



Vol. 3 No. 1 | April 2019

ISSN No. 2597-4254

*Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*

# Rekayasa Mekanik



Di Publikasikan oleh:  
Fakultas Teknik UNIB



## Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



ISSN No. 2597 – 4254  
Vol. 3 No. 1, April 2019

Jurnal Rekayasa Mekanik mempublikasikan karya tulis di bidang sains – teknologi, murni disiplin dan antar disiplin, berupa penelitian dasar, perancangan dan studi pengembangan teknologi. Jurnal ini terbit berkala setiap enam bulan (April dan Oktober)

**Penanggung Jawab**  
**Dr.Eng. Dedi Suryadi, S.T., M.T.**

**Penyunting Ahli (Mitra Bestari)**  
**Helmizar, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Bengkulu)**  
**Dr.Eng. Hendra, S.T., M.T. (Universitas Bengkulu)**  
**Dr. Gesang Nugroho, S.T., M.T. (Universitas Gadjah Mada)**  
**Dr.Eng. Nurkholis Hamidi (Universitas Brawijaya)**  
**Dr.Eng. Munadi (Universitas Diponegoro)**  
**A Sofwan F Alqap, S.T., M.Tech., Ph.D. (Universitas Bengkulu)**  
**Hendri Hestiawan, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Bengkulu)**

**Redaktur**  
**Agus Nuramal, S.T., M.T.**

**Desain Grafis**  
**Zuliantoni, S.T., M.T.**

**Sekretariat**  
**Yovan Witanto, S.T., M.T.**

**Penerbit**  
**Fakultas Teknik – Universitas Bengkulu**

**Sekretariat Redaksi:**

**Gedung Dekanat Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin – Universitas Bengkulu**  
**Jln. WR Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38123, Telp. (0736) 21170, 344067**  
**Email: teknik\_mesin@unib.ac.id**

## DAFTAR ISI

<b>Redaksi</b>		<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>		<b>ii</b>
<b>1.</b>	<b><i>PENGARUH PERLAKUAN ALKALI DAN SUSUNAN SERAT TERHADAP WATER ABSORPTION PADA KOMPOSIT HYBRID BERPENGUAT SERAT AGEL TENUN/SERAT GELAS/RESIN POLIESTER</i></b> <b>Hendri Hestiawan[1], Jamasri[2], Kusmono[3]</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b><i>STEAM TURBINE ISENTROPIC EFFICIENCY OF TC 663 MY 140 TYPE-UNIT 4 STEAM POWER PLANT (CASE STUDY IN PT. PLN (PERSERO), BUKIT ASAM SECTOR, TANJUNG ENIM REGENCY, SOUTH SUMATERA PROVINCE)</i></b> <b>Angky Puspawan[1]</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b><i>PENGUKURAN RUNOUT PADA POROS POMPA VERTIKAL DENGAN MEMVARIASIKAN FEEDING DAN SUDUT PENAMPANG POROS</i></b> <b>Zulianton[1], dan M. Reza Febriyanto[1]</b>	<b>19</b>
<b>4.</b>	<b><i>ANALISA KEGAGALAN CONNECTING ROD PADA KONDISI PEMBEBANAN MAKSIMUM</i></b> <b>Dedi Suryadi[1], Ahmad Fauzan Suryono[2], Bella Gusti Islandi[3]</b>	<b>27</b>
<b>5.</b>	<b><i>KARAKTERISTIK ALIRAN PADA SUSUNAN POMPA YANG BERBEDA HEAD SECARA SERI DAN PARALEL</i></b> <b>Helmizar[1], Endry Setiawan[2], Agus Nuramal[3]</b>	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b><i>PEMILIHAN PIPA DAN POMPA BALLAST PADA PEMBUATAN KAPAL PERANG JENIS ANGKUT TANK BAJA 4 DI PT DAYA RADAR UTAMA UNIT 3 LAMPUNG</i></b> <b>Kurniawan Eko Prabowo[1], Yovan Witanto [2]</b>	<b>37</b>
<b>7.</b>	<b><i>ANALISA UMUR SHELL UNTUK PERENCANAAN INSPEKSI PADA HEAT EXCHANGER DI KILANG MINYAK</i></b> <b>Ahmad Fauzan Suryono [1], Sudaryanto [2], Rudianto [3]</b>	<b>43</b>
<b>8.</b>	<b><i>ANALISA PENGARUH PENGURANGAN MANPOWER PADA PROSES PRODUKSI JEMBATAN KERETA API TYPE WTT46,5 DI PT. XYZ</i></b> <b>Hendri Van Hoten[1], Syaftian Mardi Kusuma[2], Nurbaiti[3]</b>	<b>49</b>
<b>9.</b>	<b><i>FORMAT PENULISAN JURNAL</i></b>	<b>53</b>

**STEAM TURBINE ISENTROPIC EFFICIENCY OF TC 663 MY 140 TYPE-UNIT 4  
STEAM POWER PLANT  
CASE STUDY IN PT. PLN (PERSERO), BUKIT ASAM SECTOR, TANJUNG ENIM  
REGENCY,  
SOUTH SUMATERA PROVINCE**

**Angky Puspawan[1]**

[1]Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu  
Jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371A  
angkypuspawan@yahoo.com

**ABSTRACT**

Coal is one of the important natural resources that can produce energy for electricity generation. Bukit Asam Steam Power Plant (PLTU) PT. PLN (Persero) is a state-owned company that is in charge of managing coal into fuel to produce electricity through the Rankine cycle with one of its main tools being a steam turbine. Steam turbines function to convert heat energy from the boiler to mechanical energy to rotate the turbine. Because the heat energy has enough pressure, temperature, and flow of steam to rotate the turbine rotor. If a steam turbine is used continuously to reduce the quality and isentropic efficiency of the turbine. Therefore, it is necessary to do some work analysis on turbines type TC663 MY 140 Unit 4, Bukit Asam Sector PLTU. From observing and retrieving data and the results of calculating steam turbines during a two-day operation, the average value of isentropic efficiency on the first day was 57.86% with a range of 56.19% -59.92% and 54.51% on the second day 44.29% - 59.58 %. So, the pressure and temperature of the steam turbine greatly affect the performance of the steam turbine where if the pressure and the inlet temperature of the steam turbine are large then the work of the steam turbine increases and vice versa. From the results of calculations and discussion it can be concluded that the steam turbine used in PT. PLN (Persero) is still working well.

**Keywords:** steam turbine, pressure, temperature, isentropic efficiency

## **1. PENDAHULUAN**

Tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan yang paling pokok untuk menunjang kehidupan manusia saat ini. Tidak heran pada saat ini ada banyak jenis pembangkit listrik yang tersebar diseluruh Indonesia seperti, PLTU (Pembangkit Tenaga Uap), PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel), PLTA (Pembangkit listrik Tenaga Air), PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir), PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap), PLTO (pembangkit Listrik Tenaga Ombak) dan lain-lain.Semua itu dibagi berdasarkan jenis tenaga yang dimanfaatkannya. Kesemua jenis pembangkit tersebut memiliki mesin yang beroperasi untuk mengkonversikan menjadi energi listrik.

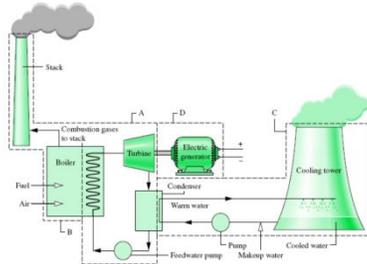
Khususnya turbin uap yang berfungsi memanfaatkan energi kinetik berupa uap bertekanan dan bertemperatur tinggi untuk menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros yang menggerakkan generatorlistrik untuk menghasilkan energi listrik. Turbin apabila digunakan secara terus menerus (kontinyu), perlu diperhatikan tentang tekanan dan temperatur yang terjadi pada saat turbin bekerja. Oleh karena itu, penulis mengambil kajian tentang mengetahui tentang kinerja atau efisiensi turbin uap, khususnya turbin uap yang ada pada PLTU Sektor Bukit Asam. Dengan mengetahui nilai efisiensi dari turbin, kita dapat mengetahui kemampuan dari turbin ketika beroperasi.

## **2. LANDASAN TEORI**

### **2.1 PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap)**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik

jenis ini adalah *generator* yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering<sup>[1]</sup>. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar seperti: gas (*LNG, PLG* maupun gas lainnya), minyak (minyak ringan hingga minyak berat),



batu bara (berkualitas tinggi hingga rendah) dan *biomass* lainnya (bahan lain yang bisa dibakar). PLTU dapat dilihat pada gambar 2.1.

**Gambar 2.1 PLTU<sup>[1]</sup>**

Keunggulan PLTU:

- Dapat dioperasikan menggunakan berbagai jenis bahan bakar (padat, cair dan gas)
- Dapat dibangun dengan kapasitas yang bervariasi
- Dapat dioperasikan dengan berbagai mode pembebanan
- Kontinuitas operasinya tinggi
- Usia pakai (*life time*) relatif lama

Kelemahan PLTU:

- Sangat tergantung pada tersedianya pasokan bahan bakar
- Tidak dapat dioperasikan (*start*) tanpa pasokan listrik dari luar
- Memerlukan tersedianya air pendingin yang sangat banyak dan kontinyu
- Investasi awalnya mahal

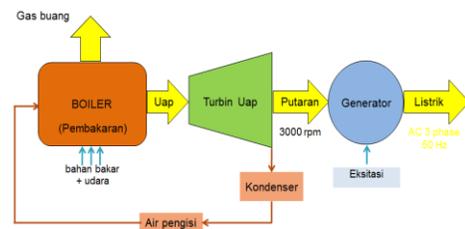
### 2.1.1 Konsep PLTU

Adapun konsep dari Pembangkit Listrik Tenaga uap adalah sebagai berikut :

1. Pertama, air diisikan ke *boiler* hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam *boiler* air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Kedua, uap hasil produksi *boiler* dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.

3. Ketiga, *generator* yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal *output generator*
4. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi *boiler*.
5. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang<sup>[1]</sup>.

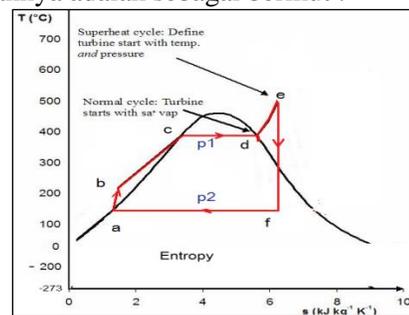
Skema PLTU dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2 Konsep PLTU<sup>[2]</sup>**

### 2.1.2 Siklus Kerja PLTU

Siklus Kerja PLTU merupakan siklus tertutup dan dapat digambarkan dengan diagram *T-s* pada gambar 2.3. Siklus ini adalah penerapan siklus *rankine ideal*<sup>[2]</sup>. Adapun urutan langkahnya adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.3 Siklus Rankine Ideal<sup>[2]</sup>**

- a - b Air dipompa dari tekanan  $P_2$  menjadi  $P_1$ . Langkah ini adalah langkah *kompresi isentropis*. Terjadi pada pompa air pengisi.
- b - c Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga titik didih. Terjadi di *LPheater, HPheater* dan *Economizer*.
- c - d Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut *vapourising* (penguapan) dengan proses *isobar isothermis*, terjadi di *boiler* yaitu di *wall tube (riser)* dan *steam drum*.

- d - e Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Terjadi di *superheaterboiler* dengan proses *isobar*.
- e - f Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah *ekspansi isentropis*, dan terjadi didalam turbin.
- f - a Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.

Adapun siklus dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap, sebagai berikut:

1. Pertama-tama air demin ini berada disebuah tempat bernama *Hotwell*.
2. Dari *Hotwell*, air mengalir menuju *Condensate Pump* untuk kemudian dipompakan menuju *Low Pressure Heater(LP Heater)* yang fungsinya untuk menghangatkan tahap pertama. Lokasi *hotwell* dan *condensate pump* terletak di lantai paling dasar dari pembangkit atau biasa disebut *Ground Floor*. Selanjutnya air mengalir masuk ke *Dearator*.
3. Di *dearator* air akan mengalami proses pelepasan ion-ion mineral yang masih tersisa di air dan tidak diperlukan seperti Oksigen dan lainnya. *Dearator* memiliki fungsi untuk menghilangkan gelembung yang biasa terdapat pada permukaan air. Agar proses pelepasan ini berlangsung sempurna, suhu air harus memenuhi suhu yang disyaratkan. Oleh karena itulah selama perjalanan menuju *Dearator*, air mengalami beberapa proses pemanasan oleh peralatan yang disebut *Low Pressure Heater(LP Heater)*.
4. Dari *dearator*, air turun kembali ke *Ground Floor*. Sesampainya di *Ground Floor*, air langsung dipompakan oleh *Boiler Feed Pump*(pompa air pengisi) menuju *Boiler* atau tempat “memasak” air. Bisa dibayangkan *Boiler* ini seperti drum, tetapi drum berukuran raksasa. Air yang dipompakan ini adalah air yang bertekanan tinggi, karena itu syarat agar uap yang dihasilkan juga bertekanan tinggi. Karena itulah konstruksi PLTU membuat *dearator* berada di lantai atas dan *Boiler Feed*

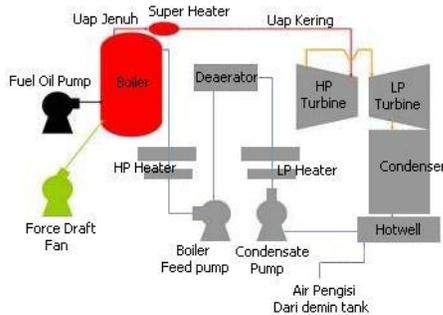
*Pump* berada di lantai dasar. Karena dengan meluncurnya air dari ketinggian membuat air menjadi bertekanan tinggi.

5. Sebelum masuk ke *Boiler* untuk “direbus”, lagi-lagi air mengalami beberapa proses pemanasan di *High Pressure Heater(HP Heater)*. Setelah itu barulah air masuk *boiler* yang letaknya berada dilantai atas.
6. Di dalam *Boiler* inilah terjadi proses memasak air untuk menghasilkan uap. Proses ini memerlukan api yang pada umumnya menggunakan batubara sebagai bahan dasar pembakaran dengan dibantu oleh udara dari *FD Fan (Force Draft Fan)* dan pelumas yang berasal dari *Fuel Oil tank*.
7. Bahan bakar dipompakan kedalam *boiler* melalui *Fuel oil Pump*. Bahan bakar PLTU bermacam-macam. Ada yang menggunakan minyak, minyak dan gas atau istilahnya *dual firing* dan batubara.
8. Sedangkan udara diproduksi oleh *Force Draft Fan (FD Fan)*. *FD Fan* mengambil udara luar untuk membantu proses pembakaran di *boiler*. Dalam perjalanannya menuju *boiler*, udara tersebut dinaikkan suhunya oleh *air heater* (pemanas udara) agar proses pembakaran bisa terjadi di *boiler*.
9. Kembali ke siklus air. Setelah terjadi pembakaran, air mulai berubah wujud menjadi uap. Namun uap hasil pembakaran ini belum layak untuk memutar turbin, karena masih berupa uap jenuh atau uap yang masih mengandung kadar air. Kadar air ini berbahaya bagi turbin, karena dengan putaran hingga 3000 rpm, setitik air sanggup untuk membuat sudu-sudu turbin menjadi terkikis.
10. Untuk menghilangkan kadar air itu, uap jenuh tersebut di keringkan di super heater sehingga uap yang dihasilkan menjadi uap kering. Uap kering ini yang digunakan untuk memutar turbin.
11. Ketika Turbin berhasil berputar berputar maka secara otomatis *generator* akan berputar, karena antara turbin dan *generator* berada pada satu poros. *Generator* inilah yang menghasilkan energi listrik.
12. Pada *generator* terdapat medan magnet raksasa. Perputaran *generator* menghasilkan

beda potensial pada magnet tersebut. Beda potensial inilah cikal bakal energi listrik.

13. Energi listrik itu dikirimkan ke trafo untuk dirubah tegangannya dan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi PLN.
14. Uap kering yang digunakan untuk memutar turbin akan turun kembali ke lantai dasar. Uap tersebut mengalami proses kondensasi didalam kondensor sehingga pada akhirnya berubah wujud kembali menjadi air dan masuk kedalam *hotwell*.

Gambar siklus PLTU seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Siklus PLTU<sup>[1]</sup>

### 2.1.3 Komponen Utama PLTU

Adapun komponen utama pada PLTU meliputi:

#### a. Boiler

*Boiler* berfungsi untuk mengubah air (*feed water*) menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) yang akan digunakan untuk memutar turbin. *Boiler* atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. *Boiler* yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler* (*boiler* pipa air)<sup>[1]</sup>.

#### b. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi putar (daya poros). Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi mengalir melalui nosel

sehingga kecepatannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros. Akibatnya poros turbin bergerak menghasilkan putaran (daya poros). Daya poros yang dihasilkan digunakan untuk memutar *generator* sehingga dihasilkan energi listrik. Uap yang telah melakukan kerja di turbin, tekanan dan temperturnya akan turun hingga kondisinya menjadi uap basah. Uap yang keluar dari turbin ini kemudian dialirkan ke dalam kondensor untuk didinginkan agar menjadi air kondensat<sup>[1]</sup>.

#### c. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin). Proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*tubes*). Uap mengalir di luar pipa-pipa (*shell side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe *surface* (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah turbin sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin untuk masuk kondensor karena gravitasi<sup>[1]</sup>.

#### d. Generator

*Generator* berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin menjadi energi listrik. *Generator* yang dikopel langsung dengan turbin akan menghasilkan tegangan listrik ketika turbin berputar. Proses konversi energi di dalam *generator* adalah dengan memutar medan magnet didalam kumparan. Rotor *generator* sebagai medan magnet menginduksi kumparan yang dipasang pada stator sehingga timbul tegangan diantara kedua ujung kumparan *generator*. Untuk membuat rotor agar menjadi medan magnet, maka dialirkan arus *Direct Current* ke kumparan rotor. Sistem pemberian arus *Direct Current* kepada rotor agar menjadi magnet ini disebut sistem eksitasi<sup>[1]</sup>.

### 2.2 Turbin Uap

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak,

"assembly rotor-blade". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor.

Turbin uap (gambar 2.5) merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energikinetik 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. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanis yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara.

Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluida kerjanya yang bertambah akibat penambahan energi termal.

Panas dari turbin uap ini dihasilkan dari boiler, dimana fasa yang sebelumnya adalah air diubah menjadi uap yang memiliki *temperature*, *pressure*, dan *steam flow* yang besar untuk menggerakkan turbin<sup>[1]</sup>.



**Gambar 2.5 Turbin Uap**

### 2.2.1 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 :

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. Jenis turbin impuls :

1. Turbin satu tahap.
2. Turbin *impuls* gabungan.
3. Turbin *impuls* gabungan kecepatan.

Ciri-ciri dari turbin impuls antara lain:

1. Proses pengembangan uap / penurunan tekanan seluruhnya terjadi pada sudu diam / *nozzle*.
2. Akibat tekanan dalam turbin sama sehingga disebut dengan tekanan rata<sup>[4]</sup>.

b. Turbin Reaksi

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

1. Penurunan tekanan uap sebagian terjadi di *Nozzle* dan Sudu Gerak
  2. Adanya perbedaan tekanan didalam turbin sehingga disebut Tekanan Bertingkat.
2. Klasifikasi turbin uap 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*, dll.
  - 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/tekanan.
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 sehinggamasih dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin lain.
  - c. Turbin Ekstraksi.  
Didalam turbin ini sebagian uap dalam turbin diekstraksi untuk proses pemanasan lain, misalnya proses industri<sup>[4]</sup>.

## 2.2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap

Turbin uap merupakan pesawat konversi energi yang berfungsi untuk mengkonversi energi potensial uap menjadi energi mekanik. proses konversi energi dalam turbin uap secara ringkas dapat diuraikan sebagai berikut. Uap yang masuk kedalam turbin diexpansikan dalam pipa pancar (*Nozzle*) turbin dari tekanan uap yang masuk sebesar  $P_a$  ( $\text{kg/cm}^2$ ), ke tekanan tertentu sebesar  $P_i$  ( $\text{kg/cm}^2$ ).

Akibat adanya penurunan tekanan uap dari  $P_a$  ke  $P_i$ , menyebabkan kenaikan kecepatan aliran uap yang memasuki pipa pancar  $C_a$  dengan uap yang meninggalkan pipa pancar  $C_i$ . karena energi potensial yang menyebabkan rotor turbin uap berputar sangat bergantung dari besar tekanan dan suhu (*temperature*), maka penurunan tekanan uap setelah melewati pipa pancar juga menyebabkan penurunan suhu. Putaran yang dihasilkan oleh rotor diteruskan ke *Generator* yang akan diubah mejadi arus listrik. Uap yang telah ditembakkan ke rotor, fasanya berubah menjadi cair sebagian (tidak uap seutuhnya), diteruskan ke kondensat untuk diubah fasanya menjadi cair seutuhnya<sup>[1]</sup>.

## 2.2.3 Bagian Utama Turbin Uap

### a) *Casing*

Ada dua macam casing pada Turbin Uap, yaitu *casing* luar dan *casing* dalam. *Casing* luar berfungsi untuk melindungi seluruh bagian dari turbin, termasuk *casing* dalam. *Casing* dalam turbin merupakan *cover* turbin yang berfungsi untuk membungkus sudu sudu turbin sekaligus sebagai tempat dudukan pemasangan bagian sudu diam turbin (*static blade carrier turbin*), *labyrinth*, *governing valve*, dan pipa pipa pancar. Untuk gambar dari *casing* dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Casing

### b) Rotor/Poros (*Shaft*)

Poros turbin merupakan bagian turbin yang berputar yaitu tempat dipasangnya sudu sudu gerak turbin, pompa minyak pelumas utama

(*main oil pump*) dan kopel keporos (*shaft generator*). Dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Rotor Turbin

### c) Sudu Diam

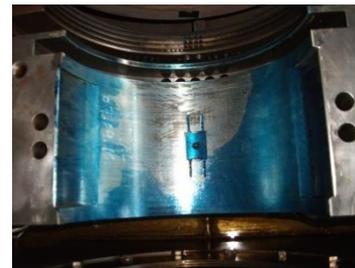
Sudu diam (*static blade carrier*) turbin berfungsi untuk mengarahkan aliran uap yang keluar dari pipa pancar kesudu gerak turbin.

### d) Sudu Gerak/Putar

Sudu gerak turbin merupakan bagian aktif turbin untuk merubah energi potensial uap menjadi energi mekanik (putar).

### e) Pipa pancar (*Nozzle*)

Pipa pancar (*nozzle*) berfungsi untuk menyebarkan dan mengarahkan aliran uap yang masuk ke turbin kepermukaan sudu-sudu tingkat pengaturan putaran turbin. Pada saat kondisi turbin bekerja, bagian-bagian seperti Sudu, *Blade*, *Nozzle*, tidak terlihat oleh mata karena tertutup oleh casing. Untuk gambar dari *Nozzled* dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Nozzle

### f) *Main Oil Pump*

Berfungsi untuk memompakan oli dari tangki untuk disalurkan pada bagian – bagian yang berputar pada turbin. Dapat dilihat pada gambar 2.9

Dimana fungsi dari *Lube Oil* adalah :

- Sebagai Pelumas pada bagian–bagian yang berputar.
- Sebagai Pendingin yang telah panas dan masuk ke bagian turbin dan akan menekan/terdorong keluar secara sirkular.
- Sebagai Pelapis pada bagian turbin yang bergerak secara rotasi.

- d. Sebagai Pembersih dimana oli yang telah kotor sebagai akibat dari benda-benda yang berputar dari turbin akan terdorong keluar oleh oli yang masuk.



**Gambar 2.9 Main Oil Pump**

- g) Katup Pembagi (*Governing Valve*)

Berfungsi untuk mengatur banyaknya uap yang masuk ke turbin sesuai dengan besarnya beban turbine itu sendiri, seperti pada gambar 2.10



**Gambar 2.10 Governing Valve**

- h) Labirin (*Labyrinth*)

Berfungsi untuk menyekat uap supaya tidak terjadi kebocoran pada sela-sela poros turbin pada setiap tingkatan sudu.

- i) *Turning Gear*

Berfungsi untuk memutar poros turbin pada saat turbin baru dioperasikan atau baru di stop tujuannya supaya rotor turbin mendapat proses pemanasan atau pendinginan yang merata supaya tidak bengkok (*bending*).

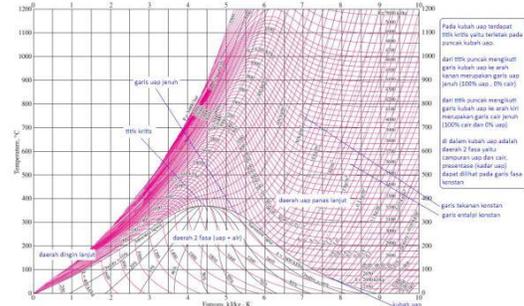
- j) *Condenser*

*Condenser* berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang keluar dari sudu turbin tingkat akhir, dan juga untuk membantu proses *vacuum* diruang *exhaust* turbin.

### 2.3 Siklus Rankine

Siklus *Rankine* adalah siklus daya uap yang digunakan untuk menghitung atau memodelkan proses kerja turbin uap. Siklus ini bekerja dengan fluida kerja air. Semua turbin uap bekerja berdasarkan prinsip kerja siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* (Gambar 2.11) pertama kali dimodelkan oleh: **William John Macquorn**

**Rankine**, seorang ilmuwan Skotlandia dari Universitas Glasgow. Untuk mempelajari siklus Rankine, terlebih dahulu kita harus memahami tentang *T-s diagram* untuk air. Berikut ini adalah *T-s diagram* untuk air.



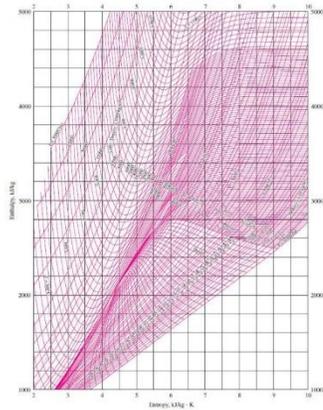
**Gambar 2.11 T-s Diagram<sup>[3]</sup>**

Pada T-s diagram terdapat garis lengkung berbentuk kubah yang disebut kubah uap. Puncak kubah uap ini terdapat sebuah titik yang disebut titik kritis. Bila fluida dipanaskan pada tekanan kritis yaitu tekanan pada titik kritis ini, maka pada saat temperatur fluida mencapai temperatur kritisnya, semua molekul fluida akan berubah secara cepat dari fase cair menjadi fase gas (uap) tanpa ada proses penyerapan panas laten (panas penguapan) oleh sebab itu titik ini disebut titik kritis fluida. Untuk air, titik kritis berapa pada tekanan 218 atm (22,064 MPa) dan temperatur 374 °C. Jadi bila air dipanaskan pada tekanan 22,064 MPa atau 218 atm, maka ketika temperatur air mencapai 374 °C, secara cepat air akan berubah langsung dari fase cair menjadi fase gas tanpa melalui proses penyerapan energi untuk proses penguapan.

Dari titik kritis ke arah kanan mengikuti garis kubah uap disebut garis uap jenuh. Bila fluida berada pada kondisi tekanan dan temperatur yang sesuai dengan garis ini, maka fluida tersebut berada pada kondisi 100% uap jenuh. Dari titik kritis ke arah kiri mengikuti garis kubah uap, disebut garis cair jenuh. Pada garis ini fluida memiliki fase cair 100%.

Di dalam kubah uap adalah daerah panas laten, yaitu panas penguapan atau panas pengembunan. Pada daerah ini fluida berada dalam kondisi 2 fase yaitu fase cair dan fase gas bercampur menjadi satu. Kadar uap dapat ditentukan dari garis kadar uap.

Daerah di atas kubah uap di sebelah kanan adalah daerah uap panas lanjut (*superheated steam*). Sedangkan daerah di sebelah kiri di luar kubah uap disebut daerah dingin lanjut. Untuk uap jenuh, sifat-sifat termodinamika uap dapat ditentukan hanya dengan menggunakan temperatur atau tekanannya saja, tetapi untuk menentukan sifat-sifat termodinamika uap pada kondisi panas lanjut dan dingin lanjut harus diketahui tekanan dan temperatur uap.



Gambar 2.12 h-s Diagram<sup>[3]</sup>

Selain diagram T-s juga dikenal *Mollier* diagram atau h-s diagram. Berikut ini adalah h-s (Gambar 2.12). Diagram h-s menggambarkan hubungan antara energi total entalpi (h) dengan entropi (s). Sama seperti diagram T-s, untuk setiap fluida memiliki diagram h-s nya sendiri-sendiri. Kedua diagram ini dapat digunakan untuk menghitung kinerja pembangkit listrik tenaga uap dengan menggunakan siklus *Rankine*<sup>[6]</sup>.

### 2.4 Parameter Kinerja Turbin Uap

Kinerja turbin uap jenis kondensasi berkaitan dengan beberapa parameter utama, yaitu :

#### 2.4.1 Entalpi

Entalpi adalah istilah termodinamika yang menyatakan jumlah energi internal dari suatu termodinamika ditambah energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Usaha adalah tenaga yang diserahkan oleh sistem di dalam melakukan kerja (W). Usaha (W) merupakan selisih nilai entalpi yang masuk dengan entalpi yang keluar<sup>[3]</sup>.

#### 1. Kerja Turbin Kondisi Aktual ( $W_a$ )

$$W_a = (h_1 - h_{2a}) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

$W_a$  = Kerja turbin secara aktual (kJ/kg)

$h_1$  = Entalpi aktual masuk turbin (kJ/kg)

$h_{2a}$  = Entalpi kondisi aktual (kJ/kg)

#### 2. Kerja Turbin Kondisi Isentropik ( $W_s$ )

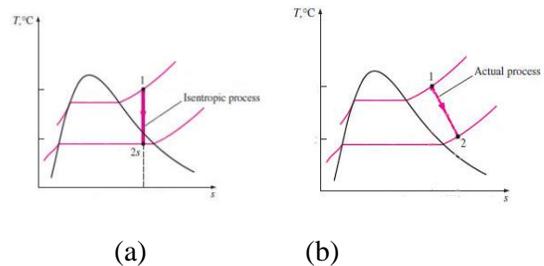
$$W_s = (h_1 - h_{2s}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

$W_s$  = Kerja turbin secara isentropik (kJ/kg)

$h_1$  = Entalpi aktual masuk turbin (kJ/kg)

$h_{2s}$  = Entalpi keluar turbin isentropik (kJ/kg)



Gambar 2.13 (a) T - S diagram untuk kondisi Isentropik (b) T - S diagram untuk kondisi Aktual<sup>[3]</sup>

### 2.4.2 Fraksi Uap

Fraksi Uap merupakan nilai fraksi cairan yang terkandung dalam uap keluar turbin. Nilai fraksi ini digunakan untuk menghitung entalpi keluar turbin. Entropi merupakan suatu perubahan keadaan pada sistem yang setimbang. Ini berarti bahwa entropi (S) sistem selalu sama, apabila sistem berada dalam keadaan keseimbangan tertentu<sup>[3]</sup>.

$$X_{2s} = \frac{(S_{2s} - S_{fg})}{S_g} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

X = Nilai fraksi uap

$S_{2s}$  = Entropi keluar turbin kondisi aktual (kJ/kg)

$S_{fg}$  = Entropi kondisi campuran fluida gas (kJ/kg)

$S_g$  = Entropi uap/gas (kJ/kg)

#### 2.4.3 Efisiensi Isentropik

Efisiensi isentropik merupakan perbandingan antara kinerja aktual sebuah peralatan dengan kinerja yang dapat dicapai dibawah keadaan ideal untuk keadaan masuk yang sama dan tekanan keluar yang sama<sup>[3]</sup>.

$$\eta_{thermal} = \frac{w_a}{w_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$\eta_T$  = Efisiensi isentropik (%)

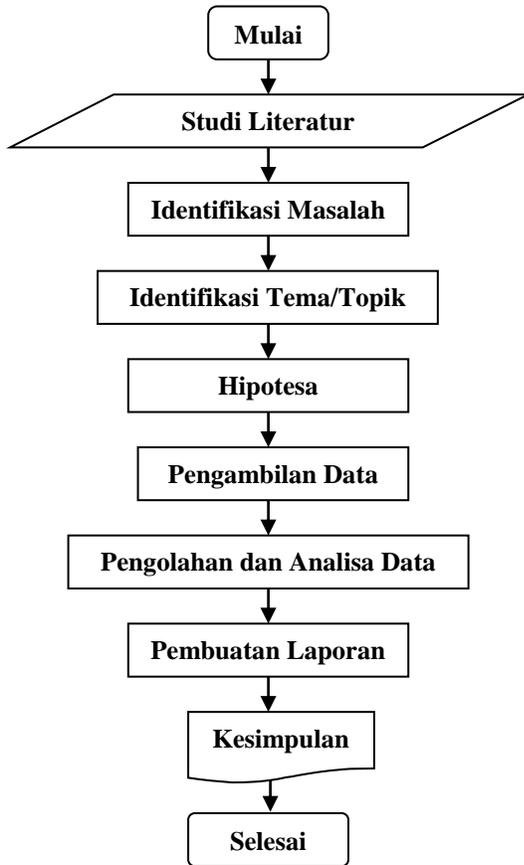
$W_a$  = Kerja turbin aktual (kJ/kg)

$W_s$  = Kerja turbin isentropik (kJ/kg)

## 3. METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir

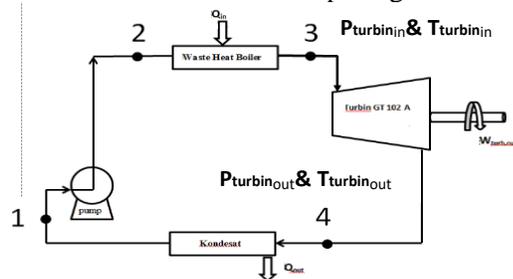
Tahapan penelitian seperti gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir

### 3.2 Skema Instalasi Turbin Uap

Skema instalasi sistem turbin uap pada PLTU Sektor Bukit Asam terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.1 Skema Instalasi Turbin Uap

### 3.3 Data

Data penelitian dibagi dua tipe, yaitu:

#### 3.5.1 Data Spesifikasi (Teoritis)

Adapun data spesifikasi Turbin Uap TC 663 MY 140 dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Turbin Uap TC 663 MY 140 Unit 4

Pabrik / Negara Pembuat	Alsthom Atlantique / France
Tipe (Jenis)	Impuls (Single Stack)
Jumlah uap ekstraksi	5 buah
Putaran (n)	3000 rpm
Temperatur uap masuk ( $T_{in,steam turbine}$ )	510°C
Temperatur uap keluar ( $T_{out,steam turbine}$ )	49°C
Tekanan uap masuk ( $P_{in,steam turbine}$ )	87 bar abs
Tekanan uap keluar ( $P_{out,steam turbine}$ )	78 mbar abs
Laju Aliran (m)	252,38 ton/jam
Jumlah tingkat sudu	18 tingkat

#### 3.5.2 Data Lapangan (Aktual)

Data lapangan rentang waktu tiap jam selama 2 hari seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Aktual Turbin Uap TC 663 MY 140 Unit 4

JAM	TEKANAN MASUK ( $P_{in}$ ) (bar)	TEKANAN KELUAR ( $P_{out}$ ) (bar)	TEMPERATUR MASUK ( $T_{in}$ ) (°C)	TEMPERATUR KELUAR ( $T_{out}$ ) (°C)
10:00A	78	0.078	510	46
11:00	75.2	0.092	507	49
12:00	75	0.093	500	49
13:00	75	0.094	501	49
14:00	73	0.094	505	49
15:00	72	0.087	525	48
16:00	74	0.091	511	49
17:00	72	0.093	512	49
18:00	73	0.095	503	49
19:00	69	0.087	510	48
20:00	72	0.089	502	49
21:00	74	0.091	493	49
22:00	72	0.09	499	49
23:00	71	0.091	493	49
00:00	71	0.089	516	49
01:00	73	0.089	509	49
02:00	75	0.09	503	49
03:00	73	0.094	502	49
04:00	73	0.093	499	49
05:00	71	0.09	519	49
06:00	71	0.094	503	49
07:00	70	0.087	506	48
08:00	67.5	0.085	518	48
09:00	71	0.088	511	48
Rata-rata	72.52916667	0.090166667	506.5416667	48.66666667

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Perhitungan Efisiensi Isentropik

a. Perhitungan Entalpi kondisi Isentropik (Kondisi Ideal)

Dengan menggunakan data spesifikasi turbin yang telah diketahui, entalpi turbin pada

kondisi isentropik dapat ditentukan dengan menggunakan Tabel Termodinamika pada kondisi isentropik didapat adalah:

Data Kondisi Outlet (Sisi Keluar) :

➤ Tekanan Keluar ( $P_2$ ) = 78 mbar

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \\ = 10^2 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ mbar} = 10^{-3} \text{ bar} \\ = 10^{-3} \text{ bar} \times \frac{10^2 \text{ kPa}}{1 \text{ bar}} \\ = 10^{-1} \text{ kPa}$$

Jadi, 78 mbar =  $78 \times 10^{-1} \text{ kPa} \approx 7,8 \text{ kPa}$

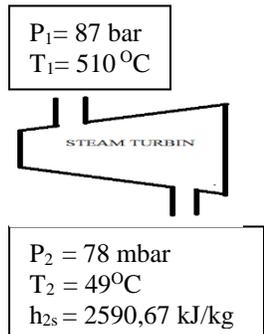
➤ Temperatur Keluar ( $T_2$ ) = 49°C

Dengan data tersebut dapat di proses untuk menentukan nilai entalpi dengan titik pengukuran 2 untuk kondisi isentropik dan hasilnya adalah:

➤  $h_{2s} = 2590,67 \text{ kJ/kg}$

$$\begin{aligned} \text{➤ } \dot{m} &= 292,38 \text{ ton/jam} \\ &= 292,38 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times \frac{10^3 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \\ &= 70,105 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Kita dapat melihat gambar di bawah ini untuk lebih jelas, gambar 4.1



**Gambar 4.1 Data Pengukuran Kondisi Ideal**

b. Perhitungan Entalpi pada Kondisi Aktual (Kondisi Nyata/kondisi operasi)

Entalpi pada kondisi aktual juga dapat diketahui dengan menggunakan program *SteamTab*, dan hasilnya adalah sebagai berikut :

Data berikut di ambil pada pukul 10.00 Wib, Rabu 12/08/2017

- Tekanan turbin uap masuk ( $P_1$ ) = 78 bar
- Temperatur turbin uap masuk ( $T_1$ ) = 510°C
- Tekanan turbin uap keluar ( $P_2$ ) = 0,078 bar
- Temperatur turbin uap keluar ( $T_2$ ) = 46°C

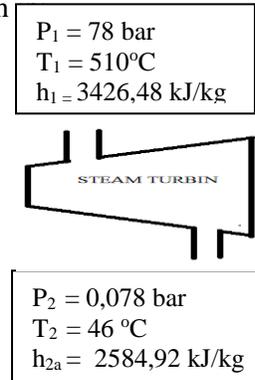
Dengan data diatas temperatur masuk dan tekanan masuk di proses pada pengukuran titik 1. Untuk tekanan keluar dan temperatur keluar di proses pada titik pengukuran 2 dan

Entalpi yang dihasilkan pada kondisi aktual adalah:

➤  $h_1 = 3426,48 \text{ kJ/kg}$

○  $h_{2a} = 2584,92 \text{ kJ/kg}$

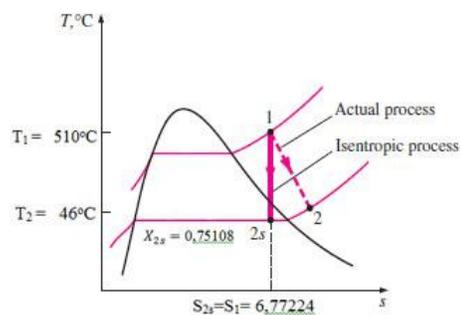
Untuk lebih jelasnya, kita dapat melihat gambar di bawah



**Gambar 4.2 Data Pengukuran Kondisi Aktual**

⇨ Hasil Efisiensi Turbin Uap

Dengan nilai entalpi pada kondisi isentropik dan kondisi aktual yang telah diperoleh, maka efisiensi turbin uap dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.4 yang didapat dari gambar 4.3.



**Gambar 4.3 T-s Diagram Hasil**

Selanjutnya perhitungan efisiensi turbin uap dapat dilakukan dan nilai entalpi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah nilai entalpi yang diperoleh dari program *SteamTab* :

○ Pada titik 1 (Kondisi Aktual)

$P_1 = 78 \text{ bar}$

$T_1 = 510^\circ\text{C}$

$h_1 = 3426,48 \text{ kJ/kg}$

$S_1 \text{ Aktual} = 6,77224 \text{ kJ/kg.K}$

○ Pada titik 2 (Kondisi Aktual)

$P_2 = 0,078 \text{ bar}$

$T_2 = 46^\circ\text{C}$

$h_{2a} = 2584,92 \text{ kJ/kg}$

○ Pada titik  $2_s$  (Kondisi Isentropik)

$P_2 = 78 \text{ mbar} = 7,8 \text{ kPa}$

$h_{2s} = 1976,88 \text{ kJ/kg}$   
 $S_f = 0,58612 \text{ kJ/kg.K}$   
 $S_{fg} = 8,23625 \text{ kJ/kg.K}$   
 $S_{2s} = S_1 = 6,77224$

○ Pada titik 2a (Kondisi Aktual)  
 $P_2 = 78 \text{ mbar} = 7,8 \text{ kPa}$

$h_{2a} = 1976,88 \text{ kJ/kg}$   
 $S_f = 0,58612 \text{ kJ/kg.K}$   
 $S_{fg} = 8,23625 \text{ kJ/kg.K}$   
 $S_{2s} = S_1 = 6,77224$

➤ Menentukan Fraksi Uap Isentropik

$$X_{2s} = \frac{S_{2s} - S_f}{S_{fg}}$$

$$X_{2s} = \frac{(6,77224 - 0,58612)}{8,23625}$$

$X_{2s} = 0,75108$

➤ Menentukan Fraksi Uap Aktual

$$X_{2a} = \frac{S_{2a} - S_f}{S_{fg}}$$

$$X_{2a} = \frac{(6,77224 - 0,58612)}{8,23625}$$

$X_{2a} = 0,75108$

➤ Menentukan nilai Entalpi  $h_{2s}$

$h_{2s} = h_f + x_{2s} h_{fg}$   
 $h_{2s} = 171,51 + 0,75108 \cdot 2403,71$   
 $h_{2s} = 1976,88 \text{ kJ/kg}$

○ Kerja Turbin Uap Kondisi Aktual

$W_a = h_1 - h_{2a}$   
 $W_a = 3426,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2584,92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$W_a = 841,56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

○ Kerja Turbin Uap Kondisi Isentropik

$W_s = h_1 - h_{2s}$   
 $W_s = 3426,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 1976,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$W_s = 1449,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

○ Maka Efisiensi Isentropik Turbin Uap

$\eta_T = \frac{W_a}{W_s} \times 100 \%$   
 $\eta_T = \left[ \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} \right] \times 100 \%$

$\eta_T = \left[ \frac{841,56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{1034,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \right] \times 100 \%$

$\eta_T = 58,05\%$

### 4.1.2 Data Hasil Perhitungan Efisiensi Isentropik Turbin Uap

Hasil perhitungan efisiensi isentropik turbin uap seperti pada tabel 4.1 dan 4.2.

**Tabel 4.1 Data Perhitungan Efisiensi Isentropik**

NO	JAM OPERASI (WIB)	DATA TURBIN UAP GT-102B									Efisiensi Turbin Uap (%)
		Inlet Steam Turbin (Aktual)			Outlet Steam Turbin (Aktual)			Outlet Steam Turbin (Isentropik)			
		Tekanan Masuk	Temperatur Masuk	Entalpi	Tekanan Keluar	Temperatur Keluar	Entalpi	Tekanan Keluar	Temperatur Keluar	Entalpi	
		( $P_u$ ) (MPa)	( $T_u$ ) (°C)	( $h_u$ ) (kJ/kg)	( $P_d$ ) (MPa)	( $T_d$ ) (°C)	( $h_d$ ) (kJ/kg)	( $P_{is}$ ) (MPa)	( $T_{is}$ ) (°C)	( $h_{is}$ ) (kJ/kg)	
1	1000	7.8	510	3426.48	0.0078	46	2584.92	0.0078	49	2590.67	58.0570137
2	1100	7.52	507	3422.26	0.0092	49	2590.27	0.0078	49	2590.67	57.6281475
3	1200	7.5	500	3405.47	0.0093	49	2590.54	0.0078	49	2590.67	56.8669029
4	1300	7.5	501	3407.92	0.0094	49	2590.21	0.0078	49	2590.67	57.0015193
5	1400	7.3	505	3420.05	0.0094	49	2590.21	0.0078	49	2590.67	57.6218761
6	1500	7.2	525	3469.6	0.0087	48	2588.49	0.0078	49	2590.67	59.9293695
7	1600	7.4	511	3433.49	0.0091	49	2590.3	0.0078	49	2590.67	58.1687606
8	1700	7.2	512	3438.18	0.0093	49	2590.24	0.0078	49	2590.67	58.4618988
9	1800	7.3	505	3415.16	0.0095	49	2590.18	0.0078	49	2590.67	57.4019913
10	1900	6.9	510	3436.74	0.0087	48	2588.49	0.0078	49	2590.67	58.6543781
11	2000	7.2	502	3413.9	0.0089	49	2590.36	0.0078	49	2590.67	57.3801942
12	2100	7.4	493	3389.5	0.0091	49	2590.3	0.0078	49	2590.67	56.1967871
13	2200	7.2	499	3406.59	0.009	49	2590.24	0.0078	49	2590.67	57.0015254
14	2300	7.1	493	3393.17	0.0091	49	2590.3	0.0078	49	2590.67	56.4889082
15	000	7.1	516	3448.97	0.0089	49	2590.36	0.0078	49	2590.67	58.9658644
16	100	7.3	509	3429.76	0.0089	49	2590.36	0.0078	49	2590.67	58.0421268
17	200	7.5	505	3418.21	0.009	49	2590.33	0.0078	49	2590.67	57.3713679
18	300	7.3	502	3412.17	0.0094	49	2590.21	0.0078	49	2590.67	57.2765449
19	400	7.3	499	3405.4	0.0093	49	2590.24	0.0078	49	2590.67	56.9479857
20	500	7.1	519	3456.21	0.009	49	2590.24	0.0078	49	2590.67	59.2853657
21	600	7.1	505	3417.5	0.0094	49	2590.21	0.0078	49	2590.67	57.5496753
22	700	7	506	3425.93	0.0087	48	2588.49	0.0078	49	2590.67	58.1331745
23	800	6.75	518	3456.64	0.0085	48	2588.55	0.0078	49	2590.67	59.5947954
24	900	7.1	511	3436.89	0.0088	48	2588.46	0.0078	49	2590.67	58.5720102
Rata-rata Efisiensi Turbin Uap											57.86373277

**Tabel 4.2 Data Perhitungan Efisiensi Isentropik**

NO	JAM OPERASI (WIB)	DATA TURBIN UAP GT-102B									Efisiensi Turbin Uap (%)
		Inlet Steam Turbin (Aktual)			Outlet Steam Turbin (Aktual)			Outlet Steam Turbin (Isentropik)			
		Tekanan Masuk	Temperatur Masuk	Entalpi	Tekanan Keluar	Temperatur Keluar	Entalpi	Tekanan Keluar	Temperatur Keluar	Entalpi	
		( $P_u$ ) (MPa)	( $T_u$ ) (°C)	( $h_u$ ) (kJ/kg)	( $P_d$ ) (MPa)	( $T_d$ ) (°C)	( $h_d$ ) (kJ/kg)	( $P_{is}$ ) (MPa)	( $T_{is}$ ) (°C)	( $h_{is}$ ) (kJ/kg)	
1	1000	7	511	3438.02	0.0093	49	2590.24	0.0078	49	2590.67	58.545339
2	1100	7	512	3440.45	0.009	49	2590.33	0.0078	49	2590.67	58.6423063
3	1200	7.3	512	3437.05	0.009	49	2590.33	0.0078	49	2590.67	58.3674816
4	1300	7.2	512	3438.18	0.0094	50	2592.14	0.0078	49	2590.67	58.3390286
5	1400	7	521	3462.12	0.0093	49	2590.24	0.0078	49	2590.67	59.5038771
6	1500	7.3	506	3422.47	0.0096	50	2592.08	0.0078	49	2590.67	57.6007541
7	1600	8.1	482	3353.36	0.0099	51	2593.92	0.0078	49	2590.67	55.96290173
8	1700	8.5	478	3337.98	0.0085	48	2588.55	0.0078	49	2590.67	53.4639094
9	1800	8.3	487	3363.55	0.0083	47	2586.69	0.0078	49	2590.67	54.8689783
10	1900	8	495	3387.09	0.0082	48	2588.64	0.0078	49	2590.67	55.9476424
11	2000	8.4	489	3367.11	0.0087	49	2590.41	0.0078	49	2590.67	54.7473514
12	2100	8.3	478	3340.64	0.0094	49	2590.21	0.0078	49	2590.67	53.5436224
13	2200	8.2	481	3349.54	0.0091	47	2586.45	0.0078	49	2590.67	54.2734788
14	2300	8.2	483	3354.58	0.0096	50	2592.08	0.0078	49	2590.67	54.1129279
15	000	8.16	483	3355.1	0.009	49	2590.33	0.0078	49	2590.67	54.27646975
16	100	8.1	490	3373.4	0.009	49	2590.33	0.0078	49	2590.67	55.1575788
17	200	8.28	490	3371.14	0.0095	50	2592.11	0.0078	49	2590.67	54.8578857
18	300	8.3	414	3172.47	0.0095	50	2592.11	0.0078	49	2590.67	44.5074429
19	400	8.4	493	3377.16	0.01	51	2593.89	0.0078	49	2590.67	54.9693866
20	500	8.2	492	3377.15	0.0097	50	2592.05	0.0078	49	2590.67	55.1712698
21	600	8.3	413	3169.71	0.0098	49	2590.1	0.0078	49	2590.67	44.5841131
22	700	8.4	413	3167.83	0.0096	50	2592.08	0.0078	49	2590.67	44.2942845
23	800	8.4	500	3394.68	0.0094	50	2592.14	0.0078	49	2590.67	55.8923398
24	900	7.1	511	3436.89	0.0088	48	2588.46	0.0078	49	2590.67	58.5720102
Rata-rata Efisiensi Turbin Uap											54.51414362

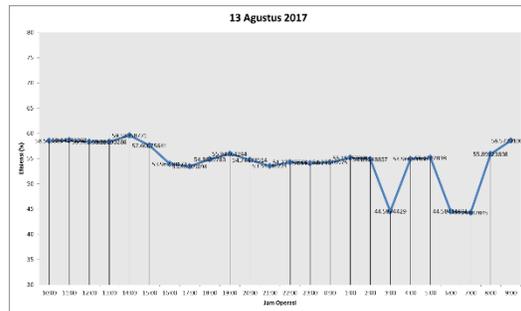
## 4.2 Pembahasan

Dalam melakukan perhitungan efisiensi isentropik turbin uap tentu kita memerlukan data dari turbin uap itu sendiri mulai dari data spesifikasi sampai data aktual dilapangan. Data yang diperlukan antara lain adalah tekanan masuk turbin uap (MPa), tekanan keluar turbin uap (MPa), Temperatur Masuk Turbin Uap ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan Temperatur Keluar Turbin Uap ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan data spesifikasi turbin uap sendiri digunakan sebagai data isentropik. Untuk data lapangan merupakan data aktual. Agar mempermudah proses pencarian nilai entalpi dan entropi dari setiap data yang diambil, dapat digunakan aplikasi *SteamTab*.

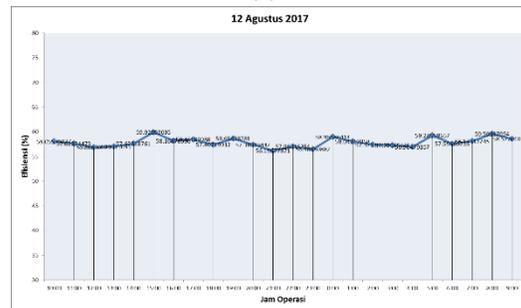
Sebagai contoh perhitungan dengan data yang digunakan adalah data aktual pada tanggal 12 Agustus jam 10.00 dengan nilai entalpi inlet Turbin Uap ( $h_1$ ) = 3426,48 kJ/kg nilai entropi  $S_1$  Aktual = 6,77224 kJ/kg.K untuk titik pengukuran pertama dan ( $h_{2a}$ ) = 2584,92 kJ/kg untuk entalpi outlet Turbin Uap pada titik pengukuran kedua. Untuk mendapatkan nilai entalpi pada kondisi isentropik diketahui dengan menggunakan data spesifikasi turbin uap dan di dapat nilai entalpinya ( $h_{2s}$ ) = 1976,88 kJ/kg. Setelah seluruh nilai entalpi diketahui, kita dapat menentukan nilai efisiensi turbin uap. Didapat nilai efisiensi isentropik sebesar 58,05% dan dapat dilihat efisiensi yang didapat berbeda setiap jamnya, itu dikarenakan data lapangan yang berbeda setiap jamnya. Nilai rata-rata efisiensi isentropik dari seluruh data yang ada dan telah dilakukan perhitungan didapat sebesar 57,86% dengan range 56.19%-59.92% pada tanggal 12 Agustus dan 54,51% dengan range 44.29%-59.58% pada tanggal 13 Agustus 2017 dapat dilihat pada gambar 4.4. Grafik pada gambar 4.4 ini dapat menunjukkan perbandingan antara efisiensi isentropik turbin uap pada waktu pengambilan data yang dilakukan.

Setelah melihat hasil perhitungan efisiensi isentropik turbin uap dari seluruh data yang ada dapat dinilai bahwa turbin uap tersebut masih bekerja dengan baik. Faktor yang paling berpengaruh terhadap efisiensi isentropik turbin adalah adanya perpindahan panas dari sistem kelingkungan atau sebaliknya. Idealnya proses yang terjadi di turbin dan mesin kalor lainnya adalah adiabatik, dimana tidak ada pertukaran panas antara sistem dengan lingkungan. Namun

hal ini hampir tidak mungkin dapat terwujud. Tetapi banyak usaha yang bias dilakukan untuk memperkecil jumlah panas yang hilang kelingkungan untuk memperbesar efisiensi turbin. Salah satunya dengan sistem *sealing* yang diperbaiki. Sistem *sealing* yang bagus akan menghambat perpindahan panas dari sistem kelingkungan begitu pula sebaliknya.



(a)



(b)

**Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Efisiensi Isentropik Turbin Uap Vs Waktu (a) 12 Agustus 2017 (b) 13 Agustus 2017**

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan, perhitungan dan analisa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Didapat nilai rata-rata efisiensi isentropik didapat sebesar 57,86 % dengan range 56.19%-59.92% pada tanggal 12 Agustus dan 54,51% dengan range 44.29%-59.58% pada tanggal 13 Agustus 2017.
2. Tekanan dan temperatur masuk pada turbin uap sangat mempengaruhi kinerja uap, jika tekanan dan temperatur masuk turbin uap besar maka kerja dari turbin uap meningkat begitupun sebaliknya.
3. Turbin uap yang digunakan di PT. PLN (Persero) Sektor Bukit Asam ini digolongkan masih bekerja dalam kondisi baik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Engineering Team*, 2010. Buku Saku PLTU Bukit Asam. PLTU Bukit Asam, Sumatera Selatan: PT. PLN (Persero) Sumbagsel.
- [2] Maridjo, 1995. **Petunjuk Mesin Konversi**. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [3] Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A. ***Thermodynamics: An Engineering Approach***<sup>5<sup>th</sup>ed.</sup>2006. Published by McGraw-Hill College, Boston, MA.
- [4] Moore, W, 1950. **Turbin Uap**, Bina Samudra, Jakarta.
- [5] Reynold, C, 1996. **Termodinamika Teknik**, Erlangga, Jakarta., 1978.
- [6] ***Steam and Gas Turbines for Marine Propulsion***, United States Naval Institute Annapolis, Maryland.

