

ANALISIS PERHITUNGAN DAYA TURBIN YANG DIHASILKAN DAN EFISIENSI TURBIN UAP PADA UNIT 1 DAN UNIT 2 DI PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR

Jamaludin, Iwan Kurniawan

Program Studi Teknik mesin, Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang,
Jl. Perintis Kemerdekaan I, No.33, Cikokol, Tangerang, Banten 15118, Indonesia
Email :*jamaludinpermana14@yahoo.com dan iwan.tkr2@gmail.com*

ABSTRAK

Turbin Uap (*steam turbine*) 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. Hasil rata – rata dari turbin yang dihasilkan selama satu tahun adalah 214,46 MW pada unit 1 dan rata – rata efisiensi turbin yang dihasilkan yaitu sebesar 34,72% pada unit 1 selama satu tahun. Untuk unit 2 didapatkan hasil rata – rata dari turbin yang dihasilkan selama satu tahun adalah 174.06 MW dan rata – rata efisiensi turbin yang dihasilkan yaitu sebesar 27.81% pada unit 1 selama satu tahun. Perbandingan naik turunnya daya turbin dan efisiensi turbin tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu sebesar ± 40 MW untuk daya turbin dan $\pm 6\%$ untuk efisiensi turbin antara unit 1 dengan unit 2. Dari hasil perhitungan yang sesuai dengan data selama satu tahun dimana daya turbin dan efisiensi turbin mengalami kenaikan dan penurunan yang disebabkan oleh naik turunnya hasil dari *Turbine Heat Rate*, pembakaran batu bara yang tidak maksimal, karakteristik dari batu bara, penurunan beban yang dihasilkan, faktor lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan serta faktor-faktor lain.

Kata Kunci : *Turbine Heat Rate*, Turbin uap, daya turbin uap, dan efisiensi turbin uap.

1. PENDAHULUAN

Pada proses pembangkit listrik di PLTU BANTEN 3 LONTAR daya rated yang dibangkitkan (rated output) oleh turbine generator sebesar 315MW. Hal ini berdasarkan pada desain awal yang tertera dalam *manual book*. Secara aktual, daya yang dibangkitkan tidak statik pada nilai *rated*. Efisiensi dari turbin akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTU. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik. Efisiensi turbin mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti sering terjadinya *derating* (penurunan beban) atau *trip* (unit *shutdown*), faktor lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan serta faktor-faktor lain. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi turbin apakah turbin masih dalam kondisi yang baik atau tidak.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) merupakan perusahaan BUMN yang berfungsi menyediakan listrik bagi masyarakat. PLN dalam menjalankan fungsinya membentuk beberapa anak perusahaan, salah satu anak perusahaan yang dibentuk oleh PLN adalah PT. Indonesia Power.

Sistem pembangkit daya tenaga uap merupakan salah satu mesin kalor dengan sistem pembakaran luar. Pembakaran dilakukan di luar mesin untuk menghasilkan energi panas yang kemudian ditransfer ke uap. Energi input tersebut kemudian sebagian diubah menjadi kerja oleh turbin dan sebagian lagi dilepas ke lingkungan yang memiliki temperatur yang lebih rendah.

Siklus *Rankine* adalah model operasi mesin uap yang secara umum digunakan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sumber panas untuk siklus Rankine dapat berasal dari batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, bio masa dan panas matahari. Sistem tenaga uap sederhana siklus *Rankine* terdiri atas empat komponen yakni Pompa, Boiler, Turbin dan Kondensor.

Dalam turbin uap memiliki besarnya daya turbin yang dihasilkan dan memiliki efisiensi untuk mengetahui layak atau tidaknya turbin uap yang bekerja sebagai pembangkit listrik pada PLTU BANTEN 3 LONTAR. Besar dan kecilnya beban sangat berpengaruh sekali terhadap uap yang akan dihasilkan, bila beban cukup tinggi, maka jumlah uap yang dibutuhkan juga besar dan sebaliknya.

Pengaturan jumlah uap yang masuk ke dalam turbin ini dilakukan oleh *control valve* yang bekerja secara otomatis.

Oleh sebab itu laporan penelitian ini mengambil judul mengenai “Analisis Perhitungan Daya Turbin Yang Dihasilkan Dan Efisiensi Turbin Uap Pada Unit 1 Dan Unit 2 Di PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar” yang akan membahas tentang besarnya daya turbin yang dihasilkan dan efisiensi turbin uap.

2. LANDASAN TEORI

Turbin Uap PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR

Turbin uap menghasilkan putaran karena adanya aliran uap yang tetap yang masuk ke nozzle dan ditekan dengan tekanan rendah. Uap tersebut masuk *steam jet*, disini kecepatan uap dinaikkan, sebagian dari energi kinetik dari uap tersebut dikirim ke sudu-sudu turbin yang mengakibatkan terdorongnya sudu-sudu turbin untuk berputar. Kecepatan putar pada PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar adalah 3000 rpm, semakin tinggi beban konsumen, maka kebutuhan uap untuk mempertahankan putaran turbin akan semakin besar.

Besar dan kecilnya beban sangat berpengaruh sekali terhadap uap yang akan dihasilkan, bila beban cukup tinggi, maka jumlah uap yang dibutuhkan juga besar dan sebaliknya. Pengaturan jumlah uap yang masuk ke dalam turbin ini dilakukan oleh *control valve* yang bekerja secara otomatis. Turbin uap pada PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar mempunyai 3 tingkatan :

1. Turbin Tekanan Tinggi (*High Pressure Turbine*)
2. Turbin Tekanan Menengah (*Intermediate Pressure Turbine*)
3. Turbin Tekanan Rendah (*Low Pressure Turbine*)



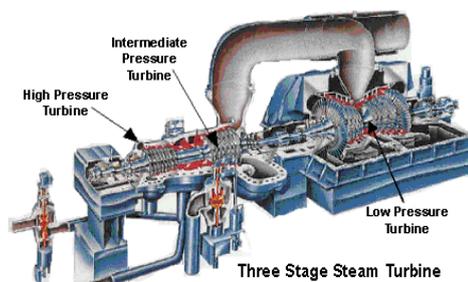
Gambar 2.1 : Turbin Uap PT. Indonesia Power Uboh Ujp Banten 3 Lontar

Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip kerja dari turbin uap adalah uap kering dari *super heater* yang mempunyai temperatur dan tekanan tinggi yang dialirkan ke turbin tekanan

tinggi. Di dalam turbin ini terdapat sudu-sudu tetap dan sudu-sudu gerak yang mempunyai bentuk sedemikian rupa sehingga akan dapat mengekspansikan uap. Energi uap yang diterima oleh sudu-sudu turbin digunakan untuk menggerakkan poros turbin. Disini terjadi perubahan energi, maka temperatur uap akan turun. Setelah itu uap masuk ke *intermediate pressure turbine* dan akan menggerakkan sudu-sudu *intermediate pressure turbine* dan *low pressure turbine*, sehingga dari gerakan sudu-sudu ini akan memperkuat gerakan poros turbin.

Setelah memutar turbin HP uap diekstraksikan, tetapi uap hasil ekstraksi tidak terpakai karena dikhususkan untuk industri sedangkan PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar tidak memiliki industri. Setelah memutar turbin IP terjadi ekstraksi tahap 2 yang digunakan untuk memanaskan *heater* dan *daerator*, terakhir setelah memutar turbin LP uap terkondensasikan di dalam kondensor.

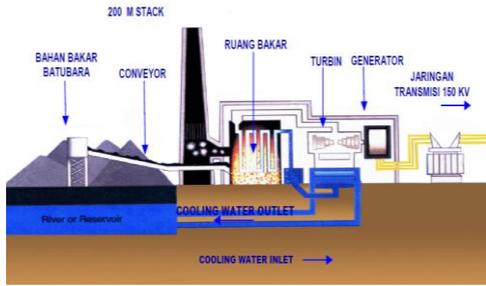


Gambar 2.2 : Prinsip Kerja Turbin Uap

Cara Kerja Sistem PLTU

Secara umum PLTU merupakan suatu mesin konversi energi, dimana energy primer yang di konversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar, disini menggunakan bahan bakar batubara dan saat awal menggunakan HSD (*high speed diesel*). Konversi tingkat pertama adalah konversi energi primer menjadi energi (kalor) panas.yang dilakukan di dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam boiler.

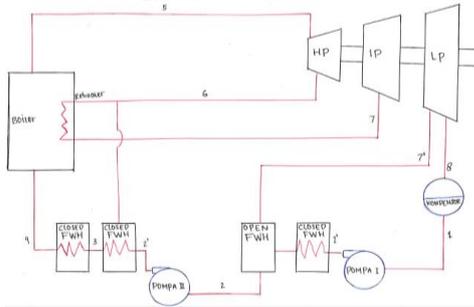
Uap dari boiler dialirkan dengan nozel untuk memutar turbin uap, dimana energi (*enthalpy*) uap di konversikan menjadi energi mekanis penggerak generator dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap ini di konversikan menjadi energi listrik oleh generator. Secara skematis proses tersebut dapat di lihat pada gambar di bawah ini :



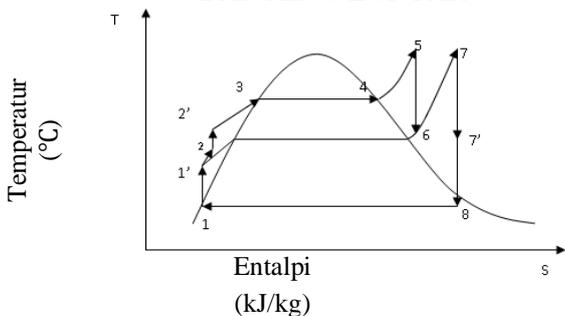
Gambar 2.3 : Siklus Umum PLTU

Siklus Rankine PLTU

Siklus Rankine untuk pembangkit PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar, dimana siklus rankine dengan pemanasan ulang terjadi di *reheater boiler* sedangkan siklus rankine dengan *rankine regenerative* terjadi di *economizer*. Diagram T - s untuk pembangkit PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.4 : Siklus Rankine Regenerative Di PLTU BANTEN 3 LONTAR



Gambar 2.5 : T-S Siklus Rankine Regenerative Di PLTU BANTEN 3 LONTAR

Keterangan gambar :

- 1) Proses 1 – 1' : Peningkatan tekanan pada air menggunakan *condensate extraction pump*.
- 2) Proses 1' – 2 : Pemanasan air *low pressure heater*.
- 3) Proses 2 – 2' : Peningkatan tekanan air menggunakan *boiler feed pump*.
- 4) Proses 2' – 3 : Pemanasan air pada *high pressure heater* dan pada *economizer*.

- 5) Proses 3 – 4 : Pemanasan air menjadi uap air pada *wall tube* dan *downcomer* didalam boiler.
- 6) Proses 4 – 5 : Pemanasan uap air menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) pada *superheater*.
- 7) Proses 5 – 6 : Proses ekspansi di dalam *high pressure turbine*.
- 8) Proses 6 – 7 : Pemanasan kembali uap yang keluar dari *high pressure turbine* yang terjadi dalam *reheater*.
- 9) Proses 7 – 7' : Ekspansi uap yang keluar dari reheater di dalam *intermediate pressure turbine*.
- 10) Proses 7' – 8 : Ekspansi uap di dalam *low pressure turbine* tanpa mengalami pemanasan ulang.
- 11) Proses 8 – 1 : Pendinginan uap menjadi air didalam *condenser*.

Daya Turbin

Pada PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar dilengkapi dengan HP Turbin, IP Turbin, LP Turbin dan pemanasan dari *Superheater* serta pemanasan ulang dari *Reheater*. Dalam proses ini uap mengalami ekstraksi yaitu sebagai bocoran uap untuk memanasi air sebagai pengisi *heater feedwater*, sehingga untuk menghitung daya atau kerja aktual turbin didapat dengan menggunakan rumus, seperti :

$$W_T = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + \dot{m}_2(h_3 - h_4) + \dot{m}_3(h_4 - h_5)$$

$$W_T = W_{HP\ Turbine} + W_{IP\ Turbine} + W_{LP\ Turbine}$$

$$W_{Tactual} = \eta_{turbine} \times W_T$$

Keterangan :

W_T = Daya yang dihasilkan turbin (MW)

$W_{Tactual}$ = Daya actual pada turbin (MW)

$\eta_{turbine}$ = Efisiensi turbin (%)

\dot{m}_1 = *Main Steam Flow* (kg/h)

\dot{m}_2 = *Cold Reheat Steam Flow at Reheater inlet* (kg/h)

\dot{m}_3 = *Hot Reheat Steam Flow* (kg/h)

h_1 = *Main Steam Enthalpy* (kJ/kg)

h_2 = *Cold Reheat Enthalpy* (kJ/kg)

h_3 = *Reheater Steam Enthalpy* (kJ/kg)

h_4 = *LP Turbine Exhaust Enthalpy* (kJ/kg)

h_5 = *Condensate Water Deaerator Outlet* (kJ/kg)

Heatrate Turbine

Heatrate Turbine adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1

kWh dan dinyatakan dalam satuan (kJ/kWh). *Heatrate Turbine* menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dan dinyatakan dalam kJ/KWh. *Heatrate Turbine* dapat dikalkulasi dengan persamaan :

$$HR_T = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 \times \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f \times \dot{m}_2 \times h_2 \times \dot{m}_{is} \times h_{is})}{p_g - p_{exc}}$$

Dimana :

HR_T	: Heat rate turbin	(kJ/kWh)
\dot{m}_1	: Laju aliran massa <i>main steam</i> (uap keluaran <i>superheater</i>)	(kg/h)
h_1	: Entalpi <i>main steam</i> (uap keluaran <i>superheater</i>)	(kJ/kg)
\dot{m}_3	: Laju aliran massa <i>hot reheat</i> (uap keluaran dari <i>reheater</i>)	(kg/h)
h_3	: Entalpi <i>hot reheat steam</i> (uap keluaran <i>reheater</i>)	(kJ/kg)
\dot{m}_f	: Laju aliran massa <i>feed water</i> (air umpan boiler)	(kg/h)
h_f	: Entalpi <i>feed water</i> (air umpan boiler)	(kJ/kg)
\dot{m}_2	: Laju aliran massa <i>cold reheat</i> (uap masuk ke <i>reheater</i>)	(kg/h)
h_2	: Entalpi <i>cold reheat</i> (uap masuk ke <i>reheater</i>)	(kJ/kg)
\dot{m}_{is}	: Laju aliran massa <i>superheater spray</i>	(kg/h)
h_{is}	: Entalpi <i>superheater spray</i>	(kJ/kg)
p_g	: Turbin generator output	(MW)
p_{exe}	: <i>Generator excitation power</i>	(MW)

Untuk mencari laju aliran massa *main steam* (uap keluaran *superheater*) \dot{m}_1 , laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) \dot{m}_2 , dan laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *reheater*) \dot{m}_3 , dapat dicari menggunakan persamaan.

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= \dot{m}_f + \dot{m}_{is} + \dot{m}_{mu} \\ \dot{m}_2 &= \dot{m}_1 - G_{S1} - \dot{m}_{ex1} - \dot{m}_{ex2} \\ \dot{m}_3 &= \dot{m}_2 + \dot{m}_{ir} \end{aligned}$$

Dimana :

\dot{m}_1	= laju aliran massa <i>main steam</i> (uap keluaran <i>superheater</i>)	(kg/h)
\dot{m}_f	= laju aliran massa <i>feed water</i> (air umpan boiler)	(kg/h)
\dot{m}_{is}	= laju aliran massa <i>superheater spray</i>	(kg/h)
\dot{m}_{mu}	= total aliran massa	(kg/h)
\dot{m}_2	= laju aliran massa <i>cold reheat</i> (uap masuk ke <i>reheater</i>)	(kg/h)
\dot{m}_1	= laju aliran massa <i>main Steam</i> (uap keluaran <i>superheater</i>)	(kg/h)
G_{S1}	= kebocoran pada sisi casing	

	pompa dengan poros pompa	(kg/h)
\dot{m}_{ex1}	= ekstraksi aliran uap ke pemanas 1	(kg/h)
\dot{m}_{ex2}	= ekstraksi aliran uap ke pemanas 2	(kg/h)
\dot{m}_3	= laju aliran massa <i>hot reheat</i> (uap keluaran dari <i>reheater</i>)	(kg/h)
\dot{m}_2	= laju aliran massa <i>cold reheat</i> (uap masuk ke <i>reheater</i>)	(kg/h)
\dot{m}_{ir}	= aliran semprot <i>reheater</i>	(kg/h)

Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan komponen atau sistem turbin mendekati desain atau proses ideal dengan satuan (%). Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_{turbine} = \frac{860}{\text{Heate Rate Tubine}} \times 100\%$$

Keterangan :

dimana 1 KWh = 860 Kilokalori (kcal)

$\eta_{turbine}$ = efisiensi turbin (%)

3. METODE PENELITIAN

a. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Penelitian
Penelitian ini dilakukan di PT. INDONESIA POWER Uboh UJP Banten 3 Lontar (PLTU), Kecamatan Kemiri, Kabupaten Tangerang, Tahun 2017.

2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni 2017.

b. Studi Literatur

Metode ini merupakan cara untuk mendapatkan data data secara teoritis sebagai bahan penunjang dalam penyusunan penelitian baik dari buku, jurnal atau informasi media media lain (Internet) untuk melengkapi data-data yang sudah ada. Dengan adanya studi pustaka, diharapkan pihak lain dapat memahami keseluruhan isi dari laporan tugas akhir ini, terkait pemahaman mengenai pembahasan dan tujuan dari penulis laporan tugas akhir.

c. Studi Lapangan

Metode ini merupakan pengumpulan data secara langsung ke lapangan dengan menggunakan teknik pengumpulan data sebagai berikut :

Observasi

Observasi merupakan salah satu teknik pengumpulan data yang tidak hanya mengukur sikap

dari responden namun juga dapat digunakan untuk merekam berbagai fenomena yang terjadi. Teknik ini digunakan bila penelitian ditujukan untuk mempelajari perilaku manusia dan proses kerja.

Wawancara

Wawancara merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui tatap muka dari tanya jawa langsung antara pengumpul data maupun peneliti terhadap narasumber atau sumber data.

d. Pengumpulan Data

Metode ini merupakan teknik atau cara yang dilakukan oleh peneliti untuk mengumpulkan data. Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian.

e. Pengolahan Data

Pada pengolahan data, penelitian ini diarahkan untuk mengolah informasi dan data yang diperoleh dari berbagai sumber yang ada. Pengolahan data disesuaikan dengan pembahasan yang dibahas pada penelitian ini yaitu analisis perhitungan daya turbin yang dihasilkan dan efisiensi turbin pada unit 1 dan unit 2.

Langkah selanjutnya dari pengolahan data ini adalah menentukan besarnya daya turbin yang dihasilkan, mengetahui efisiensi turbin dan membandingkan efisiensi turbin yang dihasilkan pada unit 1 dan 2.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Asumsi dan Propertis

Metode asumsi yang digunakan untuk mempermudah dalam penyelesaian permasalahan adalah sebagai berikut:

1. *Turbine Heat Rate* merupakan tingkat panas rata-rata yang dihasilkan perbulan.
2. Nilai *Pressure* dan *Temperature* pada HP Turbin, IP Turbin dan LP rata – rata yang dihasilkan selama perbulan.
3. Nilai *steam flow* dan entalpi keluaran pada IP turbin dan LP turbin merupakan interpolasi dengan data manual book.
4. Turbin uap memiliki nilai efisiensi sebesar 89%.

Pengumpulan Data *Turbine Heatrate*

Turbine heatrate adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1 kWh dan dinyatakan dalam satuan (kJ/kWh). Berikut data yang dipakai dalam perhitungan nilai *turbine heat rate* berdasarkan *performance test* yang

menggunakan sampel data Unit 1 pada bulan Januari 2016.

Tabel 4.1 : Data Sampel Parameter *Turbine Heat Rate* Unit 1 Pada Bulan Januari

Unit 1	Januari 2016
<i>Enthalpy Main Steam</i> (h_1)	3404.01 kJ/kg
<i>Enthalpy Cold Reheat</i> (h_2)	3080.20 kJ/kg
<i>Enthalpy Hot Reheat</i> (h_3)	3536.85 kJ/kg
<i>Enthalpy Feed Water</i> (h_f)	1192.19 kJ/kg
<i>Enthalpy Superheater Spray</i> (h_{ss})	905.53 kJ/kg
Laju Aliran Masa <i>Main Steam</i> (\dot{m}_1)	922211.12 kg/h
Laju Aliran Masa <i>Cold Reheat</i> (\dot{m}_2)	782009.66 kg/h
Laju Aliran Masa <i>Hot Reheat</i> (\dot{m}_3)	794695.65 kg/h
Laju Aliran Masa <i>Feed Water</i> (\dot{m}_f)	868657.15 kg/h
Laju Aliran Masa <i>Superheater Spray</i> (\dot{m}_{is})	50315.62 kg/h
Turbin Generator output (P_g)	298.81 MW
Generator <i>Excitation</i> (P_{exc})	0.72 MW

Pengumpulan Data Siklus *Rankine Regenerative* PLTU Banten 3 Lontar

Berikut data yang dipakai dalam perhitungan siklus *rankine regenerative* yang menggunakan sampel data Unit 1 pada bulan Januari 2016.

Tabel 4.2 : Data Siklus *Rankine Regenerative* Unit 1

Unit 1	Januari 2016
Saluran Air Kondensor h_1 (h_{ffw_In})	644.05 kJ/kg
Saluran Air Masuk ke Pemanas h_1' (h_{ffw_In})	761.97 kJ/kg
<i>SuperHeater spray water</i>	905.53 kJ/kg

<i>enthalpy</i> h_2 (h_{ss})	
Saluran Air Keluar ke Pemanas h_2' (h_{ffw_Out})	1084.08 kJ/kg
Akhir Saluran Air Keluar ke Pemanas h_3 (h_{ffw})	1192.19 kJ/kg
Akhir Saluran Air Keluar ke Pemanas h_4 (h_{ffw})	1192.19 kJ/kg
Entalpi Uap Keluar <i>SuperHeater</i> h_5 (h_{ms})	3400.42 kJ/kg
Entalpi Uap Masuk ke <i>Reheater</i> h_6 (h_{crh})	3078.50 kJ/kg
Uap Pemanas Ulang h_7 (h_{rhw})	3536.18 kJ/kg
<i>Low Pressure Turbine Exhaust Steam Enthalpy</i> h_7' (H_{LP_out})	3150.19 kJ/kg
Saluran Air ke Kondensor h_8 (h_{ffw_Out})	2783.83 J/kg

Pengumpulan Data Daya Turbin

Berikut data yang dipakai dalam perhitungan daya turbin yang menggunakan sampel data Unit 1 pada bulan Januari 2016.

PARAMETER	BULAN
	Januari 2016
<i>Main Steam Enthalpy</i> h_1 (h_{ms})	3400.42 kJ/kg
<i>Cold Reheat Enthalpy</i> h_2 (h_{crh})	3078.50 kJ/kg
<i>Reheater Steam Enthalpy</i> h_3 (h_{rhw})	3536.18 kJ/kg
<i>Turbine Exhaust Enthalpy</i> h_4 (H_{LP_out})	3150.19 kJ/kg
<i>Condensate Water Deaerator Outlet</i> h_5 (h_{ffw_Out})	2783.83 kJ/kg
<i>Main Steam Flow</i> \dot{m}_1	922211.12 kg/h
<i>Cold Reheat Steam Flow</i> \dot{m}_2	782009.66 kg/h
<i>Cold Reheat Steam Flow</i> \dot{m}_3	794695.65 kg/h

Tabel 4.3 : Data Daya Turbin Pada Unit 1

Analisa Data

Perhitungan Daya Turbin

Daya yang dihasilkan oleh turbin uap dapat dihitung menggunakan rumus. Berikut adalah contoh perhitungannya menggunakan sampel data Unit 1 pada bulan Januari 2016 :

Diketahui : $\dot{m}_1 = 922211.12$ kg/h
 $\eta_{turbine} = 89\%$
 $\dot{m}_2 = 782009.66$ kg/h
 $\dot{m}_3 = 794695.65$ kg/h
 $h_1 = 3400.42$ kJ/kg
 $h_2 = 3078.50$ kJ/kg
 $h_3 = 3536.18$ kJ/kg
 $h_4 = 3150.19$ kJ/kg
 $h_5 = 2783.83$ kJ/kg

Jawab :

$$W_T = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + \dot{m}_2(h_3 - h_4) + \dot{m}_3(h_4 - h_5)$$

$$W_T = 922211.12(3400.42 - 3078.50) + 782009.66(3536.18 - 3150.19) + 794695.65(3150.19 - 2783.83)$$

$$W_T = W_{HP\ Turbine} + W_{IP\ Turbine} + W_{LP\ Turbine}$$

$$= 296878203.7504 + 301847908.6634 + 291144698.334$$

$$= 889870810.7478 \text{ kJ/h}$$

$$W_T = 247.18 \text{ MW}$$

$$W_{Tactual} = \eta_{turbine} \times W_T$$

$$= 89\% \times 247.18 \text{ MW}$$

$$= 219.99 \text{ MW}$$

Dari contoh perhitungan data pertama pada bulan Januari 2016 seperti yang tampak di atas didapatkan nilai daya aktual yang dihasilkan oleh turbin uap sebesar 219.99 MW.

Perhitungan *Heatrate Turbine*

Heatrate Turbine menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dan dinyatakan dalam kJ/kWh. Nilai *turbine heat rate* dapat dihitung dengan rumus yang diambil dengan data sampel pada bulan Januari 2016 unit 1.

Untuk mencari laju aliran massa *main steam* (uap keluaran *superheater*) \dot{m}_1 , laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*) \dot{m}_2 , dan laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *reheater*) \dot{m}_3 , dapat dicari menggunakan rumus yang diambil pada data bulan Januari 2016 di Unit 1:

a. Laju aliran massa *main steam* (uap keluaran *superheater*)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_f + \dot{m}_{is} + \dot{m}_{mu}$$

Diketahui :

$$\dot{m}_f = 868657.15 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{is} = 50315.62 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{mu} = 3238.35 \text{ kg/h}$$

Jawab :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_f + \dot{m}_{is} + \dot{m}_{mu}$$

$$\dot{m}_1 = 868657.15 + 50315.62 + 3238.35$$

$$= 922211.12 \text{ kg/h}$$

b. Laju aliran massa *cold reheat* (uap masuk ke *reheater*)

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - G_{S1} - \dot{m}_{ex1} - \dot{m}_{ex2}$$

Diketahui :

$$\dot{m}_1 = 922211.12 \text{ kg/h}$$

$$G_{S1} = 21295.60 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ex1} = 48468.91 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ex2} = 70436.95 \text{ kg/h}$$

Jawab :

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 - G_{S1} - \dot{m}_{ex1} - \dot{m}_{ex2}$$

$$\dot{m}_2 = 922211.12 - 21295.60 - 48468.91 - 70436.95$$

$$= 782009.66 \text{ kg/h}$$

c. Laju aliran massa *hot reheat* (uap keluaran dari *reheater*)

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{ir}$$

Diketahui :

$$\dot{m}_2 = 782009.66 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{ir} = 12685.99 \text{ kg/h}$$

Jawab :

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{ir}$$

$$\dot{m}_3 = 782009.66 + 12685.99$$

$$= 794695.65 \text{ kg/h}$$

d. Perhitungan *Turbine Heat Rate*

$$HR_T = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{ss})}{p_g - p_{exc}}$$

Diketahui :

$$\dot{m}_1 = 922211.12 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_2 = 782009.66 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_3 = 794695.65 \text{ kg/h}$$

$$h_1 = 3404.01 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3080.20 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 3536.85 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_f = 868657.15 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{is} = 50315.62 \text{ kg/h}$$

$$h_f = 1192.19 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{ss} = 905.53 \text{ kJ/kg}$$

$$p_g = 298.81 \text{ MW}$$

$$p_{exc} = 0.72 \text{ MW}$$

$$\text{Dimana } 1 \text{ kJ} = \frac{1}{4.1868} \text{ kcal}$$

Jawab :

$$HR_T = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1 + \dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_f \times h_f + \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_{is} \times h_{ss})}{p_g - p_{exc}}$$

$$HR_T = \frac{(922211.12 \times 3404.01 + 794695.65 \times 3536.85) - (868657.15 \times 1192.19 + 782009.66 \times 3080.20 + 50315.62 \times 905.53)}{298.81 - 0.72}$$

$$= \frac{5949935184.29 - 3489912825.76}{298.09}$$

$$= 8252.61 \text{ kJ/kWh}$$

$$= 1971.10 \text{ kcal/kWh}$$

Dari contoh perhitungan data pertama pada bulan Januari 2016 seperti yang tampak di atas didapatkan nilai *Heatrate Turbine* yaitu sebesar 1971.10 kcal/kWh.

Perhitungan Efisiensi Turbin

Untuk mencari perhitungan efisiensi turbin dapat menggunakan rumus dengan sampel data Unit 1 pada bulan Januari 2016.

Diketahui :

dimana 1 kWh = 860 Kilokalori

(kcal)

Heate Rate Turbine = 1971.10 kcal/kWh

Jawab :

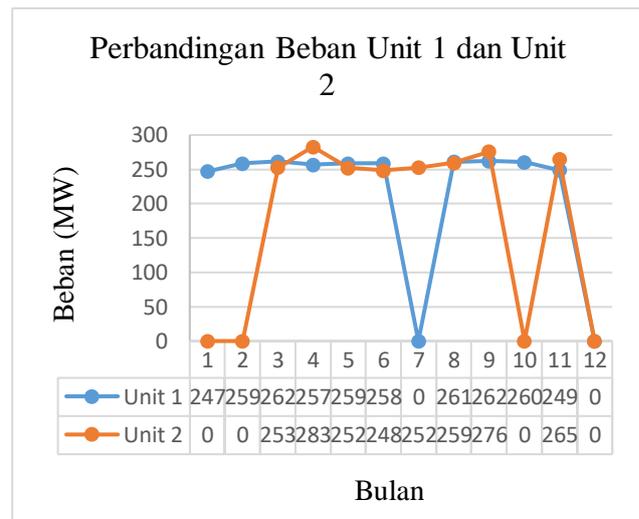
$$\eta_{turbine} = \frac{860}{\text{Heate Rate Turbine}} \times 100\%$$

$$= \frac{860}{1971.10 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}} \times 100\%$$

$$= 0,4363 \times 100\% = 43.63\%$$

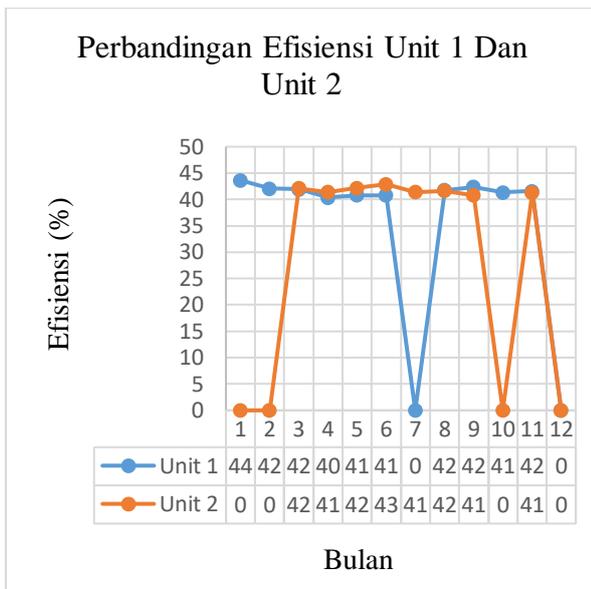
Pembahasan Hasil Penelitian

Hasil perhitungan analisa dari nilai daya turbin dan efisiensi turbin dengan menggunakan perhitungan yang diambil sesuai dengan data di PLTU BANTEN 3 LONTAR pada unit 1 dan 2, maka didapatkan nilai daya turbin dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin uap adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 : Grafik Perbandingan Daya Turbin Uap Unit 1 Dan Unit 2

Hasil perbandingan daya turbin uap unit 1 dan unit 2 berdasarkan grafik 4.1 diperoleh data nilai terendah terdapat pada bulan Januari yaitu sebesar 247.18 MW di unit 1. Untuk nilai tertinggi terdapat pada bulan April yaitu sebesar 282.87 MW di unit 2. Sedangkan daya turbin yang tidak diketahui hasilnya pada unit 1 di bulan Juli dan Desember, serta untuk unit 2 pada bulan Januari, Februari, Oktober, dan Desember. Disebabkannya seperti tidak beroperasi sebuah pembangkit, oleh faktor lamanya perawatan dan beberapa faktor lainnya.



Gambar 4.2 : Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin Unit 1 Dan Unit 2

Hasil perbandingan efisiensi turbin uap unit 1 berdasarkan grafik 4.1 diperoleh data terendah terdapat pada bulan April yaitu sebesar 40.4%. Untuk nilai tertinggi terdapat pada bulan Januari yaitu sebesar 43.63% di unit 2. Nilai efisiensi untuk jenis pembangkit PLTU batubara dengan pendingin pada umumnya sekitar 35%, jika nilai efisiensi dibawah 35% maka pembangkit tersebut di nyatakan kurang baik untuk beroperasi,

Berdasarkan dari hasil grafik data yang diambil selama satu tahun dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 dimana nilai turbin uap dan efisiensi turbin uap yang dihasilkan tidak menentu. Hasil rata – rata dari turbin yang dihasilkan selama satu tahun adalah 214.46 MW pada unit 1 dan rata – rata efisiensi turbin yang dihasilkan yaitu sebesar 34.72% pada unit 1 selama satu tahun. Untuk unit 2 didapatkan hasil rata – rata dari turbin yang dihasilkan selama satu tahun adalah 174.06 MW dan rata – rata efisiensi turbin yang dihasilkan yaitu sebesar 27.81% pada unit 2 selama satu tahun.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta analisa terhadap data yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah yang diambil dapat disimpulkan, yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan dari hasil grafik data yang diambil selama satu tahun dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 dimana nilai turbin dan efisiensi turbin yang dihasilkan tidak menentu. Hasil rata – rata dari turbin yang dihasilkan selama satu tahun adalah 214,46 MW pada unit 1 dan rata – rata

efisiensi turbin yang dihasilkan yaitu sebesar 34,72% pada unit 1 selama satu tahun. Untuk unit 2 didapatkan hasil rata – rata dari turbin yang dihasilkan selama satu tahun adalah 174.06 MW dan rata – rata efisiensi turbin yang dihasilkan yaitu sebesar 27.81% pada unit 2 selama satu tahun.

2. Dari hasil perhitungan sesuai data selama satu tahun dimana daya turbin dan efisiensi turbin mengalami kenaikan dan penurunan yang disebabkan oleh naik turunnya hasil dari *Turbine Heat Rate*, pembakaran batu bara yang tidak maksimal, karakteristik dari batu bara, penurunan beban yang dihasilkan, faktor lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan serta faktor-faktor lain.
3. Perbandingan naik turunnya daya turbin dan efisiensi turbin tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu sebesar ± 40 MW untuk daya turbin dan ± 6 % untuk efisiensi turbin antara unit 1 dengan unit 2, jadi hasil perhitungan dan analisa tersebut bahwa daya turbin dan efisiensi turbin masih berada batas normal sesuai data yang diambil di PLTU BANTEN 3 LONTAR selama satu tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Sugiantoro. *Metode Analisis Energy Perhitungan Metode Direct And Indirect (Heat Rate/Tara Kalor) Bahan Bakar Batu Bara Dan Pengaruhnya Pada Performance Sistem Uap*. Jurnal Intuisi Teknologi dan Seni. ISSN 1978-2497.
- Dwi Cahyadi. *ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG*, UNDIP : UNDIP : Makalah Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.
- Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. 2004. *Termodinamika Teknik Jilid II*. Jakarta : Erlangga
- Manual *Book* PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar.
- P. Shlyakin. 1990. *Turbin Uap Teori Dan Rancangan*. Jakarta : Erlangga
- Ristyanto, A N., *Simulasi Perhitungan Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang*, UNDIP : Makalah Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.
- Yunus A. Cengel And Michael A. Boles, Mc Graw-Hill *Higher Education*. 2007. *Thermodynamics : An Engineering Approach*.