

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebagai penulis yang dapat digunakan penulis sebagai bahan rujukan antara lain:

Abdu (2016) meneliti eksitasi di PLTU dengan pengaruh beban terhadap generator. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan adanya perubahan nilai eksitasi yang terjadi pada generator pada saat beban puncak.

#### **2.2 Landasan Teori**

Hakim 2015 Prinsip kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan suatu sistem tertutup air dari kondensat atau air dari hasil proses pengondensasian di kondensor dan air *make up water* (air yang dimurnikan) dipompa oleh *condensat pump* ke pemanas tekanan rendah. Di sini air dipanasi kemudian dimasukkan ke daerator untuk menghilangkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh *boiler feed water pump* masuk ke *economizer*. Dari *economizer* yang selanjutnya dialirkan ke pipa untuk dipanaskan pada *tube boiler*.

Pada *tube*, air dipanaskan hingga berbentuk uap air. Uap air ini dikumpulkan kembali pada *steam drum*, kemudian dipanaskan lebih lanjut pada *superheater*. Hasil dari *superheater* yaitu uap kering yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi, dan selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan

sudu turbin. Hasil dari putaran poros turbin kemudian memutar poros generator yang dihubungkan dengan *coupling*. Hasil putaran generator dihasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari generator disalurkan dan didistribusikan lebih lanjut ke pelanggan.

Pada siklus PLTU Cilacap, sebelum masuk *steam drum* air umpan dipompakan ke *economizer* dengan menggunakan *Boiler Feed Pump* (BFP). Selanjutnya karena air yang keluar dari *economizer* menerima kalor, maka air yang mengalir ke *steam drum* akan dilakukan proses pemisahan, air mengalir melalui *downcomer* ke *lower header* untuk dialirkan ke pipa-pipa air yang merupakan dinding yang mengelilingi ruang bakar ketel uap. Ke dalam ruang bakar ketel disemprotkan bahan bakar dan udara pembakaran. Bahan bakar yang dicampur dengan udara ini dinyalakan dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran dalam ruang bakar. Pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar merubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (kalor). Energi panas hasil pembakaran ini dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel melalui proses radiasi, konduksi, dan konveksi.

Gas hasil pembakaran dalam ruang bakar setelah dimanfaatkan untuk memindahkan energi panasnya ke air yang ada dalam pipa ketel. Air selanjutnya dialirkan melalui saluran pembuangan gas buang untuk kemudian dibuang ke udara melalui cerobong. Gas buang sisa pembakaran ini masih mengandung banyak energi panas karena tidak semua energi panasnya dapat dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel. Gas buang ini dimanfaatkan lagi untuk :

- A. Pemanas lanjut (*superheater*). Di dalam *superheater*, hasilnya berupa *superheated steam* yang menuju ke turbin tekanan tinggi. Uap yang mengalir dalam *superheater* ini mengalami kenaikan tekanan dan temperatur sehingga uap ini benar-benar kering.
- B. *Reheater*. Uap yang telah digunakan untuk menggerakkan turbin tekanan tinggi, sebelum menuju turbin tekanan menengah, dialirkan kembali melalui pipa ke *reheater*. Dalam *reheater* uap akan mengalami kenaikan temperatur yang serupa pemanas lanjut.
- C. *Economizer*. Air yang dipompakan ke dalam ketel, terlebih dahulu dialirkan melalui *economizer* agar mendapat pemanasan. Dengan demikian temperatur air akan lebih tinggi ketika masuk ke pipa air di ruang bakar.
- D. Pemanasan udara. Udara yang akan dialirkan ke ruang pembakaran yang digunakan untuk membakar bahan bakar terlebih dahulu dialirkan melalui pemanas udara agar mendapat pemanasan sehingga temperatur udara pembakaran naik yang selanjutnya akan mempermudah proses pembakaran di *furnance*.

Uap hasil pembakaran dialirkan ke *steam drum* untuk dilakukan proses pemisahan. Uap jenuh (*saturated*) akan mengalir ke *Low Temperature Superheater, Larger Platen Superheater, Rear Platen Superheater* dan *High Temperature Superheater*. Dari proses di *superheater* keluar aliran uap utama (*main steam*) dengan temperatur  $540^{\circ}$  C dan tekanan 17,78 MPa. Proses selanjutnya yaitu *main steam* dari boiler dengan tekanan 16,67 MPa dan Temperatur  $538^{\circ}$  C masuk ke *High Pressure Turbine*. Setelah berekspansi pada

sudu turbin tekanan tinggi lalu keluaran HP, uap tersebut dimasukkan ke *reheater* yang terdapat pada boiler untuk dipanaskan kembali menggunakan gas panas sebelum masuk ke IP (*Intermediate Pressure*). Temperatur yang masuk ke IP (*Intermediate Pressure*) hampir sama dengan yang masuk ke HP tapi tekanannya menurun menjadi 3,60 Mpa. Selanjutnya uap keluar IP langsung masuk ke LP dengan tekanan 1,4 MPa dengan kondisi temperatur sudah turun. Poros pada generator dikopel dengan poros turbin yang kemudian generator akan berputar dan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Setelah uap memutar turbin, lalu uap keluaran LP masuk ke kondensor dengan tekanan kurang lebih 1,4 MPa untuk dilakukan proses perubahan fasa uap menjadi cair. Uap dalam kondensor didinginkan dengan air laut yang dipompa dengan *Circulating Water Pump* (CWP) yang dialirkan melalui pipa-pipa titanium dengan diameter dalam  $\pm 25$  mm. Air hasil kondensasi tersebut ditampung di *hotwell* dan dialirkan kembali oleh pompa kondensor menuju *Low Pressure Heater*, *High Pressure Heater*, *Daerator*, *economizer* dan kemudian menuju ruang pembakaran

### **2.2.1 Boiler (Katel Uap)**

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin, 1988, hlm. 28). Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Ashkhabulyamin, 2009, hlm. 13). Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan

kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar.

*Boiler* merupakan salah satu komponen utama di PLTU Cilacap 2 x 300 MW. *Boiler* ini merupakan suatu alat pengkonversi energi yang berbentuk bejana tertutup. Dimana energi yang dikonversikan adalah energi reaksi kimia dari bahan bakar dengan oksigen menjadi energi panas, dimana energi panas tersebut digunakan untuk memanaskan air (*feed water*) hingga air berubah fasa menjadi uap. Boiler PLTU Cilacap ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Boiler PLTU Cilacap

Prinsip kerja boiler yaitu mengonversikan energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran antara bahan bakar dengan udara, dari air menjadi uap dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan udara, dimana dalam bahan bakar tersebut terkandung bahan-bahan yang mudah terbakar tersebut dengan udara yang mengakibatkan terlepasnya energi yang terkandung oleh bahan bakar dan berubah menjadi energi thermal. Sisa dari pembakaran adalah gas buang yang

temperaturnya masih cukup tinggi. Energi panas hasil pembakaran di dalam boiler akan merambat secara konduksi, konveksi dan radiasi, melalui dinding menguapkannya. *Main steam* yang dihasilkan di PLTU Cilacap 2 x 300 MW ini memiliki temperatur 540<sup>0</sup> C dan tekanan 17,78 MPa. Didalam unit ini terdapat komponen-komponen lain seperti : *Economizer, Low Temperature Superheater, Larger Platen Superheater, Rear Platen Superheater, High Temperature Superheater, Steam Drum, Water wall, Reheater*, dll. (Hakim, 2015).

Boiler berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. Boiler terdiri dari dua komponen utama, yaitu:

1. Ruang bakar sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
2. Alat penguap (evaporator) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

### **2.2.2 Turbin**

Turbin adalah komponen yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik yang tersimpan didalam fluida kerja menjadi energi mekanis rotasional. Turbin uap ini dapat menghasilkan daya karena proses ekspansi uap dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah. (Hakim, 2015).

Turbin yang di pakai di PLTU Cilacap 2 x 300 MW memiliki tiga tingkatan yaitu *HP turbine (High Pressure)*, *IP (Intermediate Pressure)*, dan *LP (Low Pressure)*. Prosesnya yaitu *main steam* dari *boiler* dengan tekanan 16,67 Mpa dan

Temperatur  $538^{\circ}\text{C}$  masuk ke HP turbin. Uap keluaran HP kemudian masuk ke *reheater* yang terdapat pada boiler untuk dipanaskan kembali menggunakan gas panas. Temperatur yang masuk ke IP hampir sama dengan yang masuk ke HP tapi tekanannya menurun menjadi 3,60 MPa. Selanjutnya uap keluar IP langsung masuk ke LP dengan tekanan 1,4 MPa dengan temperatur udara sudah turun. Bentuk turbin PLTU ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Turbin PLTU

### **2.2.3 Kondensor**

Kondensor adalah alat penukar kalor yang di dalamnya terdapat dua siklus yang saling berkaitan, yaitu siklus fluida panas (refrigeran) dan siklus fluida dingin (air kondensor), yang keduanya saling berlawanan arah (Wibowo dan Prawoto, 2014). Alat ini merupakan salah satu komponen utama pada PLTU yang berfungsi mengkondensasikan uap bekas keluar turbin tekanan rendah menjadi air dengan media pendingin air laut. Agar proses kondensasi tersebut lebih efisien, maka tekanan di kondensor harus lebih rendah (divakumkan).

Kevakuman pada kondensor didapatkan dengan cara menghisap ruang kondensor dengan *vacuum pump*. Air hasil kondensasian disebut air kondensat

(*condensate water*) dan air tersebut ditampung di *hotwell* dan dialirkan kembali ke siklusnya. Udara dan gas-gas yang terkondensasi dikeluarkan oleh *vacuum pump* (Hakim, 2015).

#### **2.2.4 Boiler Feed Pump (BFP)**

*Boiler Feed Pump* (BFP) atau disebut juga BFWP (*Boiler Feed Water Pump*) adalah tipe khusus yang digunakan dari pompa yang digunakan untuk memompa air hasil kondensasi menuju *steam drum* pada *boiler*. BFP merupakan salah satu komponen utama di PLTU Cilacap 2 x 300 MW yang berfungsi untuk mengontrol dan mensuplai air pada jumlah tertentu yang berasal dari *daerator tank* menuju *boiler* dengan spesifikasi tekanan yang ditentukan. Air sebelum masuk ke *boiler* dilakukan pemanasan awal sehingga air yang dipompa oleh BFP juga memiliki temperatur tertentu yang cukup panas (Hakim, 2015).

#### **2.2.5 Generator**

Generator adalah salah satu jenis mesin listrik yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik dengan cara mengonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Pada generator, energi mekanik didapat dari penggerak mula yang bisa berupa mesin diesel, turbin, baling-baling dan lain-lain. Pada pembangkit-pembangkit besar, salah satu alat konversi yang sering digunakan yaitu generator sinkron 3 phase (Bandri, 2013).

Generator merupakan salah satu komponen utama yang berada di PLTU Cilacap 2 x 300 MW. Generator yang dipakai di PLTU Cilacap 2 x 300 MW yaitu generator sinkron bertipe QFSN-300-2-20B yang dibuat oleh *China Dongfang*



*Electrical Machine CO.LTD.* Generator ini merupakan generator 3 fasa 2 kutub. Sistem pendingin yang dipakai di generator yaitu *startor winding* memakai air, sedangkan untuk *stator core* dan *rotor winding* memakai pendingin hidrogen (Setiawan, 2007).

Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumputaran medan pada generator sinkron terletak pada rotornya sedangkan kumputaran jangkarnya terletak pada stator. Generator PLTU Cilacap ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Generator PLTU Cilacap

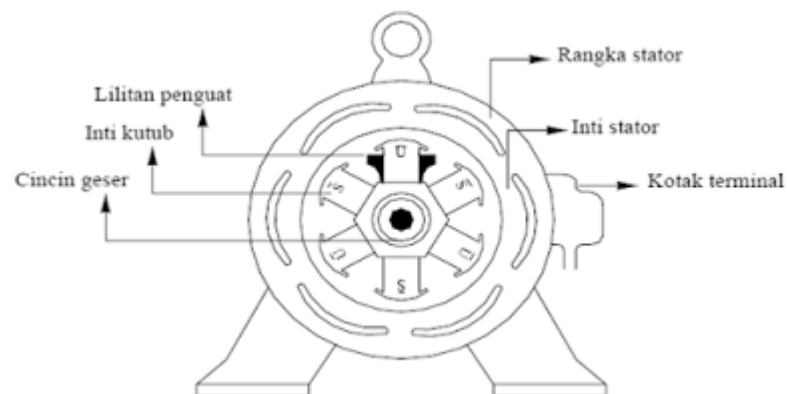
#### 2.2.6 Konstruksi Generator Sinkron

Pada dasarnya, konstruksi dari generator sinkron sama seperti motor sinkron, dan secara umum dapat disebut mesin sinkron. Secara umum mesin sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar dimana

diletakkan kumparan medan yang disuplai oleh arus searah dari eksiter (Fitradhana, 2012).

Adapun konstruksi generator AC adalah sebagai berikut:

1. Stator, Stator adalah bagian yang diam. Memiliki alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi.
2. Rotor, Rotor adalah bagian yang berputar, pada bagian ini terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat.
3. Cincin geser, terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.
4. Generator penguat, Generator penguat merupakan generator arus searah yang dipakai sebagai sumber arus.



**Gambar 2.4.** Kontruksi Generator Sinkron

### 2.2.7 Stator

Stator merupakan bagian yang diam dan merupakan gulungan kawat penghantar yang disusun sedemikian rupa dan ditempatkan pada alur-alur inti besi yang disebut dengan belitan jangkar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada penghantar tersebut merupakan tempat terbentuknya GGL induksi yang diakibatkan dari medan magnet putar dari rotor yang memotong kumparan penghantar stator.



**Gambar 2.5.** Inti dan Alur pada Stator

### 2.2.8 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak/berputar (*Pusdiklat PLN*). Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet sehingga menghasilkan tegangan kemudian akan diinduksikan ke stator. Rotor pada generator juga berfungsi sebagai tempat belitan medan (eksitasi). Kumparan medan magnet disusun pada

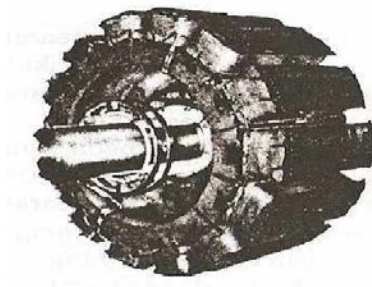
alur-alur inti besi rotor, sehingga apabila pada kumparan tersebut dialirkan arus searah (DC) maka akan membentuk kutub-kutub magnet Utara dan Selatan pada inti rotor.

Generator sinkron memiliki dua tipe rotor, yaitu :

1. Rotor Kutub Sepatu atau Menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Pada rotor kutub menonjol ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Pada kumparannya dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy. Pada belitan-belitan medannya dihubung seri, sehingga ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub yang berlawanan.

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran rendah dan sedang (120-400 rpm) sehingga kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi yang besar dan mengeluarkan suara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi. Bentuk kutub menonjol dapat di lihat pada Gambar 2.6:



**Gambar 2.6.** Rotor Kutub Menonjol

## 2. Rotor Kutub Silindris (*Non Salient Pole Rotor*)

Rotor kutub silindris terbuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan juga kumparan medan pada rotor maka mengakibatkan jumlah kutub pun sedikit terbentuk. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol.

Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran tinggi (1500 atau 3000 rpm) karena distribusi disekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol dan juga konstruksinya memiliki kekuatan mekanik pada kecepatan putar tinggi.

Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan disuplai oleh arus searah sehingga menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu. Kecepatan nominal rotor sesuai dengan persamaan:

$$n = \frac{120 \cdot f}{P}$$

dimana:

$n$  = Kecepatan putar rotor (rpm)

$p$  = Jumlah kutub rotor

$f$  = frekuensi (Hz)

Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan menginduksikan tegangan tiga fasa pada kumparan jangkar sehingga akan menimbulkan medan putar pada stator. Perputaran tersebut menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

GGL induksi ( $E_a$ ) pada alternator akan terinduksi pada kumparan jangkar alternator bila rotor diputar di sekitar stator. Besarnya kuat medan pada rotor dapat diatur dengan cara mengatur arus medan ( $I_f$ ) yang diberikan pada rotor.

Besarnya GGL induksi ( $E_a$ ) rata-rata yang dihasilkan kumparan jangkar alternator ini dapat dilihat dalam persamaan sebagai berikut:

$$E = 4,44 \cdot f \cdot \varphi \cdot T$$

Jika,  $n = \frac{120 f}{P}$  dan  $C = \frac{4,44 p T}{120}$

Bila,  $E = 4,44 \times \frac{n \cdot p}{120} \varphi T$

Maka,  $E = C n \varphi$

Dimana :

$E$  = Ggl induksi (volt)

$n$  = Jumlah lilitan

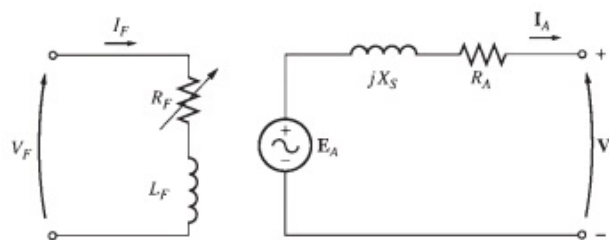
- $f$  = Frekuensi (Hz)
- $p$  = Jumlah kutub
- $\varphi$  = Fluks magnetik (Wb)

### 2.2.9 Generator Berbeban

Pada keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaktansi jangkar bersifat reaktif dan disebut juga sebagai reaktansi permanen ( $X_m$ ). Reaktansi permanen ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor ( $X_a$ ) sebagai reaktansi sinkron ( $X_s$ ) adalah :

$$X_s = X_m + X_a$$

Rangkaian ekuivalen generator berbeban ditunjukkan pada Gambar 2.7



**Gambar 2.7.** Rangkaian Ekuivalen Generator Berbeban

### 2.2.10 Faktor daya

Faktor daya yang sering disebut sebagai  $\cos \varphi$  didefinisikan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA) atau sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja di dalam suatu rangkaian terhadap arus

total yang masuk kedalam rangkaian. Adanya nilai faktor daya pada sistem tegangan AC disebabkan adanya beban yang mengalir dan nilainya bergantung oleh karakteristik beban tersebut. Bentuk segitiga daya ditunjukkan pada Gambar 2.8. Besarnya faktor daya ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini :

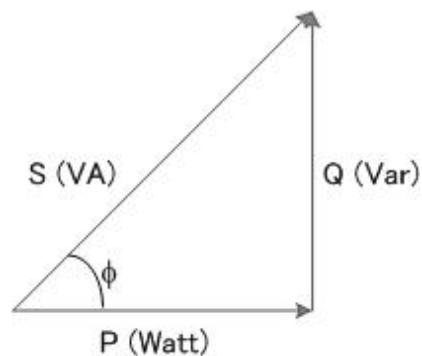
$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Dimana :

$\cos \varphi$  = Faktor daya

P = Daya aktif (Watt)

S = Daya semu (Volt Ampere)



**Gambar 2.8.** Segitiga Daya

Faktor daya mempunyai pengertian sebagai besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan yang dimiliki dalam menyalurkan daya yang bisa dimanfaatkan. Faktor daya rendah juga merugikan karena mengakibatkan arus beban akan menjadi lebih tinggi. Daya reaktif yang tinggi mengakibatkan



meningkatnya sudut segitiga daya sehingga menghasilkan faktor daya rendah, begitu juga sebaliknya.

### **2.2.6 Sistem Pendinginan PLTU**

Sistem pendinginan di PLTU Cilacap 2 x 300 MW, khususnya untuk pendinginan kondensor, *heat exchanger* dan *oil cooler* yaitu dengan menggunakan media air laut, karena pipa kondensor yang digunakan terbuat dari logam titanium yang tahan terhadap masalah korosi. Akan tetapi, media air laut mengandung biota laut yang berkembang biak dan akhirnya akan mempersempit penampang pipa-pipa yang dilewatinya. Oleh karena itu, untuk menghindari hal tersebut, air laut sebelum masuk ke *Circulating Water Pump* (CWP) diinjeksikan NaCl sebagai pencegahan berkembang biaknya biota laut. Selain itu air laut juga mengandung kotoran, oleh karena itu air laut disaring terlebih dahulu di *Bar Steel* dan *Cleaning Trash Device* sebelum melalui TBS (*Travelling Bar Screen*) baru masuk CWP. TBS ini merupakan sebuah saringan yang berbetuk setengah lingkaran yang saling berhubungan dan diputar oleh sebuah motor penggerak. Didalamnya juga terdapat sebuah *spray* yang berfungsi menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada saringan didalamnya dengan menyemprotkan air dari *backwash pump*, setelah melewati saringan ini diharapkan dari kotora kotoran kasar yang terbawa oleh air laut. Selanjutnya air masuk ke CWP kemudian dipompakan sebagai media pendingin pada kondensor, *heat exchanger*, dan *oil cooler*. Air laut yang telah digunakan sebagai pendingin sebagai pendingin tersebut kemudian dikeluarkan dan langsung dialirkan lagi ke laut.

### 2.2.7 Sistem Kelistrikan PLTU

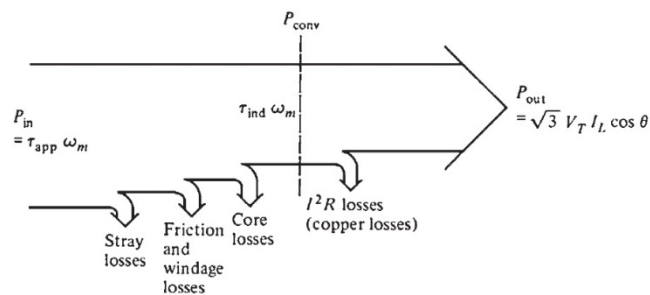
Energi listrik diperoleh dari generator yang diputar oleh turbin. Di PLTU Cilacap 2 x 300 MW, generator Unit 1 dan Unit 2 masing-masing menghasilkan 300 MW dengan tegangan 20 KV. Daya keluaran generator ada yang ditransmisikan dan ada yang dipakai untuk pemakaian sendiri. Oleh karena itu, untuk pemakaian sendiri di area PLTU Cilacap digunakan UAT (*Unit Auxiliary Transformer*) yang berupa transformator penurun tegangan dari 20 KV ke 6,3 KV sedangkan energi listrik yang ditransmisikan melalui jaringan 150 KV digunakan *main transformer* atau transformator penaik tegangan dari 20 KV ke 150 KV. Tegangan ini perlu dinaikan terlebih dahulu sebelum diinterkoneksi ke jaringan supaya tidak terlalu terjadi *drop voltage*. Setelah tegangannya dinaikkan melalui trafo penaik tegangan, energi listrik dialirkan dulu ke *Gas Insulation Substation* (GIS). GIS merupakan sebuah sistem penghubung dan pemutus jaringan listrik yang dikemas dengan menggunakan gas SF<sub>6</sub> (*Sulfur Hexafluoride*) bertekanan dimana tekanan gasnya kurang dari 0.15 MPa. GIS juga mempunyai keunggulan dalam hal isolasi dan pemadaman busur listrik. Tipe GIS yang dimiliki PLTU Cilacap adalah ZF6-252, GIS ini memiliki *rated voltage* 252 KV, *rated current* 2000 A, 2500 A, 3150 A, *earthing switch*, *current transformer*, *voltage transformer*, *lighting arrester* dll.

Energi listrik yang dihasilkan PLTU Cilacap diinterkoneksi ke jaringan 150 KV di jalur interkoneksi Jawa-Madura-Bali wilayah selatan untuk disalurkan ke 4 Gardu Induk yaitu GI Kalibakal, GI Rawalo 1, GI Rawalo 2, dan GI Semen Nusantara (Holcim). Di PLTU Cilacap sendiri ada komponen SST (*Startup*

*Standby Transformer*), dimana transformator ini merupakan trafo penurun tegangan dari 150 KV menjadi 6,3 KV. Transformator ini beroperasi untuk proses *start up* dan apabila telah memproduksi minimum 90 MW maka posisi SST digunakan UAT untuk pemakaian kebutuhan sendiri yang selanjutnya SST dalam kondisi *standby*.

### 2.2.8 Rugi-rugi Generator Sinkron

Secara teori, bahwa semua daya mekanis yang dihasilkan oleh penggerak mula oleh generator sinkron diubah menjadi daya elektrik. Perbedaan antara daya output dengan daya input mesin sinkron dinyatakan sebagai rugi-rugi mekanis, rugi-rugi inti, dan daya stray pada generator. dimana rugi total yang terjadi pada generator sinkron terdiri dari rugi-rugi tembaga, rugi besi dan mekanik.



**Gambar 2.9.** Diagram Aliran Daya Generator Sinkron

Berikut penjelasan macam-macam rugi yang terjadi ada generator :

#### 1. Rugi-rugi tembaga

Rugi-rugi tembaga adalah rugi-rugi daya yang terjadi di dalam kumparan medan dan kumparan jangkar generator pada saat dibebani. Karena kawat tembaga kedua kumparan tersebut memiliki nilai resistansi  $R_a$ , maka jika mengalir

arus  $I_a$  akan menyebabkan kerugian berupa panas, yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{cu} = 3 I_a^2 R_a$$

Dimana :

$P_{cu}$  = Rugi-rugi tembaga (Watt)

$I_a$  = Arus rata-rata generator (A)

$R_a$  = Resistansi ( $\Omega$ )

a. Rugi-rugi Mekanis

Rugi-rugi mekanis di dalam generator arus searah merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan efek-efek mekanis. Ada dua bentuk dasar rugi-rugi mekanis di dalam generator arus searah yaitu gesekan dan angin.

Rugi-rugi gesekan adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh pergesekan antara permukaan bagian-bagian yang berputar dengan bagian-bagian yang diam dari motor, diantaranya gesekan bearing atau bantalan peluru dengan rumah *bearing* atau dengan as rotor. Sedangkan rugi-rugi angin adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh pergesekan antara bagian-bagian generator yang berputar dengan udara di dalam rumah (*casing*) generator. Rugi-rugi angin ini bervariasi tergantung pada kecepatan rotor generator tersebut.

### 2.2.9 Efisiensi Generator Sinkron

Pada umumnya yang disebut efisiensi adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Dalam hal ini :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{input}} \times 100 \%$$

Sedangkan efisiensi yang memperhitungkan rugi-rugi dapat dituliskan dalam persamaan :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{Loss Total}} \times 100 \%$$

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{out} = \sqrt{3} \times I \times V \times \cos \varphi$  (Watt)

$P_{Loss Total} = P_{cu} + P_{inti}$  (Watt)

### 2.2.10 Basic Spesification Generator PLTU Cilacap

Adapun spesifikasi generator yang digunakan di PLTU Cilacap ditujukan pada Gambar 3.11.



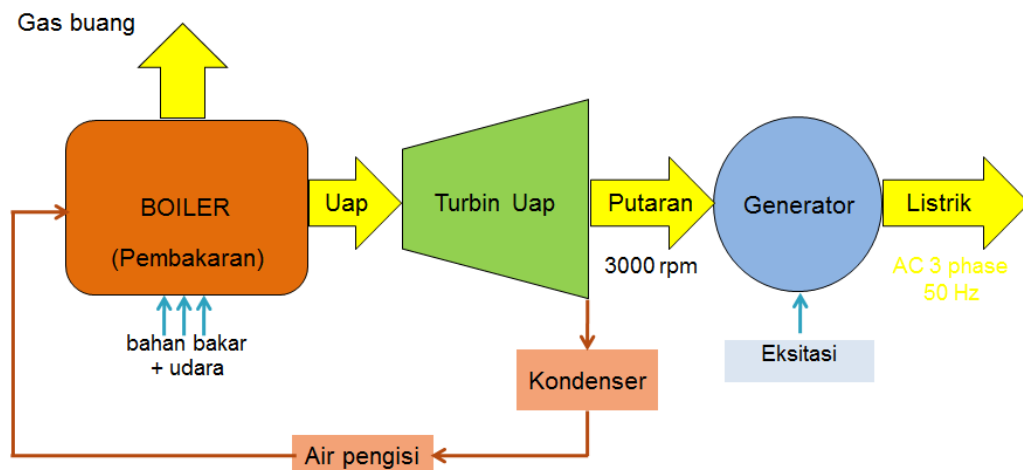
**Gambar 2.10.** Spesifikasi Generator PLTU Cilacap

|                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| <i>Type</i>                      | QFSN-300-2-20B                     |
| <i>Rated Output</i>              | 300 MW (353 MVA)                   |
| <i>Maximum Continuous Output</i> | 330 MW (388 MVA)                   |
| <i>Rated Voltage</i>             | 20 KV                              |
| <i>Rated Current</i>             | 10.189 A                           |
| <i>Rated Power Factor</i>        | 0.85                               |
| <i>Rated Speed</i>               | 3000 r/min                         |
| <i>Rated Frequency</i>           | 50 Hz                              |
| <i>Number of Phases</i>          | 3                                  |
| <i>Stator Winding Connection</i> | Y                                  |
| <i>Excitation Type</i>           | <i>Static Thyristor Excitation</i> |

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengendalikan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu-bara dan minyak bakar serta MFO untuk *starter*.

PLTU memiliki beberapa komponen utama antara lain turbin uap, boiler, kondensor dan generator. Semua komponen tersebut terintegrasi menjadi satu kesatuan sistem unit yang bekerja untuk dapat menghasilkan energi listrik (Habibiansyah dan Rhivki, 2012). Komponen-komponen pada pembangkit listrik tenaga uap dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 2.11** . Komponen-komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap

(Sumber : <http://3.bp.blogspot.com/s1600/PLTU.png>)

Kelebihan dari PLTU adalah daya yang dihasilkan sangat besar. Konsumsi energi pada peralatan PLTU bersumber dari putaran turbin uap. PLTU adalah suatu pembangkit yang menggunakan uap sebagai penggerak utama (*prime mover*). Untuk menghasilkan uap, maka haruslah ada proses pembakaran untuk memanaskan air. PLTU merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang mengonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan proses sudu-sudu turbin yang dihubungkan dengan generator yang kemudian dibangkitkannya energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan menyuplai alat-alat yang disebut beban.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Cilacap 2 x 300 MW terdiri dari 2 (dua) unit yang masing masing menghasilkan energi listrik sebesar 300 MW. Kapasitas yang dihasilkan oleh PLTU Cilacap 2 x 300 MW cukup besar sehingga dapat menambah pasokan kebutuhan listrik di pulau Jawa, khususnya di bagian selatan pulau Jawa. Sehingga penyaluran energi listrik dari PLTU Cilacap 2 x 300 MW ditransmisikan melalui interkoneksi jalur selatan 150 KV.