

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Turbin Uap

##### 2.1.1 Pengertian Turbin Uap

Turbin merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik. Bagian yang berputar dalam turbin disebut rotor atau roda turbin sedangkan bagian yang tidak berputar disebut stator atau rumah turbin.

Turbin uap adalah turbin yang menggunakan uap sebagai fluida kerjanya. Turbin uap juga berfungsi untuk memutar generator, terdiri dari HP (*high-pressure*) turbin, MP (*Medium-pressure*) turbin dan LP (*low-pressure*) turbin. Turbin dan generator memiliki beberapa peralatan pendukung, yaitu *lubricating oil system* dan *generator cooling system*. Dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu: Ketel, kondensor, pompa air ketel, dan turbin itu sendiri. Uap yang berfungsi sebagai fluida kerja dihasilkan oleh ketel uap, yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap.



**Gambar 2.1 Turbin Uap**  
(Sumber :PT Perkebunan Nusantara V Sei Pagar)

Ada beberapa keuntungan dari turbin uap jika dibandingkan dengan mesin uap, yaitu sebagai berikut:

1. Peralatan pada turbin tidak banyak macam ragamnya/lebih sederhana.
2. Gerak yang dihasilkan lebih tenang, karena banyak gerak putar saja.
3. Gerakan putarnya secara langsung tanpa perantara.
4. Torsi yang dihasilkan pada porsi lebih besar.
5. Tidak ada kerugian gesek pada rotasinya.
6. Dibandingkan dengan mesin uap yang horizontal, maka turbin uap tidak memerlukan pondasi yang begitu besar.
7. Dari ukuran turbin uap sama dengan mesin uap, maka turbin uap memperoleh daya yang besar.
8. Akibat banyak timbul gerak putar saja, maka getaran yang ditimbulkan lebih kecil dari pada mesin uap.

Namun jika dibandingkan dengan mesin uap, turbin uap juga terdapat kekurangan/kerugian, diantaranya sebagai berikut:

1. Untuk mengekspansikan uap memerlukan peralatan yang khusus yaitu pipa pemancar.
2. Pipa pemancar memerlukan perencanaan yang sangat teliti.
3. Karena uap dipakai untuk mendorong sudu jalan, padahal sudu jalan hanya merupakan kepingan yang terbuka, diperlukan rumah turbin yang sangat rapat dan kuat, sehingga tidak timbul kebocoran uap. Sedangkan pada mesin uap hal tersebut diatas tidak memerlukan perhatian yang penting.

### **2.1.2 Klasifikasi Turbin Uap**

Turbin Uap dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yang berbeda berdasarkan pada konstruksinya, prinsip kerjanya dan menurut proses penurunan tekanan uap sebagai berikut :

#### **2.1.2.1 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Prinsip Kerjanya**

##### **a. Turbin Impuls**

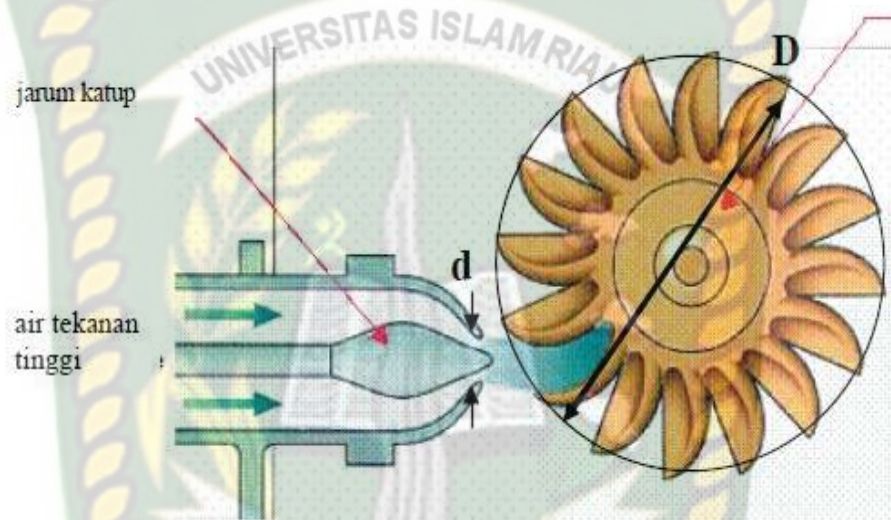
Turbin impuls atau turbin tahapan impuls adalah turbin sederhana berotor satu atau banyak (gabungan) yang mempunyai sudu-sudu pada rotor itu. Sudu biasanya simetris dan mempunyai sudut masuk dan sudut keluar.

- Turbin satu tahap.
- Turbin impuls gabungan.
- Turbin impuls gabungan kecepatan



Ciri-ciri dari turbin impuls antara lain :

- Proses pengembangan uap/penurunan tekanan seluruhnya terjadi pada sudu diam / nozel.
- Akibat tekanan dalam turbin sama sehingga disebut dengan tekanan rata.



**Gambar 2.2 Turbin Impuls dan Proses Penyemprotan**

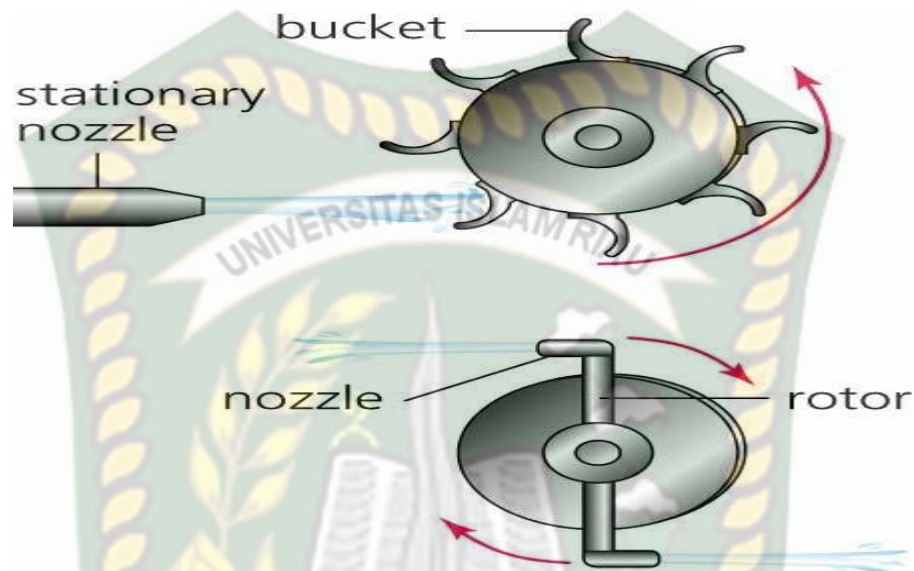
#### b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi mempunyai tiga tahap, yaitu masing-masingnya terdiri dari baris sudu tetap dan dua baris sudu gerak. Sudu bergerak turbin reaksi dapat dibedakan dengan mudah dari sudu impuls karena tidak simetris, karena berfungsi sebagai *nozzel* bentuknya sama dengan sudu tetap walaupun arahnya lengkungnya berlawanan.

Ciri-ciri turbin ini adalah :

- Penurunan tekanan uap sebagian terjadi di *nozzel* dan sudu gerak.

- Adanya perbedaan tekanan didalam turbin sehingga disebut tekanan bertingkat.



**Gambar 2.3 Penyemprotan Turbin Reaksi**

#### 2.1.2.2 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Pada Tingkat Penurunan Tekanan Dalam Turbin

##### a. Turbin Tunggal (*Single Stage*)

Dengan kecepatan satu tingkat atau lebih turbin ini cocok untuk untuk daya kecil, misalnya penggerak kompresor, *blower*, dan lain-lain.

##### b. Turbin Bertingkat (Aksi dan Reaksi)

Disini sudu-sudu turbin dibuat bertingkat, biasanya cocok untuk daya besar. Pada turbin bertingkat terdapat deretan sudu 2 atau lebih. Sehingga turbin tersebut terjadi distribusi kecepatan atau tekanan.

### 2.1.2.3 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Proses Penurunan Tekanan Uap

a. Turbin Kondensasi.

Tekanan keluar turbin kurang dari 1 atm dan dimasukkan kedalam kompresor.

b. Turbin Tekanan Lawan.

Apabila tekanan sisi keluar turbin masih besar dari 1 atm sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin lain.

c. Turbin Ekstraksi.

Didalam turbin ini sebagian uap dalam turbin diekstraksi untuk proses pemanasan lain, misalnya proses industri.

### 2.1.2.4 Klasifikasi Turbin Menurut Arah Aliran Uap

a. Turbin Aksial

Fluida kerja mengalir dalam arah yang sejajar terhadap sumbu turbin.

b. Turbin Radial

Fluida kerja mengalir dalam arah yang tegak lurus terhadap sumbu turbin.

### 2.1.3 Komponen-komponen Utama Turbin Uap

Adapun beberapa komponen utama dari turbin uap adalah sebagai berikut:

1. *Stationary Blade (Sudu Tetap)*, adalah sudu-sudu yang berfungsi untuk mengarahkan uap yang masuk seperti diperlihatkan pada **gambar 2.4** dibawah ini :





**Gambar 2.4 Stasionary Blade (Sudu Tetap)**

Sumber : Ridomanik (bagian-bagian utama turbin uap.2012)

2. *Moving Blade* (Sudu Gerak), adalah sudu-sudu yang berfungsi untuk menerima dan merubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik. Seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.5** dibawah ini :



**Gambar 2.5 Sudu Gerak**

**Gambar 2.5 Sudu Gerak**

Sumber : (perawatan turbin uap.2015)

3. *Stator*, adalah dudukan dari sudu-sudu tetap
4. Rotor, adalah dudukan sudu gerak, apabila sudu-sudu gerak bergerak maka rotor juga ikut bergerak. Rotor terhubung dengan poros turbin.
5. *Shaft* (Poros), berfungsi untuk memindahkan putaran turbin kebeban. Poros terhubung dengan rotor, jika rotor berputar maka poros ikut berputar. Poros seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.6** dibawah ini :



**Gambar 2.6 Shaft (Poros)**

Sumber :Ridomanik (bagian-bagian utama turbin uap.2012)

6. *Bearing* (Bantalan), adalah sebagaiudukan poros agar poros bisa berputar dan tetap pada posisinya.
7. *Casing*, adalah sebagai penutup bagian-bagian utama turbin.
8. *Control Valve*, adalah merupakan katup yang berfungsi untuk mengatur *steam* yang masuk kedalam turbin sesuai dengan jumlah *steam* yang diperlukan
9. *Stop Valve*, adalah katup yang berfungsi untuk menyalurkan/menghentikan aliran *steam* yang menuju turbin.

#### 2.1.4 Prinsip Kerja Turbin Uap

Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

- Uap masuk kedalam turbin melalui *nozzel*. Didalam *nozzel* energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari *nozzel* lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam *nozzel*, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar *nozzel* lebih besar dari pada saat masuk ke dalam *nozzel*. Uap yang memancar keluar dari *nozzel* diarahkan ke sudu-sudu turbin yang



berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.

- Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.
- Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

## 2.2 Pemanas Uap Lanjut (*Superheater*)

Salah satu komponen dari boiler yang sangat mempengaruhi kualitas uap yang dihasilkan boiler adalah *superheater*. *Superheater* adalah alat untuk memanaskan uap kenyang menjadi uap yang dipanas lanjutkan. Uap yang dipanas lanjutkan bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi

didalam turbin uap tidak akan (segera) mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan terjadinya pukulan balik atau *back stroke* yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum ditempat yang tidak semestinya didaerah ekspansi. kemungkinan terjadinya pukulan balik atau *back stroke* ditempat yang belum semestinya tersebut lebih mudah terjadi bila yang digunakan ialah uap kenyang sebagai penggerak turbin uap .

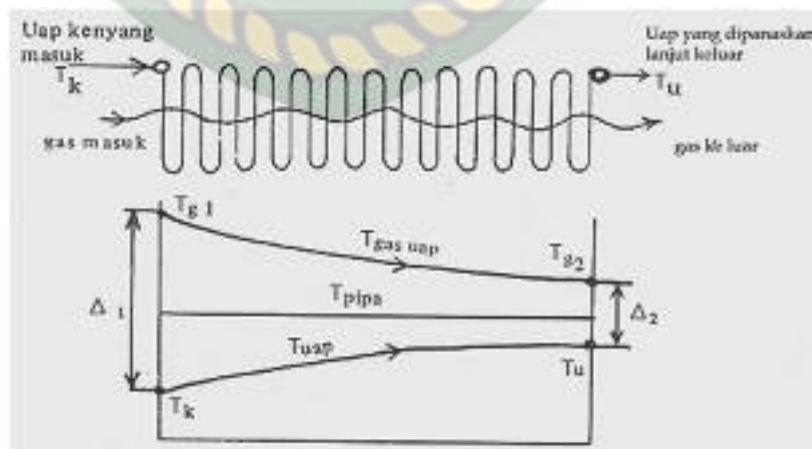
Dilihat dari lokasi penempatannya dibagi menjadi :

1. *Superheater* konveksi

Yang dilihat dari arus gas asap dan uap yang mengalir melewatinya, *superheater* konveksi dapat dibagi menjadi :

a. *Superheater* konveksi arus searah

Lihat (gambar 2.7) lokasi uap kenyang masuk kedalam *superheater* di tempat yang sama dengan lokasi gas asap masuk melewati *superheater*. Disamping itu lokasi uap yang dipanaskan lanjut ke luar dari *superheater* ditempat yang sama dengan lokasi gas asap ke luar dari *superheater*.



**Gambar 2.7** *Superheater* konveksi arus searah

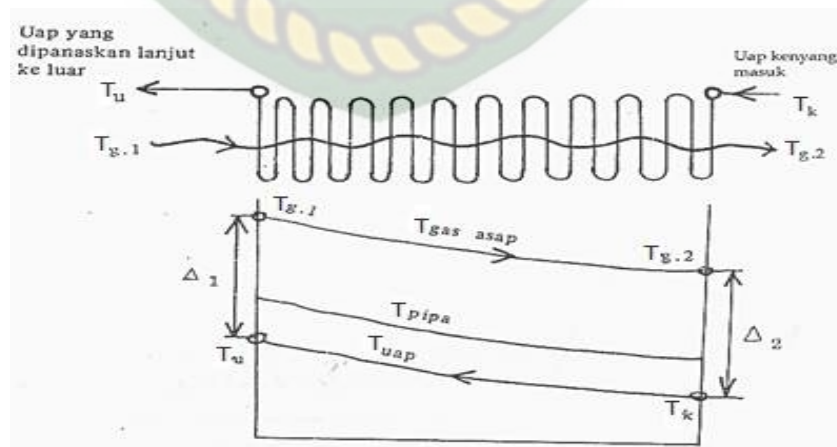
Sumber: Ir.M.J.Djokosetyardjo (Ketel Uap Chapter I 2006)

b. *Superheater* konveksi arus berlawanan

Lihat (gambar 2.8) pada *superheater* ini, tempat gas asap masuk ke *superheater* disitu pula tempat uap yang dipanaskan lanjut keluar dari *superheater*. Sebaliknya, ditempat gas asap ke luar dari *superheater*, disitu pula tempat uap kembang masuk ke *superheater*. Perubahan antara temperatur gas masuk ke *superheater* dengan temperatur uap yang dipanaskan lanjut keluar dari *superheater*.

Adapun temperatur pipa-pipa tidaklah sama pada setiap tempat. Ditempat uap kembang masuk dan gas asap keluar, temperatur pipa masih rendah. Sedangkan ditempat gas asap masuk dan uap yang dipanaskan lanjut keluar, temperatur pipa disitu cukup tinggi, sehingga ada perbedaan temperatur pipa disetiap tempat secara gradual.

Karena temperatur pipa disetiap tempat berbeda – beda, maka mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan didalam pipa. Dengan demikian maka pipa-pipa *superheater* jenis ini akan cepat rusak/pecah, dan *superheater* menjadi titik awet.



**Gambar 2.8 Superheater konveksi arus berlawanan**

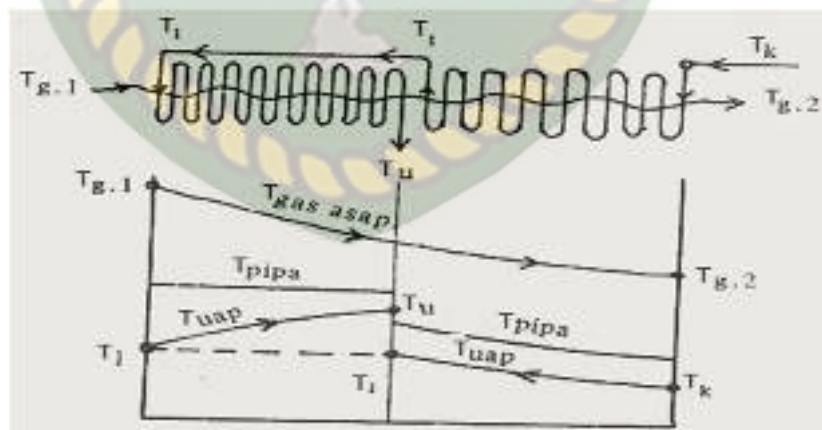
Sumber: Ir.M.J.Djokosetyardjo (Ketel Uap Chapter I 2006)



c. *Superheater* konveksi arus kombinasi

Lihat (gambar 2.9) pada *superheater* konveksi arus kombinasi, uap kenyang dengan temperatur  $T_k$  masuk ke *superheater* ditempat gas asap ke luar dari *superheater* dengan temperatur gas asap  $T_{g.2}$  sampai ditengah-tengah *superheater* temperatur uap mencapai  $T_1$ , dan dibawa langsung ke tempat gas asap masuk ke *superheater* dengan temperatur  $T_{g.1}$  dan uap dialirkan kembali hingga ke tengah - tengah *superheater*, dan di tengah - tengah *superheater* tersebut uap yang dipanaskan lanjut dialirkan keluar dari *superheater* dengan temperatur  $T_u$ . Dengan demikian aliran uap terhadap aliran gas asap mula-mula searah, kemudian menjadi berlawanan arah.

Didaerah berlawanan arah, temperatur pipa berbeda-beda di setiap tempat, namun karena temperatur gas asap temperatur pipa, dan temperatur uap di tempat tersebut tidak tinggi (agak rendah) maka pipa-pipa tidak begitu cepat rusak/pecah.



**Gambar 2.9** *Superheater* konveksi arus kombinasi

Sumber: Ir.M.J.Djokosetyardjo (Ketel Uap Chapter I 2006)

d. *Superheater* konveksi arus silang, searah, dan berlawanan

*Superheater* kombinasi merupakan kombinasi antara *superheater* konveksi dan *superheater* pancaran. Karena *superheater* kombinasi merupakan kombinasi antara *superheater* konveksi dan *superheater* pancaran, maka karakteristik atau sifat-sifat yang kurang baik dari *superheater* konveksi dan pancaran dapat dieliminasi, sehingga yang tersisa ialah karakteristik yang baik dari kedua *superheater* tersebut;

- a) dapat mengikuti beban
- b) temperatur uap dapat tinggi
- c) harganya mahal

Kekurangannya ialah harganya yang mahal merupakan harga *superheater* konveksi ditambah harga *superheater* pancaran.



**Gambar 2.10 kombinasi dari arus silang dengan arus searah dan arus berlawanan**

Sumber: L.A de Bruin dan L. muilwijk (Ketel Uap 1994)

### 2.2.1 Tekanan Uap

Tekanan merupakan suatu ukuran yang terdiri dari besarnya gaya yang bekerja pada suatu benda untuk setiap satu satuan luas permukaan bidang tekan. Tekanan dapat dinotasikan sebagai simbol (*pressure*) dan memiliki satuan SI  $\text{Nm}^2$ . Satuan tekanan yang lain adalah pascal (Pa) dan bar.

Tekanan uap adalah tekanan suatu uap pada kesetimbangan dengan fase bukan uapnya. Semua zat padat dan cair memiliki kecenderungan untuk menguap menjadi suatu bentuk gas, dan semua gas memiliki suatu kecenderungan untuk mengembun kembali. Pada suatu suhu tertentu memiliki tekanan parsial yang merupakan titik kesetimbangan dinamis zat tersebut dengan bentuk cair atau padatnya. Titik ini adalah tekanan uap zat tersebut pada suhu tertentu.

Tekanan uap suatu cairan bergantung pada banyaknya molekul dipermukaan yang memiliki cukup energi kinetik untuk lolos dari tarikan molekul-molekul tetangganya. Jika dalam cairan itu dilarutkan suatu zat, maka kini yang menempati permukaan bukan hanya molekul pelarut, tetapi juga molekul zat terlarut. Karena molekul pelarut dipermukaan semakin sedikit, maka laju penguapan akan berkurang. Dengan perkataan lain, tekanan uap cairan itu turun. Makin banyak zat terlarut, makin besar pula penurunan tekanan uap.

### 2.3 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat

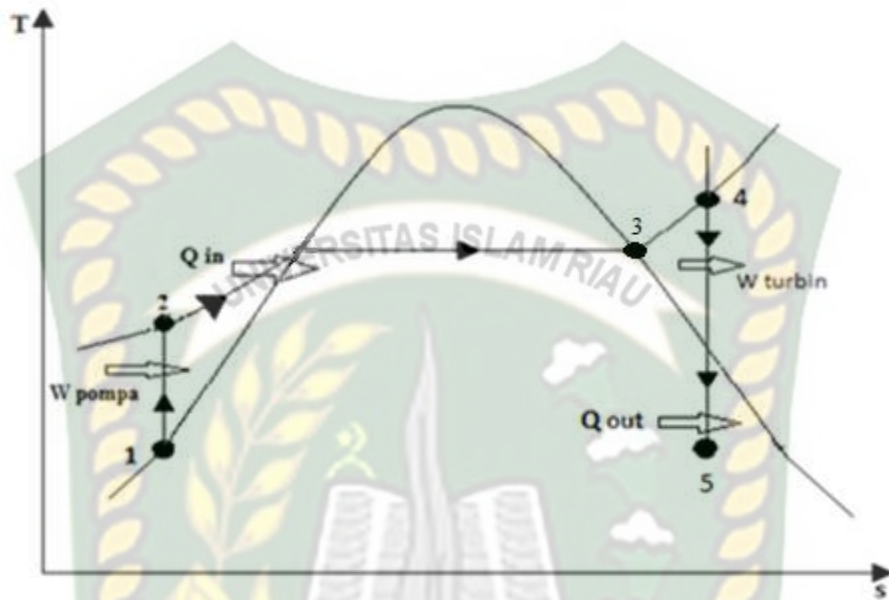


evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus Rankine harus merupakan uap. Siklus Rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, *throttling*, dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup.

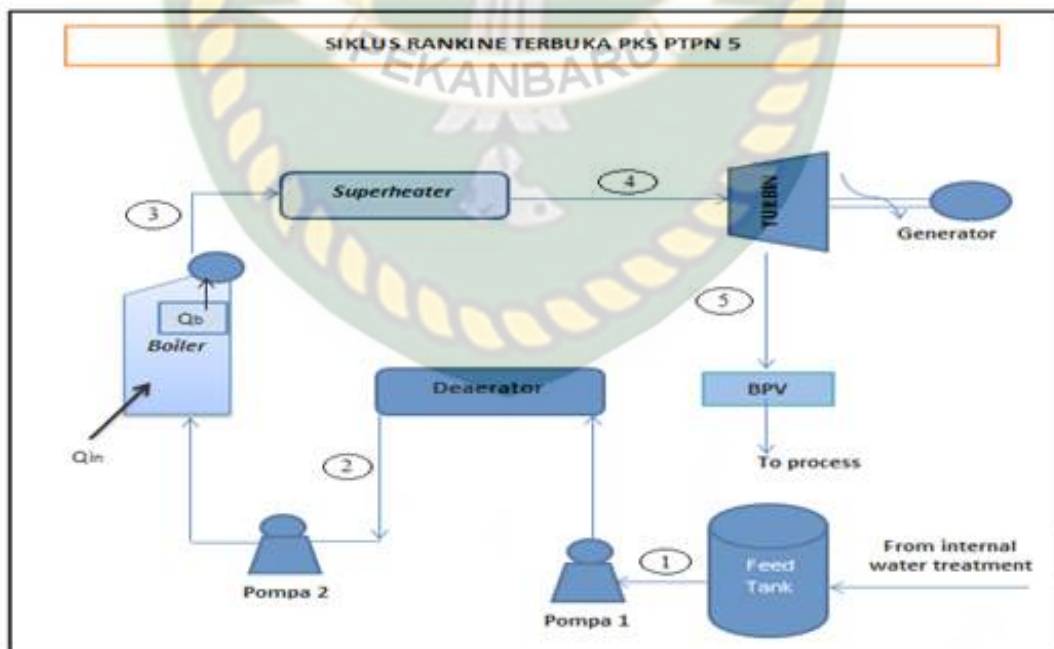
Dari diagram T-s tersebut proses yang terjadi adalah:

1. Proses 1-2 : Air yang berasal dari *feed water tank* yang memiliki temperatur air sedikit meningkat karena sebelumnya diberikan perlakuan panas oleh deaerator. Kemudian air tersebut dialirkan ke *boiler* oleh pompa untuk dilakukan perlakuan panas.
2. Proses 2-3 : Setelah air berada di *boiler* lalu dipanaskan dengan cara proses pembakaran, sehingga air tersebut mencapai titik didihnya dan air tersebut berubah dari uap basah menjadi uap kering.
3. Proses 3-4 : Uap kering yang berada di *boiler* masuk ke *superheater*. Dimana *superheater* tersebut mengubah uap kering menjadi uap jenuh dengan cara memanfaatkan gas sisa hasil pembakaran sehingga temperatur dan tekanan uap tersebut menjadi tinggi.
4. Proses 4-5 : Uap *superheded* (uap kering) tersebut masuk ke turbin dimana temperatur dan tekanan uap dengan kualitas tinggi diekspansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik.

5. Proses 5 : Sisa uap yang telah dimanfaatkan oleh turbin memiliki temperatur dan tekanan uap rendah dan digunakan untuk proses produksi.



Gambar 2.11 Diagram T-s Siklus Rankine Terbuka



Gambar 2.12 Skema IKTU di PT. Perkebunan Nusantara V

Sumber : PT Perkebunan Nusantara V Sei pagar

## 2.4 Pengaruh Tekanan *Steam Outlet Superheater* Terhadap *Performance*

### Turbin Uap

Dari literatur yang didapat mengenai penelitian dan pembahasan yang dilakukan yaitu jurnal Apriyanti Perangin Angin yang berjudul “ Analisa Termodinamika pengaruh tekanan uap yang keluar dari *superheater* terhadap unjuk kerja Instalasi Ketel dan Turbin Uap di PLTU AMURANG UNIT I” yang berkesimpulan bahwa telah diketahui Instalasi Ketel dan Turbin Uap yang bekerja pada siklus terbuka sensitif terhadap perubahan tekanan uap yang keluar dari *superheater* sehingga menghasilkan daya yang besar apabila tekanan uap yang dihasilkan *boiler* besar. Sebab, apabila tekanan uap yang masuk ke dalam turbin uap besar maka akan mengakibatkan nilai entalpi uap yang dimiliki uap tersebut ikut menjadi besar sehingga memudahkan sudu-sudu pada turbin berputar dan mengubahnya menjadi energi kinetik. Hal tersebut juga dapat mempengaruhi panas yang berguna bagi turbin menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan uap yang bertekanan rendah.

Adapun metode yang digunakan dalam menganalisa tekanan uap yang keluar dari *superheater* terhadap unjuk kerja turbin uap ini adalah analisa termodinamika dengan mengabaikan kerugian-kerugian panas antara fluida kerja dan peralatan. Dari hasil perhitungan pada tekanan uap 18 bar diperoleh nilai efisiensi thermal terendah 31,32% dan daya netto 673,37 kW, sedangkan tekanan uap 25 bar diperoleh nilai efisiensi thermal tertinggi 68,14% dan daya netto 1.056 kW. Dari jurnal Apriyanti Perangin Angin ini terlihat bahwa tekanan uap yang keluar dari *superheater* berpengaruh



terhadap unjuk kerja Instalasi turbin uap.

## 2.5 Performance Turbin Uap

Prestasi turbin uap (*steam turbine*) menunjukkan kinerja suatu mesin/peralatan. Dalam analisa turbin uap (*steam turbine*) ada beberapa *performance* yang harus dihitung, diantaranya : daya turbin uap ( $N_T$ ), torsi (T), daya poros efektif ( $N_e$ ), panas yang masuk ( $Q_{in}$ ), panas yang keluar ( $Q_{out}$ ), efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ), kerja turbin ( $W_T$ ), kerja pompa ( $W_P$ ), dan kerja yang berguna ( $W_{net}$ ).

### 2.5.1 Daya Turbin

Pada turbin, daya yang berguna ialah daya poros, karena daya poros itulah menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator dibutuhkan untuk mengatasi gesekan mekanik, misalnya gesekan poros dan bantalannya. Disamping itu, daya indicator harus pula menggerakkan beberapa aksesoris yang terdapat pada turbin. Dengan demikian besar daya poros dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$N_T = \dot{m}_{uap} \cdot (h_4 - h_5) \dots \dots \dots \text{pers 2.1 (Lit 7 hlm 98)}$$

Dimana :

$N_T$  = Daya turbin uap (kW)

$\dot{m}_{uap}$  = Laju aliran massa uap (kg/jam)

$h_4$  = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

$h_5$  = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

### 2.5.2 Torsi

Konsep torsi dalam fisika juga disebut momen, diawali dari kerja archimedes. Informalnya, torsi dapat dipikir sebagai gaya rotasional. Untuk menghitung nilai torsi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{N_T}{n} \dots \dots \dots \text{Pers.2.2 (Lit 7 hlm 107)}$$

Dimana :

- T = Momen torsi (N.m)
- $N_T$  = Daya turbin (kW)
- n = Putaran poros (rpm)

### 2.5.3 Daya Poros Efektif

Daya poros efektif pada turbin adalah daya yang berguna untuk menggerakkan beban. Dengan demikian daya poros efektif pada turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$N_e = \frac{2\pi.n.T}{60 \times 1000} \dots \dots \dots \text{pers.2.3 (Lit 7 hlm 114)}$$

Dimana :

- $N_e$  = Daya efektif turbin uap (kW)
- T = Momen torsi (N.m)
- n = Putaran poros (rpm)

#### 2.5.4 Panas Yang Masuk

Panas yang masuk menyatakan hasil selisih antara entalpi uap masuk turbin dan entalpi air keluar pompa. Panas yang masuk keruang bakar ini digunakan untuk proses terjadinya pembakaran di ruang bakar yang dinyatakan dalam satuan kJ/jam.

$$Q_{in} = h_4 - h_2 \dots \dots \dots \text{pers.2.4 (Lit 12 hlm 279)}$$

Dimana :

$$Q_{in} = \text{Panas yang masuk (kJ/kg)}$$

$$h_2 = \text{Entalpi air umpan boiler (kJ/kg)}$$

$$h_4 = \text{Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)}$$

#### 2.5.5 Panas Yang Keluar

Panas yang masuk menyatakan hasil selisih antara entalpi uap keluar turbin dan entalpi air keluar kondensor. Panas yang keluar dari ruang bakar ini digunakan untuk proses terjadinya kondensasi yang dinyatakan dalam satuan kJ/jam.

$$Q_{out} = h_5 - h_1 \dots \dots \dots \text{pers.2.5 (Lit 12 hlm 279)}$$

Dimana :

$$Q_{out} = \text{Panas yang keluar (kJ/kg)}$$

$$h_1 = \text{Entalpi air masuk pompa (kJ/kg)}$$

$$h_5 = \text{Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)}$$



### 2.5.6 Kerja Turbin

Kerja turbin beroperasi dengan cara nozzle menyemprotkan uap (*steam*) ke sudu-sudu gerak turbin sehingga sudu turbin tersebut berputar yang mengakibatkan proses energi kinetik menjadi energi mekanik, dan dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/kg)

$$W_T = h_4 - h_5 \dots \dots \dots \text{pers. 2.6 (Lit 12 hlm 286)}$$

Dimana :

- $W_T$  = Kerja turbin uap (kJ/kg)
- $h_4$  = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)
- $h_5$  = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

### 2.5.7 Kerja Pompa

Kerja pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara uap masuk turbin (*suction*) dengan bagian air keluar pompa (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan) dan dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/kg)

$$W_p = h_2 - h_1 \dots \dots \dots \text{pers. 2.7 (Lit 12 hlm 287)}$$

Dimana :

- $W_p$  = Kerja pompa (kJ/kg)
- $h_2$  = Entalpi air keluar pompa (kJ/kg)
- $h_1$  = Entalpi air masuk pompa (kJ/kg)

### 2.5.8 Kerja Yang Berguna

Kerja yang berguna adalah kerja efektif yang dihasilkan oleh instalasi turbin uap. Dapat dicari dengan perbandingan antara panas yang masuk ke ruang pembakaran di kurangi dengan panas yang keluar dari ruang pembakaran. Dapat dinyatakan dalam satuan kJ/jam.

$$W_n = W_T - W_p \dots \dots \dots \text{pers. 2.8 (Lit 12 hlm 286)}$$

Dimana :

$$W_n = \text{Kerja turbin uap (kJ/kg)}$$

$$W_T = \text{Kerja turbin (kJ/kg)}$$

$$W_p = \text{Kerja pompa (kJ/kg)}$$

### 2.5.9 Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu. Efisiensi thermal dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{W_n}{Q_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots \text{pers. 2.9 (Lit 12 hlm 279)}$$

Dimana :

$$\eta_{th} = \text{Efisiensi termal (\%)}$$

$$W_n = \text{Kerja yang berguna (kJ/kg)}$$

$$Q_{in} = \text{Panas yang masuk (kJ/kg)}$$