

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

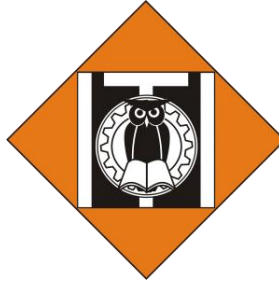
**ANALISIS PENGARUH BUKAAN KATUP *GOVERNOR*  
TERHADAP EFISIENSI TURBIN GENERATOR PADA PLTU  
DENGAN DAYA 295 MW**

**TUGAS AKHIR**

**DENA ADI KURNIA**

**112 172 5001**

**INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA  
SERPONG  
AGUSTUS 2020**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**ANALISIS PENGARUH BUKAAN KATUP *GOVERNOR*  
TERHADAP EFISIENSI TURBIN GENERATOR PADA PLTU  
DENGAN DAYA 295 MW**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**DENA ADI KURNIA**

**112 172 5001**

**INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA  
SERPONG  
AGUSTUS 2020**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan merupakan hasil plagiat dari karya orang lain dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : DENA ADI KURNIA**

**NPM : 112 172 5001**

**Tanda Tangan : ( )**

**Tanggal : Agustus 2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dena Adi Kurnia  
NPM : 1121725001  
Program Studi : Teknik Mesin – Institut Teknologi Indonesia  
Judul : **ANALISIS PENGARUH BUKAAN KATUP  
GOVERNOR TERHADAP EFISIENSI TURBIN  
GENERATOR PADA PLTU DENGAN DAYA 295 MW**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Maradu Sibarani, M.Si.



Penguji I : Ing. Kurniadi Rasyid M.M.



Penguji II : Khairul Jauhari S.T., M.T.



Ditandatangani secara elektronik oleh  
Khairul Jauhari, ST, MT  
198105162009011002

Penguji III : J. Victor Tuapetel, S.T., M.T., Ph. D



Ditetapkan di : Serpong, Tangerang Selatan

Tanggal : Agustus 2020

**KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**



**(J. Victor Tuapetel, S.T., M.T., Ph. D)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat Nya, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Indonesia. Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada:

- 1) J. Victor Tuapetel, S.T., M.T., Ph. D , selaku Ketua Prodi Teknik Mesin dan Koordinator tugas akhir yang telah menyediakan waktu, untuk mengarahkan Tugas Akhir ini.
- 2) Ir. Maradu Sibarani, M.Si., selaku Dosen Pembimbing, yang telah menyediakan waktu dan tenaga untuk membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- 3) Dosen-dosen dan staf Teknik Mesin yang telah membantu dalam memberikan materi dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
- 4) Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dan dukungan material dan moral.
- 5) Rekan – rekan yang ada di PLTU Banten 3 khususnya Agung Rahardian yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang diperlukan.
- 6) Teman-teman seperjuangan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Serpong, Agustus 2020

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Nama : DENA ADI KURNIA  
NPM : 112 172 5001  
Program Studi : Teknik Mesin – Institut Teknologi Indonesia  
Jenis karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISIS PENGARUH BUKAAN KATUP *GOVERNOR* TERHADAP  
EFISIENSI TURBIN GENERATOR PADA PLTU DENGAN DAYA 295 MW

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Serpong  
Pada Tanggal Agustus 2020  
Yang Menyatakan

(Dena Adi Kurnia)

## ABSTRAK

Turbin uap merupakan komponen utama pada pembangkit listrik tenaga uap. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh bukaan katup (*governor*) terhadap efisiensi dari turbin generator yang dihasilkan berdasarkan standar pengoperasian pada pembebanan 295 MW. Analisis dilakukan dengan membandingkan daya generator dan kalor total turbin. Kalor total turbin diperoleh dari total kalor masuk turbin (kalor masuk turbin tekanan tinggi dan tekanan menengah) dikurangi total kalor keluar turbin (panas keluaran turbin tekanan tinggi, panas *final feed water*, panas *spray main steam*, dan panas *spray reheat*). Pada variasi bukaan katup antara 33,62% hingga 38,72% nilai efisiensi tertinggi terdapat pada bukaan katup 37,85%, dengan nilai efisiensi sebesar 44,47%. Jika dibandingkan dengan pengoperasian rata-rata, pada pengoperasian dengan efisiensi tertinggi, terdapat asumsi penghematan batubara sebesar 34.612,14 kg setiap jam atau sekitar US\$ 2,281 setiap jam.

Kata kunci: turbin uap, efisiensi turbin generator, katup *governor*.

## ABSTRACT

*Steam Turbine is a main component of the steam electric power station. The purpose of this analysis is to find the effect of the opening valve (governor) to the turbine generator efficiency according to standard operation with the load capacity 295 MW. The analysis is comparing the output power generator and the total heat of the turbine. The total heat of the turbine is found by calculate the difference between heat input (high pressure and intermediate and pressure turbine) and output turbine (output high pressure turbine, final feed water, spray main steam, and spray reheat. In the variation of the opening valve between 33,62% until 38,72%. The highest result of efficiency is achieved by the opening governor of 37,85%, with the value is 44,67%. If it is compared with the average operation, the assumption of the highest efficiency operation coal saving is 34.612,14 kg per hour or about US\$ 2,281 per hour..*

*Keywords: steam turbine, turbine generator efficiency, governor valve.*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 <i>State of The Art</i> Bidang Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Termodinamika .....	6
2.1.1 Termodinamika I.....	6
2.1.2 Termodinamika II.....	7
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) .....	7
2.2.1 Siklus Rankine dengan Optimasi Superheat .....	8
2.2.2 Turbin Uap ( <i>Steam Turbine</i> ) .....	10
2.2.3 Turbin Uap ( <i>Steam Turbine</i> ) .....	12
2.2.4 Tahap Pemutaran Turbin Uap .....	14
2.3 Perhitungan Daya dan Efisiensi .....	14
2.3.1 <i>Main Steam Flow</i> .....	15
2.3.2 <i>Reheat Steam Flow</i> .....	15



2.3.3	Perhitungan Kerja Turbin.....	15
2.3.4	Daya Generator .....	16
2.3.5	Efisiensi Turbin Generator .....	17
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>		<b>18</b>
3.1.	Spesifikasi Umum Turbin Generator .....	18
3.2	Tahapan Penelitian .....	20
<b>BAB 4 PERHITUNGAN DAN ANALISIS.....</b>		<b>22</b>
4.1	Data Turbin Uap.....	22
4.2	Nilai Entalpi .....	23
4.3	Perhitungan Laju Aliran Fluida Kerja .....	24
4.4	Perhitungan Panas Masuk Turbin ( $Q_{in}$ ).....	24
4.5	Perhitungan Panas Keluar Turbin ( $Q_{out}$ ).....	26
4.6	Kerja Total Turbin.....	28
4.7	Perhitungan Efisiensi Turbin Generator.....	29
4.8	Grafik Efisiensi terhadap Pembukaan Katub Governor.....	29
4.9	Penghematan Operasional .....	31
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>32</b>
5.1	Kesimpulan.....	32
5.2	Saran.....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>33</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>35</b>
	Lampiran 1: Skematik Turbin Uap.....	35
	Lampiran 2: Turbin Uap General View.....	35
	Lampiran 3: Data Steam Properties and Power Gen. ....	35
	Lampiran 4: Spesifikasi manual Steam Turbine .....	37
	Lampiran 5: Sertifikat Analisis Sampel Batubara .....	38
	Lampiran 6: Spesifikasi Performa Boiler .....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Steam Turbine Equipment Specification.....	18
Tabel 4.1 Tabel Data.....	22
Tabel 4.2 Tabel Steam Properties .....	23
Tabel 4.3 Kalor Masuk Turbin .....	25
Tabel 4.4 Kalor Keluar Turbin .....	27
Tabel 4.5 Total Kerja Turbin .....	28
Tabel 4.6 Daya Keluaran dan Efisiensi Turbin Generator .....	29

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang berkembang pesat saat ini sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi yang semakin banyak. Sebagian besar penggunaan sumber energi untuk kebutuhan listrik di Indonesia berbasis pada PLTU batubara, sehingga kebutuhan batubara di Indonesia relatif tinggi. Berdasarkan data yang dikutip dari *cnnindonesia.com*, PLN memproyeksi kebutuhan batu bara untuk pembangkit mencapai 115 juta ton sampai tahun 2019 (Outlook Energi Indonesia 2019). Angka tersebut meningkat 7,2 persen dibandingkan kebutuhan tahun 2018 yang sebanyak 93,2 juta ton. Oleh karena itu, dibutuhkan adanya pengelolaan sumber energi yang efektif dan efisien terutama pada pembangkit listrik tenaga uap di Indonesia.

PLTU merupakan pemasok daya listrik yang paling besar di Indonesia, terutama pulau Jawa. Berdasarkan data yang diperoleh dari Outlook Energi Indonesia 2019 (OEI 2019), total kapasitas daya di Indonesia pada tahun 2018 yaitu sebesar 64.3 GW dan didominasi oleh PLTU sebesar 36.08 GW atau sekitar 56%, disusul oleh PLTGU sebanyak 16%, kemudian PLTA sebanyak 8%.

Turbin uap (*steam turbine*) merupakan salah satu komponen utama dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Turbin uap ini mengonversi energi dari kalor uap menjadi energi mekanik yang nantinya akan digunakan oleh generator untuk menghasilkan energi listrik. Perhitungan Turbin Heat Rate (THR) sangat penting pada operasi PLTU untuk mengetahui perbandingan kalor pada uap dengan daya listrik yang dihasilkan oleh generator, sehingga diperoleh besarnya efisiensi turbin generator. Pengelolaan laju aliran uap akan mempengaruhi nilai kalor dari turbin uap. Maka dari itu, diperlukan analisis mengenai pengaruh pengaturan laju aliran

masa uap terhadap efisiensi dari turbin generator yang dihasilkan agar operasi PLTU lebih efisien.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah berapa laju aliran massa uap yang masuk turbin agar mendapatkan nilai efisiensi turbin generator yang maksimum.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Analisis Efisiensi pada PLTU dibatasi daya 295 MW
2. Pembukaan katup *Governor* dibatasi sesuai standar operasi.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi bukaan katup *governor* terhadap efisiensi turbin generator PLTU berkapasitas 300 MW.

## 1.5 State of The Art Bidang Penelitian

*State Of The Art* ini berisikan tentang penelitian-penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan, yang mana ini juga menjadi dasar peneliti untuk melakukan penelitian terhadap material ini dan membedakan dari penelitian-penelitian sebelumnya,

PT. Energi Alamraya Semesta merupakan pembangkit dengan kapasitas 15 MW, hasil penelitian menunjukkan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memiliki daya aktual yang dibangkitkan maksimal hanya 10 MW dikarenakan alasan umur mesin, komponen utama PLTU ini adalah boiler tipe traveling grate, turbin 3 tingkat (*high pressure, intermediate pressure dan low pressure*), dan generator. Bentuk energi yang digunakan pada proses produksi listrik adalah energi uap yang bersumber dari energi bahan bakar berupa batubara. Rata-rata efisiensi kerja turbin uap selama bulan April 2012 adalah 79.58 %, dan untuk efisiensi generator diperoleh sebesar 86 %. Secara keseluruhan diperoleh efisiensi total pemanfaatan energi (*steam*) untuk PLTU Energi Alamraya Semesta adalah 18%. (Nurmalita dan Sri Endah, 2012)

Selanjutnya pada pembangkitan listrik PLTU Rembang, daya *rated* generator dihasilkan sebesar 300 MW. Kondisi PLTU Rembang telah beroperasi selama lebih dari 5 tahun dan telah mengalami permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi *Turbine Generator*. Selama 5 tahun beroperasi, diperkirakan efisiensi *Turbine Generator* mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti sering terjadinya penurunan beban atau unit *shutdown*, faktor lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan serta faktor-faktor lain. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap efisiensi *Turbine Generator*. Hasil dari analisa dengan mengambil sampel selama 10 hari didapatkan efisiensi rata-rata generator unit 10 saat ini sebesar 93.15%. Efisiensi rata-rata generator pada unit 20 sebesar 92.39%. Apabila dibandingkan dengan efisiensi generator secara desain sebesar 98%, maka nilai efisiensi *Turbine Generator* QFSN-300-2-20B saat ini mengalami penurunan sebesar  $\pm 5\%$ . (Dwi Cahyadi, 2015)

Lalu pada tahun 2017 terdapat penelitian mengenai Turbin Uap (*steam turbine*) pada PLTU Lontar 300 MW. Turbin uap yang 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, 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% selama satu tahun. Perbandingan naik turunnya daya turbin dan efisiensi turbin tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu sebesar  $\pm 40$  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 factor faktor lain. (Iwan Kurniawan, 2017)

Adapun pada penelitian dilakukan oleh Muhammad effendi tahun 2018 mengevaluasi peralatan turbin uap dan generator yang merupakan salah satu peralatan di PT PJB UBJ O&M PLTU Tanjung Awar-Awar. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perubahan load capacity pembangkit listrik tenaga uap tanjung awar-awar 350 MW terhadap efisiensi turbin generator pada unit 1. Penelitian dilakukan dengan memvariasi perubahan kenaikan load capacity saat PLTU sedang beroperasi yaitu load capacity 75%, 85% dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh kenaikan load capacity terhadap efisiensi isentropis turbin, berturut-turut dari load capacity 75%, 85% dan 100% memiliki efisiensi sebesar 89,02%, 90,42% dan 91,77%. Terdapat pengaruh load capacity terhadap efisiensi turbin generator. Nilai efisiensi turbin generator berturut-turut dari beban 75%, 85% dan 100% yaitu 86,02%, 87,2% dan 88,64% sedangkan untuk generator, pengaruh load *capacity* tidak berpengaruh besar terhadap efisiensinya yaitu 95,32% 95,45% dan 95,98%. (Muhammad effendi, 2018)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis yaitu analisis mengenai pengaruh aliran masa uap terhadap efisiensi turbin generator pada PLTU berkapasitas 300 MW. Dari penelitian tersebut akan didapatkan untuk pembebanan variatif 285 MW hingga 300 MW terdapat pembukaan katup yang akan menghasilkan efisiensi paling optimal untuk turbin generator. Sehingga didapatkan pengoperasian komponen PLTU yang efisien.

## 1.6 Sistematika Penulisan

BAB I ; Pendahuluan, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, *State Of The Art*, dan sistematika penulisan.

BAB II; Tinjauan Pustaka, berisi tinjauan pustaka yang mendukung dalam analisis efisiensi turbin generator meliputi siklus rankine, dan kalor pada uap, daya listrik generator, *Turbin Heat Rate*, dan perhitungan efisiensi turbin generator.

BAB III ; Metode Penelitian, berisi spesifikasi turbin generator dan tahapan penelitian yang digunakan.

BAB IV ; Perhitungan dan Analisis, berisi proses perhitungan, data uap yang diambil pada PLTU, hasil perhitungan, dan analisis data berdasarkan hasil perhitungan.

BAB V ; Kesimpulan dan saran, berisi kesimpulan penelitian efisiensi turbin generator serta saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA ; Berisi referensi untuk mendukung penelitian.

LAMPIRAN, berisi lampiran yang mendukung proses penelitian.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Termodinamika**

Termodinamika merupakan ilmu yang menggambarkan usaha untuk mengubah kalor (perpindahan energi yang disebabkan perbedaan temperatur) menjadi bentuk energi lainnya.

##### **2.1.1 Termodinamika I**

Hukum pertama termodinamika menyatakan untuk setiap sistem tertutup yang membentuk siklus, jumlah kerja yang diberikan ke sekeliling sistem ( $dW$ ) adalah sebanding dengan jumlah netto kalor yang diambil dari sekeliling sistem ( $dQ$ ). Hukum tersebut dapat digambarkan oleh persamaan berikut:

$$dQ = dW$$

$$dQ - dW = 0$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa energi dalam sistem tertutup adalah tetap dengan syarat sistem diisolasi terhadap sekelilingnya. Hukum termodinamika I ini sering disebut dengan hukum kekekalan energi karena menyatakan energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan melainkan energi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk energi lain.

Pada suatu sistem tertutup, terdapat satu sifat yang diakibatkan oleh perbedaan antara kalor yang diberikan dengan kerja yang dilakukan. Perbedaan antara kalor yang diberikan dengan kerja yang dilakukan dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$dU = dQ - dW$$

Sifat  $U$  ini disebut dengan energi dalam sistem. Energi dalam sistem akan bertambah dan berkurang sesuai dengan perubahan tingkat keadaan sistem.



### 2.1.2 Termodinamika II

Hukum kedua termodinamika menyatakan kerja diberikan kepada sistem dengan imbalan pengambilan kalor dari sekeliling sistem. Besar kerja yang dihasilkan selalu lebih kecil dari kalor yang diserap sehingga efisiensi dari suatu siklus selalu kurang dari 100%.

Dalam suatu proses melingkar, seluruh energi mekanis dapat diubah menjadi energi panas, tetapi energi panas tidak seluruhnya diubah menjadi energi mekanis karena terdapat panas yang terbuang.

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU adalah suatu pusat pembangkit termal yang menggunakan uap sebagai fluida kerjanya, di dalam PLTU terjadi siklus tertutup yaitu air dipanaskan hingga menjadi uap di ketel uap dan uapnya digunakan untuk memutar turbin. Uap bekas dari turbin dikondensasikan menjadi air dikondensor dan air hasil kondensasinya dipompa untuk diisikan kembali ke dalam Boiler. :

Peralatan utama yang sering digunakan pada siklus PLTU terdiri dari:

1. Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap yang telah digunakan untuk memutar turbin.
2. Pompa berfungsi untuk memompakan air dari kondensor dan disuplai ke dalam Boiler
3. Boiler berfungsi untuk menerima panas  $Q$ . Boiler bertugas untuk mengubah air menjadi uap dan masih merupakan uap basah.
4. Turbin berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari uap yang dihasilkan turbin menjadi energi mekanis (kerja) yang diteruskan ke generator untuk mengubahnya menjadi energi listrik. Uap yang keluar dari turbin mengalami penurunan tekanan dan temperatur.

### 2.2.1 Siklus Rankine dengan Optimasi Superheat

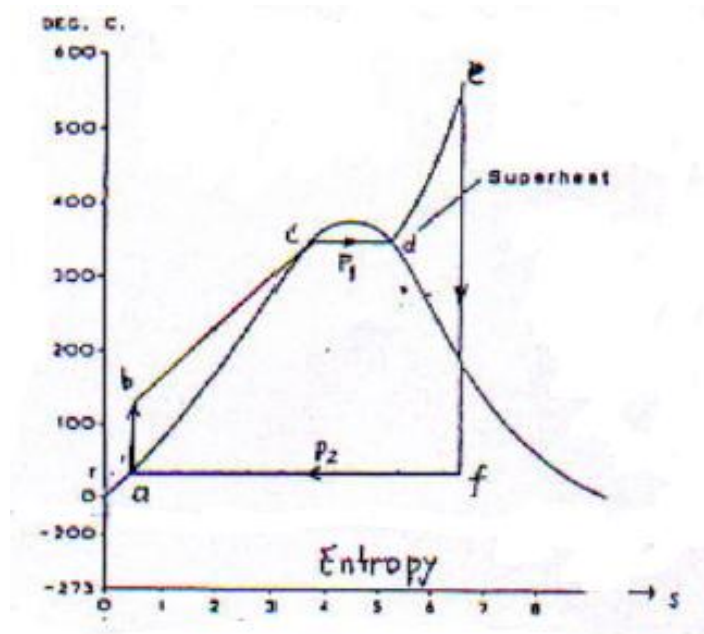
Siklus Rankine adalah siklus ideal untuk pembangkit listrik tenaga uap. Pada siklus Rankine, fluida kerja mengalami perubahan fasa saat evaporasi dan kondensasi sehingga fluida kerja harus berupa uap. Pada siklus Rankine sederhana, uap yang masuk ke turbin merupakan uap jenuh. Apabila uap jenuh berekspansi maka temperatur dan tekanan dalam turbin akan turun, sehingga akan menyebabkan kondensasi dan dapat merusak sudu turbin dan mengurangi efisiensi siklus PLTU dengan tambahan superheat dan reheat bertujuan untuk meningkatkan kerja dari siklus pembangkit karena semakin banyak panas yang dapat terserap oleh fluida kerja. Superheat berfungsi untuk mengubah uap jenuh keluaran dari Boiler drum menjadi uap kering sebelum digunakan untuk memutar HP (High Pressure) Turbin. Uap keluaran dari HP Turbin yang masih memiliki energi yang besar masuk lagi ke Boiler untuk di panaskan kembali di reheater untuk kemudian diekspansi oleh IP (Intermediete Pressure) Turbin.

Air pengisi Boiler dipompa oleh *Boiler feed pump* (BFP) melalui High Pressure Heater (HPH) kemudian masuk ke water drum di Boiler hingga memenuhi seluruh permukaan panas di dalam Boiler. Kemudian air dipanaskan oleh gas pembakaran, sehingga dihasilkan uap. Uap ini masih bersifat jenuh sehingga perlu dilakukan pemanasan lanjut hingga menjadi uap kering. Proses pemanasan lanjut terjadi di primary superheater kemudian dilanjutkan di secondary superheater.

Uap hasil produksi Boiler dengan temperatur dan tekanan tertentu diarahkan untuk memutar steam turbine sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran. Pada pembangkit listrik dengan kapasitas besar, steam trubine dibagi menjadi 3 bagian, yaitu *High Pressure Turbine* (HP turbine), *Intermediate Pressure Turbine* (IP turbine), dan *Low Pressure turbine* (LP turbine). Uap panas dari Boiler pertama kali digunakan untuk memutar HP turbine. Setelah keluar dari HP turbine uap panas dipanaskan lagi di reheater dan kemudian dialirkan ke IP turbine. Setelah dari IP turbine, uap panas langsung menuju LP turbine.

Generator yang dikopel langsung dengan turbine berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan.

Berdasarkan aliran fluida kerjanya, siklus turbine uap yang merupakan bagian dari siklus PLTU sederhana adalah siklus Rankine dengan superheater. Siklus Rankine dengan superheater dapat di gambarkan dengan diagram T – S seperti Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Diagram T-S Siklus Rankine PLTU

Adapun urutan kerjanya adalah sebagai berikut:

1. Siklus a – b  $\Rightarrow$  air dipompakan dengan proses adiabatik (tekanan dan temperatur berubah). Proses ini terjadi pada system air pengisi yang dipompa oleh *Boiler feed pump*.
2. Siklus b – c  $\Rightarrow$  air dipanaskan dengan proses isobarik (tekanan tetap) Sehingga, temperaturnya naik mendekati titik didihnya. Proses ini terjadi di *economizer*.
3. Siklus c – d  $\Rightarrow$  air yang telah mendekatin titik didihnya dipisahkan antara air dan uap jenuh . Proses ini terjadi di *Boiler drum* (pipa pemanas dan *Boiler drum*).

4. Siklus d – e  $\Rightarrow$  uap jenuh dipanaskan dengan proses isobarik (tekanan tetap), Sehingga temperaturnya naik menjadi uap *superheat*. Proses ini terjadi di *superheater*.
5. Siklus e – f  $\Rightarrow$  uap *superheater* dari *Boiler* berekspansi dengan proses adiabatik (tekanan dan temperatur berubah) proses ini terjadi di *turbine*.
6. Siklus f – a  $\Rightarrow$  uap keluran *turbine* didinginkan kembali sehingga uap berubah lagi menjadi air, proses ini terjadi di dalam kondensor.

Kondisi pada masing-masing tahap pada diagram siklus PLTU diberikan penomoran yang direpresentasikan pada diagram T-s sesuai dengan masing-masing nomor.

Kerja yang dihasilkan oleh suatu proses siklus sama dengan jumlah perpindahan panas (kalor) pada fluida kerja selama proses siklus tersebut berlangsung.

Luas a – b – c – d – e – f – a pada diagram T – s = kerja persatuan berat fluida kerja. Makin besar luas diagram tersebut makin besar pula kerja yang dihasilkan, kerja yang di hasilkan oleh system PLTU adalah

$$W = W_T - W_P$$

Keterangan:

$W_T$  = kerja yang dihasilkan *turbine* persatuan berat fluida kerja.

$W_P$  = kerja yang diperlukan untuk menggerakkan pompa per satuan berat fluida kerja.

Kerja *turbine*  $W_T$  adalah selisih *enthalpy* uap masuk *turbine* dengan keluaran *turbine*

$$W_T = h_e - h_f$$

Sedangkan kerja pompa adalah selisih dari *enthalpy* fluida keluaran pompa dengan *enthalpy* masuk pompa.

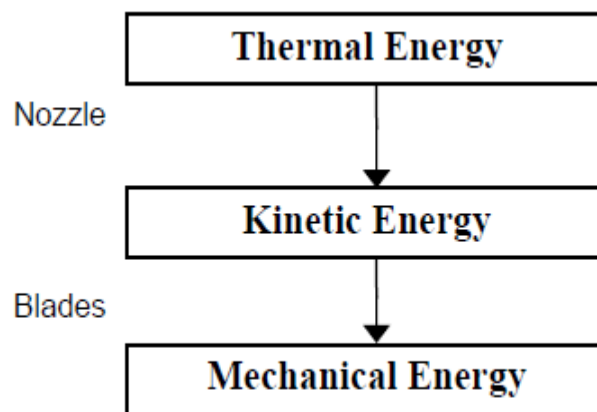
$$W_p = h_b - h_a$$

### 2.2.2 Turbin Uap (*Steam Turbine*)

Turbin dapat terdiri satu atau dua atau banyak silinder yang merupakan mesin rotasi yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari

uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Tiap silinder memiliki rotor yang disangga oleh bantalan-bantalan (*bearing*). Rotor-rotor tersebut disambung menjadi satu termasuk rotor Generator.

Turbin terdiri dari rangkaian sudu-sudu tetap dan sudu-sudu gerak yang dipasang sejajar berselang-seling. Sudu tetap dipasang di bagian rumah turbine sedangkan sudu gerak dipasang pada rotor. Sudu tetap turbine berfungsi untuk mengarahkan aliran uap yang masuk ke sudu gerak turbine sedangkan sudu gerak berfungsi untuk merubah energi kinetik (kecepatan) menjadi Energi mekanik berupa putaran poros turbine. Energi mekanik tersebut kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan Generator seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konversi Energi di dalam Turbin

Di dalam turbin, uap mengalami proses ekspansi yaitu penurunan tekanan dan mengalir secara berkelanjutan. Akibat pengurangan tekanan uap di dalam rangkaian sudu-sudu, maka kecepatan putaran turbin menjadi sangat tinggi. Kecepatan aliran uap tersebut akan bergantung pada selisih banyaknya panas uap sebelum dan sesudah ekspansi. Selisih penurunan

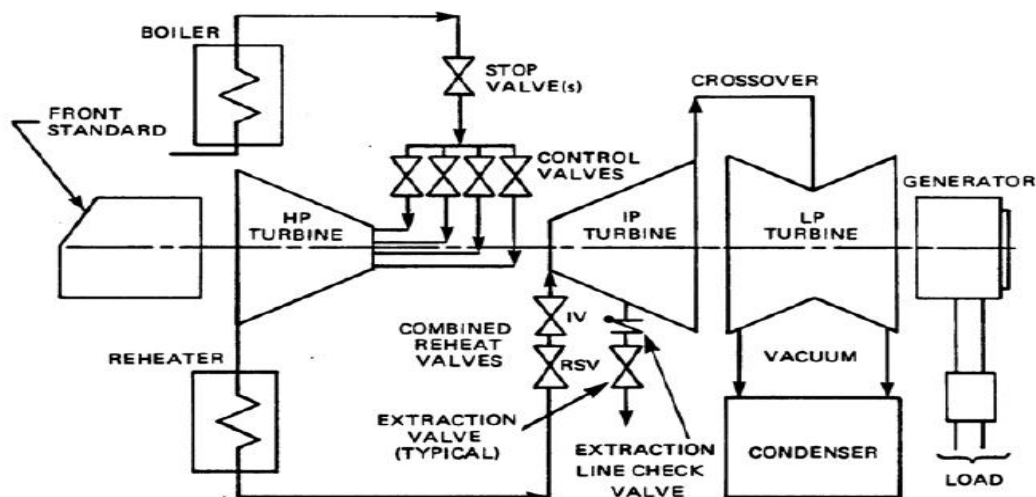
panas sebelum dan sesudah ekspansi di dalam turbin dinamakan penurunan panas.

### 2.2.3 Turbin Uap (*Steam Turbine*)

Terdapat banyak variasi susunan dan konstruksi *turbine* yang diterapkan di unit PLTU. Turbin dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok menjadi:

#### 1. *Turbine reheat*

*Turbine reheat* terdiri lebih dari satu silinder dan uap mengalami proses pemanasan ulang di *reheater Boiler*. Seperti pada Gambar 2.3, pada *turbine reheat*, uap yang keluar dari *turbine* tekanan tinggi (HP *Turbine*) dialirkan kembali ke dalam ketel uap untuk dipanaskan kembali melalui pemanas ulang (*reheater*) karena masih mempunyai energi yang besar untuk selanjutnya dialirkan kembali menuju *turbine* tekanan menengah (IP *Turbine*). Keluaran dari *turbine* tekanan menengah (IP *Turbine*) langsung keluar menuju ke *turbine* tekanan rendah (LP *Turbine*).



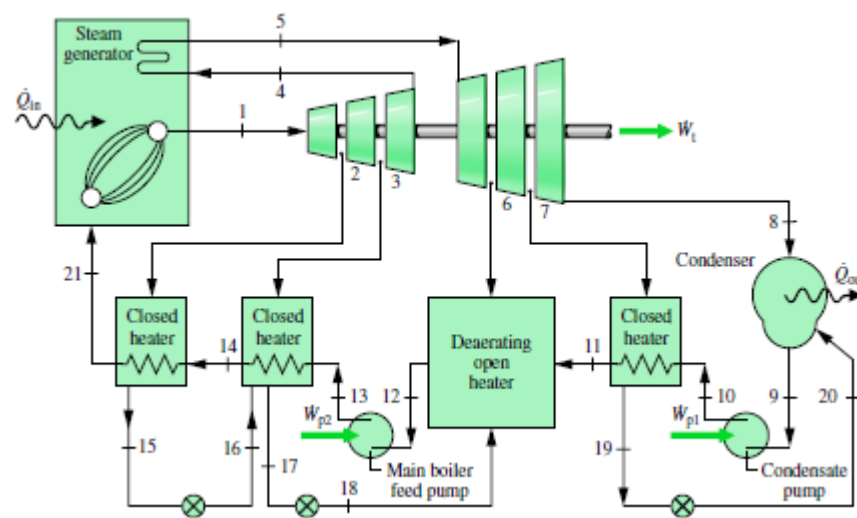
Gambar 2.3 Sistem Aliran *Turbine Reheat*

Sumber gambar : Buku modul 1 pengenalan PLTU PLN

Unit Pendidikan Dan Latihan Suralaya

## 2. Turbine ekstraksi

*Turbine ekstraksi* adalah *turbine* yang mengekstrak sebagian uap yang mengalir dalam *turbine*. Seperti Gambar 2.4 pengekstraksian ini dilakukan di beberapa tingkatan suhu *turbine*, untuk kemudian dialirkan sebagai media pemanas air pengisi. Aliran uap ekstraksi sangat bergantung pada pengkondisian beban unit pembangkit. sedangkan pada *turbine* non ekstraksi, seluruh uap mengalir masuk ke *turbine* akan keluar semua meninggalkan *turbine* melalui *exhaust turbine*.



Gambar 2.4 Sistem Aliran Uap Turbin Ekstraksi

Sumber gambar : Buku *Fundamental of engineering thermodynamic (Moran J, Shapiro N.M -5<sup>th</sup> edition)* Halaman 352

Menurut aliran uap

- Single Flow* : aliran uap searah dengan arah sudu *turbine*, sistem aliran seperti ini menimbulkan gaya aksial yang besar searah dengan aliran uap.
- Double Flow* : pada *turbine* jenis ini aliran masuk dibagi menjadi dua arah yang saling berlawanan sehingga dapat memperimbang gaya aksial yang ditimbulkan.

### 2.2.4 Tahap Pemutaran Turbin Uap

Pada tahap ini parameter operasional Turbin harus diperhatikan jangan sampai ada yang melebihi batasan-batasan yang telah ditentukan manufaktur. Kenaikan putaran turbin dilakukan secara bertahap dengan laju kenaikan putaran tertentu

Dalam menaikkan putaran turbin, harus berpedoman pada grafik kenaikan putaran dan selang waktu untuk memutar turbine kepada jenis start yang digunakan. Pada start dingin, ada saatnya putaran turbin harus ditahan pada putaran tertentu untuk tujuan pemerataan temperatur pemanasan.

Untuk turbin yang startnya manual, operator harus mengetahui putaran-putaran kritis turbin. Pada saat sudah mendekati putaran kritisnya, laju kenaikan putaran harus ditingkatkan sehingga Turbin tidak terlalu lama berada pada putaran kritisnya. Turbin yang beroperasi pada putaran kritis menimbulkan getaran yang berlebih dan ini harus dihindari.

Pada saat turbin mencapai putaran normal/putaran kerjanya kadang-kadang perlu dilakukan pengujian terhadap sistem pengaman *turbine* untuk menjamin kehandalan dari sistem pengaman apabila terjadi gangguan atau kegagalan pada saat unit pembangkit sudah kondisi berbeban.

Pada fase sinkronisasi system eksitasi dioperasikan untuk membangkitkan tegangan dan arus eksitasi. Setelah semua normal dilanjutkan dengan sinkronisasi Generator ke sistem jaringan. Setelah tahap sinkronisasi berhasil, segera bebani Generator sebesar 5-10% beban.

## 2.3 Perhitungan Daya dan Efisiensi

Laju kalor pada turbin uap ditentukan dengan kalor uap yang masuk turbin uap (*Steam Turbine Heat Input*) dibandingkan dengan Energi listrik yang dihasilkan pada Generator (*Heat Generator Output*).

Laju kalor pada Turbin uap ditentukan dengan kalor uap yang masuk turbin uap (*Steam Turbine Heat Input*) dibandingkan dengan Energi listrik yang dihasilkan pada Generator (*Generator Output*) Seperti pada persamaan :

$$NTHR = \frac{\text{Kerja Total Turbin}}{P.Netto} \dots 2.1$$



Keterangan:

NTHR = *Netto Turbine Heat rate*

P.netto = Daya Netto Generator

*Heat rate* merupakan salah satu indikator kinerja yang sangat penting untuk mengukur performa suatu unit pembangkit. Nilai dari *Heat rate* akan memberikan gambaran tentang seberapa besar efisiensi suatu pembangkit secara keseluruhan. *Heat rate* menggambarkan banyaknya energi kalor yang dibutuhkan untuk membangkitkan listrik sebesar 1 KWh.

### 2.3.1 Main Steam Flow

Main Steam Flow pada masukan Main Stop Valve dapat dihitung dengan cara:

$$\text{MSF} = \text{Main Steam} + \text{FSMS} \quad \dots 2.2$$

Keterangan :

FFWF = *Final Feed Water Flow* (kg/h)

MSF = *Main Steam Flow* (kg/h)

FSMS = *Flow Spray Main Steam* (kg/h)

### 2.3.2 Reheat Steam Flow

Reheat steam flow pada masukan Reheat Stop Valve dapat dihitung dengan cara:

$$\text{RSF} = \text{MSF} + \text{FSRH} \quad \dots 2.3$$

Keterangan:

RSF = *Reheat Steam Flow* (kg/h)

MSF = *Main Steam Flow* (kg/h)

FSRH = *Flow Spray Reheat* (kg/h)

### 2.3.3 Perhitungan Kerja Turbin

Laju Masa Aliran Panas masuk Turbin ( $Q_{in}$ )

#### a. Panas Masuk HP Turbine

$$Q_{HPT} = \text{MSF} \times \text{HHP} \quad \dots 2.4$$

Keterangan :

$Q_{HPT}$  = Panas Masuk HP Turbine (kJ/h)

HHP = Entalpi HP turbin (kJ/Kg)

#### b. Panas Masuk IP Turbine

$$Q_{IPT} = \text{RSF} \times \text{HIP} \quad \dots 2.5$$

Keterangan :

$Q_{IPT}$  = Panas Masuk IP Turbine (kJ/h)

HIP = Entalpi IP Turbine (kJ/Kg)

Laju Aliran Panas Keluar *Turbine* ( $Q_{out}$ )

a) Panas *Final Feed Water*

$$Q_{FFW} = FFWF \times HFFW \quad \dots 2.6$$

Keterangan :

$$Q_{FFW} = \text{Kalor } \textit{Final Feed Water} \text{ (kJ/h)}$$

b) Panas keluaran HP *Turbine*

$$Q_{CRH} = MSF \times HCRH \quad \dots 2.7$$

Keterangan :

$$Q_{CRH} = \text{Panas keluaran HP } \textit{Turbine} \text{ (kJ/h)}$$

c) Laju Aliran Uap *Spray Main Steam*

$$Q_{FSMS} = FSMS \times HSMS \quad \dots 2.8$$

Keterangan :

$$Q_{FSMS} = \text{Laju Aliran Uap } \textit{Spray Main Steam} \text{ (kJ/h)}$$

d) Laju Aliran *Spray Reheat*

$$Q_{FSRH} = FSRH \times HSRH \quad \dots 2.9$$

Keterangan :

$$Q_{FSRH} = \text{Laju Aliran Uap } \textit{Spray Reheat} \text{ (kJ/h)}$$

Maka Total Kalkulasi Laju masa Aliran *turbine* yang terjadi dalam siklus Aliran Uap *turbine* adalah :

$$\textit{Kerja Total Turbin} = Q_{in} - Q_{out} \quad \dots 2.10$$

### 2.3.4 Daya Generator

Daya keluaran Generator merupakan hasil akhir dari sistem pembangkitan tenaga listrik yang kemudian daya ini didistribusikan ke konsumen melalui system jaringan. Dalam perhitungan efisiensi daya generator digunakan sebagai pembagi untuk laju tara kalor dan menentukan harga jual listrik ke konsumen. Dalam sistem pembangkit daya keluaran *Generator* sebelum masuk ke jaringan dipakai untuk mensupply listrik untuk kebutuhan sendiri antara lain:

- Untuk pemakaian sendiri (UAT) *Unit Auxiliary Tranformer*
- Untuk sumber tegangan eksitasi
- Untuk *supply* listrik alat-alat bantu
- Untuk pengisian battery pompa-pompa *Dirrect Current* (DC)

Kebutuhan-kebutuhan daya yang digunakan untuk keperluan sendiri dapat diukur dan terdapat parameter yang aktual dan dilakukan pencatatan secara rutin oleh operator yang bertugas.

### 2.3.5 Efisiensi Turbin Generator

Nilai dari efisiensi turbin generator dapat diperoleh setelah mendapatkan nilai daya keluaran generator dan daya total turbin. Dengan persamaan :

$$\eta_{TG} = \frac{P.Generator}{Kerja\ total\ Turbin} \quad \dots\ 2.12$$

Keterangan :

P. Generator = Daya keluaran generator

$\eta_{TG}$  = Efisiensi Turbin Generator

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

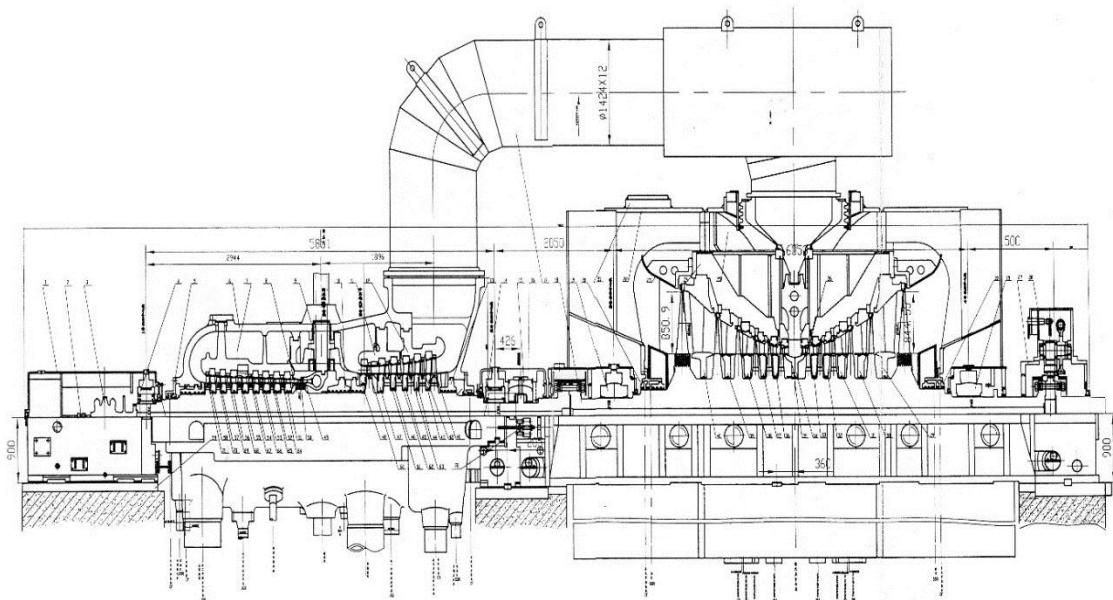
#### 3.1. Spesifikasi Umum Turbin Generator

Generator memiliki daya 315 MW dengan menggunakan sistem governing *Digital Electro-hydraulic system* (DEH). Untuk spesifikasi sesuai manual terdapat pada lampiran 4. Pada Tabel 3.1 berikut merupakan spesifikasi umum dari turbin generator.

Model	N315-16.7/538/538-8 (HP & IP combined casing)
Manufacturer	Dongfang Turbine Co., Ltd
Type	Subcritical, single reheating, condensing turbine with two casings and double exhaust-hoods
Rated output	315MW
Initial steam pressure	16.7MPa
Initial steam temperature	538°C
Reheated steam pressure	3.379MPa
Reheated steam temperature	538°C
Exhaust pressure (absolute pressure)	8.7KPa
Direction of rotor rotation	Clockwise, when looking from steam turbines to generators
Steam distribution method	Throttle governing, nozzle governing
Governing system	DEH

Tabel 3.1 *Steam Turbine Equipment Specification*

(Sumber gambar : Manual Book Steam Turbine Operation)



Gambar 3.1 Dimensi Longitudinal Turbin-Generator

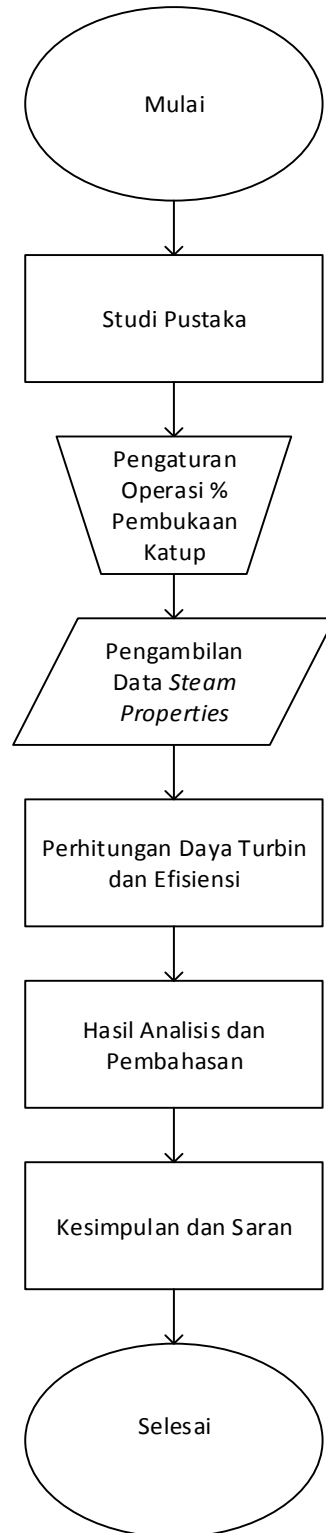
(Sumber gambar : *Manual Book Steam Turbine Operation*)

Desain turbin-generator dapat dilihat pada Gambar 3.1. Terdapat beberapa komponen meliputi *High Pressure Turbine*, *Low pressure Turbine*, dan *Electrical Generator*. Dimensi dari *assembly* Turbin uap yaitu  $L*W*H: 16107mm \times 8668mm \times 6069mm$ . Turbin memiliki berat total 630T. Sudu turbin memiliki tingkatan sebanyak 27 *stages*.

Pada bagian *inlet* HP turbin terdapat enam *Valve* yaitu dua MSV (Main stop valve) dan empat governor/CV (control valve). *Main Stop Valve* (MSV) berfungsi untuk memberikan perintah menghentikan aliran *main steam* yang masuk ke turbin uap. Sedangkan *Control Valve* (CV) berfungsi untuk meregulasi aliran massa *main steam* yang masuk ke turbin uap. Untuk skematik turbin generator lengkap terdapat pada lampiran 1 dan 2 .

### 3.2 Tahapan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat tahapan-tahapan atau proses yang harus dilakukan sebagai penunjang penelitian ini.



Gambar 3.2 Tahapan Metodologi Penelitian

Berdasarkan alur pada Gambar 3.2 terdapat beberapa tahapan dalam penelitian diantaranya yaitu:

1. Identifikasi Masalah, yaitu merumuskan latar belakang hingga tujuan penelitian dicantumkan pada Bab I.
2. Studi Pustaka, yaitu mengumpulkan data dari buku dan modul referensi yang sesuai dengan topik penelitian tentang termodinamika, Pembangkit Listrik tenaga Uap (PLTU), dan komponen utama PLTU.
3. Pengambilan data, yaitu melakukan pengaturan operasi sesuai prosedur lalu mengumpulkan data melalui wawancara terhadap operator atau pengamatan langsung terhadap parameter sistem Pembangkit Listrik pada saat pengoperasian PLTU. Data yang diperoleh meliputi data *properties main steam, reheat steam, final feed water, spray water main steam, dan spray water reheat*.
4. Perhitungan dan Analisis, yaitu menghitung besarnya kalor turbin berdasarkan hasil observasi di PLTU. Efisiensi turbin dihitung dengan metode heat balance yaitu dengan menghitung semua energi yang masuk ( $Q_{in}$ ) dan menghitung energi yang keluar ( $Q_{out}$ ) dari *High Pressure (HP)* turbin dan *IP (Intermediete Pressure)* setelah perhitungan, dilakukan pembahasan terhadap nilai efisiensi lalu dibandingkan sesuai dengan pengaturan % pembukaan *governor valve* untuk mengetahui berapa besarnya pembukaan *governor* yang paling efisien. Setelah itu dilakukan perhitungan asumsi penghematan pada pengoperasian Turbin Uap pada nilai efisiensi tertinggi.
5. Penyusunan laporan, yaitu membuat laporan tertulis mulai dari BAB I pendahuluan sampai BAB V penutup.

## BAB 4

### PERHITUNGAN DAN ANALISIS

#### 4.1 Data Turbin Uap

Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan pengambilan data terlebih dahulu di *control room* PLTU. Data yang diambil meliputi *properties* dari *feed water*, *main steam*, *hot reheat steam*, *cold reheat steam*, dan *Spray water*, serta daya dari generator, seperti terlihat pada Tabel 4.1. Data diambil pada secara acak pada beban daya yang sama yaitu sebesar 295 MW, dengan variasi bukaan katup *control valve governor* antara 33,62 % hingga 38,72%.

Tabel 4.1 Tabel Data

Daya 295 MW	Satuan	01- Agu- 19	12- Agu- 19	04- Sep- 19	19- Sep- 19	20- Sep- 19	24- Sep- 19	12- Okt- 19	23- Okt- 19	29- Nov- 19	24- Des- 19
Item/ waktu		16.00	22.00	00.00	08.00	18.00	10.00	10.00	12.00	14.00	10.00
% GOV	%	36,2 9	36,1 7	38,7 2	37,1 5	35,4 4	35,1	36,4	33,6 2	37,8 5	37,3 4
Mainsteam	°C	531	534	534	526	537	537	540	532	543	536
	Mpa	15,8 7	16,1 8	16,6 4	16,9 9	16,7 3	16,5 1	16,5	17,5	15,9 8	16,6 8
	T/H	948	979	980	941	953	951	920	104 4	809	857
Hot Reheat	°C	539	535	535	526	532	537	540	535	547	530
	Mpa	3,24	3,33	3,24	3,33	3,34	3,23	3,25	3,3	3,23	3,35
Final Feed Water (Inlet EC)	°C	268	270	269	267	269	269	269	268	273	274
	Mpa	17,65	18	18,2	18,5	18,5	18,3	18,2	19,2	17,6	18,2 9
	T/H	926	922	911	909	915	923	908	940	880	945
Cold Reheat Steam	°C	296	303	297	290	303	295	304	296	309	295
	Mpa	3,5	3,64	3,53	3,64	3,63	3,52	3,54	3,62	3,58	3,62
Generator Output Power	MW	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
Spray SH Flow	T/H	0	9	8	5	1	0	5	0	45	38
Spray SH Temp	°C	174	172	171	171	172	173	173	170	172	172
RH Spray Flow	T/H	38	48	48	50	50	46	50	50	50	50
SprayWater RH Temp	°C	172	170	170	170	171	171	172	169	171	171



## 4.2 Nilai Entalpi

Nilai Entalpi dari fluida kerja didapat dengan dua cara. Pertama data diekstrak di excel dan nilai akan secara otomatis muncul dengan menggunakan aplikasi Xsteam versi 2.6. Kedua, jika nilai tidak muncul maka nilai entalpi didapat menggunakan aplikasi Steam Tab yang telah memiliki standar formula dari Internasional Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS-95). Untuk uap kering (*superheated*) seperti *main steam* dan *hot reheat steam*, dan cair bertekanan (*Feed Water*) maka menggunakan data temperatur dan tekanan. Sedangkan untuk cair jenuh seperti *spray* menggunakan data temperatur.

Pada Tabel 4.2 terdapat kandungan entalpi dari fluida kerja meliputi HHP, HCRH, HIP, dan HFFW.

Tabel 4.2 Tabel *Steam Properties*

NAMA	SA TU AN	01- Agu- 19	12- Agu-19	04- Sep- 19	19- Sep- 19	20- Sep- 19	24- Sep- 19	12- Okt- 19	23- Okt- 19	29- Nov- 19	24- Des- 19
		16.00	22.00	00.00	08.0 0	18.00	10.00	10.00	12.00	14.00	10.00
HHP	kJ/kg	3.541	3.547,35	3.546,92	3528,94	3.553,45	3.553,66	3.560,30	3.541,68	3.567,40	3.551,29
HIP	kJ/kg	3.542,9	3.536,61	3.561,75	3542,21	3.555,17	3.566,10	3.572,58	3.561,70	3.587,89	3.550,83
HFFW	kJ/kg	1.172,49	1.182,23	1.177,32	1.167,5 0	1.177,28	1.177,31	1.177,32	1.172,35	1.197,05	1.201,87
HCRH	kJ/kg	3.060,36	3.074,33	3.062,33	3.047,7 5	3.074,36	3.058,27	3.076,50	3.060,06	3.086,76	3.058,02

Keterangan :

HHP : Enthalpi *Inlet* HP Turbin

HCRH : Enthalpi *Outlet* HP Turbin

HIP : Enthalpi *Inlet* IP Turbin

HFFW : Enthalpi *Final Feed Water*

### 4.3 Perhitungan Laju Aliran Fluida Kerja

Berikut ini merupakan perhitungan jumlah aliran massa fluida kerja dalam kilogram setiap jam pada data pertama, 01 agustus 2019, pukul 16.00:

#### a. *Main steam flow (MSF)*

$$\begin{aligned} \text{MSF} &= \text{Main Steam} + \text{FSMS} \\ \text{MSF} &= 948 \text{ T/h} + 0 \text{ T/h} \\ \text{MSF} &= 948.000 \text{ kg/h} + 0 \text{ kg/h} \\ \text{MSF} &= 948.000 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

#### b. *Reheat Steam flow (RSF)*

$$\begin{aligned} \text{RSF} &= \text{MSF} + \text{FSRH} \\ \text{RSF} &= 948.000 \text{ kg/h} + 38.000 \text{ kg/h} \\ \text{RSF} &= 986.000 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Keterangan :

FSMS : Flow Spray Main Steam  
 FSRH : Flow Spray Reheat  
 MSF : Main Steam Flow  
 RSF : Reheat Steam Flow

### 4.4 Perhitungan Panas Masuk Turbin ( $Q_{in}$ )

#### a. *Panas Masuk HP Turbine*

$$\begin{aligned} \text{QHPT} &= \text{MSF} \times \text{HHP} \\ \text{QHPT} &= 948.000 \text{ kg/h} \times 3541 \text{ kJ/kg} \\ \text{QHPT} &= 3.356.868.000 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

#### b. *Panas Masuk IP Turbine*

$$\begin{aligned} \text{QIPT} &= \text{RSF} \times \text{HIP} \\ \text{QIPT} &= 986.000 \text{ kg/h} \times 3542.9 \text{ kJ/kg} \\ \text{QIPT} &= 3.493.299.400 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

## c. Panas Masuk Total

$$Q_{in} \text{ Total} = Q_{HPT} + Q_{IPT}$$

$$Q_{in} \text{ Total} = 3.356.868.000 \text{ kJ/h} + 3.493.299.400 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{in} \text{ Total} = 6.850.167.400 \text{ kJ/h}$$

Selanjutnya kalor masuk dari 1 Agustus 2019 hingga 24 Desember 2019 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 : Tabel Kalor Masuk Turbin

295 MW		01-Agu-19	12-Agu-19	04-Sep-19	19-Sep-19	20-Sep-19	24-Sep-19	12-Okt-19	23-Okt-19	29-Nov-19	24-Des-19
Item/waktu	Satuan	16.00	22.00	00.00	08.00	18.00	10.00	10.00	12.00	14.00	10.00
% GOV	%	36,29	36,17	38,72	37,15	35,44	35,1	36,4	33,62	37,85	37,34
MSF	kg/h	9,48E+05	9,88E+05	9,88E+05	9,46E+05	9,54E+05	9,51E+05	9,25E+05	1,04E+06	8,54E+05	8,95E+05
RSF	kg/h	9,86E+05	1,04E+06	1,04E+06	9,96E+05	1,00E+06	9,97E+05	9,75E+05	1,09E+06	9,04E+05	9,45E+05
HHP	kJ/kg	3,54E+03	3,55E+03	3,55E+03	3,53E+03	3,55E+03	3,55E+03	3,56E+03	3,54E+03	3,57E+03	3,55E+03
HIP	kJ/kg	3,54E+03	3,54E+03	3,56E+03	3,54E+03	3,56E+03	3,57E+03	3,57E+03	3,56E+03	3,59E+03	3,55E+03
QHPT	kJ/h	3,36E+09	3,50E+09	3,50E+09	3,34E+09	3,39E+09	3,38E+09	3,29E+09	3,70E+09	3,05E+09	3,18E+09
QIPT	kJ/h	3,49E+09	3,66E+09	3,69E+09	3,53E+09	3,57E+09	3,56E+09	3,48E+09	3,90E+09	3,24E+09	3,36E+09
<b>Qin Total</b>	<b>kJ/h</b>	<b>6,85E+09</b>	<b>7,17E+09</b>	<b>7,19E+09</b>	<b>6,87E+09</b>	<b>6,96E+09</b>	<b>6,93E+09</b>	<b>6,78E+09</b>	<b>7,59E+09</b>	<b>6,29E+09</b>	<b>6,53E+09</b>

## Keterangan

MSF	: <i>Main Steam Flow</i>
RSF	: <i>Reheat Steam Flow</i>
HHP	: Enthalpi Uap Masuk HP Turbin
HIP	: Enthalpi Uap Masuk IP turbin
$Q_{HPT}$	: Kerja HP Turbin
$Q_{IPT}$	: Kerja IP Turbin

**4.5 Perhitungan Panas Keluar Turbin ( $Q_{out}$ )**a. Panas *Final Feed Water*

$$Q_{FFW} = FFWF \times H_{FFW}$$

$$Q_{FFW} = 926.000,00 \text{ kg/h} \times 1.172,49 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{FFW} = 1.085.725.740,00 \text{ kJ/h}$$

b. Panas keluaran HP *Turbine*

$$Q_{CRH} = RSF \times H_{CRH}$$

$$Q_{CRH} = 986.000 \text{ kg/h} \times 3.060,36 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{CRH} = 3.017.514.960,00 \text{ kJ/h}$$

c. Panas Aliran *Spray Main Steam*

$$Q_{FSMS} = FSMS \times H_{SSH}$$

$$Q_{FSMS} = 0 \times 736,62 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{FSMS} = 0 \text{ kJ/h}$$

d. Kalor Aliran *Spray Reheat*

$$Q_{FSRH} = FSRH \times H_{SRH}$$

$$Q_{FSRH} = 38.000 \text{ kg/h} \times 727,97 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{FSRH} = 27.662.860 \text{ kJ/h}$$

e. Kerja Total Keluar Turbin ( $Q_{out}$ )

$$Q_{out} = Q_{FFW} + Q_{CRH} + Q_{FSMS} + Q_{FSRH}$$

$$Q_{out} = 1.085.725.740,00 + 3.017.514.960,00 + 0 + 27.662.860$$

$$Q_{out} = 4.130.903.560,00 \text{ kJ/h}$$

Selanjutnya data  $Q_{out}$  hingga 24 Desember 2019 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 : Tabel Kalor Keluar Turbin

N A M A	SATUAN	01- Agu- 19	12- Agu- 19	04- Sep- 19	19- Sep- 19	20- Sep- 19	24- Sep- 19	12- Okt- 19	23- Okt- 19	29- Nov- 19	24- Des- 19
		16.00	22.00	00.00	08.00	18.00	10.00	10.00	12.00	14.00	10.00
M S F	kg/h	9,48E+05	9,88E+05	9,88E+05	9,46E+05	9,54E+05	9,51E+05	9,25E+05	1,04E+06	8,54E+05	8,95E+05
F F W F	kg/h	9,26E+05	9,22E+05	9,11E+05	9,09E+05	9,15E+05	9,23E+05	9,08E+05	9,40E+05	8,80E+05	9,45E+05
H F F W	kJ/kg	1,17E+03	1,18E+03	1,18E+03	1,17E+03	1,18E+03	1,18E+03	1,18E+03	1,17E+03	1,20E+03	1,20E+03
H C R H	kJ/kg	3,06E+03	3,07E+03	3,06E+03	3,05E+03	3,07E+03	3,06E+03	3,08E+03	3,06E+03	3,09E+03	3,06E+03
F S M S	kg/h	0,00E+00	9,00E+03	8,00E+03	5,00E+03	1,00E+03	0,00E+00	5,00E+03	0,00E+00	4,50E+04	3,80E+04
F S R H	kg/h	3,80E+04	4,80E+04	4,80E+04	5,00E+04	5,00E+04	4,60E+04	5,00E+04	5,00E+04	5,00E+04	5,00E+04
H S S H	kJ/kg	7,37E+02	7,28E+02	7,24E+02	7,24E+02	7,28E+02	7,32E+02	7,32E+02	7,19E+02	7,28E+02	7,28E+02
H S R H	kJ/kg	7,28E+02	7,19E+02	7,19E+02	7,19E+02	7,24E+02	7,24E+02	7,28E+02	7,15E+02	7,24E+02	7,24E+02
Q F F W	kJ/h	1,09E+09	1,09E+09	1,07E+09	1,06E+09	1,08E+09	1,09E+09	1,07E+09	1,10E+09	1,05E+09	1,14E+09
Q C R H	kJ/h	3,02E+09	3,19E+09	3,17E+09	3,04E+09	3,09E+09	3,05E+09	3,00E+09	3,35E+09	2,79E+09	2,89E+09
Q F S M S	kJ/h	0,00E+00	6,55E+06	5,79E+06	3,62E+06	7,28E+05	0,00E+00	3,66E+06	0,00E+00	3,28E+07	2,77E+07
Q F S R H	kJ/h	2,77E+07	3,45E+07	3,45E+07	3,60E+07	3,62E+07	3,33E+07	3,64E+07	3,57E+07	3,62E+07	3,62E+07
Q o u t	kJ/h	4,13E+09	4,32E+09	4,29E+09	4,14E+09	4,20E+09	4,17E+09	4,11E+09	4,49E+09	3,91E+09	4,09E+09

## Keterangan

MSF	: <i>Main Steam Flow</i>
FFWF	: <i>Final Feed Water Flow</i>
HFFW	: <i>Enthalpi Final Feed Water</i>
HCRH	: <i>Enthalpi Cold Reheat</i>
HSSH	: <i>Entalphi Spray superheat</i>
HSRH	: <i>Entalphi Spray Reheat</i>
FSMS	: <i>Flow Spray Mainsteam</i>
FSRH	: <i>Flow Spray Reheat</i>
QFFW	: <i>Panas Final Feed Water</i>
QCRH	: <i>Panas Keluaran HP turbin</i>
QFSMS	: <i>Laju Aliran Uap Spray mainsteam</i>
QFSRH	: <i>Laju Aliran Uap Spray Reheat</i>

#### 4.6 Kerja Total Turbin

Kerja total turbin yaitu daya yang diserap oleh turbin, diperoleh dari pengurangan total kalor masuk turbin dikurangi total kalor keluar turbin.

$$\text{Kerja Total Turbin} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$\text{Kerja Total Turbin} = 6.850.167.400 \text{ kJ/h} - 4.130.903.560 \text{ kJ/h}$$

$$\text{Kerja Total Turbin} = 2.719.263.840,00 \text{ kJ/h}$$

Tabel 4.5 Tabel Kerja Total Turbin

295 MW		01- Agu- 19	12- Agu- 19	04- Sep- 19	19- Sep- 19	20- Sep- 19	24- Sep- 19	12- Okt- 19	23- Okt- 19	29- Nov- 19	24- Des- 19
Item/ wakt u	Sat ua n	16.00	22.00	00.00	08.00	18.00	10.00	10.00	12.00	14.00	10.00
<b>Qin Total</b>	<b>kJ/ h</b>	6,85E+09	7,17E+09	7,19E+09	6,87E+09	6,96E+09	6,93E+09	6,78E+09	7,59E+09	6,29E+09	6,53E+09
<b>Qout Total</b>	<b>kJ/ h</b>	4,13E+09	4,32E+09	4,29E+09	4,14E+09	4,20E+09	4,17E+09	4,11E+09	4,49E+09	3,91E+09	4,09E+09
<b>Q t</b>	<b>kJ /h</b>	2,72E+09	2,85E+09	2,91E+09	2,73E+09	2,76E+09	2,77E+09	2,67E+09	3,11E+09	2,38E+09	2,44E+09

#### 4.7 Perhitungan Efisiensi Turbin Generator

Perhitungan Efisiensi diperoleh dari perbandingan daya total yang diserap oleh turbin dan daya keluaran generator.

- Daya generator : 295 MW
- Perhitungan daya turbin :

$$\begin{aligned} Q_{\text{turbin}} \text{ (MW)} &= \frac{Q_{\text{turbin}} \text{ kJ/h}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kJ}}{\text{MJ}}} \\ &= \frac{2.719.263.840 \text{ kJ/h}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{kJ}}{\text{MJ}}} \\ &= 755,35 \text{ MW} \end{aligned}$$

- Efisiensi :

$$\eta = \frac{\text{Daya Generator}}{Q \text{ Turbin}} \times 100\%$$

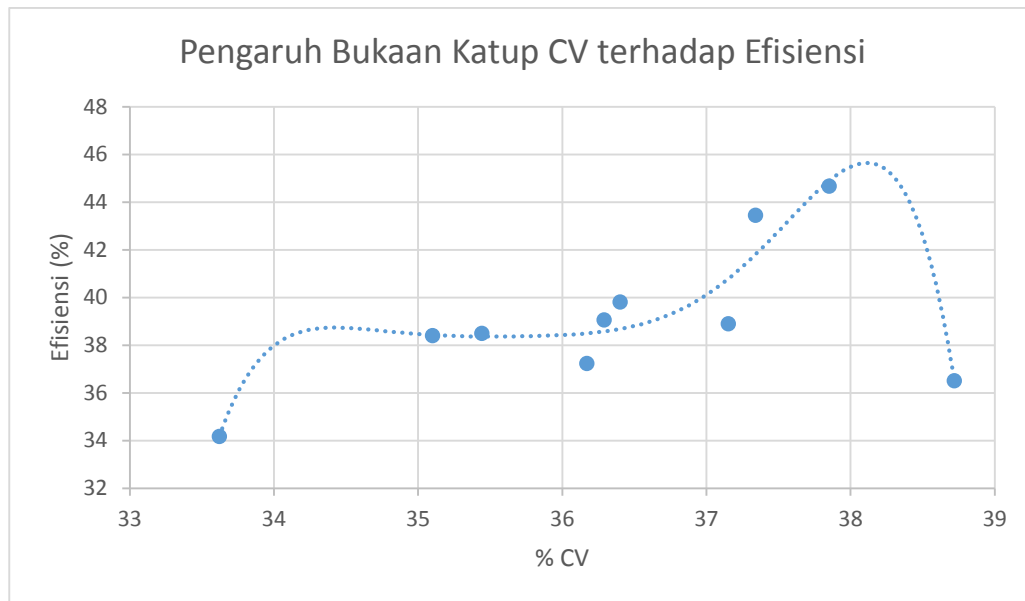
$$\eta = \frac{295 \text{ MW}}{755,35 \text{ MW}} \times 100\% = 39,05 \%$$

Tabel 4.6 Daya keluaran generator dan efisiensi Turbin Generator

Item/waktu	Satuan	01-Agu-19	12-Agu-19	04-Sep-19	19-Sep-19	20-Sep-19	24-Sep-19	12-Okt-19	23-Okt-19	29-Nov-19	24-Des-19
Gov	%	36,29	36,17	38,72	37,15	35,44	35,10	36,40	33,62	37,85	37,34
Q turbin	kJ/h	2,72E+09	2,85E+09	2,91E+09	2,73E+09	2,76E+09	2,77E+09	2,67E+09	3,11E+09	2,38E+09	2,44E+09
Q turbin	MW	755,35	792,39	808,03	758,34	766,28	768,30	741,08	863,49	660,34	679,03
Generator Power	MW	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
Efisiensi	%	39,05	37,23	36,51	38,90	38,50	38,40	39,81	34,16	44,67	43,44

#### 4.8 Grafik Efisiensi terhadap Pembukaan Katub Governor

Berikut ini merupakan grafik perubahan efisiensi terhadap bukaan katup *governor* (*control valve*).



Gambar 4.1 : Grafik Perbandingan Efisiensi Dengan Pembukaan Katup Governor

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa efisiensi naik seiring kenaikan pembukaan katup governor hingga efisiensi mencapai titik maksimum pada bukaan katup 37,85 % sebesar 44,67% . Setelah itu efisiensi menurun pada bukaan katup 38,72 % menjadi 36,50 % . Maka pada beban generator sebesar 295 MW bukaan katup dengan efisiensi turbin generator paling optimal sebesar 37,85 %.

Berdasarkan grafik pengaruh bukaan katup terhadap efisiensi generator, terlihat bahwa efisiensi mengalami penurunan setelah mencapai titik maksimum. Hal tersebut dikarenakan untuk daya 295 MW pada bukaan katup 38,72%, daya total turbin mengalami peningkatan menjadi 2.908.909.075,28 kJ/h dari sebelumnya 2.377.238.970 kJ/h. Sehingga terdapat lebih banyak kalor yang terbuang daripada daya yang dikonversi oleh turbin uap menjadi daya generator. Hal ini menjadi tidak akan efisien walaupun aliran uap dan kalor Turbin Uap bertambah banyak.



#### 4.9 Penghematan Operasional

Pengelolaan bukaan katup yang efisien akan mempengaruhi penghematan panas yang diserap oleh turbin uap, sehingga berdampak pada pengurangan bahan bakar yang diperlukan oleh ketel uap (*boiler*). Untuk mengetahui nilai penghematan yang dihasilkan, dilakukan perhitungan dengan membandingkan nilai efisiensi rata-rata dengan efisiensi maksimum. Perhitungan dilakukan dengan mengasumsikan nilai efisiensi boiler tetap sesuai dengan spesifikasi manual dan batubara yang digunakan sama.

- Pada sertifikat sampel batu bara yang terdapat di Lampiran 5, terdapat parameter batubara yang digunakan pada PLTU. Analisis *proximate* menggunakan standar ASTM D5865 dihasilkan nilai kalori pada kondisi *As Received basic* sebesar 4619 kcal/kg atau sebesar 19.325,89 kJ/kg.
- Nilai Rata-rata panas total masuk turbin yaitu sebesar 6.916.845.365 kJ/h. Nilai panas masuk pada efisiensi 44,67 % sebesar 6.290.012.160 kJ/h  
Selisih kalor masuk = 6.916.845.365 kJ/h – 6.290.012.160 kJ/h  
= 626.833.205 kJ/h
- Nilai efisiensi boiler diasumsikan tetap sesuai dengan spesifikasi manual pada Lampiran 6 yaitu 93,71%. Maka :

$$\eta \text{ Boiler} = \frac{\text{Kalor Input Turbin}}{\text{Panas Batu bara}} \times 100\%$$

$$93,71\% = \frac{626.833.205 \text{ kJ/h}}{\text{Panas Batubara}} \times 100\%$$

$$\text{Panas batu bara} = 668.907.485,86 \text{ kJ/h}$$

$$\text{Total Penghematan Batu bara} = \frac{\text{Panas batubara} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{h}}\right)}{\text{Nilai Kalori batubara} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Total Penghematan Batu bara} &= \frac{668.907.485,86}{19.325,89} \times 100\% \\ &= 34.612,14 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Total penghematan batubara pada kondisi pengoperasian paling efisien dibandingkan dengan pengoperasian rata-rata yaitu sebesar 34.612,14 kg tiap jam. Nilai dari HBA (Harga Acuan Batu bara) per Januari 2020 berdasarkan data dari kementerian ESDM (NOMOR: 027.Pers/04/SJI/2020) yaitu sebesar US\$ 65,93 per ton. Sehingga asumsi penghematan *cost* yang dilakukan pada pengoperasian yang efisien dibandingkan dengan pengoperasian rata-rata yaitu sebesar US\$ 2.281,96 per jam.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan perhitungan dan analisis kalor pada turbin uap dan daya generator PLTU maka dapat disimpulkan bahwa efisiensi naik seiring kenaikan pembukaan katup governor hingga efisiensi mencapai titik maksimum pada bukaan katup 37,85 % sebesar 44,67% . Pada bukaan katup 38,72 % menjadi 36,50 % . Pada beban generator sebesar 295 MW dengan variasi bukaan katup antara 33.62 % hingga 38,72 %, efisiensi turbin generator paling tinggi sebesar 37,85 % . Setelah Turbin Generator mencapai efisiensi maksimum pada bukaan katup 37,85% sebesar 44,47%, efisiensi mengalami penurunan pada bukaan katup 38,72% menjadi sebesar 36,50%. Pada pengoperasian yang paling efisien jika dibandingkan dengan pengoperasian rata-rata, diperoleh asumsi penghematan penggunaan batubara sebesar 34.612,14 kg/h atau sebesar US\$ 2.281,96 setiap jam.

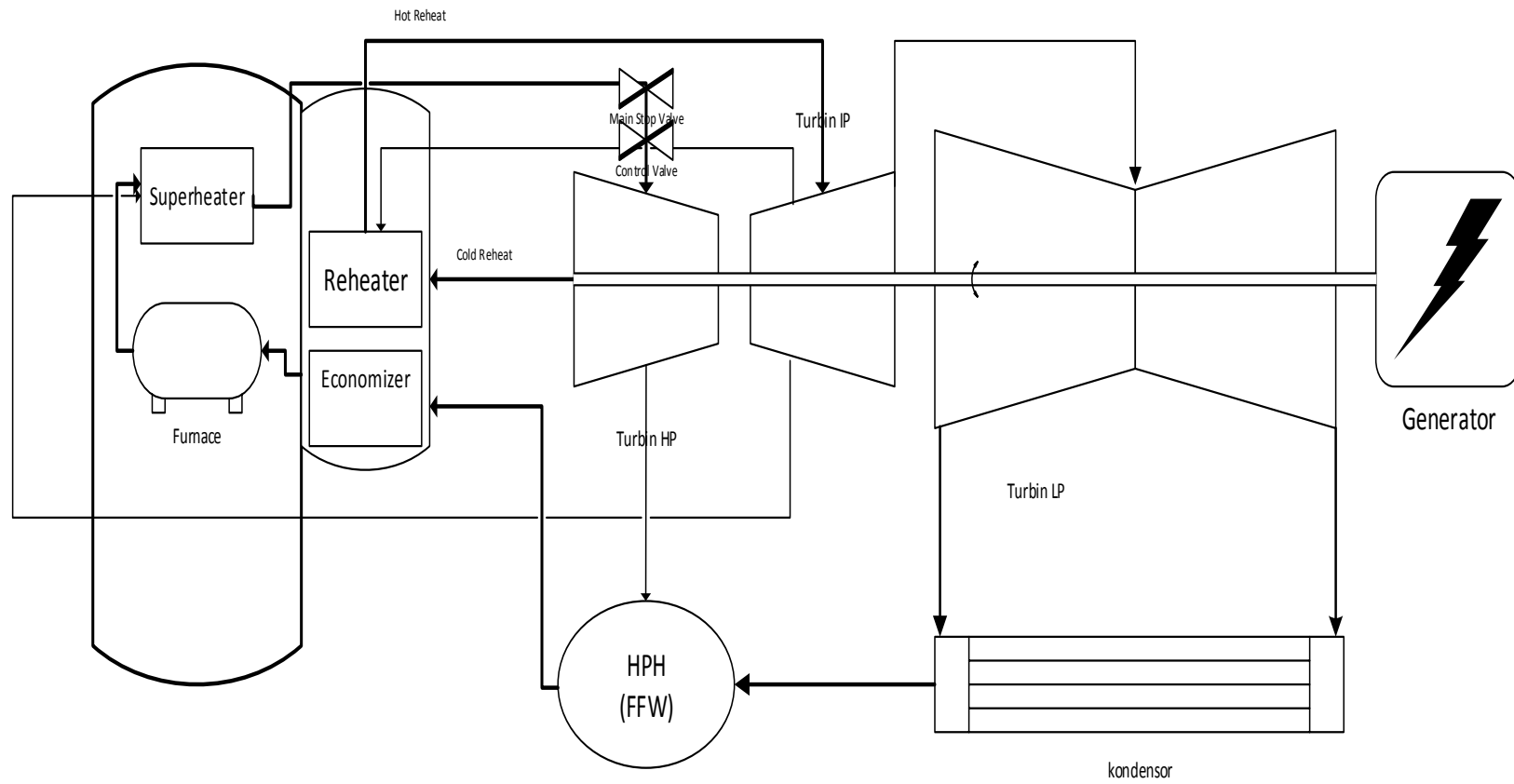
#### **5.2 Saran**

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah didapat, adapun saran penelitian yang dapat dilakukan yaitu dengan memperhatikan pengaruh spesifikasi batubara yang memiliki spesifikasi yang sama.

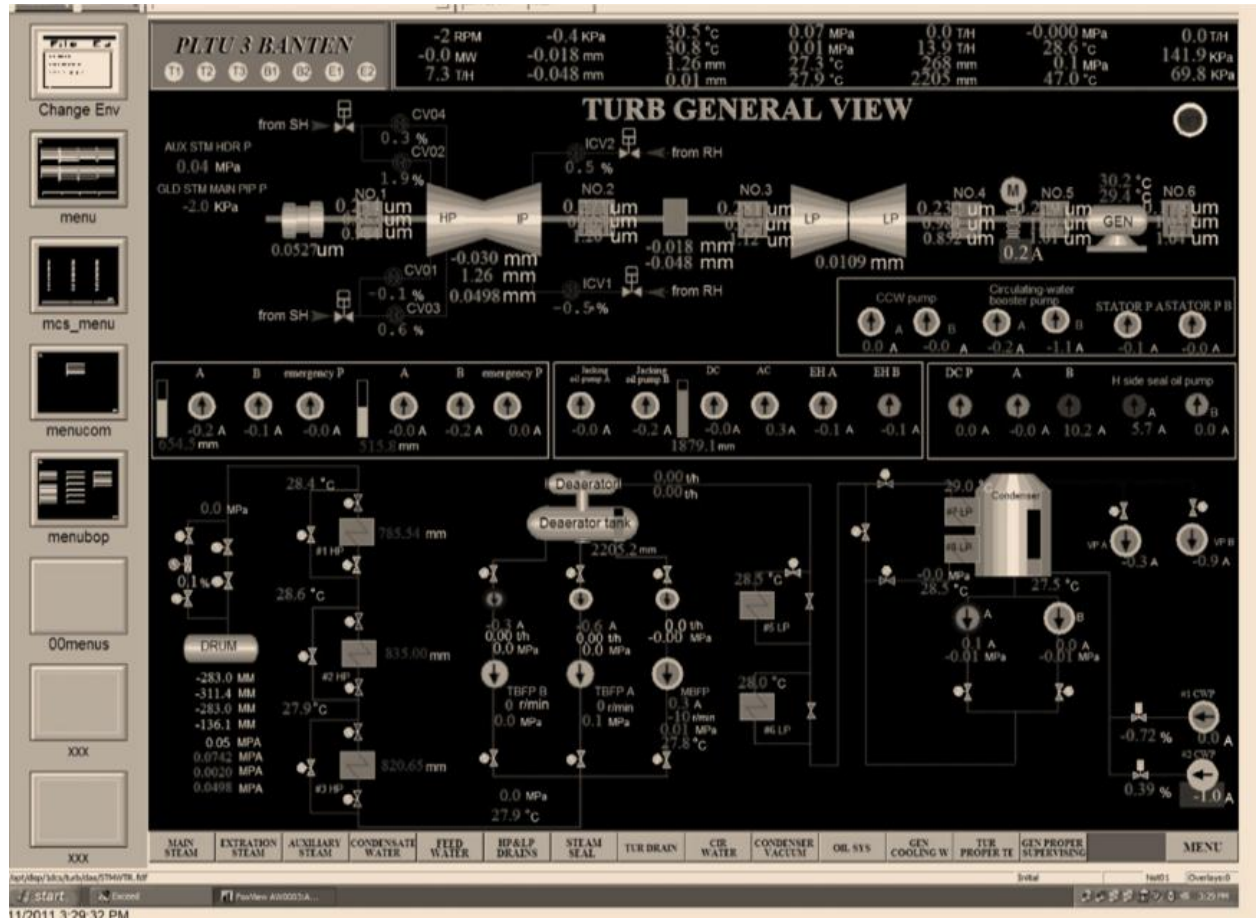
## DAFTAR PUSTAKA

- Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. 2004. *Termodinamika Teknik Jilid II*. Jakarta : Erlangga
- Endah Agustina, S. (2012). Analisis Efisiensi Energi pada PLTU PT Alamraya Semestesta. Institut Pertanian Bogor.
- Unit Pendidikan Dan Pelatihan Suralaya. 2013. Modul 1 Pelatihan Pengenalan PLTU. Suralaya: PLN.
- Cahyadi, D. (2015). *Analisa Perhitungan Efisiensi turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang. October.*
- Kurniawan, Iwan. (2016). Analisis Perhitungan Daya Turbin Yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap Pada Unit 1 Dan Unit 2 Di Pt. Indonesia Power Uboh Ujp Banten Lontar. *Jurnal Teknik UMT*, 1, 1-8.
- Effendi, Muhammad. (2018). Analisa Pengaruh Load Capacity Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar 350 Mw Terhadap Efisiensi Turbin Generator Qfsn-350-2 Unit 1. *Jurnal Teknik Universitas Negeri Surabaya*, 7, 43-49.
- Santoso, Habibi. (2018). Optimalisasi Untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW. *Jurnal Teknik Universitas Indraprasta PGRI*, 2, 181-189.
- Siswanto, Joko. 2019. *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta : Sekretarian Jendral Dewan Energi Nasional
- Steam Turbine Generator Manual Book PT. Indonesia Power UJP Banten 3 Lontar.
- Kementrian ESDM. (2020). Siaran PERS : HBA Januari 2020 Turun ke USD65,93 per Ton, Siaran PERS NO 027.Pers/04/SJI/2020.

**LAMPIRAN**  
**Lampiran 1: Skematik Turbin Uap**



## Lampiran 2: Turbin Uap General View



## Lampiran 3: Data Steam Properties and Power Gen.

295 MW			01- Ag u- 19	19- Sep -19	24- Sep -19	12- Okt -19	29- No v- 19	24- Des -19	04- Sep -19	07- Sep -19	20- Sep -19	23- Okt -19	12- Ag u- 19
Item/waktu	Sa tu an	8: 0 0	16. 00	08. 00	10. 00	10. 00	14. 00	10. 00	00. 00	06. 00	18. 00	12. 00	22. 00
% GOV	%	2 8	36, 29	37, 15	35, 1	36, 4	37, 85	37, 34	38, 72	34, 47	35, 44	33, 62	36, 17
Mainsteam	°C	5 3 8	531	526	537	540	543	536	534	540	537	532	534
	MPa	1 6, 7	15, 87	16, 99	16, 51	16, 5	15, 98	16, 68	16, 64	16, 11	16, 73	17, 5	16, 18
	T/ H	9 4 0	948	941	951	920	809	857	980	879	953	104 4	979
Hot Reheat	°C	5 3 5	539	526	537	540	547	530	535	542	532	535	535

	M pa	3, 5	3,2 4	3,3 3	3,2 3	3,2 5	3,2 3	3,3 5	3,2 4	3,1 9	3,3 4	3,3	3,3 3
<i>Final Feed Water (Inlet EC)</i>	°C	2 7 1	268	267	269	269	273	274	269	268	269	268	270
	M pa	1 8, 3	17, 65	18, 5	18, 3	18, 2	17, 6	18, 29	18, 2	17, 75	18, 5	19, 2	18
	T/ H	9 1 7	926	909	923	908	880	945	911	882	915	940	922
<i>Cold Reheat Steam</i>	°C	3 0 8	296	290	295	304	309	295	297	303	303	296	303
	M pa	3, 7 7	3,5	3,6 4	3,5 2	3,5 4	3,5 8	3,6 2	3,5 3	3,4 8	3,6 3	3,6 2	3,6 4
<i>Generator Output Power</i>	M W	2 9 9	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
<i>UAT Power</i>	M W	1 4	13, 8	14, 3	14, 7	18, 1	15, 6	15, 9	15, 1	15	14	13, 4	16, 4
<i>Exsitasi power</i>	M W	0. 6											
<i>Generator net Output Power</i>	M W	2 8 4, 4	281 ,2	280 ,7	280 ,3	276 ,9	279 ,4	279 ,1	279 ,9	280	281	281 ,6	278 ,6
<i>Spray SH Flow</i>	T/ H	0	0	5	0	5	45	38	8	0	1	0	9
<i>Spray Water SH Temp</i>	°C	1 7 7	174	171	173	173	172	172	171	172	172	170	172
<i>Spray Water SH pressure (FF)</i>	M pa	1 8, 7	17, 65	18, 5	18, 3	18, 2	17, 6	18, 29	18, 2	17, 75	18, 5	19, 2	18
<i>RH Spray Flow</i>	T/ H	2 5	38	50	46	50	50	50	48	38	50	50	48
<i>SprayWater RH Pressure</i>	M pa	9, 3											
<i>SprayWater RH Temp</i>	°C	1 7 6	172	170	171	172	171	171	170	171	171	169	170

## Lampiran 4: Spesifikasi manual Steam Turbine

### 1.1.1 Steam Turbine Specification

Model	N315-16.7/538/538-8 (HP & IP combined casing)
Manufacturer	Dongfang Turbine Co., Ltd
Type	Subcritical, single reheating, condensing turbine with two casings and double exhaust-hoods
Rated output	315 MW
Initial steam pressure	16.7 MPa
Initial steam temperature	538 °C
Reheated steam pressure	3.379 MPa
Reheated steam temperature	538 °C
Exhaust pressure (absolute pressure)	8.7 KPa
Direction of rotor rotation	Clockwise, when looking from steam turbines to generators
Steam distribution method	Throttle governing, nozzle governing
Governing system	DEH

### 1.1.2 Main design Parameters of steam turbines

No.	Item	Unit	Design Parameter
1	Rated output	MW	315
2	Continuous maximum rating	MW	313.4
3	VWO	MW	328.79
4	Output with all HP heaters cut off	MW	315
5	Rated speed:	r/min	3000
6	Steam pressure upstream of HP casing MSV	MPa	16.7
7	Steam temperature upstream of HP casing MSV	°C	538
8	Steam pressure upstream of combined reheat valves	MPa	3.379
9	Steam temperature upstream of combined reheat valves	°C	538
10	IP casing exhaust pressure.	MPa	0.789
11	IP exhaust pressure (absolute pressure)	KPa	8.7
12	Circulating water temperature	°C	22
13	Rated feedwater temperature	°C	277.5
14	Rated main steam flow	t/h	976
15	Max. main steam flow under VWO condition	t/h	1025
16	Guaranteed heat rate	kJ/kWh	8009
17	Guaranteed steam consumption	kg/kWh	3.091
18	The following conditions must be met when the unit reaches the rated output:		
	Main steam pressure	MPa	16.7±0.49
	Main steam and reheated steam temperature	°C	538±5
	Reheated steam pressure	MPa	3.379
	Circulating cooling water temperature	°C	<33
19	HP and LP heaters		put into operation
Unit loading-up (down) rate			

## Lampiran 5: Sertifikat Analisis Sampel Batubara

**CERTIFICATE  
OF SAMPLING AND ANALYSIS**

**THIS IS TO CERTIFY :** that we have performed the inspection, sampling and analysis of the coal shipment nominated below.


Name of Vessel : TB. BOMAS GENIUS / BG. PULAU TIGA 3007  
 Cargo : 7.500.227 MT  
 Shipper : PT. BUKIT ASAM  
 Buyer : PT. INDONESIA POWER UJP BANTEN 3 LONTAR  
 Loading Port : BACT Tarahan - Lampung  
 Discharging Port : Jetty PLTU 3 Lontar - Banten  
 Sampling date : June 12, 2019 up to June 12, 2019

**SAMPLING** : Samples were taken and collected in accordance with ASTM-D6883-12 and ASTM D2013/ D2013M-13 and prepared of samples in accordance with ASTM-D2234/ D2234M-16.

**ANALYSIS** : Samples were analyzed in accordance with ASTM standard methods.

The results are as follows :

Parameters	Unit	As	Air	Dry	Dry	Standard Methods
		Received Basis	Dried Basis	Dry Basis	Ash Free	
<b>Proximate Analysis,</b>						
Total Moisture		31.86	-	-	-	ASTM D3302/D3302M-2017
Moisture in The Analysis Sample	%	-	15.23	-	-	ASTM D3173-2017
Ash Content	%	5.42	6.74	7.95	-	ASTM D3174-2012
Volatile Matter	%	30.47	37.91	44.72	48.58	ASTM D3175-2017
Fixed Carbon by difference	%	32.25	40.12	47.33	51.42	ASTM D3172-2013
Total Sulphur	%	0.35	0.43	0.51	0.55	ASTM D4239-2017
Gross Calorific Value	Kcal/kg	4619	5746	6778	7364	ASTM D5865-2013
<b>Ultimate Analysis,</b>						
Carbon	%	47.47	59.06	69.67	75.69	ASTM D5373-2016
Hydrogen	%	3.60	4.48	5.28	5.74	ASTM D5373-2016
Nitrogen	%	0.59	0.73	0.86	0.94	ASTM D5373-2016
Total Sulphur	%	0.35	0.43	0.51	0.55	ASTM D4239-2017
Oxygen by difference	%	10.71	13.33	15.72	17.08	ASTM D3176-2015

Signed for and on behalf of:  
 PT. GEOSERVICES  
  
 PT. GEOSERVICES BANDUNG  
 Kamaludin Alamsyah  
 Coal Lab. Manager

Date : June 17, 2019

## Lampiran 6: Spesifikasi Performa Boiler

### 1.1 Boiler Nameplate

Boiler Model		DG1025/17.4- II 13		
Manufacturer		Dong Fang Boiler Group Co., Ltd.		
Superheated steam	Max. continuous evaporation	t/h	BMCR operating condition	BRL operating condition
	Rated evaporation	t/h	1025	976.2
	Outlet pressure	MPa	17.4	17.32
	Outlet temperature	°C	541	541
Reheated steam	Flow	t/h	839.4	802
	Inlet/outlet pressure	MPa	3.76/3.58	3.59/3.41
	Inlet/outlet temperature	°C	329/541	324/541
	Flue gas temperature (corrected)	°C	131	131
	Feedwater temperature	°C	281	278
	Drum pressure	MPa	18.77	18.58
Design efficiency	%		93.26	93.71
Manufacturing date				
Startup date				

Note: BRL operating condition corresponds to TRL operating condition of the steam turbine.