mengeluarkan tegangan.

Daya listrik di bagi menjadi dua jenis yaitu daya negatif dan daya positif. Daya negatif yaitu daya yang mengalir dari peralatan listrik menuju beban atau komponen listrik. Sebaliknya daya positif yaitu daya berasal dari beban yang mengalir menuju komponen listrik. Daya yang di hasilkan dapat di hitung dengan rumus yang ada namun ada perbedaan perhitungan berdasar pada perbedaan arus listrik yang mengalir. Dimana terdapat dua jenis arus yaitu arus AC dan arus DC. Daya listrik pada arus dapat di rumuskan sebagai berikut :

a. Pada Arus AC

$$P = I \times V \dots\dots\dots(2.5)$$

b. Pada Arus DC

$$P = I \times V \times \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.6)$$

Dalam pembangkitan tenaga listrik daya listrik sering di sebut juga dengan daya kompleks. Daya kompleks di bagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. Daya Aktif (P)

Daya aktif yaitu digunakan beban untuk pengopasian atau konsumsi beban. Seperti contoh pada saluran distribusi dimana PLN mengalirkan tegangan listrik kepada konsumen maka daya yang tercatat pada KWH meter yang terpasang di setiap rumah akan tercatat sebagai daya nyata.

2. Daya Reaktif (Q)

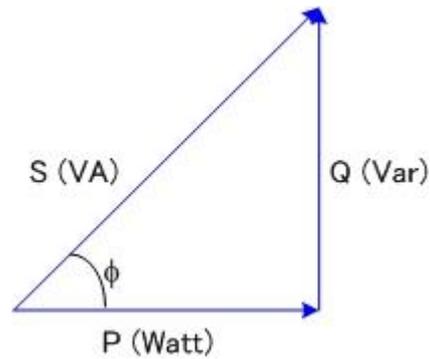
Daya reaktif dapat di artikan juga dengan rugi-rugi daya yang tidak di inginkan. Daya ini disebabkan adanya komponen yang berada dari bagian luar resistor.

3. Daya Semu

Pada daya semu, sebenarnya hampir sama dengan daya aktif yang berasal dari sumber tegangan seperti PLN. Namun perbedaanya yaitu daya semu di hasilkan oleh daya aktif dan juga daya reaktif yang bekerja pada satu objek yang sama.

Segitiga Daya

Segitiga daya adalah gambaran bagaimana hubungan antara gaya-gaya yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Hubungan dari beberapa jenis daya tersebut dapat di lihat pada gambar berikut:

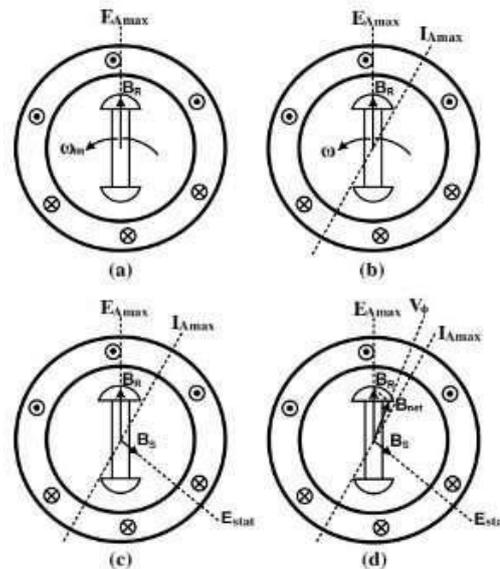


Gambar 2.19 Segitiga Daya  
( Sumber : Zuhail, 1988 )

#### 2.2.10. Reaksi Jangkar

Pada waktu generator bekerja dan belum ada beban yang menggunakan tegangan yang di hasilkan generator, maka pada kumparan jangkar (*stator*) tidak ada arus yang mengalir. Oleh sebab itu pada bagian celah yang berada pada rotor hanya mengakibatkan fluks arus medan yang terbentuk dari rotor itu sendiri. Karena tidak adanya arus yang mengalir untuk menciptakan arus jangkar.

Arus jangkar akan mengalir pada kumparan saat generator bekerja dan ada beban yang menggunakan tegangan generator tersebut. Pada saat itulah arus jangkar ( $I_a$ ) akan mengalir pada kumparan jangkar yang akan membentuk fluks jangkar. Fluks jangkar yang mengalir pada kumparan jangkar akan mempengaruhi arus medan yang kemudian akan menyebabkan perubahan nilai pada tegangan pada terminal generator sinkron. Reaksi tersebut yang kemudian di sebut dengan reaksi jangkar pada generator sinkron. Berikut gambaran dari bentuk model reaksi jangkar :



Gambar 2.20 Model Reaksi Jangkar  
(Sumber : Alpinus, 2012)

Fluks jangkar yang mengalir setelah adanya beban dapat berpengaruh terhadap celah yang ada pada rotor yaitu berupa distorsi, penguatan ataupun pelemahan arus medan. Karena dengan adanya beban akan mempengaruhi perbedaan pengaruh yang di timbulkan, yaitu :

1. Beban Resistif ( $\cos\phi = 1$ )

Pada beban resistif pengaruh yang terjadi karena fluks jangkar terhadap fluks medan hanyalah sebatas distorsi. Namun pengaruh ini tidak lebih hanya mendistorsi fluks medan tanpa mengurangi kekuatan dari fluks medan tersebut.

2. Beban Induktif Murni ( $\cos\phi = 0$  lag)

Pada beban induktif murni pengaruh yang akan terjadi karena fluks jangkar yaitu arus yang mengalir akan tertinggal sebesar  $90^\circ$  dari tegangan. Berbeda dengan pengaruh yang terjadi pada beban resistif pada beban induktif murni fluks jangkar akan

melawan arus medan yang akan mengakibatkan pelemahan pada arus medan karena mendapat perlawanan dari arus jangkar.

### 3. Beban Kapasitif Murni ( $\cos\phi = 0$ lead)

Pada beban kapasitif murni pengaruh yang akan terjadi yaitu berlawanan dengan beban induktif murni dimana arus akan tertinggal  $90^\circ$  dan fluks jangkar melawan fluks medan. Untuk beban kapasitif murni arus yang mengalir akan mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ , sedangkan arus jangkar akan selaras dengan fluks medan yang akan menghasilkan penguatan pada fluks di arus medan.

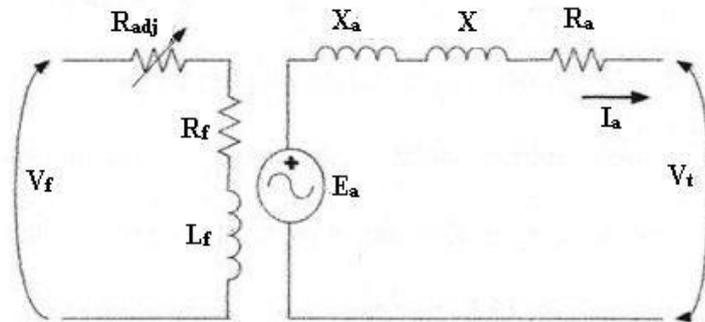
### 4. Beban Tidak Murni (Induktif/Kapasitif)

Pada beban tidak murni berarti pengaruh yang di hasilkan bergantung pada beban, yang akan mengakibatkan reaksi jangkar menjadi dua bagian yaitu magnetis dan sebagian lagi demagnetis. Ketika beban yang di gunakan induktif maka reaksi jangkar terbagi menjadi dua pula yaitu *distortif* dan juga *magnetis*. Begitu juga pada saat beban yang di gunakan adalah kapasitif maka pengaruh reaksi jangkar akan terbagi menjadi dua juga yaitu sebagian *distortif* dan sebagian lagi *demagnetising*. Namun pada umumnya beban yang biasanya adalah beban induktif.

#### 2.2.11. Rangkaian Ekuivalen Generator sinkron

Pada bagian stator terdapat belitan tembaga yang merupakan belitan yang menghasilkan arus jangkar atau di sebut juga dengan belitan jangkar yang di letakan pada bagian sela-sela yang terdapat pada stator. Pada sebuah belitan stator yang ada akan mengandung tahanan (R) dan induktansi (L), maka dalam belitan stator dalam sebuah generator pembangkit akan memiliki tahanan ( $R_a$ ) dan Induktansi ( $L_f$ ) sendiri. Karena dalam sebuah generator pembangkit terdapat adanya reaktansi reaksi jangkar ( $X_a$ ) dan juga reaktansi

bocor jangkar (X) maka rangkaian ekivalen dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.21 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron

Berdasarkan gambar di atas Persamaan tegangan generator dapat di tuliskan sebagai berikut :

$$E_a = V_t + jX_a I_a + jX I_a + R_a I_a \dots\dots\dots(2.7)$$

Sedangkan persamaan terminal generator sinkron dapat di tuliskan persamaan sebagai berikut :

$$V_t = E_a - jX_a I_a - jX I_a - R_a I_a \dots\dots\dots(2.8)$$

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

$$V_t = E_a - jX_s I_a - R_a I_a \dots\dots\dots(2.9)$$

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)

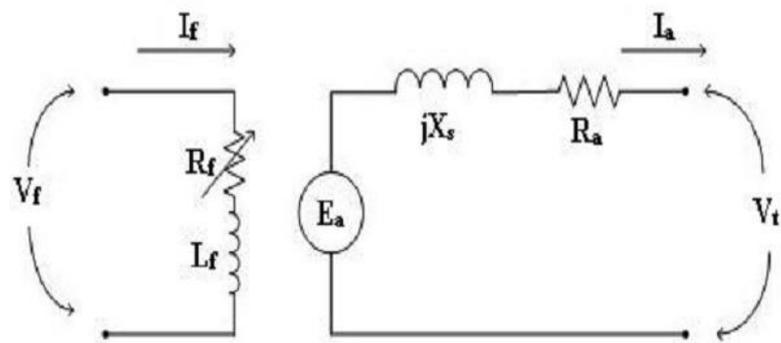
$V_t$  = Tegangan terminal generator sinkron (Volt)

$X_a$  = Reaktansi armatur (Ohm)

$X$  = Reaktansi Bocor (Ohm)

$X_s$  = Reaktansi sinkron (Ohm)

$I_a$  = Arus Jangkar (Ampere)



Gambar 2.22 Rangkaian Penyederhanaan generator Sinkron