

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)**

PLTGU adalah gabungan antara PLTG dengan PLTU, dimana panas dari gas buang dari PLTG digunakan untuk menghasilkan uap yang digunakan sebagai fluida kerja di PLTU. Dan bagian yang digunakan untuk menghasilkan uap tersebut adalah HRSG (Heat Recovery Steam Generator). PLTGU merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas (hasil pembakaran bahan bakar dan udara) menjadi energi listrik yang bermanfaat. Pada dasarnya, sistem PLTGU ini merupakan penggabungan antara PLTG dan PLTU. PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG untuk memanaskan air di HRSG (Heat Recovery Steam Generator), sehingga menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang akan digunakan untuk memutar sudu (balok-balok) Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin dan kemudian generator, yang akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (BBM) maupun gas (gas alam). Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya.

Prinsip kerja PLTG adalah sebagai berikut, mula-mula udara dimasukkan dalam kompresor dengan melalui air filter / penyaring udara agar partikel debu tidak ikut masuk ke dalam kompresor tersebut. Pada kompresor tekanan udara dinaikkan lalu dialirkan ke ruang bakar untuk dibakar bersama bahan bakar. Disini, penggunaan bahan bakar menentukan apakah bisa langsung dibakar dengan udara atau tidak. turbin uap. Jika menggunakan BBG, gas bisa langsung dicampur dengan udara untuk dibakar. Tapi jika menggunakan BBM harus dilakukan proses pengabutan dahulu pada burner baru dicampur udara dan dibakar. Pembakaran bahan bakar dan udara ini akan menghasilkan gas bersuhu dan bertekanan tinggi yang berenergi (enthalpy). Gas ini lalu disemprotkan ke turbin, hingga



enthalpy gas diubah oleh turbin menjadi energi gerak yang memutar generator untuk menghasilkan listrik. Setelah melalui turbin sisas gas panas tersebut dibuang melalui cerobong/stack. Karena gas yang disemprotkan ke turbin bersuhu tinggi, maka pada saat yang sama dilakukan pendinginan turbin dengan udara generator bersuhu tinggi ini, maka bahan bakar yang digunakan tidak boleh mengandung logam Potasium, Vanadium.

### **2.1.1 Bagian-bagian PLTGU**

Secara garis besar bagian-bagian yang terdapat pada PLTGU adalah sebagai berikut :

#### **1. Cranking Motor**

Cranking Motor adalah motor yang digunakan sebagai penggerak awal saat turbin belum menghasilkan tenaga penggerak generator ataupun compressor. Motor Cranking mendapatkan suplai listrik yang berasal dari jaringan tegangan tinggi 150 KV / 500 KV.

#### **2. Air Filter**

Air Filter merupakan filter yang berfungsi untuk menyaring udara bebas agar udara yang mengalir menuju ke compressor merupakan udara yang bersih.

#### **3. Compressor**

Compressor sebagai penghisap udara luar, dengan terlebih dahulu melalui air filter. Compressor menghisap udara atmosfer dan menaikkan tekanannya menjadi beberapa kali lipat ( sampai 8 kali ) tekanan semula. Udara luar ini akan diubah menjadi udara atomizing untuk sebagian kecil pembakaran dan sebagian besar sebagai pendingin turbin.

#### **4. Combustion Chamber**

Combustion chamber ( ruang bakar ) adalah ruang yang dipakai sebagai tempat pembakaran bahan bakar ( solar ) dan udara atomizing. Gas panas yang dihasilkan dari proses pembakaran di combustion chamber digunakan sebagai penggerak turbin gas.

#### **5. Gas Turbine**



Gas Turbine adalah turbin yang berputar dengan menggunakan energi Gas panas yang dihasilkan dari combustion chamber. Hasil putaran dari turbin inilah yang akan diubah oleh generator untuk menghasilkan listrik.

6. Selector Valve

Selector Valve merupakan valve yang berfungsi untuk mengatur gas buangan dari turbin gas, apakah akan dibuang langsung ke udara ataukah akan dialirkan menuju ke HRSG.

7. GTG (Gas Turbine Generator)

GTG (Gas Turbine Generator) berfungsi sebagai alat pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga putaran yang dihasilkan dari turbin gas. Pada PLTGU, satu buah generator ini menghasilkan daya 100 MW. PT. Indonesia Power Unit Bisnis pembangkitan Semarang memiliki 3 Gas Turbine generator dengan kapasitas masing-masing adalah 100 MW.

8. Steam Turbine

Steam Turbine ( Turbin Uap ) adalah turbin yang berputar dengan menggunakan energi uap. Uap ini diperoleh dari penguapan air yang berasal dari HRSG ( Heat Recovery Steam Generator ).

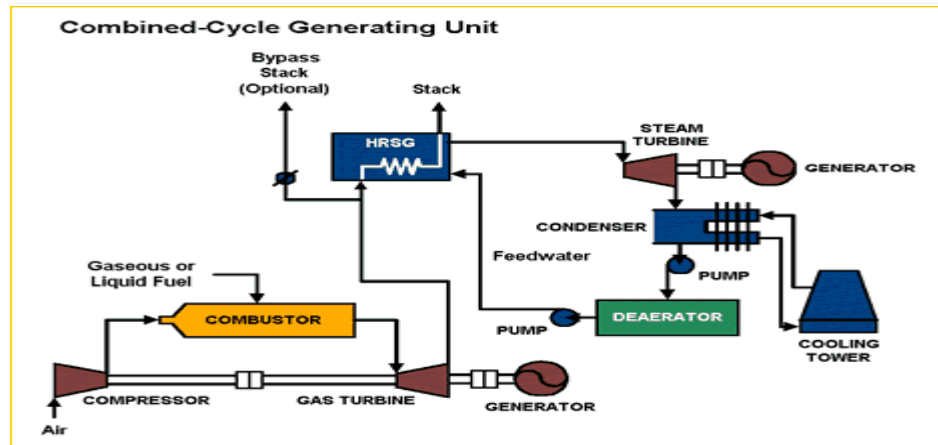
9. STG (Steam Turbine Generator)

STG (Steam Turbine Generator) merupakan generator berfungsi sebagai alat pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga putaran yang diperoleh dari turbin uap. Tenaga penggeraknya berasal dari uap kering yang dihasilkan oleh HRSG dengan putaran 3000 RPM, berpendingin hidrogen dan tegangan keluar 11,5 KV. Pada PLTGU, satu buah generator ini menghasilkan daya kurang lebihnya sekitar 200 MW. PT. Indonesia Power Unit Bisnis pembangkitan Semarang memiliki 1 buah steam turbine generator untuk bagian PLTGU-nya.

10. HRSG

HRSG ( Heat Recovery Steam Generator ) UBP Semarang memiliki 2 blok Combine Cycle Power Plant dengan kapasitas masing-masing 1x 500 MW. Per bloknya terdiri dari 3 x 100 MW turbin gas dan 1 x 200 MW turbin uap yang merupakan combine cycle dari sisa gas buang dari GTG.100 oC tergantung dari load gas turbin dan ambien temperatur. HRSG ini didesain

untuk beroperasi pada turbin gas dengan pembakaran natural gas dan destilate oil.  $\pm 514$  oC (HSD) pada outlet flow gas  $\pm$  Untuk masing-masing HRSG akan membangkitkan uap sebesar 194,29 ton/jam total flow, pada inlet flow gas.



Gambar 2.2 bagian-bagian PLTGU<sup>1</sup>

Ada beberapa alat bantu yang digunakan untuk menunjang kinerja dari sebuah pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) diantaranya adalah sebagai berikut:

#### A. Alat Bantu pada Boiler

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat yang digunakan untuk memproduksi uap dengan tekanan dan temperature tertentu. Uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin uap sehingga dari turbin uap tersebut akan didapatkan energi mekanis. Selanjutnya, energi mekanis ini akan diubah menjadi energi listrik didalam generator. Adapun boiler sendiri mempunyai alat-alat bantu seperti berikut :

##### 1. Economizer

Economizer adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air pengisi ketel dengan media pemanas energi kalor yang terkandung didalam gas bekas. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan air pengisi ketel yang suhunya tidak jauh berbeda dengan air yang terdapat pada boiler drum, serta untuk menaikkan efisiensi boiler.

##### 2. Drum Uap / Steam Drum

<sup>1</sup> <http://pembangkit-uap.blogspot.co.id/2015/03/pembangkit-listrik-tenaga-gas-pltg-nim.html>, diakses 9 juni 2017



Steam drum adalah alat yang digunakan untuk memisahkan bagian air, uap basah dan uap kering karena didalam boiler terjadi pemanasan bertingkat. Setiap unit boiler dilengkapi oleh sebuah steam drum dan dipasang pada bagian atas dari boiler.

3. Super Heater.

Uap yang dihasilkan boiler drum ada yang masih berupa uap basah , dan untuk mendapatkan uap yang betul-betul kering. Uap basah yang berasal dari boiler drum perlu dipanaskan lagi pada super heater sehingga uap kering yang dihasilkan naik ke steam drum dan memutar sudu – sudu turbin uap. Setiap boiler biasanya dilengkapi dengan dua buah super heater yaitu primary dan secondary super heater yang dipasang pada bagian atas dari ruang pembakaran (furnace).

4. Desuper Heater

Desuper Heater merupakan spray water yang digunakan untuk mengatur temperatur uap yang dialirkan ke turbin. Alat sudah dibuat sedemikian rupa sehingga bila temperatur uap melebihi ketentuan, maka desuper heater ini akan menyemprotkan air yang berasal dari discharge boiler feed pump sampai temperaturnya normal kembali.

5. Soot Blower

Soot Blower merupakan alat pembersih pipa di dalam boiler yang diakibatkan menempelnya sisa-sisa pembakaran, dengan media pembersih auxiliary steam.

6. Boiler Feed Pump ( BFP )

Boiler Feed Pump merupakan pompa pengisi air boiler. Pompa tersebut memompakan deaerator storage tank ke boiler.

B. Alat-alat bantu pada Turbin

1. Condensor

Condensor dibuat dari sejumlah pipa-pipa kecil yang mana air laut sebagai media pendingin dapat mengalir melalui pipa-pipa tersebut. Sedangkan uap bekas yang keluar dari turbin akan memasuki sela-sela pipa kondensor sehingga terjadilah perpindahan panas dari uap ke air



laut yang selanjutnya akan terjadi pengembunan dan kondensasi uap. Uap yang sudah berubah menjadi air didalam kondensor ditampung didalam hot well. Fungsi dari condensor adalah sebagai berikut :

- a) Menaikkan efisiensi turbin, karena dengan mengusahakan vacuum didalam kondensor uap bekas dari turbin akan segera dapat keluar dan tidak memberikan reaksi tekanan terhadap putaran turbin.
- b) Untuk mengembunkan uap bekas dari turbin dengan media pendingin air laut yang mengalir melalui pipa-pipa kecil didalam kondensor sehingga air kondensasi tersebut dapat dijadikan sebagai air pengisi ketel.

## 2. Condensate Pump

Setelah air kondensasi terkumpul pada hot well, maka air tersebut dipompakan oleh condensate pump ke daerator tank dengan melalui heater.

## 3. Low Pressure Heater

Alat ini berguna untuk memanaskan air condensate yang berasal dari hot well, sebelum dimasukkan ke daerator tank. Konstruksi pemanasan ini terdiri dari pipa-pipa air yang dilalui oleh air condensat dan pada bagian luarnya dipanasi dengan uap yang diambilkan dari extraction steam dari turbin.

## 4. Auxiliary Cooling Water Pump

Pompa ini berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin yang dibutuhkan untuk mendinginkan minyak pelumas dan gas hydrogen. Air pendingin yang disirkulasikan oleh pompa ini didinginkan lagi oleh air laut didalam auxillary cooling water heat exchanger.

## 5. High Pressure Heater

Alat ini berguna untuk memanaskan air pengisi ketel yang berasal dari daerator storage tank, yang selanjutnya akan dikirim ke ketel lewat economizer. Konstruksi alat ini terdiri dari pipa-pipa air yang dilalui oleh air boiler feed dan bagian luarnya dipanasi dengan uap.



#### 6. Daerator

Daerator adalah alat yang berfungsi untuk membuang O<sub>2</sub> dan gas-gas lain yang terkandung dalam air kondensat, disamping itu juga berfungsi sebagai pemanas air kondensat. Alat ini dikonstruksikan dari tray-tray yang berlapis-lapis sehingga memungkinkan untuk membuat partikel-partikel air condensate yang dimasukkannya. Dengan adanya air kondensat yang sudah menjadi partikel-partikel tersebut serta adanya uap ekstraksi yang disemprotkan, maka akan memungkinkan O<sub>2</sub> dan gas-gas lainnya yang terkandung didalamnya akan terlepas dan dibuang ke atmosfer.

#### 7. Air Ejector

Air Ejector adalah suatu alat yang dikonstruksikan dari sebuah nozzle sehingga bilamana dialiri uap akan dapat menarik udara dan gas-gas yang tidak dapat mengembun didalam kondensor sehingga condensor akan menjadi vacuum. Dengan adanya kevakuman pada kondensor maka akan dapat menaikkan efisiensi dari turbin.

Alat ini ada dua macam yaitu :

##### a) Primming Ejector

Primming Ejector digunakan pada saat start up, kemudian bila kemampuannya sudah mencapai batas maka penarikan vacuum dilakukan oleh alat lain.

##### b) Air Ejector

Air Ejector digunakan untuk menarik kevakuman setelah melalui alat primming ejector.

### 2.1.2 Prinsip Kerja PLTGU

Dalam operasinya, unit turbin gas dapat dioperasikan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya listrik sementara gas buangnya berproses untuk menghasilkan uap dalam ketel pemanfaat gas buang. Kira-kira 6 (enam) jam kemudian, setelah uap dalam ketel uap cukup banyak, uap dialirkan ke turbin uap untuk menghasilkan daya listrik.



Secara umum sistem produksi tenaga listrik pada PLTG/U dibagi menjadi dua siklus, yaitu sebagai berikut :

**a. Siklus Terbuka (*Open Cycle*)**

*Siklus Terbuka* merupakan proses produksi listrik pada PLTGU dimana gas buangan dari turbin gas langsung dibuang ke udara melalui cerobong saluran keluaran. Suhu gas buangan di cerobong saluran keluaran ini mencapai  $550^{\circ}\text{C}$ . Proses seperti ini pada PLTGU dapat disebut sebagai proses pembangkitan listrik turbin gas yaitu suatu proses pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh putaran turbin gas.

**b. Siklus Tertutup (*Closed Cycle*)**

Jika pada Siklus Terbuka gas buang dari turbin gas langsung dibuang melalui cerobong saluran keluaran, maka pada proses Siklus Tertutup, gas buang dari turbin gas akan dimanfaatkan terlebih dahulu untuk memasak air yang berada di HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*). Kemudian uap yang dihasilkan dari HRSG tersebut akan digunakan untuk memutar turbin uap agar dapat menghasilkan listrik setelah terlebih dahulu memutar generator. Jadi proses Siklus Tertutup inilah yang disebut sebagai proses Pembangkitan Listrik Tenaga Gas Uap yaitu proses pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh putaran turbin gas dan turbin uap. Daya listrik yang dihasilkan pada proses Siklus Terbuka tentu lebih kecil dibandingkan dengan daya listrik yang dihasilkan pada proses produksi listrik Siklus Tertutup. Pada prakteknya, kedua siklus diatas disesuaikan dengan kebutuhan listrik masyarakat. Misalnya hanya diinginkan Siklus Terbuka karena pasokan daya dari Siklus Terbuka sudah memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Sehingga damper (*stack holder*) yang membatasi antara cerobong gas dan HRSG dibuat *close*, dengan demikian gas buang dialirkan ke udara melalui cerobong saluran keluaran. Dan apabila dengan Siklus Terbuka kebutuhan listrik masyarakat belum tercukupi maka diambil langkah untuk menerapkan Siklus Tertutup. Namun demikian dalam sistem mekanik elektrik, suatu mesin akan lebih baik



pada kondisi selalu beroperasi, karena apabila mesin berhenti akan banyak mengakibatkan korosi, perubahan pengaturan (*setting*), mur atau baut yang mulai kendur dan sebagainya. Selain itu dengan *selalu beroperasi* lebih mengefektifkan daya, sehingga daya yang dihasilkan menjadi lebih besar. Jadi secara garis besar untuk produksi listrik di Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap dibagi menjadi 2 proses berikut ini :

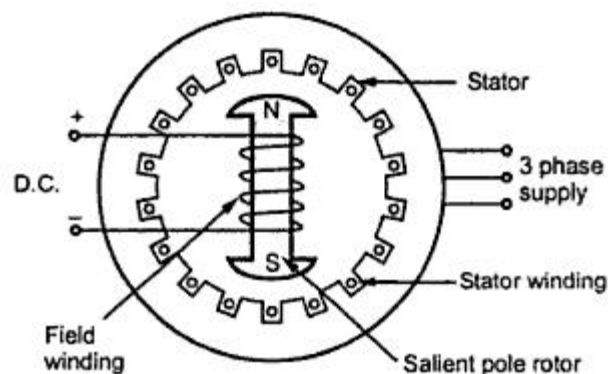
- 1) Proses Pembangkitan Listrik Turbin Gas.
- 2) Proses Pembangkitan Listrik Turbin Uap

## 2.2 Generator Sinkron

### 2.2.1 Pengertian generator sinkron

Generator arus bolak-balik sering disebut sebagai generator sinkron atau alternator. Generator arus bolak-balik memberikan hubungan yang sangat penting dalam proses perubahan energi dari batu bara, minyak, gas, atau uranium ke dalam bentuk yang bermanfaat untuk digunakan dalam industri atau rumah tangga. Dalam generator arus bolak-balik bertegangan rendah yang kecil, medan diletakkan pada bagian yang berputar atau rotor dan lilitan jangkar pada bagian yang diam atau stator dari mesin

### 2.2.2 Konstruksi Generator Sinkron



Gambar 2.3 konstruksi generator sinkron<sup>2</sup>

1. Bagian yang diam (Stator)

Bagian yang diam (stator) terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

<sup>2</sup> Hlm 46. Kundur Prabha. Power System Stability and Control. 1993

a. Inti stator.

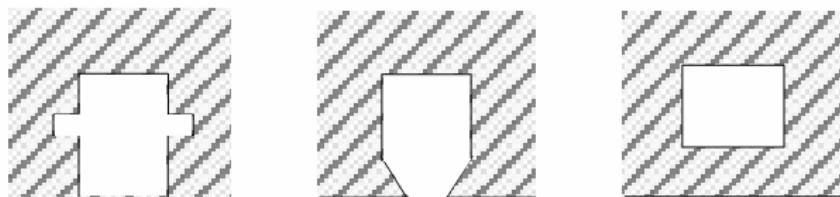
Bentuk dari inti stator ini berupa cincin laminasi-laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy (eddy current losses). Pada inti ini terdapat slot-slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnetnya.

b. Belitan stator.

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

c. Alur stator.

Merupakan bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan. Ada tiga bentuk alur stator yaitu: terbuka, setengah terbuka dan tertutup.



a.terbuka

b.setengah terbuka

c. tertutup

Gambar 2.4 alur stator<sup>3</sup>

d. Rumah stator.

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

2. Bagian yang bergerak (Rotor) <sup>4</sup>

Rotor adalah bagian generator yang bergerak atau berputar. Antara rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara (air gap). Rotor terdiri dari dua bagian umum, yaitu:

1. Inti kutub

<sup>3</sup> [http://www.4shared.com/photo/qETzGi69/bentuk\\_alur\\_stator\\_generator\\_s.html](http://www.4shared.com/photo/qETzGi69/bentuk_alur_stator_generator_s.html)

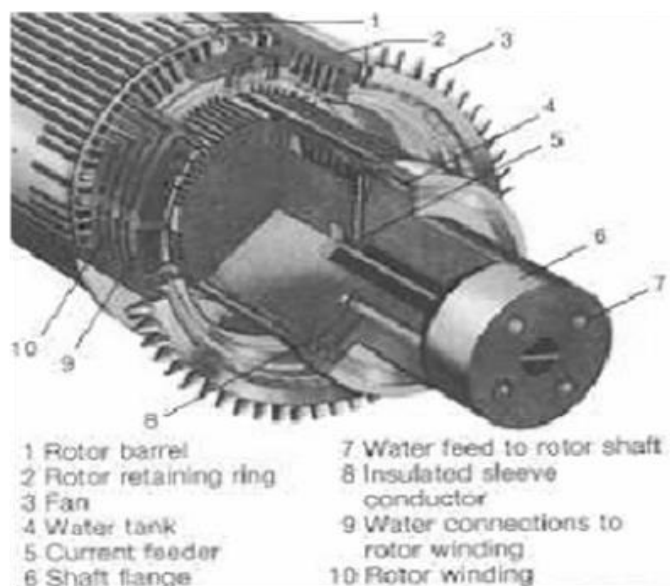
<sup>4</sup> Hlm.428. Piri Sumardjati. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik

Pada bagian inti kutub terdapat poros dan inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan

## 2. Kumparan medan

Pada kumparan medan ini juga terdapat dua bagian, yaitu bagian penghantar sebagai jalur untuk arus pemacuan dan bagian yang diisolasi. Isolasi pada bagian ini harus benar-benar baik dalam hal kekuatan mekanisnya, ketahanannya akan suhu yang tinggi dan ketahanannya terhadap gaya sentrifugal yang besar.

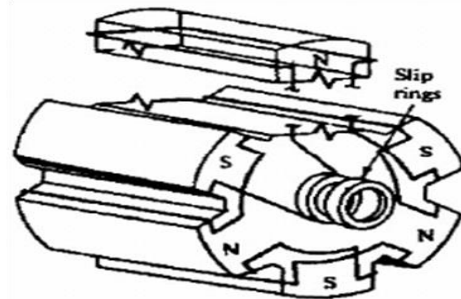
Konstruksi rotor untuk generator yang memiliki nilai putaran relatif tinggi biasanya menggunakan konstruksi rotor dengan kutub silindris atau "cylindrica poles" dan jumlah kutubnya relatif sedikit (2, 4, 6). Konstruksi ini dirancang tahan terhadap gaya-gaya yang lebih besar akibat putaran yang tinggi.



Gambar 2.5 konstruksi rotor kutub silindris<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Hlm.429. Piri Sumardjati. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik

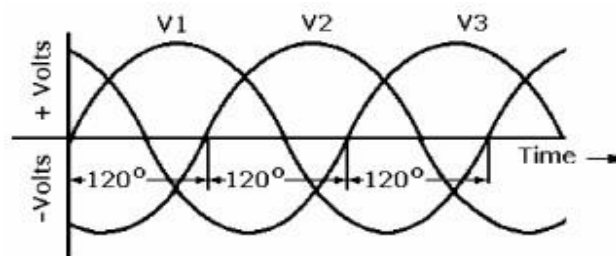
Untuk putaran generator yang relatif rendah atau sedang (kurang dari 1000 rpm), dipakai konstruksi rotor dengan kutub menonjol atau "salient pole" dengan jumlah kutub-kutub yang relatif banyak.



Gambar 2.6 konstruksi rotor kutub menonjol<sup>6</sup>

Pada prinsipnya, salah satu dari penghantar atau kutub-kutub ini dibuat sebagai bagian yang tetap sedangkan bagian-bagian yang lainnya dibuat sebagai bagian yang berputar.

Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Prinsip kerja generator arus bolak-balik tiga fasa (alternator) pada dasarnya sama dengan generator arus bolak-balik satu fasa, akan tetapi pada generator tiga fasa memiliki tiga lilitan yang sama dan tiga tegangan outputnya berbeda fasa  $120^\circ$  pada masing-masing fasa.



Gambar 2.7 Grafik Tegangan Generator 3 Fasa<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Hlm.429. Prih Sumardjati. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik

<sup>7</sup> <https://kurniawanpramana.wordpress.com/2011/09/25/generator-sinkron-1/> diakses 9 juni 2017

### 2.3 Pembebanan Generator

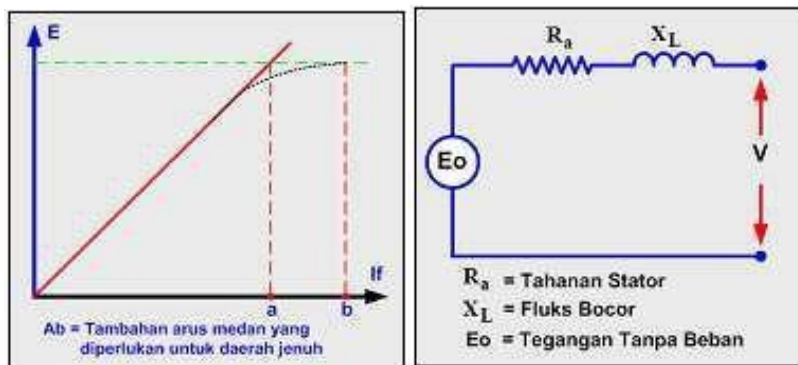
Pembebanan generator ada dua, yaitu generator tanpa beban dan generator berbeban.

#### 2.3.1 Generator Tanpa Beban

Apabila sebuah mesin sinkron difungsikan sebagai alternator dengan diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ), maka pada kumparan jangkar stator akan diinduksikan tegangan tanpa beban ( $E_o$ ), yaitu :

$$E_o = 4,44 \cdot K_d \cdot f \cdot \phi M \cdot T \dots\dots\dots (2.1)^8$$

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluk hanya dihasilkan oleh arus medan ( $I_f$ ). Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan pada gambar a. Kondisi alternator tanpa beban bisa digambarkan rangkaian ekuivalennya seperti diperlihatkan pada gambar b.



(a)

(b)

Gambar 2.8 Kurva dan Rangkaian Ekuivalen Generator Tanpa Beban.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Hlm.210. Yon Rijono. Dasar Teknik Tenaga Listrik. 2002

<sup>9</sup> Hlm.436. Prie Sumardjati. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik jilid 3



### 2.3.2 Generator Berbeban

Tiga macam sifat beban generator, yaitu : beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Akibat pembeban ini akan berpengaruh terhadap tegangan beban dan faktor dayanya. Jika beban generator bersifat resistif mengakibatkan penurunan tegangan relatif kecil dengan faktor daya sama dengan satu. Jika beban generator bersifat induktif terjadi penurunan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya terbelakang (*lagging*). Sebaliknya, Jika beban generator bersifat kapasitif akan terjadi kenaikan tegangan yang cukup besar dengan faktor daya mendahului (*leading*).

### 2.3.3 Impedansi dan Resistansi

*Impedansi (Z)* adalah nilai hambatan yang dihasilkan dari beban berupa resistor dengan induktor / resistor dengan kapasitor / resistor dengan induktor dan kapasitor yang dirangkai secara seri atau pun paralel. Untuk mengetahui nilai *impedansi (Z)* pada rangkaian paralel resistor , induktor, kapasitor pada arus bolak-balik dapat dilakukan dengan cara menghitung nilai *reaktansi induktif (X<sub>L</sub>)*, dan *reaktansi kapasitif (X<sub>C</sub>)* dengan menggunakan rumus berikut :

**1. Rumus Reaktansi Induktif (X<sub>L</sub>) :**

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

..... (2.2)

<sup>10</sup>

Keterangan :

X<sub>L</sub> = Reaktansi induktif (Ω)

f = Frekuensi (Hz)

π = 3,14 atau 22/7

L = Nilai induktansi pada induktor (H)

**2. Rumus Reaktansi Kapasitif (X<sub>C</sub>) :**

---

<sup>10</sup> Hlm 87. Kundur Prabha. Power System Stability and Control. 1993



$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$X_C$  = Reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

$f$  = Frekuensi (Hz)

$\pi$  = 3,14 atau  $22/7$

$C$  = Nilai kapasitas pada kapasitor (F)

Jika kedua nilai reaktansi telah diketahui, maka selanjutnya dapat menghitung nilai *impedansi* ( $Z$ ) pada rangkaian paralel resistor, induktor, dan kapasitor menggunakan rumus berikut :

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$Z$  = Impedansi ( $\Omega$ )

$R$  = nilai hambatan atau resistansi pada resistor ( $\Omega$ )

$X_L$  = Reaktansi induktif ( $\Omega$ )

*Arus listrik* ( $I$ ) total pada rangkaian paralel resistor, induktor, dan kapasitor dengan arus bolak-balik dapat diketahui, jika arus listrik masing-masing pada beban telah diketahui kemudian menghitung dengan menggunakan rumus :

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$I$  = Arus listrik total pada rangkaian (A)

$I_R$  = Arus listrik yang mengalir pada beban resistor (A)

$I_L$  = Arus listrik yang mengalir pada beban induktor (A)

$I_C$  = Arus listrik yang mengalir pada beban kapasitor (A)



Nilai *tegangan* (V) pada rangkaian tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang berasal dari hasil substitusi rumus hukum ohm :

$$Z = \frac{V}{i\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.6)^{11}$$

Keterangan:

V = Tegangan listrik pada rangkaian (V)

I = Arus listrik pada rangkaian (A)

Z = Impedansi ( $\Omega$ )

Faktor daya (Cosphi;) dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \dots\dots\dots (2.7)^{12}$$

Keterangan :

R = Nilai hambatan atau resistansi ( $\Omega$ )

Z = Nilai impedansi pada rangkaian ( $\Omega$ )

### 2.4 Efisiensi Generator

Pada umumnya yang disebut dengan efisiensi generator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Seperti halnya dengan mesin- mesin listrik lainnya, maupun transformator, maka efisiensi generator sinkron dapat dituliskan seperti persamaan :

$$\eta (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)^{13}$$

Dimana :

$$P_{in} = P_{out} + \sum P_{Rugi} \dots\dots\dots (2.9)$$

<sup>11</sup> Hal 235 Sudirham, Sudharyanto. Analisa Rangkaian Listrik( jilid-1)

<sup>12</sup> Hal 118. Ramesh.A,Kasinathan.Electrical Engineering

<sup>13</sup> Hlm.404. Prih Sumardjati. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik jilid 3





Keterangan :

$P_{out}$  = daya keluaran (Watt)

$P_{in}$  = daya masukan (watt )

$$\Sigma P_{Rugi} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots(2.10)^{14}$$

Keterangan:

$\Sigma P_{Rugi}$  = total rugi-rugi daya

$I$  = Arus (amper)

$R$  = Resistansi (ohm)

---

<sup>14</sup> Hlm 50. J.Chapman Stephen. Electric machinery and power system fundamentals. 2002