

**ANALISA PENGARUH BEBAN GENERATOR TERHADAP
UNJUK KERJA TURBIN UAP DI PLTU TENAYAN RAYA
PT. PLN WILAYAH RIAU DAN KEPRI**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH :

HABIBUL KHAIRI
12 331 0676

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2019

LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

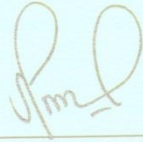
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
ANALISA PENGARUH BEBAN GENERATOR TERHADAP
UNJUK KERJA TURBIN UAP DI PLTU TENAYAN RAYA
PT. PLN WILAYAH RIAU DAN KEPRI

Disusun Oleh

HABIBUL KHAIRI
12.331.0676

Diperiksa dan Disetujui Oleh

Sehat Abdi Saragih ST., MT
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 16 April 2019

Eddy Elfiano , ST., M.Eng
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 24/04/2019

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH BEBAN GENERATOR TERHADAP
UNJUK KERJA TURBIN UAP DI PLTU TENAYAN RAYA
PT. PLN WILAYAH RIAU DAN KEPRI

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau*

Disusun Oleh :

HABIBUL KHAIRI
12.331.0676

Disetujui Oleh :

PEMBIMBING I

SEHAT ABDI SARAGIH, ST., MT

PEMBIMBING II

EDDY ELFIANO, ST., M.Eng

Disahkan Oleh :

DEKAN FAKULTAS TEKNIK



IR. H. ABIDUS SAMUD ZAINI, MT., MS., Tr

KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN

DODY YULIANTO, ST., MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA PERSONAL

Nama Lengkap : HABIBUL KHAIRI
NPM : 12.331.0676
Tempat Tanggal Lahir : Pekanbaru, 06 April 1993
Jenis Kelamin : Laki – Laki (LK)
Alamat : Jl. Gotong Royong VI , Rumbai, Pekanbaru



PENDIDIKAN

Sekolah Dasar : SD Negeri 012 Senapelan
Sekolah Menengah Pertama : SMP Negeri 2 Pekanbaru
Sekolah Menengah Atas : SMK Negeri 2 Pekanbaru
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Riau (Teknik Mesin S1)

TUGAS AKHIR

“ANALISA PENGARUH BEBAN GENERATOR TERHADAP UNJUK KERJA
TURBIN UAP DI PLTU TENAYAN RAYA PT.PLN WILAYAH RIAU DAN
KEPRI”

Tempat penelitian : PT. PLN TENAYAN RAYA
Tanggal Seminar : 06 April 2019
Tanggal Sidang : 15 April 2019

Pekanbaru, 18 April 2019

HABIBUL KHAIRI
NPM : 12.331.0676



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU

Agenda No. : 12/TA-M/T/2018
Diterima Tgl : 21 Maret 2018
Paraf :

UNIVERSITAS ISLAM RIAU
TUGAS AKHIR

NAMA : HABIBUL KHAIRI
NPM : 12 331 0676
JUDUL : Analisa Pengaruh Beban Generator Terhadap Unjuk Kerja Turbin Uap Di PLTU Tenayan Raya PT.PLN Wilayah Riau Dan Kepri

Spesifikasi Tugas :


1. Mendapatkan pengaruh beban generator terhadap unjuk kerja turbin uap di PLTU Tenayan Raya PT. PLN wilayah Riau dan Kepri
2. Mendapatkan pada beban generator berapakah didapat kerja turbin uap yang paling baik di PLTU Tenayan Raya PT. PLN wilayah Riau dan Kepri

Diberikan tanggal : 21 Maret 2018
Selesai tanggal : 15 April 2019

Diketahui oleh :
Kaprosdi Teknik Mesin


Dody Yulianto, ST., MT

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing I


Sehat Abdi Saragih, ST., MT

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul “Analisa Pengaruh Beban Generator Terhadap Unjuk Kerja Turbin Uap di PLTU Tenayan Raya PT. PLN Wilayah Riau Dan Kepri” yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah diduplikasikan dan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali pada bagian yang sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Pekanbaru 18 April 2019



NPM : 12.331.0676

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul ” **ANALISA PENGARUH BEBAN GENERATOR TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN UAP DI PLTU TENAYAN RAYA PT. PLN WILAYAH RIAU DAN KEPRI**”. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan skripsi ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berpikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Kedua Orangtua penulis, bapak Yulfeli Yarmen dan ibu Warnaniati yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik secara moril maupun materi. Serta seluruh keluarga terima kasih atas doa dan semangat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Ir. H. Abdul Kudus Zaini, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.

3. Bapak Dody Yulianto, ST., MT. selaku Kepala Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Dedikarni, ST., M.Sc. selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Bapak Sehat Abdi S, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Eddy Elfiano, ST., M.eng. selaku Dosen Pembimbing II dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2012, 2013 dan 2014 yang selalu membantu dan memberi semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan. Adanya saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini akan penulis terima dengan senang hati dan penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Pekanbaru, April 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI.....	ix
ABSTRAK.....	xi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Turbin Uap.....	5
2.2 Klasifikasi Turbin Uap	6
2.3 Komponen-komponen Utama Turbin Uap	9
2.4 Prinsip Kerja Turbin Uap	13
2.5 Tekanan Uap.....	14
2.6 Siklus Rankine.....	14

2.7 Generator	16
2.7.1 Beban Generator	16
2.8 Parameter <i>Performance</i> Turbin Uap.....	17
2.8.1 Daya Turbin	17
2.8.2 Torsi	18
2.8.3 Daya Poros Efektif	19
2.8.4 Panas yang Masuk.....	19
2.8.5 Panas yang Keluar	20
2.8.6 Kerja Turbin	21
2.8.7 Kerja Pompa	21
2.8.8 Kerja yang Berguna	22
2.8.9 Efisiensi Thermal	23
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.3 Alat dan Bahan	26
3.3.1 Alat yang Digunakan.....	26
3.3.2 Bahan yang Digunakan.....	29
3.4. Prosudur Penelitian	30
3.4.1 Persiapan Sebelum Start Up	30
3.4.2 Persiapan Menjalankan Turbin Uap	31
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengolahan data.....	33

4.2 Hubungan Beban Terhadap Kerja Turbin	42
4.3 Hubungan Beban Terhadap Panas Masuk	45
4.3 Hubungan Beban Terhadap Daya Turbin.....	46
4.4 Hubungan Beban Terhadap Torsi	48
4.6 Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Thermal	50

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Turbin Uap	5
Gambar 2.2. Casing.....	9
Gambar 2.3. Rotor.....	9
Gambar 2.4. <i>Bearing Housing</i>	10
Gambar 2.5. Bagian- bagian Bearing Housing	10
Gambar 2.6. Nozzel.....	11
Gambar 2.7. Bagian-bagian Gland Housing	12
Gambar 2.8. Moving Blade.....	12
Gambar 2.9. Skema Siklus Rankine Ideal Sederhana.....	15
Gambar 2.10. Diagram T-s Untuk Siklus Rankine Ideal Sederhana.....	15
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.2. Tempat penelitian.....	26
Gambar 3.3. <i>Pressure Gauge</i>	27
Gambar 3.4. <i>Turbine Control System</i>	28
Gambar 3.5. Termokopel	29
Gambar 3.6.. Termometer	29
Gambar 4.1. Skema Siklus Rankine Aktual.....	41
Gambar 4.2. Hubungan beban (MW) terhadap kerja turbin (kJ/kg)	44
Gambar 4.3. Hubungan beban (MW) terhadap panas masuk (kJ/kg)	46

Gambar 4.4. Hubungan beban (MW) terhadap Daya Turbin (kW) 48

Gambar 4.5. Hubungan beban (MW) terhadap Torsi (N.m)..... 50

Gambar 4.6. Hubungan beban (MW) terhadap efisiensi *thermal* (%) 52



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hubungan beban terhadap kerja turbin	43
Tabel 4.2. Hubungan beban terhadap panas yang masuk	45
Tabel 4.3. Hubungan beban terhadap daya turbin.....	47
Tabel 4.4. Hubungan beban terhadap Torsi	49
Tabel 4.5. Hubungan beban terhadap efisiensi thermal	51



DAFTAR NOTASI

<u>Simbol</u>	<u>Notasi</u>	<u>Satuan</u>
N_e	Daya efektif turbin uap	(kW)
N_T	Daya turbin uap	(kW)
\dot{m}_{uap}	Laju aliran massa uap	(kg/jam)
h_4	Entalpi uap masuk turbin	(kJ/kg)
h_5	Entalpi uap keluar turbin	(kJ/kg)
n	Putaran poros	(rpm)
T	Torsi	(Nm)
Q_{in}	Panas yang masuk	(kJ/kg)
h_2	Entalpi air umpan boiler	(kJ/kg)
Q_{out}	Panas yang keluar	(kJ/kg)
h_1	Entalpi air masuk pompa	(kJ/kg)

W_T	Kerja turbin uap	(kJ/kg)
W_P	Kerja pompa	(kJ/kg)
h_2	Entalpi air keluar pompa	(kJ/kg)
W_n	Kerja berguna	(kJ/kg)
η_{th}	Efisiensi thermal	(%)



ANALISA PENGARUH BEBAN GENERATOR TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN UAP DI PLTU TENAYAN RAYA PT. PLN WILAYAH RIAU DAN KEPRI

Habibul Khairi, Sehat Abdi S, Eddy Elfiano
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

Email : habibulkhairi0676@gmail.com

ABSTRAK

Listrik menjadi salah satu keperluan yang amat penting untuk masyarakat. Kebutuhan akan tenaga listrik tersebut akan terus bertambah seiring modernisasi ini, untuk mengatasi besarnya permintaan akan kebutuhan listrik. Maka pembuatan pembangkit listrik 35.000 Mega Watt (MW) dibangun oleh Presiden Joko Widodo saat tahun 2015, salah satunya PLTU di Tenayan Raya. Disini sering mengalami penambahan beban untuk mencukupi keperluan daya listrik yang bergonta-ganti tanpa dikira-kira. Beban PLTU yang sering berubah dapat mempengaruhi kinerja dari setiap bagian seperti boiler dan turbin uap. Dimana untuk mendapatkan pengaruh beban generator terhadap unjuk kerja turbin uap dan untuk mendapatkan unjuk kerja turbin uap yang paling baik. Maka perlu dianalisa dari nilai parameter unjuk kerja yang diperoleh. Perubahan beban terhadap unjuk kerja tersebut diperoleh beban tertinggi yaitu pada 110,5 MW, kerja turbin 2168,05 kJ/kg, daya turbin 110660,3 kW, torsi 353035 kJ/kg, nilai kerja pompa 88,41 kJ/kg, nilai panas masuk 2767,73 kJ/kg, panas keluar 2578,4 kJ/kg, kerja yang berguna 2079,64 kJ/kg, dan efisiensi thermal 75%. Beban pada generator mempengaruhi terhadap unjuk kerja sistem turbin uap. Dimana semakin besar beban maka unjuk kerja sistem turbin uap meningkat

Kata Kunci : Turbin uap, beban, unjuk kerja Turbin Uap.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF LOAD GENERATORS ON STEAM TURBIN WORK PLTU TENAYAN RAYA AT PT. PLN RIAU AND RIAU ISLANDS REGION

Habibul Khairi, Sehat Abdi S, Eddy Elfiano
Mechanical Engineering Study Program Faculty of Engineering Riau Islamic University
Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

Emai : habibulkhairi0676@gmail.com

ABSTRACT

Electricity is one of the most important needs for society. The need for electricity will continue to grow with this modernization, to overcome the large demand for electricity needs. So the construction of a 35,000 Mega Watt (MW) power plant was built by President Joko Widodo in 2015, one of them is the PLTU in Tenayan Raya. Here, we often experience additional burdens to meet the changing electrical power requirements without being estimated. The cost of a power plant that often changes can affect the performance of each part such as a boiler and steam turbine. Where to get the influence of the load generator on the performance of the steam turbine and to get the best performance of the steam turbine. Then it needs to be analyzed from the performance parameter values obtained. Changes in the load on the performance obtained the highest load, namely at 110.5 MW, turbine work 2168.05 kJ / kg, turbine power 110660.3 kW, torque 353035 kJ / kg, pump working value 88.41 kJ / kg, heat value enter 2767.73 kJ / kg, heat out 2578.4 kJ / kg, useful work 2079.64 kJ / kg, and thermal efficiency 75%. The load on the generator affects the performance of the steam turbine system. Where the greater the load, the performance of the steam turbine system increases.

Keywords: *Steam turbines, loads, performance of Steam Turbines.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era sekarang, listrik menjadi salah satu keperluan yang amat penting untuk masyarakat. Kebutuhan akan tenaga listrik tersebut akan terus bertambah seiring modernisasi ini, untuk mengatasi besarnya permintaan akan kebutuhan listrik. Maka pembuatan pembangkit listrik 35.000 Mega Watt (MW) dibangun oleh Presiden Joko Widodo saat tahun 2015 untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia (dikutip dari detik.com). Pembangunan pembangkit listrik terus dilakukan salah satunya pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Dimana di Pekanbaru terdapat salah satunya yaitu PLTU Tenayan Raya, Riau.

PLTU di Tenayan Raya sering mengalami penambahan beban, untuk mencukupi keperluan daya listrik yang bergonta-ganti tanpa dikira-kira tergantung pemakaian masyarakat. Beban PLTU yang sering berubah dapat mempengaruhi kinerja dari setiap bagian seperti boiler dan turbin uap. Saat menghadapi beban yang diberikan, maka secara otomatis penyuplaian bahan bakar, udara pembakaran dan gas buang ikut berubah. Karena diketahuinya efisiensi di setiap beban, dapat di ketahui grafik efisiensi di PLTU dan dapat pula diketahui pada beban berapakah efisiensi yang paling tinggi. PLTU Tenayan Raya sering mengalami kenaikan beban dikarenakan di Riau memiliki banyak pembangkit yang berbeda-beda untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Cara yang dipakai PLN mengatasinya adalah dengan

memaksimalkan pembangkit yang memiliki potensi yang mendapatkan beban puncak.

Semakin tinggi beban di generator dengan tekanan yang sama, maka efisiensi sudu turbin akan lebih baik. Pada saat tekanan naik dengan kenaikan beban generator, kerja yang dihasilkan turbin akan lebih besar (Dwi dan Ary Bachtiar, 2013). Efisiensi generator dipengaruhi oleh beban pemakaian konsumen dan peran operator dalam menangani proses saat terjadinya penurunan dan kenaikan beban konsumen maupun jika terjadi gangguan (Nurmalita, 2012)

Dengan adanya persoalan diatas maka harus dibuat analisa pengaruh beban generator terhadap unjuk kerja turbin uap di PLTU Tenayan Raya PT. PLN Wilayah Riau dan Kepri”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari tugas akhir adalah:

1. Bagaimana pengaruh beban generator terhadap unjuk kerja turbin uap.
2. Pada beban generator berapakah didapat kerja turbin uap yang paling baik.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mendapatkan pengaruh beban generator terhadap unjuk kerja turbin uap di PLTU Tenayan Raya PT. PLN wilayah Riau dan Kepri.
2. Untuk mendapatkan pada beban generator berapakah didapat kerja turbin uap yang paling baik di PLTU Tenayan Raya PT. PLN wilayah Riau dan Kepri.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari tugas akhir adalah:

1. Tipe turbin uap di PLTU Tenayan Raya adalah
 - a. Tipe : Dongfang
 - b. Daya terpasang : 110000 KW
 - c. Bahan bakar : Batu bara
 - d. Pabrikan : China
2. Analisa berdasarkan data di PLTU Tenayan Raya PT. PLN wilayah Riau dan Kepri
3. Analisa berdasarkan unjuk kerja terhadap beban PLTU.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang akan dilakukan pada tugas akhir Analisa pengaruh beban generator terhadap unjuk kerja turbin uap di PLTU Tenayan Raya PT. PLN Wilayah Riau dan Kepri yaitu:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian , batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori-teori turbin uap yang terpakai sebagai dasar untuk melakukan analisa.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisikan tentang tempat dan waktu penelitian , metode pengumpulan data, diagram alur penelitian dan teknis data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisikan tentang hasil dari pembahasan dan analisa data penelitian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari tugas akhir penulis dapat, berdasarkan penelitian analisa pegasaruh beban generator terhadap unjuk kerja turbin uap di PLTU Tenayan Raya PT. PLN wilayah Riau dan Kepri

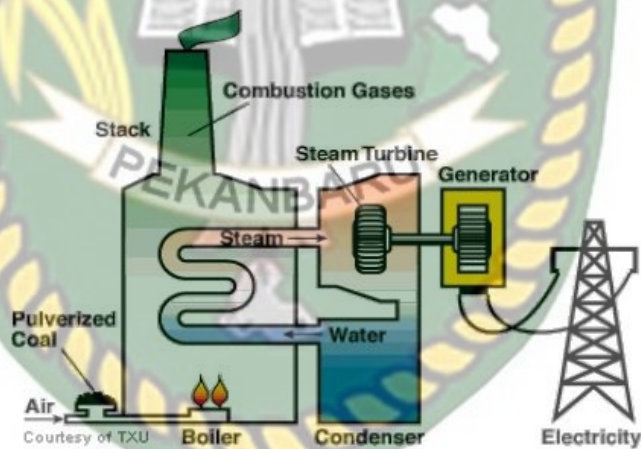
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Uap

Turbin uap adalah suatu penggerak awal yang merubah energi potensial uap menjadi energi kinetic, kemudian berubah jadi energi mekanis yang berupa putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dibantu roda gigi reduksi, terhubung dengan mekanisme yang ingin digerakkan. Turbin uap bisa dipakai dalam berbagai bidang seperti industri, pembangkit tenaga listrik dan transportasi.

Gambar turbin uap :



Gambar 2.1 Sistem Turbin Uap

(Sumber : Bisrul Hapis Tambunan, 2017)

Turbin uap modern pertama kalinya dikembangkan oleh Sir Charles Parsons di tahun 1884. Saat dikembangkannya, turbin uap ini bisa menggantikan kerja mesin uap piston. Hal ini disebabkan karena turbin uap memiliki kelebihan efisiensi thermal yang besar dan perbandingan berat dengan daya yang dihasilkan yang cukup tinggi. Proses turbin uap menghasilkan gerakan

rotasi, sehingga hal ini sangat bagus digunakan untuk menggerakkan generator listrik.

2.2 Klasifikasi Turbin Uap

Turbin Uap diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan pada arah aliran uap, kondisi uap pada sisi masuk turbin, pemakaiannya di industri, prinsip kerjanya, menurut proses penurunan tekanan uap, dan pada tingkat turunya tekanan uap sebagai berikut:

1. Klasifikasi Berdasarkan Arah Aliran Uap

- *Turbin aksial* Fluida kerja mengalir pada arah yang sejajar dengan sumbu turbin
- *Turbin radial* Fluida kerja mengalir pada arah yang tegak lurus dengan sumbu turbin.

2. Klasifikasi Berdasarkan Kondisi Uap di Sisi Masuk Turbin.

- a. Turbin tekanan rendah menggunakan uap saat tekanan 1,2 – 2 atm.
- b. Turbin tekanan menengah menggunakan uap saat tekanan sampai 40 atm.
- c. Turbin tekanan tinggi menggunakan uap saat tekanan sampai 170 atm atau lebih.
- d. Turbin tekanan super tinggi menggunakan uap pada tekanan sampai 235 atm atau lebih.

3. Klasifikasi Berdasarkan Pemakaiannya di Bidang Industri

1. Turbin stasioner menggunakan putaran konstan yang dipakai terutama untuk generator
2. Turbin stasioner, putaran yang bervariasi dipakai untuk menggerakkan blower turbo, pompa, dan lain-lain.
3. Turbin tidak stasioner menggunakan putaran yang bervariasi, umumnya ada di kapal dan lokomotif uap

4. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Prinsip Kerjanya

- Turbin Impuls

Turbin impuls atau turbin tahapan impuls ialah turbin simple berotor satu atau banyak (gabungan) yang mempunyai sudu-sudu pada rotor itu. Energi potensial uap diubah menjadi energi kinetik di dalam nosel. Adapun turbin impuls mengubah energi potensial uapnya menjadi energi kinetik didalam nosel, kemudian diarahkan kepada sudu gerak. Pada sudu-sudu gerak, energi kinetik berubah menjadi energi mekanis. Turunnya tekanan uap pada nosel disertai dengan turunnya kalor pada nozel. Sehingga kecepatan uap yang keluar dari nosel meningkat (energi kinetik). Setelah itu diarahkan kepada sudu gerak menghasilkan gaya impuls pada sudu gerak dan sudu-sudu gerak pun berputar (kerja mekanis). Turbin reaksi Ekspansi uap terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak. Sudu berbentuk simetris memiliki inlet angle dan out angle.

- Turbin satu tahap.
- Turbin impuls gabungan..

- Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang uapnya berekspansi tidak saja bergerak pada nosel yang tetap, tetapi juga pada laluan sudu gerak, sehingga adanya penurunan kandungan kalor disetiap tingkat sehingga teraliri secara rata. Turbin tersebut dipakai dalam industri.

Turbin reaksi memiliki tiga tahap, terdiri dari baris sudu tetap dan dua baris sudu gerak. Ciri-ciri turbin ini adalah:

- Turunnya tekanan uap separuhnya ada di Nosel dan Sudu Gerak
- Memiliki perbedaan tekanan pada turbin, disebut Tekanan bertingkat.

5. Klasifikasi Turbin Uap Berdasarkan Pada Tingkat Penurunan Tekanan Dalam Turbin.

- Single Stage : kecepatan satu tingkat atau lebih, bagus digunakan pada penggerak kompressor, dsb.
- Turbin Bertingkat, sudu-sudu turbinnya bertingkat, bagus untuk daya besar

6. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Proses Penurunan Tekanan Uap.

- Turbin Kondensasi.

Digunakan jika semua energi uap digunakan untuk menghasilkan daya. Uap yang keluar dari turbin dikondensasikan dalam kondensor, bertujuan menghasilkan tekanan lawan yang cukup rendah, dan menghasilkan daya yang tinggi. Air hasil kondensasi disirkulasikan kembali ke boiler.

- Turbin Tekanan Lawan

Jika tekanan sisi keluar turbin lebih dari 1 atm, maka masih dapat digunakan untuk mengoperasikan turbin lainnya.

2.3 Komponen-komponen Utama Turbin Uap

Turbin uap tersusun oleh komponen utama antara lain :

1. *Casing* yaitu bagian penutup komponen penting turbin.

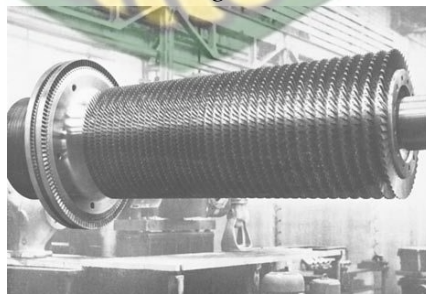


Gambar 2.2 *Casing*

(Sumber :<http://www.turboseals.in/onsite-machining-and-caulking-of-sealing-strips.html>)

2. Rotor

Ialah komponen turbin yang berputar, bagiannya yaitu poros, deretan sudu yaitu *Stasionary Blade* dan *Moving Blade*.



Gambar 2.3 Rotor

(Sumber :Heinz dan Murari, 2009)

3. *Bearing Housing*

Adalah merupakan rumah bering pada poros rotor.



Gambar 2.4 *Bearing Housing*

(Sumber : PT. Sekar Bumi Alam Lestari)

Bearing housing terdiri dari beberapa jenis bagian-bagian yaitu diantaranya adalah. *Bearing housing* (8), *Ball bearing* (33), *Oil Ring* (112), *shaf sleeve* (262), *Labyrinth Seal* (387).



Gambar 2.5 Bagian- bagian *Bearing Housing*.

(Sumber :Heinz dan Murari, 2009)

4. *Journal Bearing*

Ialah komponen turbin berguna untuk menahan gaya tegak lurus rotor.

5. Nozzel

Yaitu komponen turbin yang berguna untuk merubah energi potensial menjadi energi kinetis yang mempunyai kecepatan.



Gambar 2.6 Nozzel

(Sumber : PT. Sekar Bumi Alam Lestari)

6. *Thrust Bearing*

Ialah komponen turbin yang berguna untuk menerima gaya aksial yang berupa gerakan maju mundur poros rotor.

7. *Main Oli Pump*

Berguna dalam mengalirkan oli tangki ke komponen-komponen yang berputar di turbin.

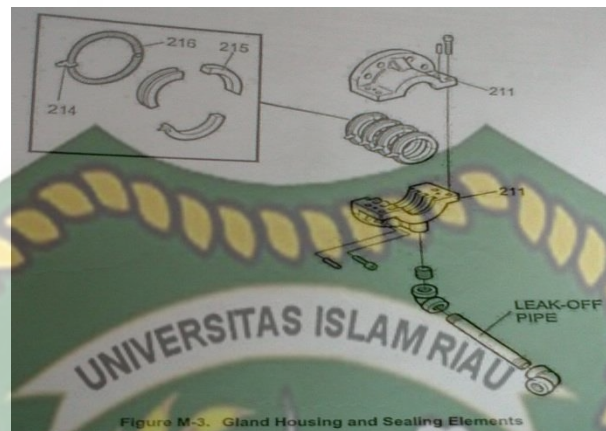
8. *Gland housing*

Berfungsi menahan kebocoran baik kebocoran Uap maupun kebocoran oli.

Yang terdiri dari :

- *Gland housing (211)*
- *Stop Washer (214)*
- *Carbon Ring (215)*

- *Gaster Spring (216).*



Gambar 2.7 Bagian- bagian *Gland Housing*

(Sumber :Heinz dan Murari, 2009)

9. *Moving Blade*

Yaitu kumpulan sudu yang berguna untuk menerima dan mengubah energi potensial menjadi energi kinetik.



Gambar 2.8 *Moving Blade*

(Sumber : PLTU Tenayan Raya)

10. *Control Valve*

Yaitu katup yang berguna untuk mengatur uap masuk kedalam turbin menurut kebutuhannya.

11. *Stop Valve*

Yaitu katup yang berguna dalam menyalurkan atau menstopkan aliran uap ke turbin.

12. *Reducing Gear*

Yaitu komponen turbin yang terpasang di turbin memiliki kapasitas besar dan berguna untuk menurunkan putaran poros rotor dari 5500rpm menjadi 1500 rpm.

2.4 Prinsip Kerja Turbin Uap

Adapun prinsip kerja turbin uap yaitu :

- Steam masuk ke turbin melalui nozel. Di nozel energi panas uap berubah menjadi energi kinetis dan uap berekspansi. Tekanan uap ketika keluar dari nozel lebih kecil dibandingkan ketika masuk ke nozel, meskipun begitu kecepatan uap yang keluar dari nozel lebih besar dibandingkan ketika masuk ke dalam nozel. Kemudian uap keluar dari nozel diarahkan ke sudu-sudu turbin. Uap dibelokkan mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menghasilkan gaya dorong dan memutar roda dan poros turbin.
- Apabila *steam* masih memiliki kecepatan ketika meninggalkan sudu turbin, maka pada turbin digunakan lebih dari satu baris sudu gerak. Antara

baris pertama dan baris kedua sudu gerak digunakan satu baris sudu tetap yang berfungsi mengubah arah kecepatan uap, agar uap bisa masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

2.5 Tekanan Uap

Tekanan uap yaitu tekanan suatu *steam* saat kesetimbangan dengan fase bukan uap-nya. Semua zat padat dan cair mempunyai kecenderungan untuk menguap menjadi suatu bentuk gas, dan semua gas memiliki suatu kecenderungan untuk mengembun kembali.

2.6 Siklus *Rankine*

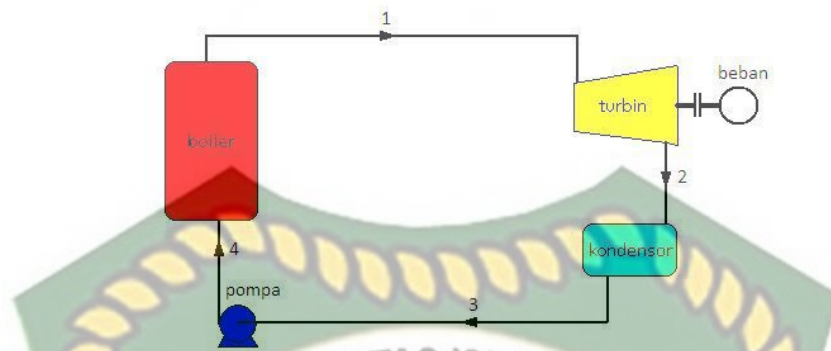
Siklus *Rankine* adalah siklus daya uap yang diperuntukan menghitung atau menunjukkan proses kerja turbin uap. Siklus ini bekerja menggunakan fluida kerja air. Semua PLTU bekerja menurut prinsip kerja siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* pertama kali ditunjukkan oleh: William John Macquorn Rankine, seorang ilmuwan dari Universitas Glasgow.

Siklus *Rankine* Ideal Sederhana

Siklus *Rankine* ideal sederhana diantaranya :

1. Boiler yaitu komponen pembangkit uap
2. Turbin uap yaitu komponen pengubah uap menjadi kerja
3. Kondensor yaitu komponen pengembun uap
4. Pompa boiler yaitu komponen pemompa air kedalam boiler

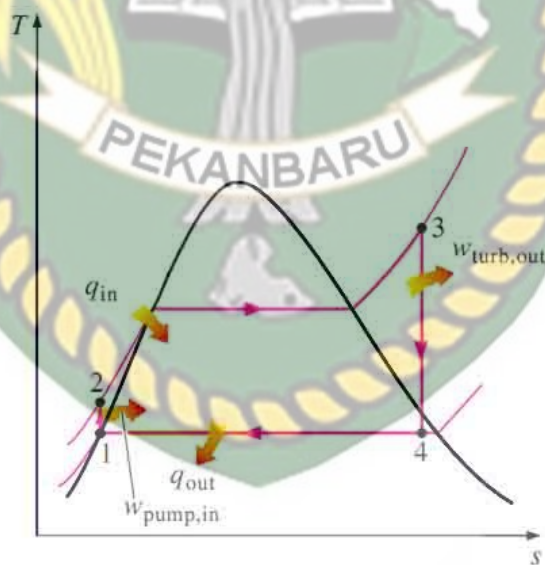
Skema siklus *Rankine* ideal sederhana ditunjukkan dengan gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Skema Siklus Rankine Ideal Sederhana

(Sumber : <https://djukarna.wordpress.com/termodinamika/siklus-rankine/>)

Skema 2.9 dapat digambarkan garis kerjanya pada diagram T-s seperti pada gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10 diagram T-s untuk siklus Rankine ideal sederhana

(Sumber : <http://tutorialteknik.blogspot.com/2011/05/siklus-rankine-ideal.html>)

Keterangan gambar 2.10 :

Proses 1 – 2 ialah proses dengan tekanan konstan yang berlangsung didalam boiler. Dalam proses ini kalor masuk ke dalam sistem (Q_{in}).

Proses 2 – 3 adalah proses ekspansi isentropis (adiabatis reversibel) yang berlangsung di dalam turbin uap. Pada proses ini terjadi kerja keluar sistem (W_{out})

Proses 3 – 4 adalah proses pada tekanan konstan yang berlangsung di dalam kondensor. Pada proses ini kalor keluar dari sistem (pembuang kalor) (Q_{out}).

Proses 4 – 1 adalah proses penekanan secara isentropis oleh pompa. Pada proses ini kerja masuk ke dalam sistem (W_{in}).

2.7 Generator

Generator adalah sebuah alat yang menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanik, menggunakan induksi elektromagnetik. Disebut juga pembangkit listrik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Sumber energi mekanik dapat berbentuk turbin uap, kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, energi surya, dan sebagainya.

2.7.1 Beban Generator

Beban generator pada PLTU ialah daya listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Ada tiga jenis beban listrik yang mesti ditanggung oleh pembangkit listrik, yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif dihasilkan dari peralatan listrik yang sifatnya murni tahanan (resistor)

contohnya elemen pemanas dan lampu pijar. Beban induktif dihasilkan dari kumparan contohnya : motor, trafo, dan sebagainya. Beban kapasitif yaitu kebalikan daripada beban induktif. Bila beban induktif menghalangi adanya perubahan besar arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi perubahan besar tegangan listrik. Hal ini memperlihatkan bahwa kapasitor bersifat seolah-olah menyimpan tegangan listrik seketika.

2.8 Parameter *Performance* Turbin Uap

Prestasi turbin uap menunjukkan kinerja suatu mesin/ peralatan. Dalam analisa turbin uap ada beberapa parameter *performance* yang harus di hitung, Diantaranya daya turbin (W_T), daya poros efektif (N_e), torsi (T), panas yang masuk, panas yang keluar, kerja turbin, kerja pompa, efisiensi thermal (η_{th}), dan kerja yang berguna (W_n).

2.8.1 Daya Turbin

Pada Turbin, daya yang berguna ialah daya poros, sebab daya poros ini menggerakkan beban. Daya poros ini dihasilkan dari daya indikator diperlukan dalam mengatasi gesekan mekanik, contohnya gesekan poros dan bantalannya. Selain itu, daya indikator mesti menjalankan aksesoris-aksesoris yang terdapat pada turbin. Dengan demikian besar daya poros dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$N_T = \dot{m}_{uap}(h_4 - h_5) \dots\dots\dots \text{pers 2.1 (Lit5 hlm 98)}$$

Dimana :

N_T = Daya turbin uap (kW)

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

h_4 = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_5 = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

2.8.2 Torsi

Konsep torsi pada fisika yaitu momen, dimulai dengan *archimedes*. Torsi bisa disebut gaya rotasional. Untuk menghitung nilai torsi dapat menggunakan persamaan berikut :

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

Dimana :

T = Momen torsi (N.m)

N_T = Daya turbin (kW)

n = Putaran poros (rpm)

2.8.3 Daya Poros Efektif

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

$$N_e = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60 \times 1000} \dots \dots \dots \text{Pers 2.3 (Lit 5 hlm 114)}$$

Dimana :

N_e = Daya efektif turbin uap (kW)

T = Momen torsi (N.m)

n = Putaran poros (rpm)

2.8.4 Panas Yang Masuk

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

$$Q_{in} = h_4 - h_2 \dots \dots \dots \text{Pers 2.4 (Lit 9 hlm 279)}$$

Dimana :

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

h_2 = Entalpi air umpan boiler (kJ/kg)

h_4 = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

2.8.5 Panas Yang Keluar

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

$$Q_{out} = h_5 - h_1 \dots \dots \dots \text{Pers 2.5 (Lit 9 hlm 279)}$$

Dimana :

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

h_5 = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

h_1 = Entalpi air masuk pompa (kJ/kg)

2.8.6 Kerja Turbin

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

$$W_T = h_4 - h_5 \dots \dots \dots \text{Pers 2.6 (Lit 9 hlm 286)}$$

Dimana :

W_T = Kerja turbin uap (kJ/kg)

h_4 = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_5 = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

2.8.7 Kerja Pompa

Kerja pompa bekerja dengan prinsip menghasilkan perbedaan tekanan antara uap masuk turbin dengan air keluar pompa. Jadi, fungsi pompa yaitu merubah tenaga mekanis dari penggerak menjadi kecepatan dan dapat dinyatakan dengan satuan (kJ/kg).

$$W_P = h_2 - h_1 \dots \dots \dots \text{Pers 2.7 (Lit 9 hlm 287)}$$

Dimana :

W_P = Kerja pompa (kJ/kg)

h_2 = Entalpi air keluar pompa (kJ/kg)

h_1 = Entalpi air masuk pompa (kJ/kg)

2.8.8 Kerja Yang Berguna

Kerja yang berguna adalah kerja efektif yang dihasilkan oleh instalasi turbin uap. Dapat dicari dengan perbandingan antara kerja turbin dikurangi dengan kerja pompa. Dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/jam).

$$W_n = W_T - W_P \dots \dots \dots \text{Pers 2.8 (Lit 9 hlm 286)}$$

Dimana :

W_n = Kerja berguna (kJ/kg)

W_T = Kerja turbin (kJ/kg)

W_P = Kerja pompa (kJ/kg)

2.8.9 Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal menunjukkan perbandingan daya yang dihasilkan dengan jumlah energi bahan bakar yang dibutuhkan dalam waktu tertentu. Efisiensi thermal dihitung dengan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{W_n}{Q_{in}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Pers 2.9 (Lit 9 hlm 279)}$$

Dimana :

η_{th} = Efisiensi thermal (%)

W_n = Kerja yang berguna (kJ/kg)

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

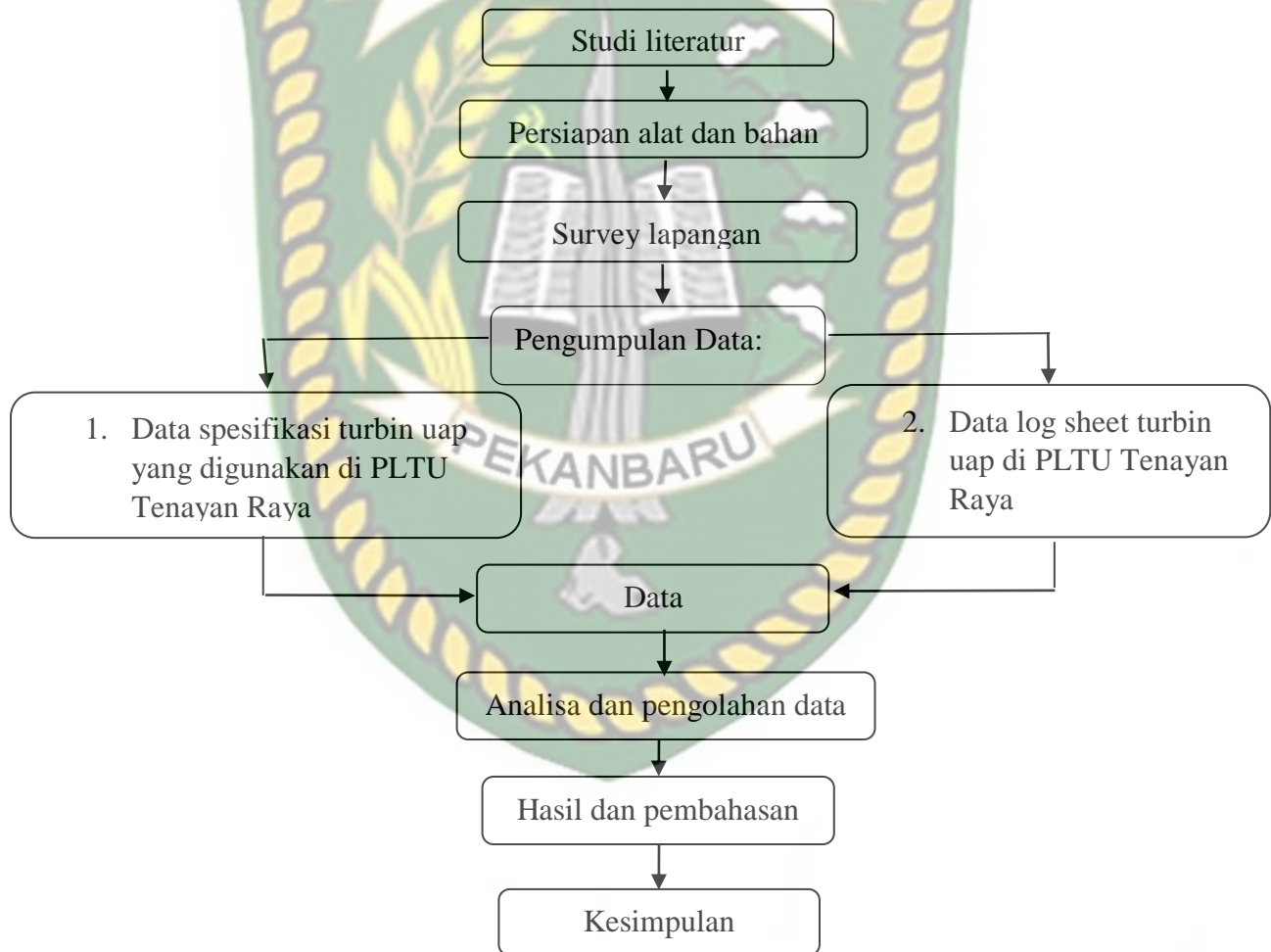


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif adalah membuat penulisan secara sistematis dan akurat tentang fakta yang diambil melalui penelitian serta tersusun dan terencana, ditunjukkan dalam gambar 3.1 dibawah :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dari gambar 3.1 diagram alir diatas, penulis memulai pertama studi literatur untuk mendukung formula-formula yang berhubungan pada judul dengan mencari dan membaca berbagai sumber yang berhubungan dengan turbin gas, selanjutnya survey kelapangan yaituke PLTU Tenayan Raya PT PLN (Persero).

Tahap pertama yang dilakukan yaitu introduksi alat-alat yang berkaitan dalam instalasi turbin uap, lalu menulis spesifikasi PLTU dan konsultasi dengan pekerja yang bertugas di instalasi PLTU unit 1 tersebut berhubungan dengan sistem instalasi dan alat-alat yang digunakan misalnya alat ukur tekanan, temperatur dan variasi beban. Dalam melakukan penelitian, dilakukan pengumpulan data dengan mencatat nilai beban pada PLTU tiap jamnya dan data pendukung lainnya. Apabila data telah lengkap, maka dapat dimulai melakukan perhitungan dan menganalisa pengaruh variasi beban pada generator terhadap unjuk kerja turbin uap, selanjutnya dari analisa maka diperoleh kesimpulan pengaruh variasi beban terhadap unjuk kerja turbin uap.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan di tanggal 08 Agustus 2018 s/d selesai. Lokasi penelitian dilaksanakan di PT. PJB UBJOM PLTU Tenayan Raya di alamatkan di jalan badakTenayan Raya, Pekanbaru.



Gambar 3.2 Tempat penelitian
(PLTU Tenayan Raya)

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Yang Digunakan

1. Turbin

Peralatan yang diteliti adalah turbin dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Merk :Dongfang
 - a. Tipe : N110-8.83
 - b. Buatan : China
 - c. Jumlah : 2 unit
2. *Power* : 110 MW
3. *Rated Speed* : 3000 rpm
4. *Inlet Temperature (standard)* : 535 °C
5. *Inlet Temperature (max)*: 540°C

6. *Inlet pressure (standard)* : 883 MPa

7. *Inlet pressure (max)* : 932 MPa

8. Kapasitas uap : 414,05 ton/hours

Data-data diatas bisa dilihat pada display pada gambar 3.4.

2. *Pressure Gauge*

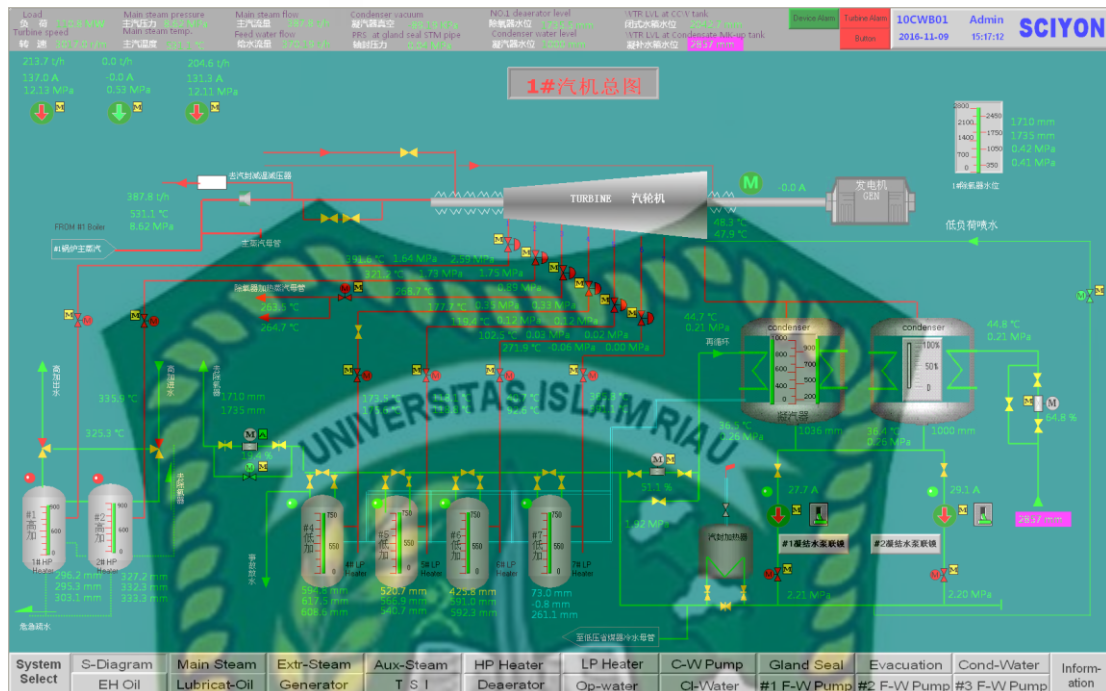
Pressure Gauge yaitu suatu alat untuk mengukur tekanan uap kerja pada turbin uap.



Gambar 3.3 *Pressure Gauge*
(PLTU Tenayan Raya)

3. *Turbine Control*

Turbine Control adalah sistem kendali berbasis komputer yang mengendalikan dan mengatur kondisi turbin uap. Sistem ini mempermudah operator untuk mengendalikan tekanan, temperatur, putaran poros, daya efektif turbin dan beban listrik yang dihasilkan.



Gambar 3.4 Turbine Control System
(PLTU Tenayan Raya)

4. Termokopel

Yaitu alat sensor temperatur, berfungsi sebagai pendeteksi atau pengukur temperatur melalui dua macam logam konduktor yang disatukan diujungnya, hingga memberikan efek *thermo-electric* dengan jangkauan suhu yang dapat diukur berkisar -200°C hingga 2000°C . Termokopel ini digunakan untuk temperatur yang terdapat pada pipa boiler dancerobong gas buang (*exhaust*).



.Gambar 3.5 Termokopel
(PLTU Tenayan Raya)

5. Termometer

Termometer ini berfungsi untuk mengukur temperatur *steam turbine*



Gambar 3.6 Termometer

(Sumber: <https://chuckhendo-chs.myshopify.com/products/stainless-steel-thermometer-copper-fitting-combo>)

3.3.2 Bahan yang digunakan

1. Bahan bakar kete luap

Bahan bakar yang digunakan pada turbin uap ini adalah batubara. Batu bara digunakan sebagai bahan bakar turbin uap diprioritaskan karena salah satu bahan bakar yang paling murah dan batu bara memiliki LHV yang baik sekitar 5100,5 kcal/kg. Dan transportasi batubara sangat mudah daripada bahan bakar lainnya. Dengan menggunakan batu bara akan meminimalisir keterkaitan dengan minyak dan gas bumi.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pemeriksaan Sebelum Start Up

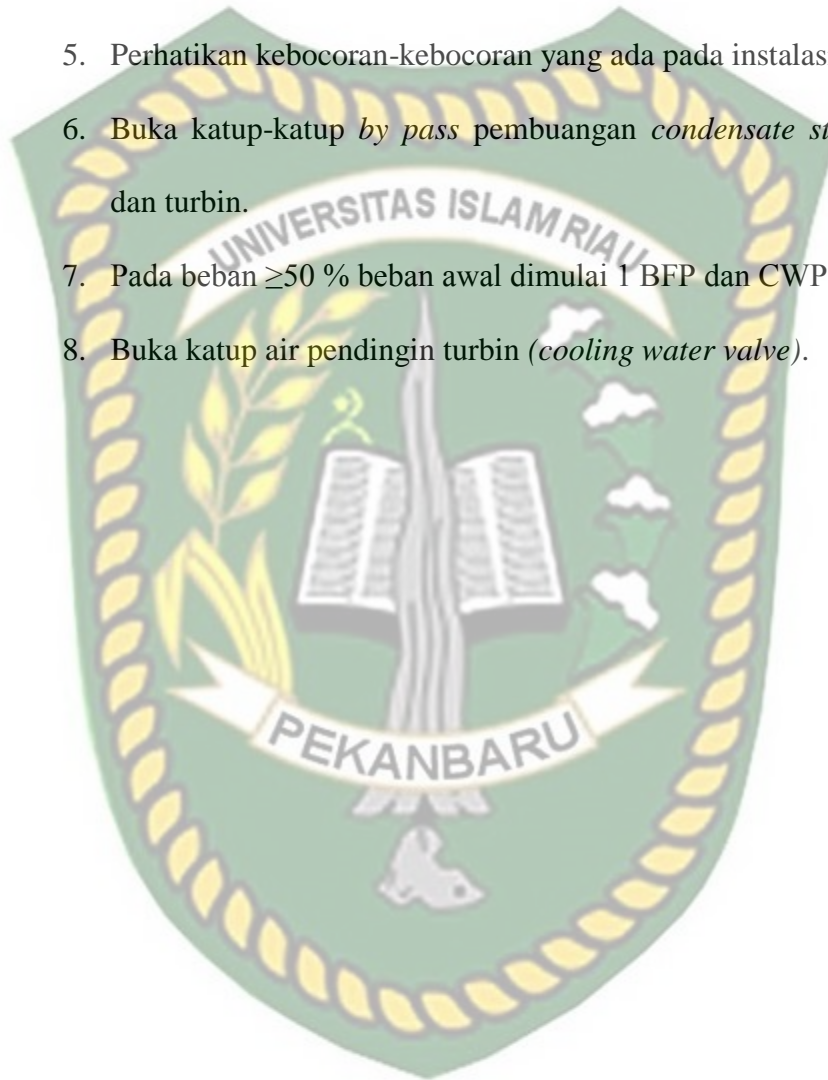
1. Periksa dengan teliti semua pemasangan dan kebersihan semua peralatan sudah sesuai standar serta melakukan *visual check* pada turbin, generator dan perlengkapan lainnya.
2. Periksa semua peralatan dan pipa yang dilewati *steam (uap panas)* terisolasi dengan baik.
3. Periksa semua panel dan instrumen dalam kondisi bagus dan dengan indikasi yang benar. Semua *power instrument* sudah ON.
4. Ukur insulasi motor pada bagian listrik.
5. Periksa dan pastikan semua instrumen lokal dalam keadaan bagus, kran-kran utama dan kran *secondary* dalam keadaan terbuka.
6. Periksa kondisi generator.

7. Periksa dan pastikan turning gear dalam keadaan bagus dan kran oliya dalam keadaan terbuka. Dan periksa putaran motornya apakah dalam arah yang benar
8. Periksa sistem oliya sebagai berikut :
 - a. Hidupkan AC *lubricant pump*, lakukan pengecekan aliran oli di setiap *bearing*. Pastikan level oli pada 80%.
 - b. Periksa semua sistem pipa oli dalam kondisi bagus dan tidak terdapat kebocoran.
 - c. Periksa kran pembuangan pada tangki oli dan pada oil cooler apakah sudah tertutup dengan rapat.
 - d. Buka kran masuk dan keluar pada *oil cooler* yang beroperasi, buka kran keluar dan tutup kran masuk *oil cooler* yang *standby*.
9. Pastikan fan gland condensor beroperasi.
10. Lakukan pengetesan governor dan semua sistem proteksi berfungsi normal. Setiap komponen tetap kuat, tidak longgar dan respon cepat tanpa macet.

3.4.2 Persiapan Menjalankan Turbin Uap

1. Bersihkan unit mesin dan sekitarnya setiap hari.
2. Pastikan alat pengaman dan perangkat kerja berfungsi dengan baik.

3. Perhatikan tekanan uap yang tersedia cukup.
4. Periksa kondisi dan volume oli pelumas *gear box* turbin dan *gear box* unit governor.
5. Perhatikan kebocoran-kebocoran yang ada pada instalasi pelumas.
6. Buka katup-katup *by pass* pembuangan *condensate steam separator* dan turbin.
7. Pada beban $\geq 50\%$ beban awal dimulai 1 BFP dan CWP yang *standby*
8. Buka katup air pendingin turbin (*cooling water valve*).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Metode analisa data hasil penelitian memakai analisis deskriptif untuk mendapatkan nilai beban generator yang terbaik terhadap *performance* turbin uap. Dalam analisa turbin uap ada beberapa parameter *performance* yang harus di hitung, diantaranya panas yang masuk (Q_{in}), daya poros efektif (N_e), torsi (T), efisiensi termal (η_{th}), dan kerja yang berguna (W_n), kerja pompa (W_p), panas yang keluar (Q_{out}), kerja turbin (W_T).

1. Daya Poros Efektif

Daya poros efektif pada turbin adalah proses dari pergerakan sudu-sudu turbin yang mengakibatkan poros di turbin berputar sehingga poros turbin berputar hingga terjadi energi kinetik berubah dalam bentuk energi mekanis yang selanjutnya untuk menggerakkan beban. Pengambilan data kenaikan beban generator dari hasil pengujian menggunakan *display* dilengkapi dengan data akusisi yang dihubungkan dengan komputer. Pengambilan dan penyimpanan data menggunakan komputer yang telah dilengkapi dengan *software* pengolahan dan pengumpulan data.

2. Torsi

Torsi merupakan momen puntir atau energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan beban generator. Torsi yang dinyatakan dalam satuan N.m. Karena Ne telah diketahui, maka untuk menghitung nilai torsi dapat menggunakan persamaan berikut :

$$N_e = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60 \times 1000} \dots \dots \dots \text{Pers 2.3 (hlm 19)}$$

Diketahui : T = Torsi (N.m)

n = Putaran poros= 2992 rpm

$$N_e = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60 \times 1000}$$

$$110500 \text{ kW} = \frac{2\pi \cdot 2992 \text{ rpm} \cdot T}{60 \times 1000}$$

$$110500 \text{ kW} = 0,313 T$$

$$T = \frac{110500}{0,313} \text{ Nm}$$

$$T = 353035 \text{ Nm}$$

3. Daya Turbin

Pada Turbin, daya yang berguna ialah daya poros, sebab daya poros ini menggerakkan beban. Daya poros ini dihasilkan dari daya indikator diperlukan dalam mengatasi gesekan mekanik, contohnya gesekan poros dan bantalannya. Selain itu, daya indikator mesti menjalankan aksesoris-aksesoris yang terdapat pada turbin.. Daya turbin dapat dinyatakan dalam satuan kW, karena T telah diketahui, maka dengan demikian besar daya turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{N_T}{n} \dots \dots \dots \text{Pers 2.2 (hlm 18)}$$

Diketahui : n = Putaranporos = 2992 rpm

$$353035 \text{ N.m} = 9,74 \times 10^5 \times \frac{N_T}{2992 \text{ rpm}}$$

$$\frac{N_T}{2992 \text{ rpm}} = \frac{353035 \text{ N.m}}{9,74 \times 10^5}$$

$$N_T = \frac{353035 \text{ N.m}}{9,74 \times 10^5} \times 2992 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ kg}}{0,0098 \text{ Nm}}$$

$$N_T = 110660,3 \text{ kW}$$

4. Panas yang Masuk

Panas masuk adalah uap masuk turbin digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga poros turbin berputar kemudian menimbulkan energi mekanis. Panas yang masuk menyatakan hasil selisih antara entalpi uap masuk turbin dan entalpi masuk boiler yang dinyatakan dalam satuan kJ/jam. Untuk menghitung nilai panas yang masuk pada turbin dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{in} = h_4 - h_2 \dots \dots \dots \text{Pers 2.4 (hlm 19)}$$

Diketahui : h_2 = Entalpi uap masuk boiler (kJ/kg) = 886,27 kJ/kg

T_2 = Temperatur uap masuk boiler = 226,9°C

h_4 = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg) = 3654,3 kJ/kg

T_4 = Temperatur uap masuk turbin berdasarkan temperatur yang keluar dari superheater = 536,9°C

$$Q_{in} = h_4 - h_2$$

$$Q_{in} = (3654,3 - 886,27) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{in} = 2767,73 \text{ kJ/kg}$$

5. Panas yang Keluar

Panas yang keluar menyatakan hasil entalpi uap keluar turbin. Panas yang keluar dapat dinyatakan dalam satuan kJ/kg. Untuk menghitung nilai panas keluar pada turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{out} = h_5 \dots\dots\dots \text{Pers 2.5 (hlm 20)}$$

Diketahui : $T_5 = \text{Temperatur uap keluar turbin} = 48,3^\circ\text{C}$

$h_5 = \text{Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)} = 2578,4 \text{ kJ/kg}$

$$Q_{out} = h_5$$

$$Q_{out} = 2578,4 \text{ kJ/kg}$$

6. Kerja Turbin

Kerja turbin beroperasi dengan cara *nozzle* menyembrotkan uap (*steam*) ke sudu-sudu gerak turbin sehingga sudu turbin tersebut berputar yang mengakibatkan proses energikinetik menjadi energi mekanik, dan dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/kg). Untuk menghitung nilai kerja turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$W_T = h_4 - h_5 \dots \dots \dots \text{Pers 2.6 (hlm 21)}$$

Diketahui : T_4 = Temperatur uap masuk turbin berdasarkan temperatur yang keluar dari superheater = 536,9 °C

$$h_4 = \text{Entalpi uap masuk turbin} = 3654,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T_5 = \text{Temperatur uap keluar turbin} = 48,3^\circ\text{C}$$

$$h_5 = \text{Entalpi uap keluar turbin} = 1486,25 \text{ kJ/kg}$$

$$W_T = h_4 - h_5$$

$$W_T = (3654,3 - 1486,25) \text{ kJ/kg}$$

$$W_T = 2168,05 \text{ kJ/kg}$$

7. Kerja Pompa

Kerja pompa bekerja dengan prinsip menghasilkan perbedaan tekanan antara uap masuk turbin dengan air keluar pompa. Jadi, fungsi pompa yaitu merubah tenaga mekanis dari penggerak menjadi kecepatan dan dapat dinyatakan dengan satuan (kJ/kg). Untuk menghitung nilai kerja pompa dengan rumus berikut:

$$W_P = h_2 - h_1 \dots \dots \dots \text{Pers 2.7 (hlm 21)}$$

Diketahui : T_1 = Temperatur air masuk pompa = 227,2 °C

h_1 = Entalpi air masuk pompa = 888,79 kJ/kg

T_2 = Temperatur air keluar pompa = 226,9°C

h_2 = Entalpi air keluar pompa = 977,2 kJ/kg

$$W_P = h_2 - h_1$$

$$W_P = (977,2 - 888,79) \text{ kJ/kg}$$

$$W_P = 88,41 \text{ kJ/kg}$$

8. Kerja yang Berguna

Kerja yang berguna adalah kerja efektif yang dihasilkan oleh instalasi turbin uap. Dapat dicari dengan perbandingan antara kerja turbin dikurangi dengan kerja pompa. Dapat dinyatakan dalam satuan (kJ/kg). Untuk menghitung nilai kerja yang berguna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_n = W_T - W_P \dots \dots \dots \text{Pers 2.8 (hlm 22)}$$

Diketahui : W_T = Kerja turbin = 2168,05 kJ/kg

W_P = Kerja pompa = 88,41 kJ/kg

$$W_n = W_T - W_P$$

$$W_n = (2168,05 - 88,41) \text{ kJ/kg}$$

$$W_n = 2079,64 \text{ kJ/kg}$$

9. Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal menunjukkan perbandingan daya dihasilkan dengan panas yang masuk kedalam turbin. Efisiensi thermal dihitung dengan persamaan menggunakan :

$$\eta_{th} = \frac{W_n}{Q_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots \text{Pers 2.9 (hlm 23)}$$

Diketahui : W_n = Kerja yang berguna = 2079,64 kJ/kg

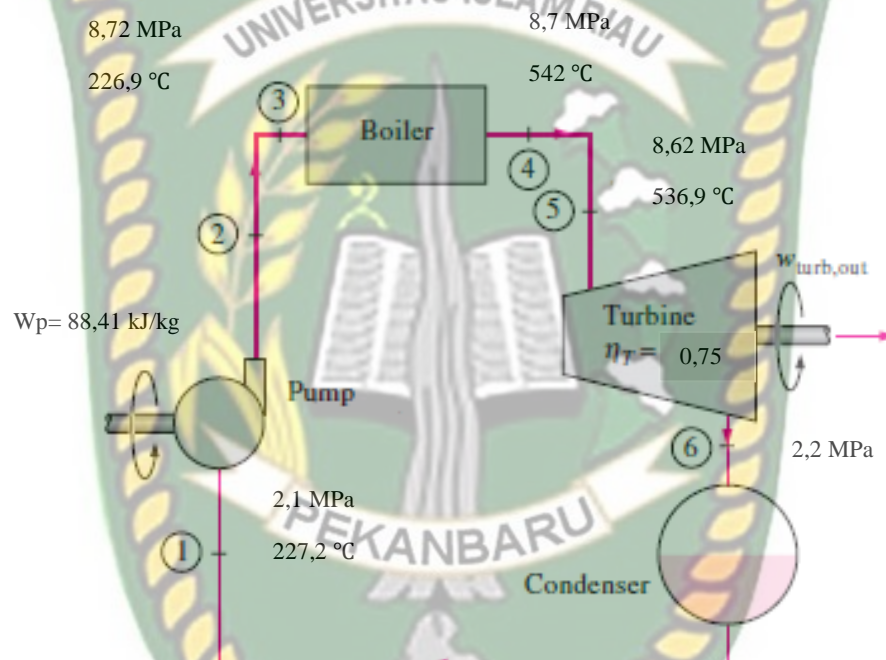
Q_{in} = Panas yang masuk = 2767,73 kJ/kg

$$\eta_{th} = \frac{W_n}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{2079,64 \text{ kJ/kg}}{2767,73 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 75 \%$$

Skema hasil perhitungan diatas yaitu sebagai berikut ;



Gambar 4.1 Skema siklus Rankine aktual

Dari gambar 4.1 dapat kita lihat skema siklus Rankine aktual, dimana pompa dengan kerja 88,41 kJ/kg memompa air dari kondensor dengan kondisi air bertemperatur 272,2 °C, tekanan 2,1 MPa ke boiler, sehingga tekanan meningkat menjadi 8,72 MPa dan bertemperatur 226,9 °C. Kemudian di boiler air berubah fasa menjadi uap jenuh melalui proses pembakaran yang berbahan bakar batu bara. Uap

jenuh tersebut diubah menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) melalui komponen superheater yang memanfaatkan gas sisa pembakaran pada boiler, sehingga temperatur meningkat menjadi 539,6 °C dengan tekanan 8,7 MPa. Kemudian temperatur dan tekanan uap panas lanjut (*superheated steam*) menuruun menjadi 536,9 °C dan 8,62 MPa. Hal ini disebabkan *loses* pada pipa, contohnya *loses* gesekan dan *loses* panas ke udara luar. Uap panas lanjut masuk ke turbin, uap ini lah yang akan memutar turbin dan secara otomatis generator ikut berotasi, sebab masih dalam satu poros. Pada turbin uap ini menghasilkan efisiensi thermal 75%, dan uap sisa dari turbin dirubah menjadi fase air pada kondensor kemudian kembali seperti siklus awal.

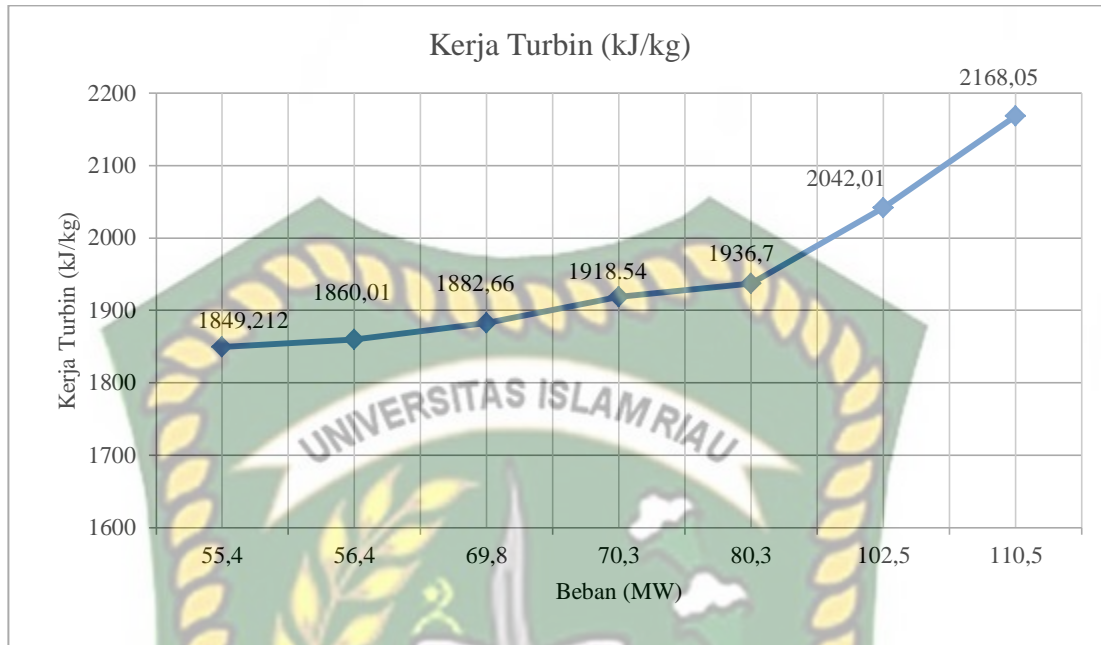
4.2 Hubungan Beban Terhadap Kerja Turbin

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat diketahui bahwa adanya perbedaan beban yang mempengaruhi kerja turbin. Seperti pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hubungan beban terhadap kerja turbin

No	Beban (MW)	Kerja Turbin (kJ/kg)
1	110,5	2168,05
2	102,5	2042,01
3	80,3	1936,7
4	55,4	1849,212
5	56,4	1860,01
6	70,3	1918,54
7	69,8	1882,66

Pada tabel 4.1 dapat diketahui angka kerja turbin maksimal ada pada beban 110,5 MW yaitu sebesar 2168,05 kJ/kg, sedangkan untuk kerja turbin terendah ada pada beban 55,4 MW yaitu sebesar 1849,212 kJ/kg. Untuk lebih jelasnya hubungan kerja turbin terhadap beban dapat dilihat pada grafik 4.2 berikut



Gambar 4.2 Hubungan beban (MW) terhadap kerja turbin (kJ/kg)

Dari grafik 4.2 dapat dilihat dimana semakin besar beban yang terjadi akan semakin besar kerja turbin. Hal ini disebabkan karena beban yang meningkat menyebabkan kebutuhan uap meningkat. Untuk mengatasinya digunakan sistem governor katup kontrol. Katup kontrol berguna untuk mengendalikan volume uap pada pipa sebelum masuk ke turbin uap. Pengendalian katup kontrol dilakukan agar aliran uap menuju turbin selalu stabil. Dengan uap (*steam*) yang disemprotkan ke sudu-sudu gerak turbin meningkat sehingga sudu turbin tersebut berputar yang mengakibatkan proses energi kinetik menjadi energi mekanik akan semakin meningkat pula yaitu berupa putaran poros turbin sehingga kerja yang berguna untuk menggerakkan beban (generator) meningkat.

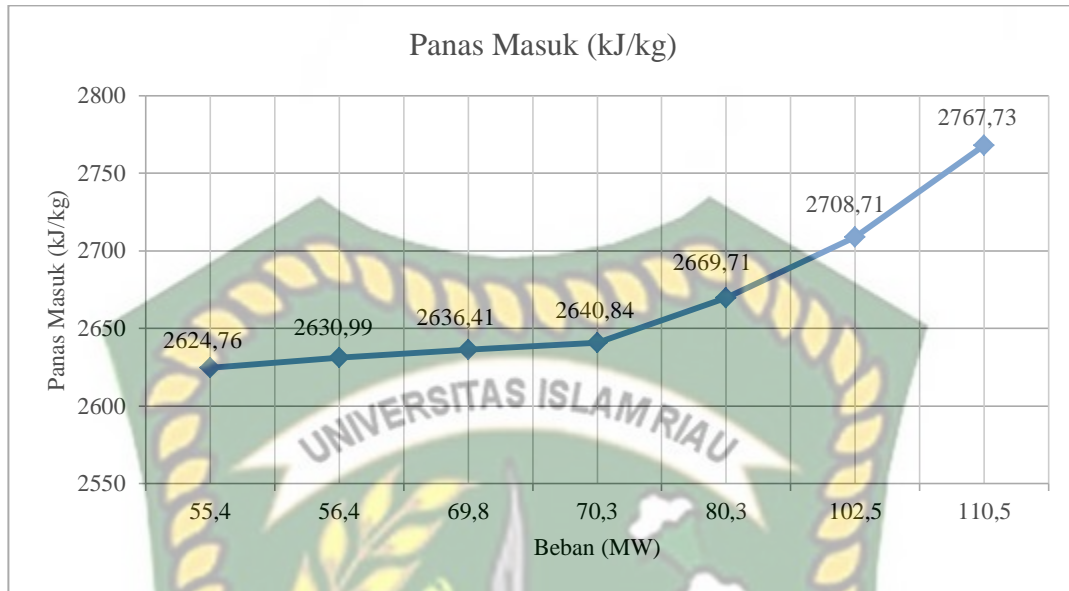
4.3 Hubungan Beban Terhadap Panas Masuk

Dari hasil penelitian yang dilakukan panas yang masuk dipengaruhi oleh beban, dapat dilihat di tabel 5.2 dibawah :

Tabel 4.2 Hubungan beban terhadap panas yang masuk

No	Beban (MW)	Panas Masuk (kJ/kg)
1	110,5	2767,73
2	102,5	2708,71
3	80,3	2669,71
4	55,4	2624,76
5	56,4	2630,99
6	70,3	2640,84
7	69,8	2636,41

Pada tabel 4.2 dapat diketahui angka panas masuk maksimal ada pada beban 110,5 MW yaitu sebesar 2767,73 kJ/kg, sedangkan untuk panas masuk terendah ada pada beban 55,4 MW yaitu sebesar 2624,76. Untuk lebih jelasnya hubungan torsi terhadap beban dapat dilihat pada grafik 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Hubungan beban (MW) terhadap panas masuk (kJ/kg)

Dari grafik 4.3 dapat diketahui apabila semakin besar beban sehingga semakin besar panas masuk turbin. Hal ini dikarenakan oleh beban yang makin meningkat menyebabkan laju aliran uap semakin besar dan temperatur uap pun semakin besar. Akibat semakin besar laju aliran uap ke turbin sehingga panas masuk ke turbin semakin besar, dan menghasilkan kerja turbin yang lebih besar.

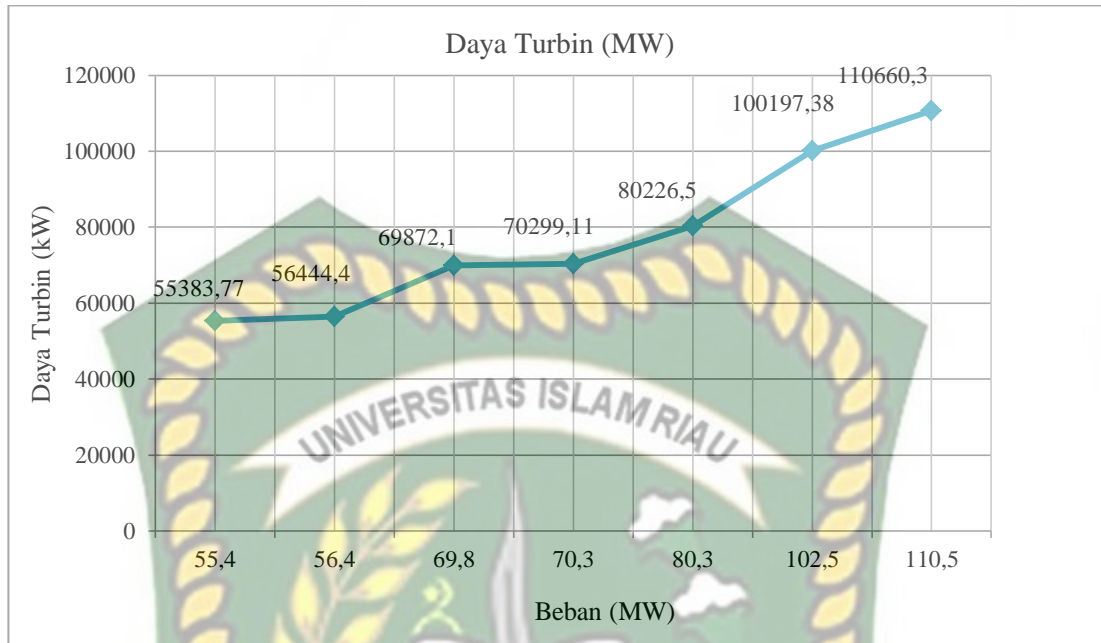
4.4 Hubungan Beban Terhadap Daya Turbin

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat diketahui bahwa adanya perbedaan beban yang mempengaruhi daya turbin, seperti terlihat pada tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Hubungan beban terhadap daya turbin

No	Beban (MW)	Daya Turbin (kW)
1	110,5	110660,3
2	102,5	100197,38
3	80,3	80266,5
4	55,4	55383,77
5	56,4	56444,4
6	70,3	70299,11
7	69,8	69872,1

Pada tabel 4.3 dapat diketahui angka daya turbin maksimal ada pada beban 110,5 MW yaitu sebesar 110660,3 kW, sedangkan untuk daya turbin terendah ada pada beban 55,4 MW yaitu sebesar 55383,77 kW. Untuk lebih jelasnya hubungan kerja turbin terhadap beban dapat dilihat pada grafik 4.4 berikut



Gambar 4.4 Hubungan beban (MW) terhadap Daya Turbin (kW)

Dari grafik 4.4 dapat dilihat bahwa beban pada turbin mempengaruhi terhadap daya turbin yaitu dimana semakin besar beban yang dihasilkan oleh turbin maka daya turbin akan meningkat. Hal ini disebabkan kerja turbin yang makin meningkat menghasilkan daya yang besar untuk menggerakkan beban yg semakin besar.

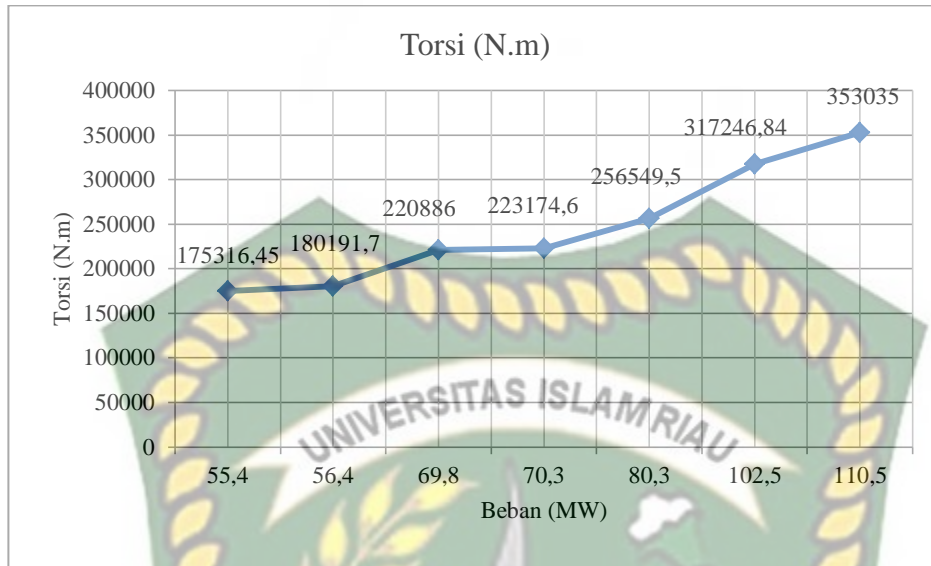
4.5 Hubungan Beban Terhadap Torsi

Dari hasil penelitian yang dilakukan, torsi dipengaruhi oleh beban. Dapat dilihat di tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hubungan beban terhadap Torsi

No	Beban (MW)	Torsi (N.m)
1	110,5	353035
2	102,5	317246,84
3	80,3	256549,5
4	55,4	175316,45
5	56,4	180191,7
6	70,3	223174,6
7	69.8	220886

Pada tabel 4.4 dapat diketahui angka torsi maksimal ada pada beban 110,5 MW yaitu sebesar 353035 N.m, sedangkan untuk torsi terendah ada pada beban 55,4 MW yaitu sebesar 175316,45 N.m. Untuk lebih jelasnya hubungan torsi terhadap beban dapat dilihat pada grafik 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Hubungan beban (MW) terhadap Torsi (N.m)

Dari grafik 4.5 dapat dilihat bahwa beban pada turbin mempengaruhi terhadap torsi yaitu dimana makin naik beban yang dihasilkan oleh turbin maka torsi akan semakin besar karena disebabkan daya efektif dibagi dengan putaran dimana semakin besar daya efektif yang dihasilkan oleh turbin sehingga torsi yang diperoleh akan semakin besar. Dimana torsi merupakan momen puntir atau energi mekanik yang digunakan untuk dapat menggerakkan beban generator, maka semakin besar beban secara relevan torsi naik.

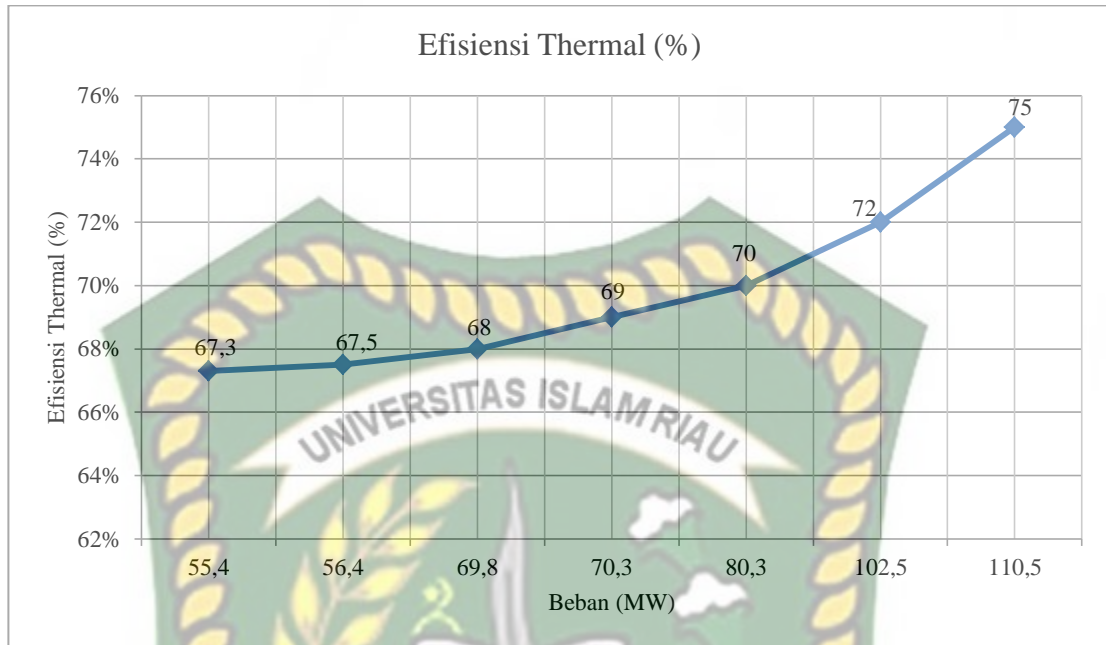
4.6 Hubungan Beban Terhadap Efisiensi Thermal

Dari hasil penelitian yang dilakukan, efisiensi thermal dipengaruhi oleh beban. Dapat dilihat di tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Hubungan beban terhadap efisiensi thermal

No	Beban (MW)	Efisiensi Thermal (%)
1	110,5	75
2	102,5	72
3	80,3	70
4	55,4	67,3
5	56,4	67,5
6	70,3	69
7	69,8	68

Pada tabel 4.5 dapat diketahui angka efisiensi *thermal* maksimal ada pada beban 110,5 MW yaitu sebesar 75 %, sedangkan untuk efisiensi *thermal* terendah ada pada beban 55,4 MW yaitu sebesar 67,3 %. Untuk lebih jelasnya hubungan efisiensi *thermal* terhadap beban dapat dilihat pada grafik 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Hubungan beban (MW) terhadap efisiensi *thermal* (%)

Dilihat dari grafik 4.6 semakin besar beban yang terjadi pada turbin uap, maka akan semakin besar efisiensi *thermal*. Hal ini terjadi dikarenakan beban pada turbin akan mengakibatkan kerja berguna turbin semakin tinggi, dan panas masuk turbin semakin meningkat sehingga menaikkan efisiensi *thermal* pada turbin uap.

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian hubungan pengaruh beban terhadap unjuk kerja sistem turbin uap, dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban pada generator mempengaruhi terhadap unjuk kerja sistem turbin uap. Dimana semakin besar beban maka unjuk kerja sistem turbin uap meningkat. Hal ini ini dapat dilihat dari nilai-nilai parameter unjuk kerja sistem turbin uap yang nilainya bervariasi tergantung dengan beban pada generator.
2. Dari hasil penelitian diperoleh unjuk kerja turbin uap yang paling baik yaitu pada beban 110,5 MW dengan nilai kerja turbin 2168,05 kJ/kg , nilai daya turbin 110660,3 kW, nilai torsi 353035 kJ/kg, nilai kerja pompa 88,41 kJ/kg, nilai panas masuk 2767,73 kJ/kg, nilai panas keluar 2578,4 kJ/kg nilai kerja yang berguna 2079,64 kJ/kg, dan nilai efisiensi thermal 75%.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan yaitu untuk memaksimalkan unjuk kerja sistem turbin uap yang berada di PLTU Tenayan Raya, Pekanbaru perlunya dilakukan pengecekan pada monitor (*display*) dimana kondisi beban tersebut harus dijaga, agar listrik tersebut yang digunakan untuk kebutuhan masyarakat dan perkantoran tidak mengalami gangguan. Untuk penelitian yang akan datang diharapkan adanya analisa terhadap efisiensi turbin uap terhadap waktu pengoperasian, agar dapat diketahui pada pukul berapa efisiensi turbin terbaik.



DAFTAR PUSTAKA

1. Dwi Dharma Risqiawan dan Ary Bachtiar Khrisna Putra. 2013. Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan *Inlet* Turbin dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik Turbin Pada *Organic Rankine Cycle*. Jurnal Institut Teknologi Sepuluh November (ITS)
2. Heinz P. Bloch dan Murari P. Singh. 2009. *Steam Turbines Design, Applications, and Rerating*. University of Nevada, Reno, Mc, Graw-Hill.
3. Buku panduan mata kuliah motor bakar dan turbin gas.
4. Gambar komponen PLTU , <http://www.turboseals.in/onsite-machining-and-caulking-of-sealing-strips.html>)
5. Cengel, yunus A, 1998. *HeatTransfer A Practical Approach*. University of Nevada, Reno, Mc, Graw-Hill.
6. Service manual; turbine, accessories and generator volume 1, PT. PLN Tenayan Raya
7. Heywood, jhon B 1998. *Internal Combustion Engine Fundamentalals*. New York; McGraw-HILL, Inc.
8. Gambar komponen PLTU , <http://www.turboseals.in/onsite-machining-and-caulking-of-sealing-strips.html>)
9. Changel, Yunus A. 2009. "*Thermodynamic An Enginerring Approach 5*". New York Megraw Hill Education
10. Nurmalita. 2012 Analisis Efisiensi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Energi Alamraya Semesta Di Kabupaten Nagan

Raya Nanggroe Aceh Darussalam. Skripsi. Bogor Agricultural University,
IPB

11. Gambar komponen Turbin PT.Sekar Bumi Alam Lestari
12. Gambar komponen Turbin PLTU Tenayan Raya

