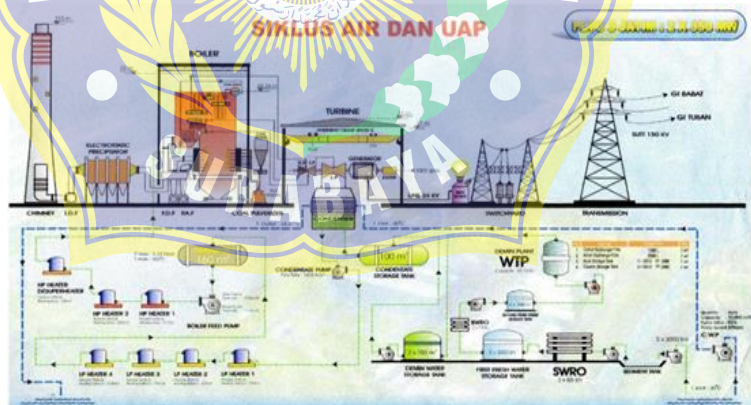


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga UP Tanjung Awar-Awar

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan uap air untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap terdiri dari beberapa sistem utama antara lain Boiler, Turbin, Generator dan alat bantu lainnya. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas dan kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak untuk *start up* awal. Proses produksi listrik PLTU Tanjung Awar-Awar terdiri dari beberapa proses, yaitu penyaluran batubara, pembentukan uap, pengolahan air dan pendistribusian listrik.



Gambar 2.1 Skema Produksi Listrik PLTU Tanjung Awar-Awar

(Sumber: Buku Manual PLTU Tanjung Awar-Awar, 2014)

Turbin merupakan salah satu peralatan utama dari sebuah PLTU yang berfungsi untuk mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanik. Proses pembuatan air menjadi uap untuk menggerakkan sudu-sudu turbin dengan tekanan dan temperatur tertentu, melalui proses pemanasan. Prosesnya diawali dari air laut yang sudah diproses menjadi air demin di WTP (*Water Treatment Plan*). Air demin ini akan masuk ke kondensator dipompa oleh CEP (*Condensate Extraction Pump*) dilewatkan ke Pemanas LPH (*Low Pressure Heater*) menuju Deaerator. Di Deaerator, Air Condensate mendapatkan pemanasan uap kontak langsung untuk membuang gas Oksigen yang terlarut dalam air Condensat. Selanjutnya air Condensat ditampung dalam *Storage Tank* Deaerator yang dijaga ketinggian levelnya. Air tersebut dipompakan oleh (BFPT (*Boiler Feed Pump Turbin*)) dibantu pompa booster menuju *Steam Drum* Boiler dengan melewati pemanas bertekanan tinggi HPH (*High Pressure Heater*) dan *Economizer*. Dari *economizer* air uap yang dipanaskan akan mengalir menuju *steam drum* dan dipanaskan lagi di *primary superheater* kemudian dilanjutkan di *secondary superheater*. Uap hasil pemanasan di *superheater* inilah yang akan digunakan untuk memutar turbin.

Pada Pembangkit listrik dengan kapasitas besar, *Steam Turbine* dibagi menjadi 3 bagian yaitu HP turbine (*High Pressure Turbine*), IP turbine (*Intermediet Pressure Turbine*), dan (*Low Pressure Turbine*) LP turbine. Uap panas dari boiler pertama kali digunakan untuk memutar HP turbine. Setelah keluar dari HP turbine uap panas dipanaskan lagi di *reheater* dan kemudian dialirkan ke IP turbine. Setelah dari IP turbine, uap panas langsung menuju LP turbine. Generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan

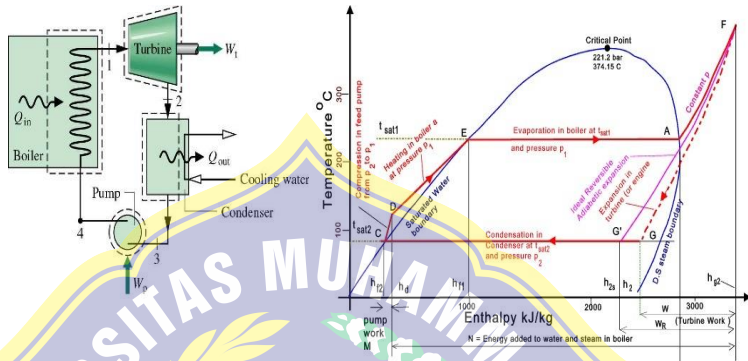
listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan.

2.2. Siklus Rankine

Pada saat sekarang ini ada berbagai sistem penggerak mula (*prime mover*) yang digunakan untuk menggerakkan generator dalam menghasilkan tenaga listrik. Siklus tenaga yang sudah lama dikenal adalah siklus *diesel*, siklus *rankine* dan siklus *bryton*. Siklus *rankine* digunakan pada pembangkit listrik yang menggunakan media uap air sebagai fluida kerjanya. Air dipanaskan menjadi uap yang selanjutnya uap tersebut menggerakkan turbin. Bahan bakar yang digunakan untuk membuat uap dapat berupa gas alam, solar, residu dan batubara. Namun ada pula uap jadi yang berasal dari panas bumi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin uap. Namun uap yang dipanaskan oleh bahan bakar mempunyai tekanan dan temperature yang lebih tinggi dibandingkan dengan uap yang dihasilkan dari panas bumi. Siklus *rankine* banyak digunakan untuk pembangkit termal yang menggunakan uap sebagai media penggerak turbin. Ada 4 peralatan utama pada pembangkit dengan sistem siklus rankine yaitu: *Boiler*, *Turbine*, *Condenser* dan *Boiler feed pump*.

Boiler merupakan alat untuk memanaskan air hingga menjadi uap dengan suhu dan tekanan yang tinggi sesuai dengan yang dipersyaratkan. Selanjutnya uap yang siap tersebut masuk ke turbin untuk menggerakkan generator. Uap yang keluar dari turbin akan memiliki energi yang sudah jauh berkurang dibanding saat masuk turbin. Uap tersebut masih bercampur kondensat dan didinginkan didalam kondensor untuk dirubah fasanya menjadi cair kembali. Pendingin kondensor yang banyak digunakan pada PLTU adalah air laut, namun ada pula yang

menggunakan air sungai. Siklus *rankine* sederhana dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Siklus *Rankine*
(Sumber : Black and Veath, 1996)

Air menjadi fluida kerja pada siklus *rankine* dan mengalami siklus tertutup (*close loop cycle*) artinya secara berkelanjutan air pada akhir proses siklus masuk kembali ke proses awal siklus. Pada siklus *rankine*, air mengalami empat proses sesuai gambar diatas, yaitu :

Proses C-D: Air dipompa dari tekanan rendah ke tinggi dan pada proses ini fluida kerja masih berfase cair sehingga pompa tidak membutuhkan input tenaga yang terlalu besar. Proses ini dinamakan proses kompresi-isentropik karena saat dipompa secara ideal tidak ada perubahan *entropi* yang terjadi.

Proses D-F: Air bertekanan tinggi tersebut masuk ke boiler untuk mengalami proses dipanaskan secara *isobaric* (tekanan konstan). Sumber panas didapatkan dari luar seperti pembakaran batubara, atau solar. Di

dalam boiler air mengalami perubahan fase dari air, campuran cair dan uap, serta 100% uap kering.

Proses F-G : Proses ini terjadi pada turbin uap. Uap kering dari boiler masuk ke turbin dan mengalami proses ekspansi secara *isentropic*. Energi yang tersimpan di dalam uap air dikonversi menjadi energi gerak pada turbin.

Proses G-C : Uap air yang keluar dari turbin uap masuk ke kondensor dan mengalami kondensasi secara *isobaric*. Uap air diubah fasenya menjadi cair kembali sehingga dapat digunakan kembali pada proses siklus.

2.3. Batubara

2.3.1 Pengertian dan klasifikasi batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar dari fosil sisa-sisa tumbuhan berbentuk seperti batuan sedimen yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan organik. Unsur utamanya terdiri dari karbon, hydrogen dan oksigen. Untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat (*Proximate Analysis*) dan analisis ultimat (*Ultimate Analysis*).

- Analisis Proksimat, dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*).
- Analisis Ultimat, dilakukan untuk menentukan unsur kimia pada batubara seperti : karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam lima kelas yaitu, antrasit, bituminous, sub-bituminous, lignit dan gambut.



Gambar 2.3 Jenis-jenis batubara

(Sumber : Sukandarrunidi,2005)

- Antrasit ($C_{94}OH_3O_3$), adalah kelas batubara tertinggi dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% – 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%. Antrasit memiliki kandungan kalori yang paling tinggi yaitu diatas 7777 kcal/kg.
- Bituminus ($C_{80}OH_5O_{15}$), merupakan kelas batubara yang memiliki kandungan kalori antara 5833 kcal/kg – 7777 kcal/kg, dengan unsur karbon (C) 68% – 86% dan kadar air 8% – 10% dari beratnya. Bituminous paling banyak ditambang di Australia.
- Sub-bituminus ($C_{75}OH_5O_{20}$), merupakan kelas batubara yang mengandung sedikit karbon dan banyak air serta dengan kandungan kalori yang lebih rendah rendah yaitu antara 4611 kcal/kg – 5833 kcal/kg, oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminous.
- Lignit atau batubara coklat ($C_{70}OH_5O_{25}$), adalah batubara yang sangat lunak dengan nilai kalori yang

lebih rendah dibandingkan dengan sub-bituminus sekitar 3500 kcal/kg – 4611 kcal/kg dan mengandung air 35% - 75% dari beratnya.

- Gambut ($C_{60}H_6O_{34}$), adalah kelas batubara yang paling rendah nilai kalorinya dibawah 3500 kcal/kg dengan kandungan kadar air diatas 75% dari beratnya.

2.3.2 Kualitas batubara

Dalam penggunaannya batubara sebagai bahan bakar utama pembangkit tenaga uap harus menyesuaikan kualitas batubara dengan mesinnya agar kualitas mesin yang digunakan secara handal dan beroperasi optimal. Maka dalam proses produksi listrik harus diperhatikan kandungan dalam batubara. Batubara yang didapat dari proses penambangan pasti mengandung bahan pengotor (*impurities*). Bahan pengotor ini dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. *Inherent impurities*

Inherent impurities adalah pengotor bawaan dari batubara sendiri. Pengotor bawaan ini terjadi saat bersamaan dengan proses pembentukan batubara. Pengotor ini dapat berupa *gypsum*, *anhidrit*, *pint* dan *silica*. pengotor bawaan ini tidak dapat dihilangkan tetapi dapat dikurangi dengan cara dibersihkan.

2. *External impurities*

External impurities adalah pengotor yang berasal dari luar pada saat proses penambangan seperti tanah yang ikut terbawa. Batubara sebagai bahan baku yang paling banyak digunakan di Indonesia khususnya dalam industry pembangkit listrik harus diperhatikan mutu dan kualitasnya. Untuk menentukan kualitas batubara, beberapa hal yang harus diperhatikan adalah :

a) **Heating Value** atau nilai kalori.

Heating value adalah banyaknya jumlah kalori yang dihasilkan oleh batubara tiap 1 kilogram beratnya. Biasanya satuan nilai kalori dinyatakan dalam kkal/kg. Didalam penggunaannya, nilai kalori ini dibedakan menjadi 2 yaitu *Low Heating Value* (LHV) dan *High Heating Value* (HHV). Perbedaan nilai ini dibedakan menurut kondisi fasa air didalam pembakarannya. Dimana pada saat perhitungan LHV kondisi air sisa pembakaran dihitung dalam keadaan gas sedangkan di HHV fasa air dihitung dalam keadaan cair. Semakin tinggi nilai kalori batubara, maka semakin lambat jalannya batubara yang diumpun sebagai bahan bakar setiap jamnya. sehingga sangat berpengaruh terhadap pengoperasian alat, seperti *crusher*, *coal feeder*, *pulverizer*, dan *burner*.

b) **Moisture Content** atau kandungan lengas.

Kandungan *lengas* yang terdapat pada batubara akan mempengaruhi jumlah pemakaian udara primer. Pada batubara dengan kandungan lengas tinggi akan membutuhkan udara primer lebih banyak untuk mengeringkan batubara tersebut. Lengas batubara ditentukan oleh kandungan air dalam batubara. Kandungan air ini dapat dibedakan atas kandungan air bebas (*free moisture*), kandungan air bawaan (*inherent moisture*) dan kandungan air total (*total moisture*). Kandungan air ini akan banyak pengaruhnya pada pengangkutan, penanganan, penggerusan maupun pada pembakarannya. Kandungan air ini juga sulit dihilangkan tetapi dapat dikurangi dengan cara memperkecil butiran batubara dan mengeringkannya.

c) **Ash Content** atau kandungan abu.

Batubara yang terdiri dari berbagai unsur organik (sisa hasil tumbuhan) dan senyawa anorganik hasil rombakan batuan serta bercampur dalam berproses pembatubaraan. Dalam penggunaannya batubara akan dibakar. Senyawa anorganik hasil dari proses pembakaran batubara ini akan menghasilkan kandungan abu. Kandungan abu akan terbawa bersama gas hasil pembakaran melalui ruang bakar dan daerah konveksi dalam bentuk abu terbang (*fly ash*) atau abu dasar (*bottom ash*). Sekitar 20% dalam bentuk abu dasar dan 80% dalam bentuk abu terbang. Semakin tinggi kandungan abu dan komposisinya akan mempengaruhi tingkat pengotoran (*fouling*), keausan dan korosi peralatan yang dilaluinya. Abu ini dapat dihasilkan dari pengotor bawaan (*inherent impurities*) maupun pengotor sebagai hasil penambangannya. Komposisi abu sebaiknya diketahui dengan baik untuk kemungkinan pemanfaatannya dan penanggulangannya terhadap masalah lingkungan yang dapat ditimbulkannya.

d) **Hardgrove Grindability Index (HGI)**

Hardgrove Grindability Index merupakan petunjuk mengenai mudah sukarnya batubara untuk digerus menjadi bahan bakar serbuk. Ukuran serbuk batu bara dibuat dengan rentang dari halus sampai kasar. Harga *Hardgrove Grindability Index* diperoleh dengan rumus :

$$\text{HGI} = 13,6 + 6,93 W$$

W adalah berat dalam gram dari batubara lembut berukuran 200 mesh. Semakin tinggi harga HGI semakin lunak batubara tersebut. Suatu PLTU biasanya disiapkan untuk menggunakan kapasitas penggerusan terhadap suatu jenis batubara dengan HGI tertentu.

e) **Volatile Matter (bahan mudah menguap)**

Kandungan *volatile matter* mempengaruhi intensitas nyala api dan kesempurnaan pembakaran. Akibat adanya *overburden pressure*, kandungan air akan berkurang sehingga nilai kalori batubara meningkat. Pada saat bersamaan batubara akan mengalami proses *devolatisation* dimana pada saat ini semua sisa unsur dalam batubara seperti oksigen, hidrogen, nitrogen dan sulfur akan berkurang sehingga nilai *volatile matter* mengecil. Hubungan antara *fuel ratio*, *fixed carbon* dan *volatile matter* adalah sebagai berikut (Sukandarrurnidi, 2005);

$$\text{Fuel Ratio} = \frac{\text{Fixed carbon}}{\text{Volatile Matter}} \quad (2-1)$$

Kandungan zat terbang sangat erat kaitannya dengan kelas batubara tersebut, makin tinggi kandungan zat terbang makin rendah kelasnya. Pada pembakaran batubara, maka kandungan zat terbang yang tinggi akan lebih mempercepat pembakaran karbon padatnya dan sebaliknya zat terbang yang rendah lebih mempersukar proses pembakaran. Nisbah kandungan carbon tertambat terhadap kandungan zat terbang disebut *fuel ratio*. Semakin tinggi *fuel ratio* maka karbon yang tidak terbakar semakin banyak.

f) **Sulfur content (kandungan belerang)**

Kandungan sulfur berpengaruh terhadap tingkat korosi sisi dingin yang terjadi pada elemen pemanas udara, terutama apabila temperatur kerja lebih rendah dari letak embun sulfur juga akan berpengaruh terhadap efektifitas penangkapan abu pada peralatan *electrostatic precipitator*.

g) **Ash fusion character of coal**

Sifat ini akan mempengaruhi tingkat fouling, slagging dan operasi blower

2.4 Perhitungan performa pembangkit

2.4.1 Heat Rate

Heat rate adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk membangkitkan sejumlah energi listrik (kWh). *Heat rate* dibagi 2 yaitu *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) dan *Nett Plant Heat Rate* (NPHR). Berikut adalah perhitungan *heat rate* Untuk keperluan transaksi niaga pembelian energi listrik dengan kondisi normal operasi, berdasarkan *plant heat rate* dapat dihitung menggunakan rumus berikut : (ASME PTC 6, 2004)

$$\text{GPHR (Gross Plant Heat Rate)} = \frac{B \times \text{HHV}}{\text{GGO}} \quad (2-2)$$

$$\text{NPHR (Nett Plant Heat Rate)} = \frac{B \times \text{HHV}}{\text{Nett GGO}} \quad (2-3)$$

Dimana :

B = Jumlah pemakaian batubara (t/h).

HHV = Nilai kalori batubara (kcal/kg).

GGO = Gross Generator *output* (MW)

Nett GGO = Gross Generator *output* - UAT(MW)

UAT = Pemakaian listrik sendiri (MW)

2.4.2 Spesifik fuel consumption

Specific fuel consumption (SFC) adalah banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi (kwh), jadi semakin rendah nilai SFC suatu mesin maka semakin baik pula kinerja dari suatu mesin karena dapat menghasilkan energi yang tinggi dengan bahan bakar yang rendah. Berdasarkan standar

perusahaan listrik Negara (SPLN) no.80 Tahun 1989 berikut perhitungannya

$$\text{SFC gross} = \frac{B}{\text{GGO}} \quad (2-4)$$

$$\text{SFC netto} = \frac{B}{\text{Nett GGO}} \quad (2-5)$$

Dimana :

B = Jumlah pemakaian batubara (t/h).

GGO = Gross Generator *power output* (MW)

Nett GGO = Gross Generator *output* - UAT(MW)

2.4.3 Efisiensi termal

Efisiensi merupakan parameter penting dalam mengukur peforma suatu mesin. Efisiensi termal sendiri merupakan presentase perbandingan energi yang dihasilkan dengan energi yang dikeluarkan dalam suatu mesin. Berikut adalah perhitungan efisiensi termal :

$$\text{Efisiensi termal} = \frac{860}{\text{NPHR}} \times 100\% \quad (2-6)$$

Dimana :

1 kWh = 860 kilokalori (kcal)

NPHR = Net Plant Heat Rate (kcal/kwh)