

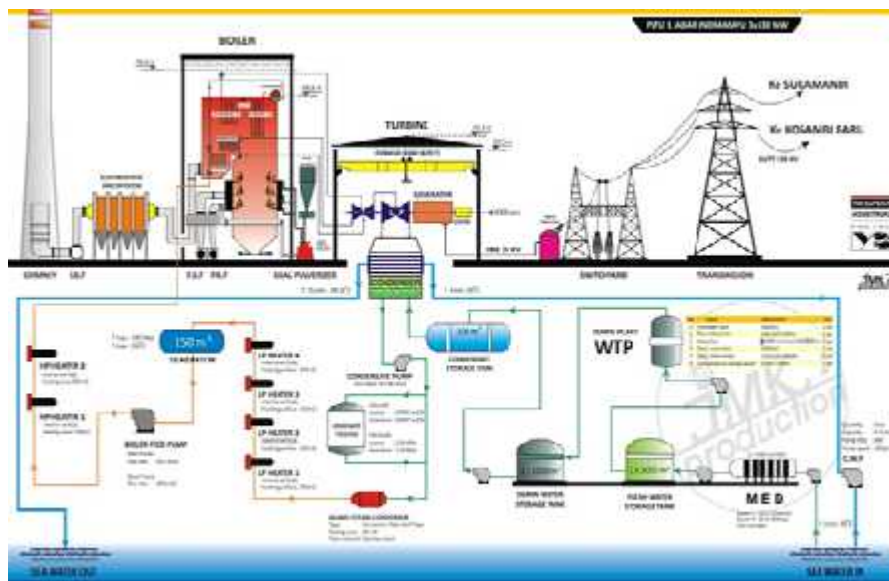
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Siklus PLTU

Proses produksi listrik di PLTU dalam pelaksanaannya melalui beberapa tahapan proses. Tahapan tersebut saling berhubungan satu sama lain menjadi siklus. Secara garis besar, siklus yang terjadi dalam proses produksi listrik PLTU terbagi menjadi dua siklus, yaitu siklus air dan uap serta siklus bahan bakar.

##### 2.1.1 Siklus Air dan Uap



Gambar 2.1. Siklus Air dan Uap

Siklus air dan uap adalah siklus yang dilalui oleh air umpan dari laut sampai menjadi uap dan akan dikembalikan lagi menjadi air umpan. Uap yang dihasilkan pada proses produksi PLTU ini akan digunakan sebagai penggerak turbin uap yang mana nantinya turbin akan menggerakkan generator dan

menghasilkan listrik. Skema siklus air dan uap PLTU dapat dilihat pada gambar diatas.

Siklus air dan uap dimulai dari pengambilan air laut dengan menggunakan pompa air laut (*Sea Water Pump*). Proses pertama pengolahan air adalah dengan disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran–kotoran atau sampah yang berukuran cukup besar. Setelah itu pada air akan ditambahkan *chlorin* untuk membuat mabuk biota–biota laut yang ada di air laut sehingga biota laut tidak membuat sarang atau berkembang biak di pipa kondensor dan jalur pipa lain.

Air akan menuju ke *desalination plant*. Di *desalination plant* ini air laut diolah untuk menghilangkan kadar garam dari air laut. *Desalination plant* di PLTU menggunakan MED (*Multi Effect Desalination*). Prosesnya adalah dengan menguapkan air laut menggunakan uap dari *auxiliary boiler* atau dari *steam header*. Air laut yang menguap adalah air yang akan digunakan, sedangkan yang tidak menguap akan dibuang. Hasil dari proses desalinasi adalah air tawar bebas garam (*raw water*) yang kemudian ditampung di *raw water tank*. Pada saat start up awal *raw water* didapatkan dari SUB(*start up boiler*) karena MED belum dapat bekerja sebelum ada uap pada *auxiliary boiler*.

Proses selanjutnya adalah proses penghilangan mineral–mineral yang terkandung di air tawar yang terjadi di WTP (*Water Treatment Plant* ). Proses yang terjadi di *Water Treatment Plant* adalah pengikatan ion–ion positif dan negatif dari *raw water* dengan menggunakan resin. Resin yang digunakan bermuatan positif dan negatif, jadi ion positif yang terkandung dalam air akan

terikat oleh resin bermuatan negatif, sementara ion negatif yang terkandung dalam air akan terikat oleh resin bermuatan positif .

Hasil dari WTP adalah *demin water* (air bebas mineral) yang ditampung di *demin water tank*. *Demin water* dari *demin water tank* ini kemudian dipompakan menuju *condensate tank*. Di *condensate tank* ini air ditampung dan akan digunakan untuk menambah air kondensat di *condensor* bila terjadi kekurangan. Setelah melewati *condenser*, air kondensat akan dipompakan menggunakan *condensate pump* menuju *condensate polisher*. *Condensate polisher* berupa tangki yang di dalamnya berisi resin kation dan resin anion. Fungsi dari *condensate polisher* adalah menangkap kotoran yang terkandung pada air kondensat. Kotoran pada air kondensat biasanya berasal dari korosi yang berasal dari jalur air uap PLTU dan bisa juga berasal dari kebocoran *condensor*. Apabila konduktivitas dari air kondensat naik melebihi batas yang diijinkan maka *Condensate Polisher* perlu dioperasikan untuk menurunkan konduktivitas air kondensat.

Air yang sudah lewat dari *condensate polisher* kemudian mengalir melewati *LP heater (low pressure heater)* untuk pemanasan awal. Media pemanasnya adalah uap ekstraksi yang diambil dari *low pressure turbine (LP Turbin)*. Prinsip kerja pemanasan di *LP Heater* adalah air pengisi dialirkan di dalam pipa, dan uap panas mengalir di luar pipa. Setelah dipanasi di *LP heater* air pengisi kemudian dialirkan menuju *deaerator* untuk proses penghilangan unsur oksigen yang masih terkandung dalam air pengisi.

Di dalam *deaerator* terjadi kontak langsung antara air pengisi dan uap oleh karena itu disebut *open feed water heater*. Uap akan memisahkan gas dari

air pengisi untuk kemudian gas-gas tersebut bergerak dengan cepat ke bagian atas *deaerator* dan selanjutnya dibuang ke atmosfer. Uap yang digunakan berasal dari ekstraksi uap *IP turbine*. Setelah dari *deaerator* air langsung dipompakan oleh *boiler feed pump* menuju *HP heater* untuk memanaskan air pengisi. Prinsip kerja dari *HP heater* sama dengan *LP heater*, bedanya hanya pada temperatur dan tekanannya. Air kemudian masuk ke *economizer* untuk pemanasan akhir air sebelum masuk ke *steam drum*.

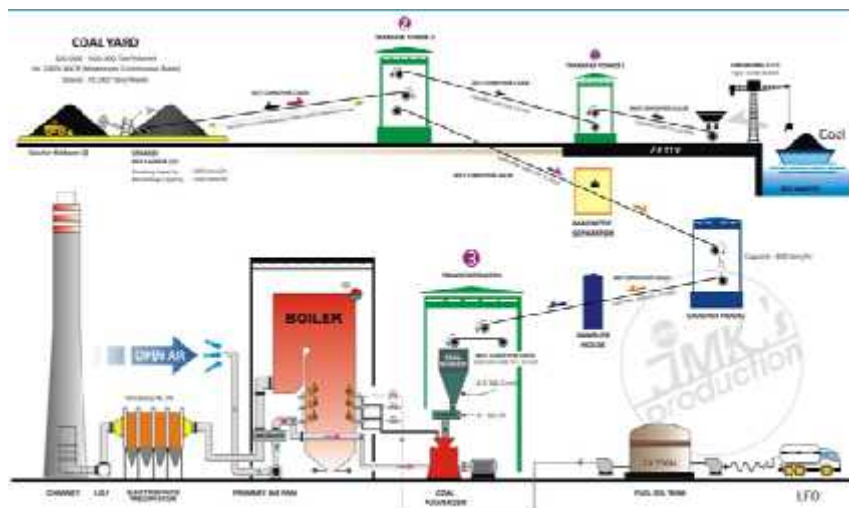
*Steam drum* adalah alat yang digunakan untuk menampung sekaligus memisahkan air pengisi boiler yang masih berbentuk air dengan yang sudah berbentuk uap basah. Prinsip kerjanya secara alami, maksudnya adalah air yang sudah menjadi uap akan berada di atas, dan yang masih berwujud air akan berada di bagian bawah *steam drum* karena perbedaan massa jenis. Uap akan langsung dialirkan ke *superheater*, sementara air akan turun melewati *water wall* untuk dipanaskan lagi sampai menjadi uap dan kemudian dialirkan ke *superheater*.

Di *superheater* uap basah dari *steam drum* dan *water wall* akan dipanaskan lagi menjadi uap panas lanjut (uap kering). Uap panas lanjut ini kemudian dialirkan ke *HP turbine* untuk memutar sudu-sudu *HP turbine*. Setelah digunakan di *HP turbine* uap akan mengalami ekspansi sehingga tekanan dan temperatur uap turun. Uap dari *HP turbine* akan kembali dipanaskan di boiler melalui *reheater*. Di dalam *reheater*, uap akan dipanaskan lagi pada tekanan konstan lalu dialirkan ke *IP turbine* untuk memutar sudu-sudu *IP turbine*. Setelah digunakan di *IP turbine* uap tidak dipanaskan lagi namun langsung dialirkan ke *LP turbine* untuk memutar sudu-sudu *LP turbine*. Kemudian uap yang keluar dari *LP turbine* dialirkan ke *condensor* untuk dikondensasikan menjadi air pengisi lagi. Proses

kondensasi uap menggunakan media pipa-pipa kecil yang dialiri oleh air laut sebagai pendinginnya yang dipompakan oleh CWP (*Circulating Water Pump*). Air kondensat ini kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler dengan proses yang sama.

### 2.1.2 Siklus Bahan Bakar

Siklus ini menggambarkan tentang perjalanan bahan bakar cair yang menggunakan HSD (*High Speed Diesel*) dari tangki bahan bakar sampai boiler dan juga perjalanan batu bara dari kapal tongkang sampai boiler.



Gambar 2.2 Siklus bahan bakar

Dari Gambar 2.2. terlihat bahwa ada banyak alat yang dilalui oleh siklus bahan bakar. Untuk memudahkan penjelasan maka siklus bahan bakar dibagi dua jalur, yaitu jalur bahan bakar cair (HSD) dan jalur bahan bakar batu bara.

#### 2.1.2.1 Jalur bahan bakar cair

Jalur bahan bakar cair (minyak HSD) dimulai dari pengiriman bahan bakar solar melalui jalur darat oleh pihak Pertamina. Solar kemudian ditampung di HSD

*storage tank*. Untuk pemakaian unit minyak HSD akan dipompakan oleh *forwarding pump* langsung menuju *burner oil*. *Burner oil* adalah alat yang berfungsi sebagai nosel untuk menyembrotkan bahan bakar solar di ruang bakar boiler. *Burner oil* hanya bekerja pada saat start awal sampai beban mencapai 30% load. Selain pada kondisi tersebut *burner* yang bekerja adalah *coal burner*. Alat-alat yang dilalui oleh jalur bahan bakar cair ini adalah :

#### 2.1.2.1.1 *Fuel Oil tank (HSD Storage Tank)*

*Fuel Oil Tank* adalah bak penampungan bahan bakar cair (minyak HSD) dari truk pengirim bahan bakar. Kapasitas HSD storage tank pada PLTU 1 Jawa Barat Indramayu adalah 2 x 750 kL.

#### 2.1.2.1.2 *Pompa Bahan Bakar ( Forwarding Pump )*

Pompa bahan bakar digunakan untuk memompakan bahan bakar solar dari *storage tank* menuju *gun burner*.

#### 2.1.2.1.3 *Burner Oil Gun*

*Burner oil gun* adalah alat yang berfungsi sebagai nosel untuk menyembrotkan bahan bakar solar di ruang bakar boiler. *Burner oilgun* terdiri dari 6 layer, dan pada masing – masing layer terdapat 4 nosel / *burner* pada masing – masing sudut. Jadi jumlah totalnya ada 24 buah *burner oil gun*.

#### 2.1.2.2 Jalur Batu Bara

Jalur batu bara dimulai dari pembongkaran batu bara dari kapal tongkang menggunakan *ship unloader*. Pengangkatan batu bara menggunakan *grab* yang dengan kapasitas 650 ton per jam. Setelah diangkat, batu bara kemudian ditaruh di

*hoper* untuk dikumpulkan dan melalui *vibrating screen* dialirkan ke *belt conveyer*. Dari *belt conveyer* kemudian dialirkan menuju ke *coal yard* untuk ditampung dengan melewati beberapa *junction tower (transfer tower)*.

Batu bara selanjutnya diambil menggunakan *stacker reclaimer* dan kemudian dialirkan ke *crusher house*. *Crusher house* berisi alat-alat seperti *metal detector*, *magnetic separator*, dan juga *crusher*. Di dalam *crusher house* ini batu bara akan dideteksi menggunakan *metal detector* apakah ada logam yang mungkin terbawa oleh batu bara, misalkan ada logam tersebut akan diambil oleh *magnetic separator*. Setelah itu batu bara dihancurkan menjadi ukuran – ukuran yang kecil oleh mesin *crusher*.

*Crusher* akan menghasilkan batu bara dengan ukuran menjadi  $\pm 30$  mm, batu bara kemudian dialirkan ke *coal bunker*. *Coal bunker* adalah suatu wadah yang digunakan untuk menampung sekaligus menakar batu bara sebelum dimasukkan ke *coal feeder*. Batu bara masuk ke *coal feeder* untuk ditakar dan diatur *flow* sebelum dialirkan ke *mill (coal pulverizer)*. Dalam *mill*, batu bara akan dihancurkan menjadi ukuran seperti debu dan kemudian batu bara berukuran debu ini ditiup menuju burner batu bara oleh *hot air* dan *cold air* dari *primary air fan*.

Burner batu bara akan bekerja jika beban boiler sudah lebih dari 30%, jadi sebelum mencapai 30% load yang bekerja adalah *burner oil*. Pembakaran terjadi di ruang bakar boiler (*furnace*). Udara untuk pembakaran dipasok dari FD fan (*force draft fan*) yang terlebih dahulu dipanasi lewat *air pre heater*. Gas buang (*flue gas*) pembakaran keluar dari *furnace* dilewatkan *air pre heater* kemudian menuju ESP (*Electrostatic Precipitator*).

Prinsip kerja *air pre heater* adalah menggunakan *flue gas* untuk memanaskan udara dari *primary air fan* dan juga dari *force draft fan*. *Flue gas* setelah melalui ESP akan dibuang melalui *chimney*. Agar *flue gas* dapat masuk ke ESP, maka dibantu dengan *induce draft fan* yang berfungsi untuk menyedot gas hasil pembakaran agar mengalir melewati ESP dan kemudian keluar melalui *chimney*.

ESP sendiri adalah sebuah alat penangkap debu dengan metode elektrik. Prinsip kerjanya adalah gas buang dilewatkan suatu elektroda-elektroda yang diberi muatan negatif (elektron) yang menjadikan kotoran dari gas buang bermuatan negatif, di dalam ESP di bagian bawah dipasang pelat-pelat pelapis yang diberi muatan positif, sehingga kotoran-kotoran dari gas buang akan tertangkap (melekat) pada pelat-pelat bermuatan positif tersebut dan gas buang bersih akan keluar dari *chimney* dengan efisiensi kurang lebih 99%. Untuk mengeluarkan kotoran-kotoran tersebut dari pelat dengan cara menghilangkan atau mematikan muatan positif yang ada di plat, sehingga kotoran akan jatuh dengan sendirinya. Kotoran gas buang tersebut kemudian dibuang menuju *fly ash silo*. Sementara batu bara yang tidak terbakar sempurna di boiler akan dibuang menuju *bottom ash silo*. Siklus bahan bakar berjalan seperti ini secara terus menerus. dengan akhir 2012, PJB memiliki kapasitas terpasang 6.977 MW dan daya mampu 6.324 MW. Di sisi produksi, sejak tahun 2004 PJB menerapkan *fuel mix strategy*, dan sampai dengan tahun 2012 komposisi Pemakaian energi primer tercatat sebesar 67,71% menggunakan bahan bakar gas, sebesar 15,33% berbahan bakar batu bara sebesar 3,34% dari energi air dan 8,61% berbahan bakar minyak.

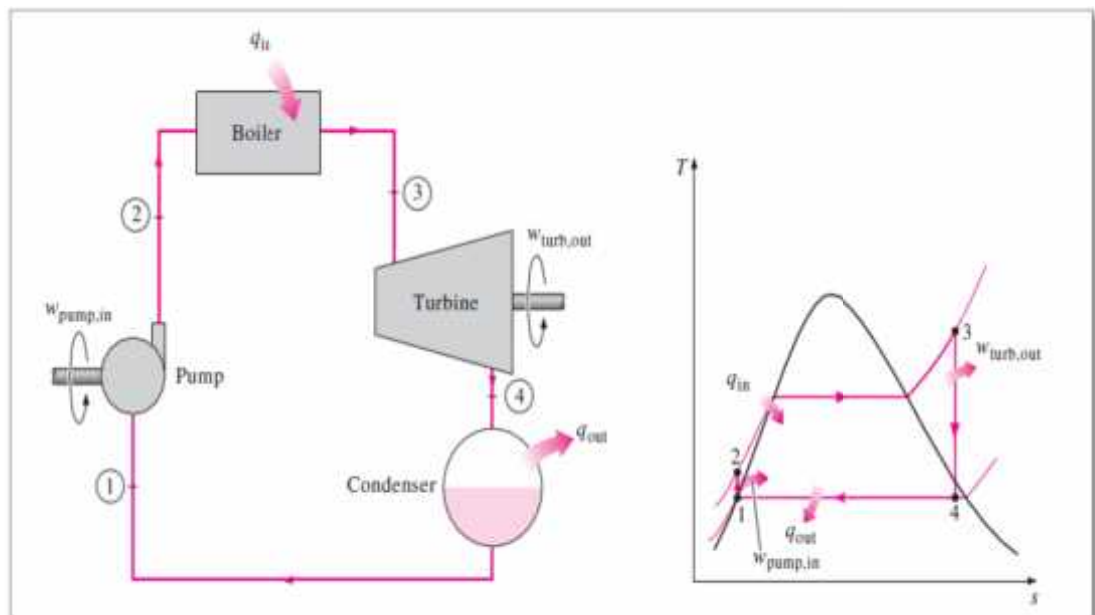


## 2.2 Siklus Rankine

Siklus merupakan rangkaian sebuah proses dimana dimulai dari suatu tingkat kondisi yang akan kembali ke tingkat kondisi semula dan selalu berulang. Pada pembangkit tenaga uap, fluida yang mengalami proses-proses tersebut adalah air. Air berfungsi sebagai fluida kerja. Air dalam siklus kerjanya mengalami proses – proses pemanasan, penguapan, ekspansi, pendinginan, dan kompresi. Siklus standar pembangkit tenaga uap adalah siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, *boiler*, turbin, dan *condenser*.

### 2.2.1 Siklus Rankine Ideal

Pada Gambar 2.2 proses 1-2-3-4 merupakan siklus Rankine ideal dengan pemanasan lanjut untuk mendapatkan uap kering.



Gambar 2.3 Siklus Rankine Ideal

Adapun penjelasan proses tersebut adalah sebagai berikut :

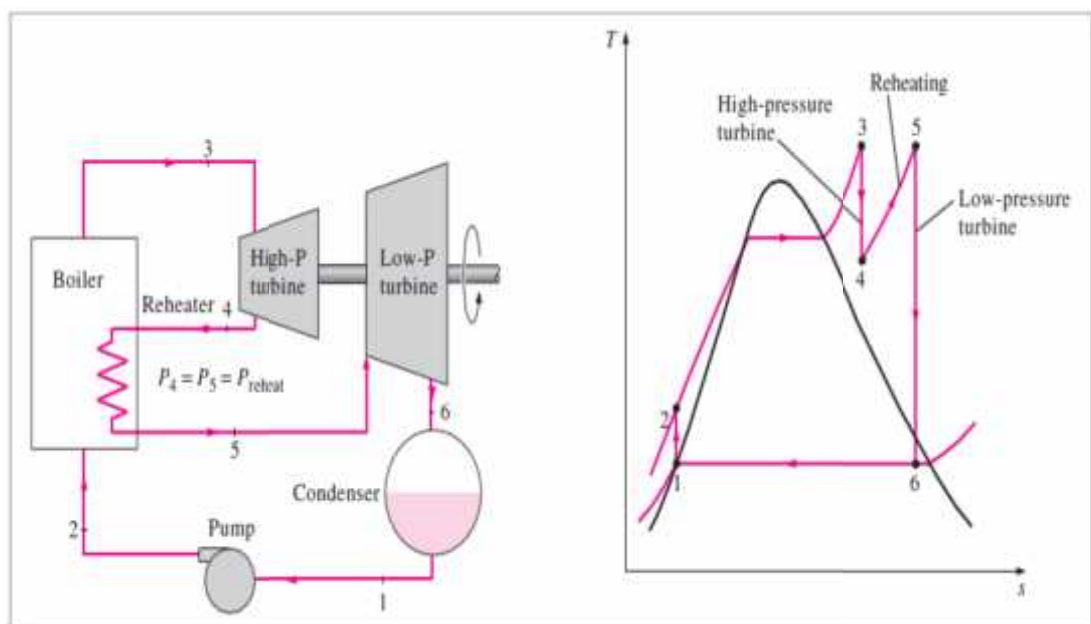
1 – 2 Kompresi isentropis pada pompa

- 2 – 3 Penambahan kalor dengan tekanan konstan di boiler
- 3 – 4 Ekspansi isentropis pada turbin
- 4 – 1 Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor

### 2.2.2 Siklus Rankine dengan Pemanasan Ulang

Untuk meningkatkan efisiensi siklus Rankine maka dari siklus Rankine ideal dilakukan perubahan dengan memanaskan ulang uap hasil ekspansi turbin pertama ke *reheater* dengan tujuan menaikkan entalpi uap sehingga energi uap naik.

#### 2.2.2.1 Siklus Rankine dengan Pemanasan Ulang Teoritis



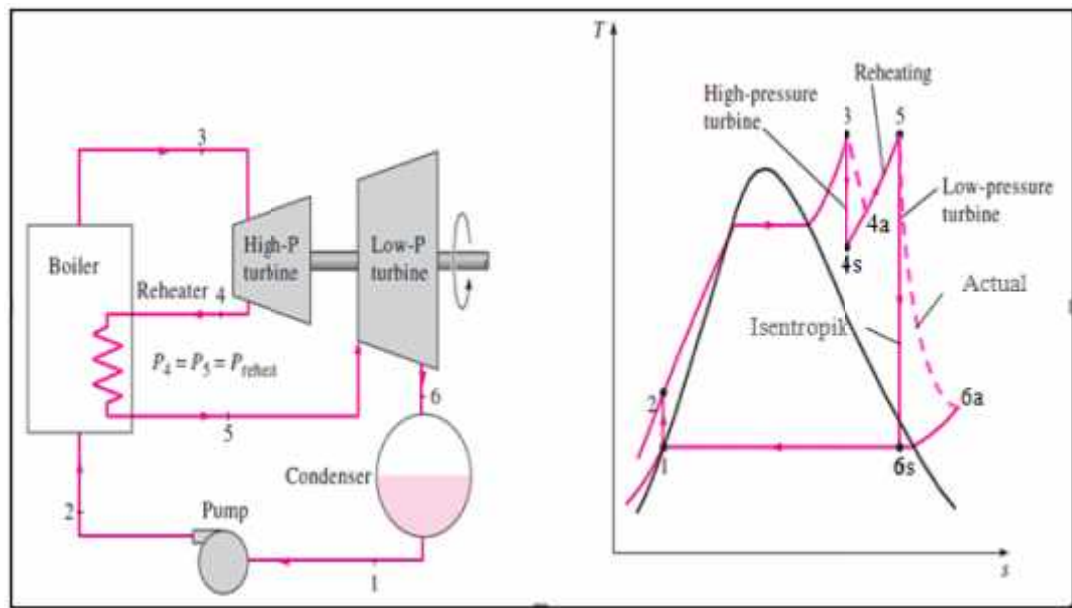
Gambar 2.4 Siklus Rankine dengan pemanasan ulang teoritis

Penjelasan dari gambar diatas adalah sebagai berikut :

- 1 – 2 Kompresi isentropis pada pompa
- 2 – 3 Penambahan kalor dengan tekanan konstan di boiler
- 3 – 4 Ekspansi isentropis pada turbin tingkat pertama

- 4 – 5 Pemanasan ulang uap dari turbin tingkat pertama dengan tekanan konstan
- 5 – 6 Ekspansi isentropis pada turbin tingkat kedua
- 6 – 1 Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor

### 2.2.2.2 Siklus Rankine dengan Pemanasan Ulang Sebenarnya

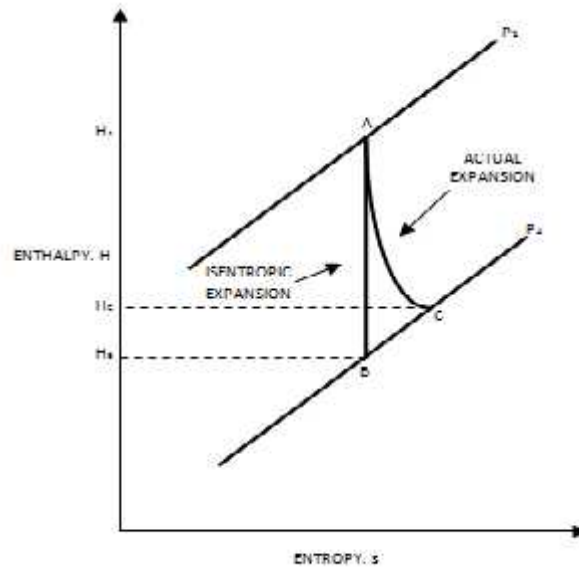


Gambar 2.5 Siklus Rankine dengan pemanasan ulang aktual

Energi yang dihasilkan suatu sistem tidaklah mungkin berada pada keadaan isentropik. Hal itu terjadi karena pada kenyataannya masih banyak ditemukan kerugian-kerugian pada sistem tersebut.

## 2.3 Efisiensi

Efisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara kondisi aktual terhadap kondisi desain alat dalam suatu proses. Pada Siklus umum efisiensi biasanya digambarkan pada Diagram T-s. Untuk turbin efisiensi akan mudah dipahami pada diagram h-s, dimana perbandingan antara ekspansi pada keadaan sebenarnya dan keadaan isentropik digambarkan dengan jelas.



Gambar 2.6 Diagram H-s

Dari gambar diatas efisiensi dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$= \frac{h_A - h_C}{h_A - h_B} \times 100 \dots \dots \dots (2.1)^1$$

Keterangan :

: efisiensi

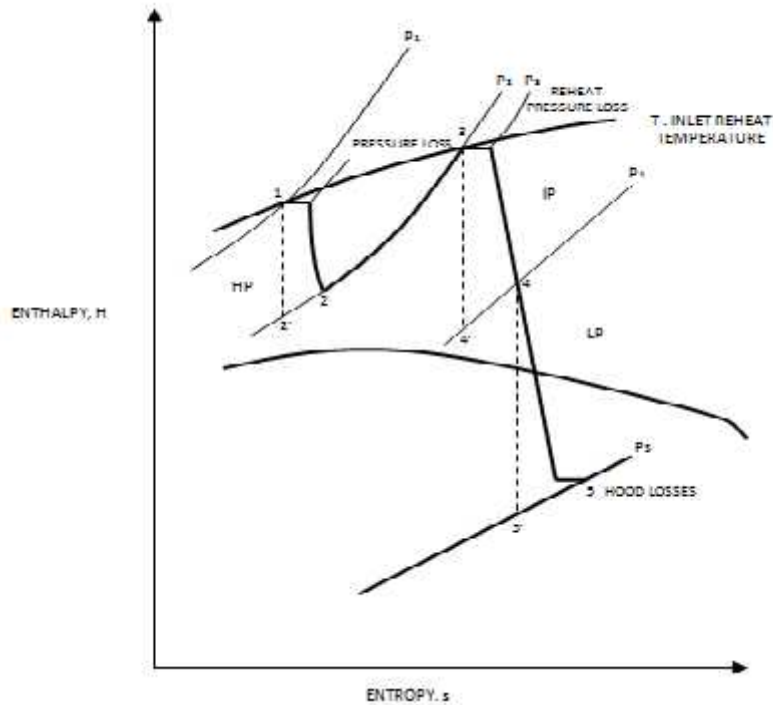
$h_A$  : Enthalpy Masuk

$h_B$  : Enthalpy Keluar (isentropis)

$h_C$  : Enthalpy Keluar (aktual)

Pada ekspansi turbin yang sebenarnya, terlihat bahwa entropy pada sistem mengalami kenaikan . Hal ini disebabkan oleh bebearapa faktor, seperti kerugian pada sistem atau juga dapat disebabkan oleh proses yang tidak bolak balik (irreversible). Kenaikan entropy pada proses ekspansi turbin dapat dijelaskan pada Diagram Mollier berikut :

<sup>1</sup>British Electricity International London, *Modern Power Station Practice 3rd ed.*, 1991 Hal 22



Gambar 2.7 Mollier Diagram untuk ekspansi Turbin

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa pada proses ekspansi yang sebenarnya terdapat kerugian yang dapat menaikkan nilai entropy, seperti : HP throttling loss terjadi pada katup governor dan pipa , Reheater pressure loss terjadi pada pipa reheater , hood loss pada LP turbin.

Dari gambar diatas efisiensi turbin juga dapat dijelaskan dengan rumus :

$$HP Turbin = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2} \dots\dots\dots(2.2)^2$$

$$IP Turbin = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_4} \dots\dots\dots(2.3)^3$$

$$LP Turbin = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_5} \dots\dots\dots(2.4)^4$$

Keterangan :

$h_1$  : Enthalpy Masuk HP

$h_3$  : Enthalpy Masuk IP

$h_4$  : Enthalpy Masuk LP, Enthalpy Keluar IP(aktual)

- $h_2$  : Enthalpy Keluar HP (aktual)  
 $h_2'$  : Enthalpy Keluar HP (isentropis)  
 $h_4'$  : Enthalpy Keluar IP (isentropis)  
 $h_5$  : Enthalpy Keluar LP (aktual)  
 $h_5'$  : Enthalpy Keluar LP (isentropis)

## 2.4 Definisi Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. (Wikipedia, 2013)

Pengertian energi potensial uap adalah direpresentasikan dalam *property* (sifat) uap yang menggerakkan turbin, dalam hal ini sifat uap adalah : tekanan, temperatur, *enthalpy*. Sedangkan energi gerak putar poros adalah besaran momen putar yang ditimbulkan oleh gaya dorong uap pada sudu gerak turbin. Transformasi energi pada sudu gerak turbin adalah perubahan energi kinetik (kecepatan) uap yang masuk dan keluar sudu.

## 2.5 Klasifikasi Turbin Uap

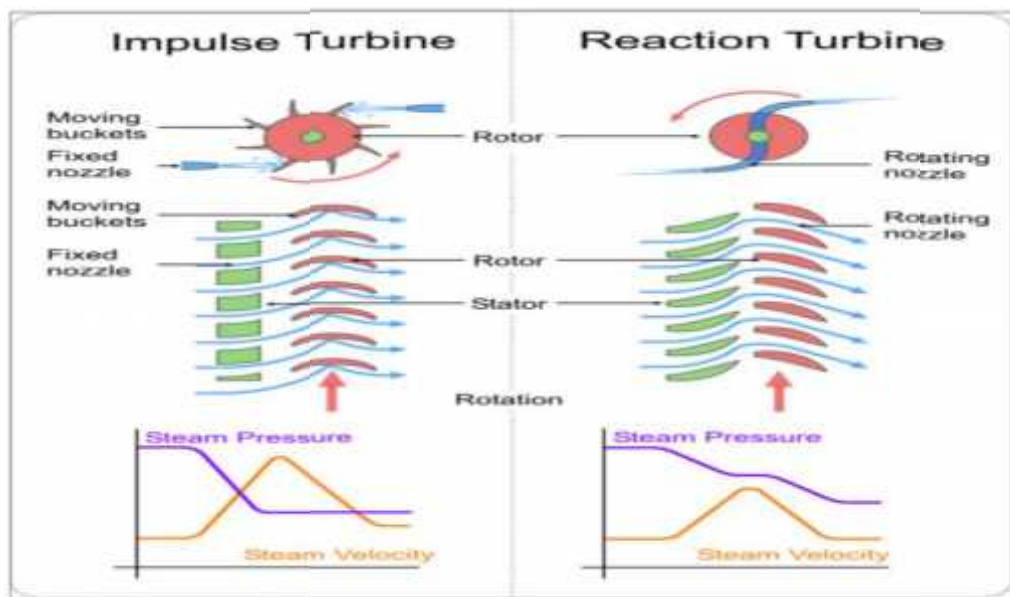
Turbin uap ada bermacam-macam jenis sesuai dengan kegunaannya, apabila digunakan untuk penggerak daya kecil maka lebih dipilih tingkat tunggal sampai tiga tingkat. Akan tetapi bila untuk menggerakkan daya yang besar lebih dipilih turbin multi stage sampai *Tandem Compound*. Jenis-jenis Turbin Uap dapat digolongkan atas dasar sebagai berikut :

### 2.5.1 Berdasarkan proses transformasi energi uap :

A. Turbin Impuls, yaitu turbin yang ekspansi uap terjadi pada sudu tetapnya. Turbin impulse pertama kali dibuat oleh Branca pada tahun 1629. Turbin Impuls juga ada beberapa macam diantaranya:

1. Turbin Impuls bertingkat kecepatan. Turbin kecepatan bertingkat (Curtis) adalah jenis turbin yang mana kecepatan aliran uap yang mengalir di dalamnya bertingkat sedangkan tekanannya tetap.
2. Turbin Impuls bertingkat tekanan. Turbin tekanan bertingkat (Rateau) adalah jenis turbin yang mana kondisi tekanan uap yang mengalir di dalamnya bertingkat sedangkan kecepatannya tetap.

B. Turbin Reaksi, yaitu turbin yang ekspansi uap terjadi pada sudu tetap dan sudu jalan. Turbin ini dirancang pertama oleh Hero, 120 tahun sebelum Masehi



Gambar 2.8 Perbedaan turbin uap tipe impuls dan reaksi

### 2.5.2 Berdasarkan tekanan uap keluar turbin :

- A. Turbin *Back Pressure* adalah turbin yang tekanan akhirnya diatas tekanan atmosfer karena uap keluaran akhir dari turbin tersebut tidak dikondensasikan.
- B. Turbin *Condensing* adalah turbin yang mana uap keluaran sudu terakhirnya dikondensasikan, tekanan akhir dari turbin kondensasi ini dibuat vaccum, sehingga temperature kondensasinya sedikit diatas temperatur air pendingin yang tersedia.

### 2.5.3 Berdasarkan tekanan uap masuk turbin :

- A. Turbin Tekanan Super Kritis (*Super Critical Pressure Turbines*) tekanan uap diatas 22,5 MPa
- B. Turbin Tekanan Tinggi ( *High Pressure Turbines* ) tekanan uap antara 8,8 – 22,5Mpa
- C. Turbin Tekanan Menengah ( *Intermediate Pressure Turbines*) tekanan uap antara 1 – 8,8 MPa
- D. Turbin Tekanan Rendah ( *Low Pressure Turbines* ) tekanan dibawah 1 Mpa.

### 2.5.4 Berdasarkan pengaturan uap masuk turbin :

- A. Turbin pemasukan penuh (*Full Admission Turbines*) : Uap yang masuk turbin melalui katup masuk pada posisi buka penuh (*full Open*)/posisi pembukaannya tetap sedangkan pengaturan daya turbin dengan cara menaikkan tekanan uap utama yang menyebabkan kenaikan masa alir uap yang masuk ke turbin. Hal ini menyebabkan kenaikan/penurunan daya turbin fungsi dari tekanan uap masuk. Turbin semacam ini juga dikenal dengan sebutan *Sliding Pressure Turbines*.



- B. Turbin pemasukan parsial (*Partial Admission Turbines*) : Uap yang masuk turbin melalui katup masuk tidak pada posisi membuka penuh untuk menaikkan/menurunkan daya turbin dengan cara mengatur laju alir uap ke turbin penuh. Pengaturan laju alir uap ke turbin dilakukan dengan dua cara yaitu dengan pengendalian *Throttling Valve* dan dengan pengendalian Nozles.

#### 2.5.5 Berdasarkan dari segi aliran uap :

- A. Turbin Reheat dan Non-Reheat : Turbin reheat terdiri lebih dari satu silinder dan uap mengalami proses pemanasan ulang di reheater boiler. Pada turbin reheat, uap yang keluar dari turbin tekanan tinggi (HP) dialirkan kembali ke dalam ketel. Di dalam ketel, uap ini dipanaskan kembali pada elemen pemanas ulang (reheater) untuk selanjutnya dialirkan kembali melalui saluran reheat ke turbin tekanan menengah dan turbin tekanan rendah.
- B. Turbin Ekstraksi dan Non-Ekstraksi. : Turbin ekstraksi (*extraction turbine*) adalah turbin yang mengekstrak sebagian uap yang mengalir dalam turbin. Pengekstraksian uap ini dapat dilakukan di beberapa tempat sepanjang casing turbin. Uap yang diekstrak kemudian dialirkan ke pemanas awal air pengisi untuk memanaskan air pengisi. Tekanan dan aliran uap ekstraksi sangat tergantung pada beban. Pada turbin-turbin ekstraksi yang relatif kecil, variasi tekanan dan aliran uap ekstraksi tidak terlalu signifikan sehingga tidak diperlukan katup pengatur pada saluran uap ekstraksinya. Turbin ekstraksi seperti ini disebut turbin ekstraksi otomatis (*Automatic Extraction Turbine*). Tetapi pada turbin ekstraksi yang besar, variasi ini cukup besar sehingga diperlukan katup pengatur pada saluran ekstraksi guna mengontrol tekanan/aliran uap ekstraksi. Sedangkan pada turbin

non ekstraksi, tidak dilakukan ekstraksi uap sama sekali. Jadi seluruh uap yang mengalir masuk turbin non ekstraksi akan keluar meninggalkan turbin melalui exhaust.

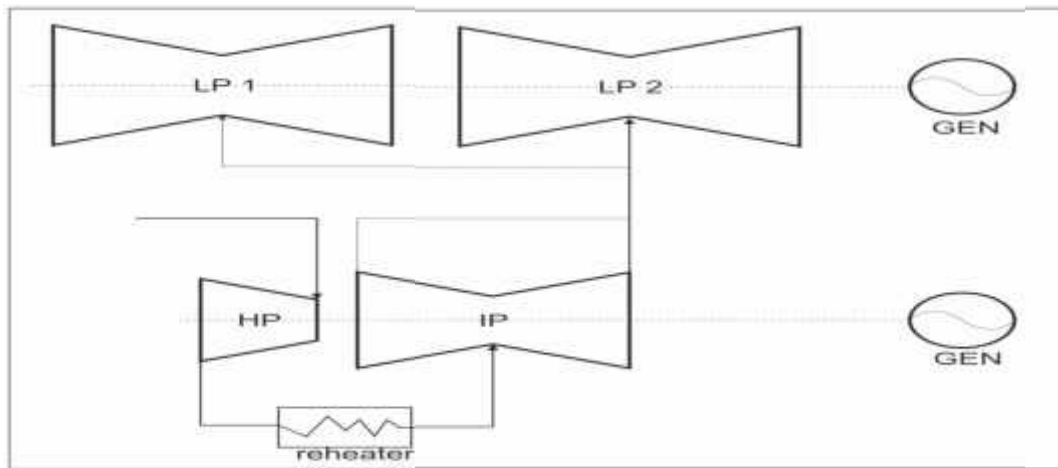
#### 2.5.6 Berdasarkan dari Saluran Uap Keluar :

- A. *Single Flow* : Turbin-turbin kecil biasanya hanya memiliki 1 saluran *exhaust*. Turbin semacam ini biasanya disebut Turbin *Single Flow*. Tetapi untuk turbin-turbin besar, bila menerapkan rancangan seperti ini, maka dibutuhkan *exhaust* yang sangat luas. Sebagaimana diketahui kondisi uap pada *exhaust* turbin sudah dibawah jenuh atau uap basah, dan tekanannya dibawah tekanan atmosfer. Perubahan tekanan dari beberapa puluh bar menjadi tekanan minus mengakibatkan perubahan volume yang sangat besar sehingga dibutuhkan laluan yang luas agar uap dapat melintas tanpa hambatan yang berarti. Karena keterbatasan kemampuan material, luas laluan *exhaust* juga menjadi sangat terbatas, sehingga kemampuan turbin dengan *exhaust* tunggal juga terbatas.
- B. *Multi Flow* : Umumnya dipakai pada turbin kapasitas besar, *exhaust* dipecah menjadi dua atau lebih. Bila ternyata dibutuhkan 2 *exhaust*, berarti keduanya berada dalam satu poros dengan aliran uap yang berlawanan. Rancangan turbin seperti ini disebut turbin *multi flow* (aliran banyak). Dengan cara seperti ini masalah keterbatasan luas laluan *exhaust* dapat diatasi sekaligus memberi pertimbangan terhadap gaya aksial pada poros.

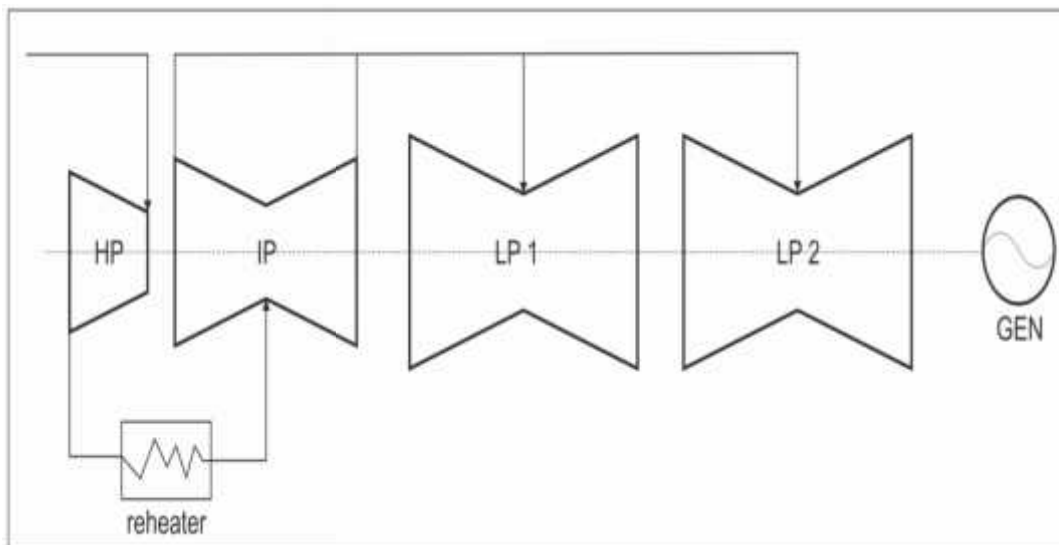
#### 2.5.7 Berdasarkan Casing :

- A. Turbin Single Casing : Turbin single casing adalah turbin dimana seluruh tingkat sudu-sudunya terletak didalam satu casing saja. Ini merupakan konstruksi turbin yang paling sederhana yang hanya dapat diterapkan pada turbin-turbin kapasitas kecil.(PT. PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan)

B. Multi Casing : Untuk turbin-turbin kapasitas yang lebih besar, konstruksi single casing menjadi kurang cocok, maka dibuatlah turbin-turbin dengan 2 casing atau lebih (multy casing). Komposisi dari turbin multy casing ada 2 macam yaitu : *Tandem Compound* dan *Cross Compound*. Pada turbin tandem compound, casing-casing dipasang secara seri antara satu dengan lain sehingga sumbu aksial casing berada dalam 1 garis. (PT. PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan)



Gambar 2.9 Turbin susunan *Cross Compound*



Gambar 2.10 Turbin susunan *Tandem Compound*

## 2.6 Kerugian pada Turbin

Pada pengoperasiannya terdapat berbagai kerugian yang menyebabkan turunya performa Turbin, kerugian itu misalnya :

### 2.6.1 Kerugian pada perapat (labyrinth).

Pada turbin tekanan tinggi, jika sistem perapat (*gland seal*) tidak baik maka uap akan melewati celah antara sudu tetap dan poros sehingga energi dari uap tidak semuanya diberikan pada turbin untuk melakukan kerja.

### 2.6.2 Kerugian karena derajat kebasahan uap.

Pada *condensing* turbin (turbin yang dilengkapi kondensor), biasanya beberapa tingkat terakhir bekerja dengan kondisi uap basah yang menyebabkan terbentuknya butiran-butiran air, karena pengaruh gaya sentrifugal butiran air tersebut akan terlempar ke bagian belakang sudu gerak yang menyebabkan gaya tumbukan dimana ini akan mempengaruhi kerja sudu gerak.

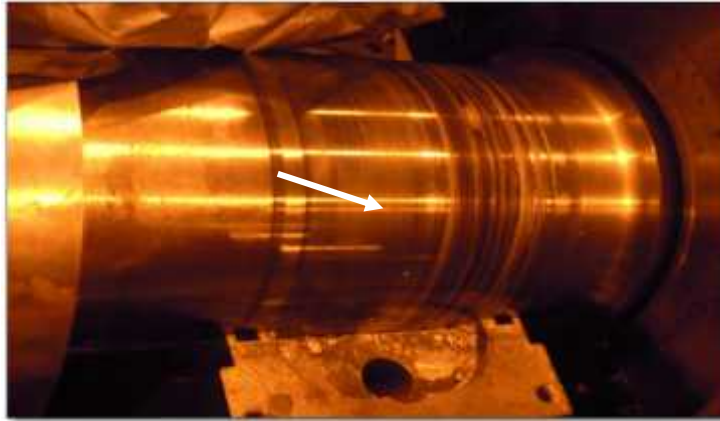
### 2.6.3 Kerugian *Throttling* pada beban berubah-ubah

Pada saat beban berubah-ubah kadang tidak semua katup governor membuka secara keseluruhan, ada yang membuka sebagian ada yang menutup (*throttling*). Hal ini merupakan kerugian karena pada proses *throttling* terjadi proses penurunan temperatur dan tekanan, akibatnya ekspansi pada turbin akan berkurang.

### 2.6.4 Kerugian mekanik.

Besarnya kerugian gesekan yang terjadi pada bantalan tergantung pada kondisi sistem pelumasan. Faktor yang dominan dari sistem pelumasan baik dalam pembentuk lapisan pelumas (lapisan flim) maupun terhadap koefisien gesek adalah kekentalan (*viscosity*) minyak pelumas. Sedangkan kekentalan minyak pelumas merupakan fungsi dari temperatur. Bila kekentalan terlalu rendah maka pelumas film akan rusak yang pada akhirnya meningkatkan gesekan antara

poros dengan bantalan. Bila kekentalan minyak pelumas terlalu tinggi maka koefisien gesek minyak pelumas akan bertambah besar sehingga pada akhirnya juga meningkatkan gesekan. Karena itu temperatur minyak pelumas merupakan parameter penting yang harus selalu diperhatikan secara seksama oleh para operator. Kerusakan poros akibat sistem pelumasan yang gagal ditunjukkan pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Kerusakan pada poros turbin akibat pelumasan yang gagal

- Kerugian pada jalur perpipaan

Jalur pipa uap selalu diisolasi selain sebagai pengaman bagi operator juga untuk mencegah panas berpindah pada udara sekitar. Jika jalur ini bocor atau tidak terisolasi dengan baik maka akan terjadi kerugian panas karena panas uap berpindah ke lingkungan