

**ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP TERHADAP KAPASITAS
LISTRIK PEMBANGKIT**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sebagai Sarjana Teknik
Universitas Medan Area*

Oleh:

BANU WAHYUDI

14.813.0010



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

**ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP TERHADAP KAPASITAS LISTRIK
PEMBANGKIT**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sebagai Sarjana Teknik
Universitas Medan Area*



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

Judul Skripsi : Analisa Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik

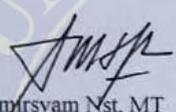
Pembangkit

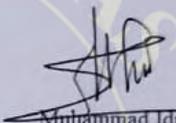
Nama : Banu Wahyudi

NPM : 14.813.0010

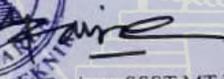
Fakultas : Teknik Mesin

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Ir. H. Amirsyam Nst, MT
Pembimbing I


Muhammad Idris, ST, MT
Pembimbing II




Faisal Sumri Tanjung, SSST, MT, PhD
Dekan




Muhammad Amroh, ST, MT
Prodi/WD I

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun sebagai syarat memperoleh sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu di dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain dan telah di tuliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi - sanksi yang lainnya dengan peraturan yang berlaku apabila di kemudian hari di temukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 18 April 2019

Penulis



BANU WAHYUDI

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademi Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Banu Wahyudi
NPM : 14.813.0010
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Skripsi : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalti-free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media / format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 18 April 2019

Yang menyatakan



(Banu Wahyudi)

Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit

Abstrak

Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energy potensial uap menjadi energy mekanik pada poros turbin uap. Poros turbin uap langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, transportasi, penerangan lampu, serta untuk pembangkit bertenaga listrik. Energi listrik yang terdapat pada rumah-rumah masyarakat yang di sekitar pabrik kelapa sawit memiliki kapasitas per rumah yaitu 500 watt. turbin uap di PTPN IV Unit Kebun Timur memiliki efisiensi yang rendah berkapasitas 1600 KW untuk menggerakkan berbagai peralatan yang berada di dalam pabrik kelapa sawit dan rumah masyarakat dengan daya yang sangat besar sehingga generator menghasilkan energy kinetic menjadi energy listrik. Daya per rumah yaitu 900 Watt dan di unit kebun timur ada 350 rumah masyarakat jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah masyarakat yaitu $900 \text{ Watt} \times 350 = 315.000 \text{ KW}$ Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar $1.239.000 \text{ Watt} = 1.239 \text{ KW}$ dan daya yang di alirkan ke rumah masyarakat per rumah yaitu sebesar 900 Watt, dengan $\eta_{\text{turbin}} = 13,63 \%$.

Kata kunci : Turbin Uap, Efisiensi, Listrik Pembangkit.

Efficiency Analysis of Steam Turbines for Generating Electricity Capacity

Abstract

Steam turbines are included in the group of planes to convert steam potential energy into mechanical energy on the steam turbine shaft. The direct steam turbine shaft or with the help of a reduction gear is connected to a driven mechanism. Steam turbines can be used in various industrial fields, transportation, lighting, and for electric power plants. The electrical energy found in people's homes around the palm oil mill has a capacity per house of 500 watts. the steam turbines at the East Garden Unit PTPN IV have a low efficiency with a capacity of 1600 KW to drive various equipment inside palm oil mills and community houses with very large power so that generators produce kinetic energy into electrical energy. The power per house is 900 Watts and in the east garden unit there are 350 community houses, so the power that is channeled to all community houses is $900 \text{ Watt} \times 350 = 315,000 \text{ KW}$ The power that is delivered to electricity generation is $1,239,000 \text{ Watts} = 1,239 \text{ KW}$ and power is distributed to community homes per house which is 900 Watts, with

Keywords: Steam Turbine, Efficiency, Generating Power.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada tuhan yang mahaesa yang memberikan berupa kesehatan kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini penelitian ini merupakan tugas akhir guna memenuhi syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Universitas Medan Area.

Dalam

Penulisan dan penelitian skripsi ini banyak kendala yang penulis alami, namun berkat bantuan moril dan material dari berbagai pihak, maka skripsi ini dapat diselesaikan, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Armansyah Ginting M.Eng selaku Dekan Fakultas Teknik
2. Bapak Bobby Umroh, ST.MT. selaku ketua Prodi Teknik Mesin.
3. Dosen pembimbing 1 yaitu Bapak Ir H. Amirsyam Nst, MT dan Dosen pembimbing II yaitu Bapak M. Idris ST,MT
4. Orang tua dan teman-teman yang senantiasa mendukung penulis
5. Bapak dan Ibu Dosen, serta pegawai di Universitas Medan Area.
6. Bapak Ir. Suherian selaku pemimpin di PTPN IV Unit Kebun Timur.
7. Bapak yang jadi pembimbing lapangan yaitu Bapak Khalid Anwar ST.
8. Para staf-staf karyawan tersebut terimakasih telah membantu penulis selama penulisan skripsi ini.

Penulis berusaha untuk memberikan yang terbaik, tetapi penulis menyadari sebagai seorang manusia tentunya tidak luput dari segala kesalahan. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis meminta maaf jika dalam skripsi ini masih terdapat berbagai kesalahan dan kekurangan. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak.

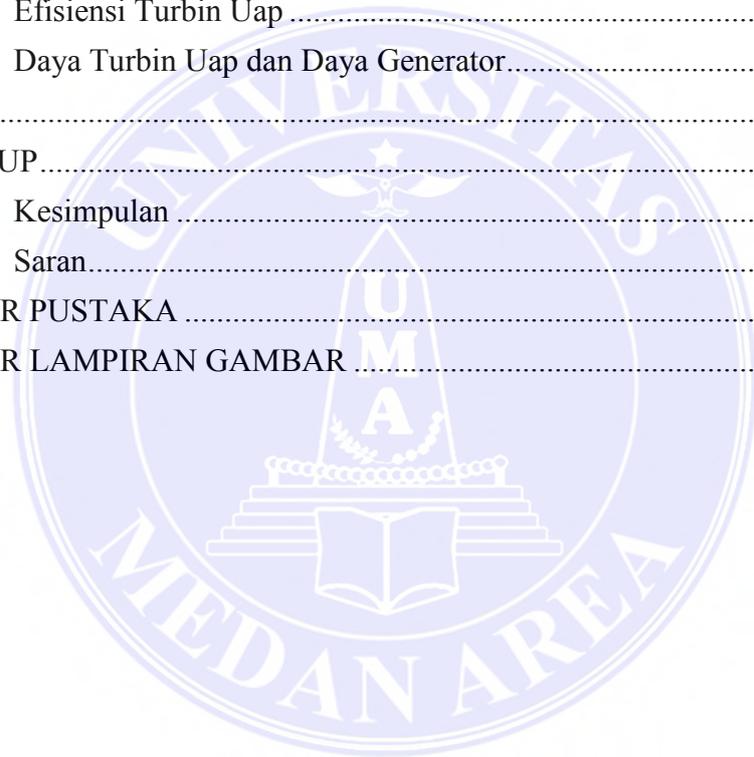
Medan 18April 2019
Penulis

BANU WAHYUDI

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
RIWAYAT HIDUP.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
.....
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Identifikasi Dan Batasan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Metode Pengumpulan Data.....	4
BAB II.....	5
LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Pengertian Turbin Uap.....	8
2.2. Prinsip Kerja Turbin Uap.....	12
2.3. Klasifikasi Turbin Uap.....	13
2.4. Kondensor	17
2.5. Efisiensi Turbin Uap.....	21
2.6. Siklus Rankine	21
BAB III.....	27
METODE PENELITIAN.....	27
3.1. Tempat Dan Waktu	27
3.2. Bahan Dan Alat	27
3.2.1. Bahan.....	27
3.2.2. Alat.....	29
3.3. Variabel Bebas	29
3.3.1. Variabel Bebas	29
3.3.2. Variable Tetap.....	29

3.4. Tahapan Penelitian	30
3.5. Pengamatan Penelitian	30
3.5.1. Observasi (pengamatan)	30
3.5.2. Wawancara	30
3.5.3. Pengolahan Data	31
3.5.4. Prosedur Penelitian	32
3.5.5. Metode Penelitian	32
BAB IV	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Perhitungan Daya Turbin Uap Dan Generator	34
4.2. Efisiensi Turbin Uap	41
4.3. Daya Turbin Uap dan Daya Generator	41
BAB V	59
PENUTUP	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR	62



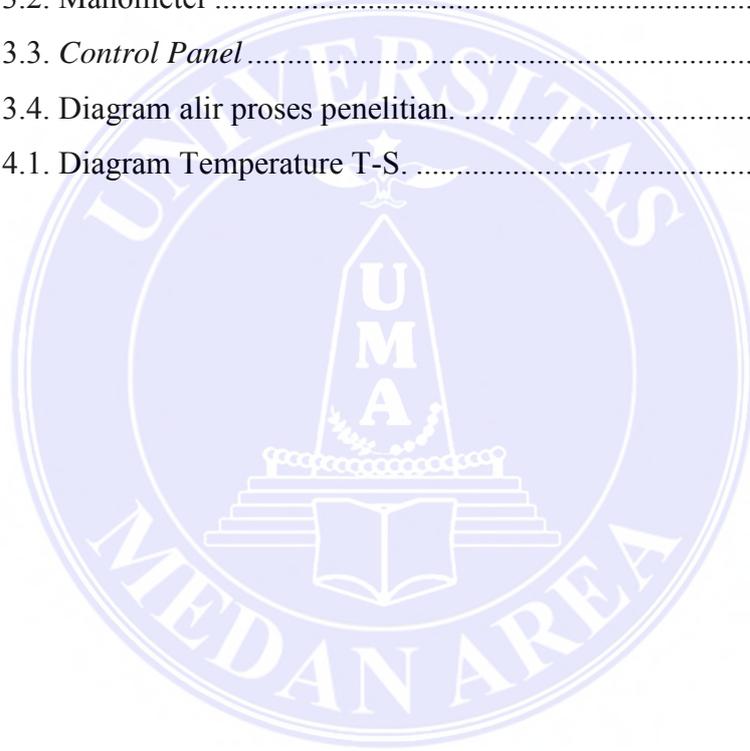
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi Turbin Uap	27
Tabel 4.1. Termodinamika Dasar	35
Tabel 4.2. Termodinamika Dasar	39
Tabel 4.3. Termodinamika Dasar	40
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan	57
Tabel 4.5. Grafik data	58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kontruksi dan komponen turbin uap.....	8
Gambar 2.2. Turbin Impuls.....	14
Gambar 2.3. Sistem Kondensor	18
Gambar 2.4. Diagram P-V dan diagram T-S (siklus ideal).....	22
Gambar 2.5. Siklus rankine.....	22
Gambar 2.6. Diagram Temperatur (T) – Entropi (S) siklus Rankine sederhana.....	24
Gambar 3.1. Turbin.....	28
Gambar 3.2. Manometer	28
Gambar 3.3. <i>Control Panel</i>	29
Gambar 3.4. Diagram alir proses penelitian.....	33
Gambar 4.1. Diagram Temperature T-S.....	36



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Energi merupakan unsure yang sangat penting dalam usaha meningkatkan kuantitas hidup masyarakat. Seiring dengan meningkatkan taraf hidup atau kuantitas dari masyarakat, kebutuhan terhadap energy sangat diperlukan, sekarang ini konsumsi energy sangat berhubungan langsung dengan tingkat kuantitas kehidupan penduduk serta derajat industry lisasi suatu negara. Salah satunya energi yang paling banyak digunakan oleh manusia dalam sehari-hari adalah energi listrik, sebab sumber energy sangat efektif atau efisien untuk dikonversikan menjadi bentuk energy yang lain seperti suatu pembangkit tenaga yaitu turbin uap penggerak generator. (Pitrandjalisari & Putra, 2013)

Salah satu jenisnya adalah turbin uap, Dimana Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energy potensial uap menjadi energy mekanik pada poros turbin uap. Poros turbin uap langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, transportasi, penerangan lampu, serta untuk pembangkit bertenaga listrik. Energi listrik yang terdapat pada rumah-rumah masyarakat yang di sekitar pabrik kelapa sawit memiliki kapasitas per rumah yaitu 500 watt.

Adapun turbin uap digunakan merupakan sebagai fluida kerja, sehingga menghasilkan bahan bakar seperti pada pabrik kelapa sawit, bahan bakar pada turbin uap adalah untuk membangkitkan besarnya tenaga uap, sehingga turbine uap mendistribusikan ke 3 bagian seperti melalui pipa-pipa rebusan, minyak dan

pressan dimana digunakan untuk proses pengolahan. Namun sebelum dimanfaatkan untuk proses pengolahan, terlebih dahulu berfungsi untuk menghidupkan panel-panel listrik yang digerakkan oleh generator listrik sehingga generator listrik memutarakan turbin uap, Dalam hal ini turbin uap di PTPN IV Unit Kebun Timur memiliki efisiensi yang rendah berkapasitas 1600 KW untuk menggerakkan berbagai peralatan yang berada di dalam pabrik kelapa sawit dan rumah masyarakat dengan daya yang sangat besar sehingga generator menghasilkan energy kinetic menjadi energy listrik.

Sistem pembangkit listrik tenaga uap merupakan sistem pembangkitan energi listrik dari perubahan energi thermal yang dihasilkan oleh bahan bakar untuk memanaskan air. Mesin-mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik diantaranya yaitu turbin uap. Dimana turbin uap merupakan kelompok pesawat-pesawat konversi. Dengan mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik pada nosel (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Dan dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dengan mekanisme yang digerakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk transportasi, dan untuk pembangkit tenaga listrik. (Joko Purnomo M. E., 2018)

Berdasarkan uraian diatas maka penulis mengambil judul mengenai
“ Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit” yang akan membahas tentang besarnya kapasitas daya turbin uap.

1.2. Identifikasi Dan Batasan Masalah

Pada latar belakang di atas memiliki identifikasi masalah yang paling mempengaruhi efisiensi daya turbin yaitu kapasitas yang rendah pada daya turbin uap.

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan yang akan di selesaikan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menaikkan tekanan efisiensi daya turbin uap ?
2. Bagaimana menghitung efisiensi daya turbin uap yang akan di alirkan kerumah masyarakat ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis daya yang dihasilkan turbin uap.
2. Menganalisis efisiensi turbin uap.
3. Menganalisis berapa daya listrik keluar yang di alirkan kerumah msyarakat.

1.4. Manfaat Penelitian

Laporan tugas akhir ini diharapkan bermanfaat bagi:

1. Manfaat bagi penulis untuk menambah khasanah ilmu pengetahuan dan pengalaman agar mampu melakukan kegiatan yang sama kelak setelah bekerja atau terjun kelapangan.
2. Sebagai pengembangan pengetahuan mahasiswa/i tentang generator set berbahan bakar solar dan referensi tambahan.

3. Manfaat bagi industry sebagai bahan pertimbangan untuk memperbaiki performa generator set yang ada dalam industry tersebut.

1.5. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini digunakan metode lapangan yang berguna untuk mendapatkan / memperoleh data yang tepat dan benar. Adapun metode yang penyusun gunakan dalam pengumpulan data meliputi berbagai cara antara lain sebagai berikut :

- a. Metode pendekatan yang dilakukan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan pada penelitian ini dengan studi pustaka dari peneliti terdahulu.
- b. Tahap identifikasi dilakukan dengan melakukan pencarian data awal spesifikasi turbin uap dan kondisi operasinya, serta penentuan nilai-nilai variabel yang diperlukan dalam melakukan perhitungan dan analisis masalah.
- c. Interview adalah metode pengumpulan data yang dilakukan dengan cara tanya jawab secara langsung baik dengan asisten, supervisor, maupun operator yang ada di lingkungan industry.
- d. Study perpustakaan merupakan metode yang dilakukan dengan cara membacakan mempelajari literature yang berhubungan dengan efisiensi kapasitas daya turbin uap yang ada di pabrik kelapa sawit.

BAB II

LANDASAN TEORI

1.1. Pengertian Turbin Uap

Sistem Turbin Uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluida menjadi energi mekanik.

Turbin Uap merupakan salah satu komponen dasar dalam pembangkit listrik tenaga uap, dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu : Ketel, kondensor, pompa air ketel, dan turbin itu sendiri. Uap yang berfungsi sebagai fluida kerja dihasilkan oleh ketel uap, yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap yang akan menghasilkan energy listrik.(Valdo Sihombing, 2014)

Turbin uap dapat diklasifikasikan dalam beberapa kategori yang berbeda antara lain menurut jumlah tingkat tekan, arah aliran uap, posisi silinder, metode pengaturan prinsip aksi uap, proses penurunan kalor, tekanan uap sisi masuk, dan pemakaiannya dibidang industry sebagai berikut :

1. Menurut Jumlah Tingkat Tekanan
 - a. Turbin satu tingkat dengan satu atau lebih tingkat kecepatan yang biasanya berkapasitas kecil. Turbin jenis ini biasanya digunakan untuk menggerakkan kompresor dan mesin-mesin lain yang serupa.
 - b. Turbin impuls dan reaksi bertingkat; turbin ini dibuat dalam jangka kapasitas yang luas mulai dari yang kecil hingga yang besar.

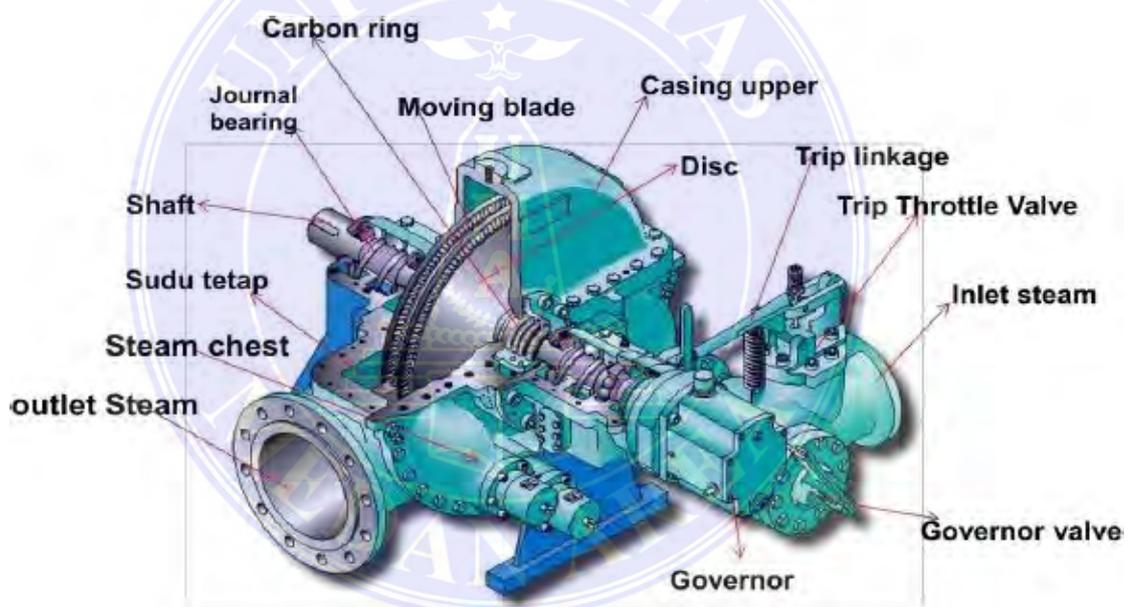
2. Menurut Arah Aliran Uap
 - a. Turbin Aksial uap mengalir dalam arah sejajar terhadap sumbu turbin.
 - b. Turbin Radial uap mengalir dalam arah yang tegak lurus terhadap sumbu turbin.
3. Menurut Posisi Silinder
 - a. Single Cylinder, yaitu turbin dengan satu silinder
 - b. Tandem silinder
 - c. Cross Cylinder
4. Menurut Metode Pengaturan
 - a. Turbin dengan Pengaturan pengecilan (Throttling) uap segar masuk melalui satu atau lebih katup pengecil yang dioperasikan serempak.
 - b. Turbin dengan pengaturan noseluap segar masuk melalui dua atau lebih pengatur pembuka yang berurutan.
 - c. Turbin dengan pengaturan pelangkauan
5. Menurut Prinsip Aksi Uap
 - a. Turbin Impuls energi potensial uap diubah menjadi energi kinetik didalam nosel atau laluan yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan kemudian di dalam sudu-sudu gerak energi kinetik uap diubah menjadi energi mekanis.
 - b. Turbin Reaksi Aksial Ekspansi uap terjadi diantara laluan sudu baik sudu pengarah maupun sudu gerak.

6. Menurut Proses Penurunan Kalor
 - a. Turbin Kondensasi (Condensing Turbine) Adalah turbin yang uap bekasnya didinginkan kembali dikondenser. Selanjutnya air yang keluar dari kondenser dipakai kembali untuk air pengisi ketel.
 - b. Turbin Tekanan Lawan (Back Pressure Turbine) Adalah turbin yang uap bekasnya tidak didinginkan di kondenser tetapi dipakai untuk keperluan industri dan pemanasan.
 - c. Turbin Tumpang Adalah jenis turbin tekanan lawan yang uap buangnya dipakai untuk turbin kondensasi tekanan menengah dan rendah
7. Menurut Kondisi Uap Masuk Turbin
 - a. Turbin tekanan rendah yang memakai uap dengan tekanan 1,2 sampai 2 atm.
 - b. Turbin tekanan menengah yang memakai uap sampai tekanan 40 atm.
 - c. Turbin tekanan tinggi yang memakai uap pada tekanan di atas 40 atm.
 - d. Turbin tekanan sangat tinggi, yang memakai uap pada tekanan 170 atm atau lebih dan temperatur diatas 550°C .
 - e. Turbin tekanan super kritis yang memakai uap dengan tekanan 225 atm atau lebih.
8. Menurut Pemakaiannya di Bidang Industri
 - a. Turbin stasioner yaitu Turbin yang tidak dapat dipindah tempat biasanya digunakan sebagai penggerak alternator pada pembangkit listrik.
 - b. Turbin yang tidak stasioner yaitu turbin dengan kecepatan yang bervariasi biasanya digunakan pada kapal-kapal uap, lokomotif dan lain-lain.

Secara umum dapat kita lihat bahwa system turbin uap di bagi atas 5 bagian yaitu :

1. *Steam turbine*
2. *Governor dan turbin control*
3. *Steam supply dan drainage system*
4. *Cooling system*
5. *Oil pressure system*

Gambar 2.1. menjelaskan Komponen-Komponen Turbin Uap yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.1. Kontruksi dan komponen turbin uap.

1. **Cassing**
Adalah komponen yang berfungsi untuk menutup serta melindungi bagian-bagian utama turbin.
2. **Rotor**
Adalah komponen turbin yang berputar terdiri atas poros, sudu turbin, atau deretan sudu yang disebut stasionary blade dan moving blade. Untuk

turbin bertekanan tinggi atau ukuran besar, khususnya unuk turbin jenis reaksi maka motor ini perlu di Balance untuk mengimbangi gaya reaksi yang timbul secara aksial terhadap poros.

3. Shaft Seals

Shaft seals merupakan salah satu bagian turbin terletak antara poros dengan casing yang berfungsi untuk mencegah uap air keluar dari dalam turbin melewati sela-sela antara poros dengan casing akibat perbedaan tekanan serta untuk mencegah udara agar tidak masuk ke dalam turbin selama turbin beroperasi.

4. Turbine Bearing

Bearing / bantalan pada turbin uap memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Menahan agar komponen rotor diam.
- b. Menahan berat dari rotor.
- c. Menahan berbagai gaya tidak stabil dari uap air terhadap sudu turbin.
- d. Menahan ketidakseimbangan karena kerusakan sudu.
- e. Menahan gaya aksial pada beban listrik yang bervariasi

Jenis bearing

a. Bearing Pendestal

Merupakan salah satu komponen turbin yang berfungsi sebagai bantalan untuk menumpu poros rotor.

b. Journal Bearing

Adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan Gaya Radial atau Gaya Tegak Lurus Rotor.

c. Thrust Bearing

Adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan atau menerima gaya aksial atau gaya sejajar terhadap poros yang merupakan gerakan maju mundurnya poros rotor.

5. Main Oli Pump

Adalah bagian turbin yang berfungsi sebagai pemompa oli dari tangki yang selanjutnya disalurkan menuju bagian – bagian yang berputar pada turbin .

6. Gland Packing

Adalah bagian turbin yang berfungsi sebagai Penyekat untuk menahan apabila terjadi kebocoran baik kebocoran Uap maupun kebocoran oli.

7. Labirinth Ring

Adalah bagian turbin yang mempunyai fungsi sama dengan gland packing, yaitu menyekat apabila terjadi kebocoran baik uap ataupun oli.

8. Impuls Stage

Adalah bagian turbin sudu turbin tingkat pertama, terdapat 116 sudu di dalamnya.

9. Stasionary Blade

Adalah sudu-sudu dalam turbin yang berfingsi untuk menerima dan mengarahkan kemana selanjutnya steam yang masuk.

10. Moving Blade

Adalah beberapa sudu yang berfungsi menerima dan merubah Energi Steam yang masuk menjadi Energi Kinetik yang akan memutar generator.

11. Turbine Control Valve

merupakan katup yang bertugas mengatur jumlah steam yang masuk kedalam turbin sesuai dengan jumlah Steam yang diperlukan sesuai dengan sistem control yang bergantung pada besar beban listrik.

12. Turbine Stop Valves

Adalah merupakan katup yang bertugas meneruskan atau menghentikan aliran steam sebelum menuju ke turbin. Disebut juga *Emergency Stop Valve* karena berfungsi untuk mengisolasi turbin dari supply uap air pada keadaan darurat untuk menghindari kerusakan atau juga over speed.

13. Reducing Gear

Adalah salah satu bagian turbin yang biasanya hanya dipasang pada turbin-turbin dengan kapasitas besar, berfungsi untuk menurunkan putaran poros rotor dari 5500 rpm menjadi 1500 rpm.

14. Balance Piston

Berfungsi untuk melawan gaya aksial (gaya reaksi dari sudu yang berputar menghasilkan gaya aksial terhadap sisi belakang dari silinder pertama turbin) jumlah gaya 50%.

15. Turning Device

Adalah mekanisme yang berfungsi untuk memutar rotor dari turbin pada saat start awal atau setelah shut down guna mencegah terjadinya distorsi/bending akibat proses pemanasan atau pendinginan yang tidak seragam pada rotor. (Sunarwo, 2015)

1.2. Prinsip Kerja Turbin Uap

Pada intinya prinsip kerja turbin uap adalah menerima energi kinetik dari superheated vapor (uap kering) yang dikeluarkan oleh nosel sehingga sudu-sudu turbin terdorong secara anguler atau bergerak memutar. Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

1. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Didalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin, perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.
2. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan, supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak, maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (guideblade) yang berguna untuk mengubah arah

kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

3. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

1.3. Klasifikasi Turbin Uap

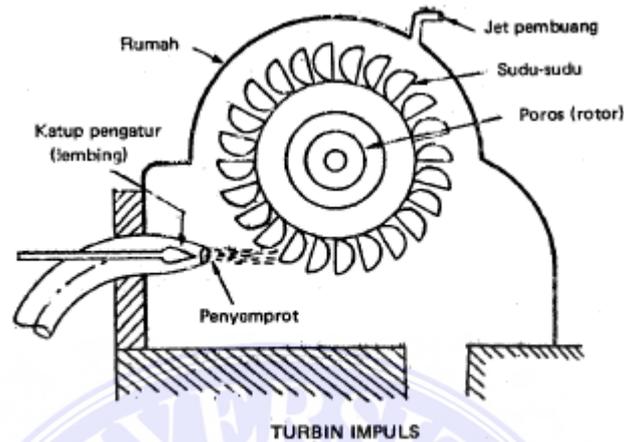
Turbin Uap dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yang berbeda berdasarkan pada konstruksinya, prinsip kerjanya dan menurut proses penurunan tekanan uap sebagai berikut:

1. Klasifikasi Turbin berdasarkan Prinsip Kerjanya

- a. Turbin Impuls

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

Gambar 2.2. klasifikasi Turbin Impuls memiliki komponen-komponen sebagai berikut :



Gambar 2.2. Turbin Impuls

1. Poros (Rotor)
 Berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
2. Rumah turbin impuls
 Berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen-komponen dari turbin.
3. Bantalan turbin impuls
 Berfungsi sebagai perapat-perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada system.
4. Sudu-sudu
 Berfungsi untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan oleh Nozzel.
5. Pipa pengarah / Nozzel
 Berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan alir fluida yang digunakan didalam system besar.

Kecepatan uap naik karena nosel berfungsi menaikkan kecepatan uap, kemudian uap mengalir ke dalam baris sudu gerak pada tekanan konstan. Tetapi kecepatan absolutnya turun karena energi kinetik uap diubah menjadi kerja memutar roda turbin. Uap yang keluar turbin masih berkecepatan tinggi, sehingga masih mengandung energi tinggi atau kerugian energi masih terlalu besar.

Untuk mencegah kerugian energi yang terlalu besar, uap diekspansikan secara bertahap didalam turbin bertingkat ganda. Dengan turbin bertingkat ganda, diharapkan proses penyerapan energi (proses perubahan energi termal menjadi kerja mekanik) dapat berlangsung efisien. Perubahan tekanan dan kecepatan absolut dari uap didalam turbin impuls kecepatan bertingkat (turbin Curtis).

Uap hanya diekspansikan di dalam nosel (baris sudu tetap pertama) dan selanjutnya tekanannya konstan. Akan tetapi turbin tersebut masih dalam golongan turbin impuls karena didalam baris sudu Gerak tidak terjadi ekspansi (penurunan tekanan). Meskipun tekanan uap didalam sudu gerak konstan, kecepatan absolut turun karena sebagian dari energi uap diubah menjadi kerja memutar roda turbin. Kecepatan uap didalam sudu tetap berikutnya tidak naik karena tekanannya konstan. (Putra, 2013)

Turbin impuls lain adalah sebagai berikut :

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

Ciri-ciri dari turbin impuls antara lain:

1. Proses pengembangan uap / penurunan tekanan seluruhnya terjadi pada sudu diam / nosel.

2. Akibat tekanan dalam turbin sama sehingga disebut dengan Tekanan Rata.

b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin dengan proses ekspansi (penurunan tekanan) yang terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu gerak, energi termal uap diubah menjadi energi kinetik di sudu-sudu penghantar dan sudu-sudu jalan, dan kemudian gaya reaksi dari uap akan mendorong sudu-sudu untuk berputar. Turbin reaksi disebut juga turbin Parsons sesuai dengan nama pembuat turbin pertama, yaitu Sir Charles Parsons (Suyanto:2010)

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

Ciri-ciri turbin ini adalah :

1. Penurunan tekanan uap sebagian terjadi di Nosel dan sudu gerak
2. Adanya perbedaan tekanan didalam turbin sehingga disebut tekanan bertingkat.
2. Klasifikasi turbin uap berdasarkan pada tingkat penurunan tekanan dalam turbina.

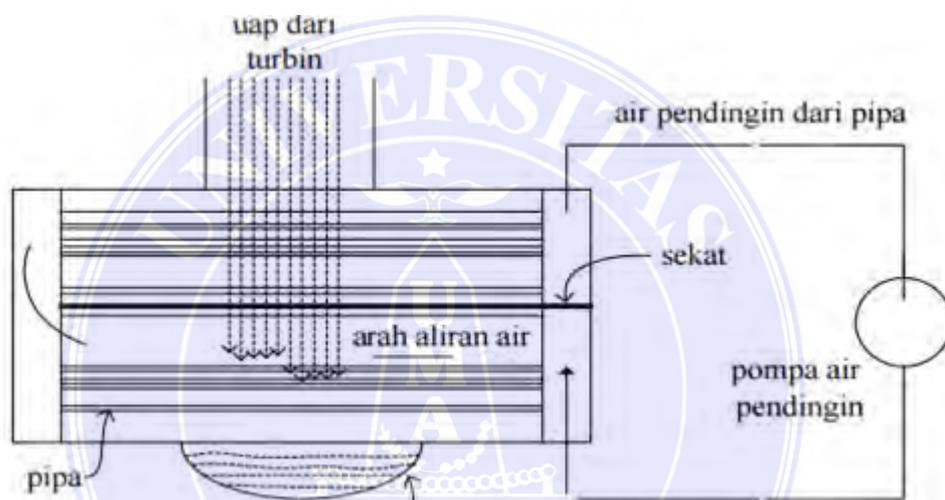
- a. Turbin Tunggal (Single Stage) dengan kecepatan satu tingkat atau lebih turbin ini cocok untuk daya kecil, misalnya penggerak kompresor, blower, dll.
 - b. Turbin Bertingkat (Aksi dan Reaksi) disini sudu-sudu turbin dibuat bertingkat, biasanya cocok untuk daya besar. Pada turbin bertingkat terdapat deretan sudu 2 atau lebih. Sehingga turbin tersebut terjadi distribusi kecepatan / tekanan.
3. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Proses Penurunan Tekanan Uap.
- a. Turbin Kondensasi.
Tekanan keluar turbin kurang dari 1 atm dan dimasukkan kedalam kompresor.
 - b. Turbin Tekanan Lawan
apabila tekanan sisi keluar turbin masih besar dari 1 atm sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin lain.
 - c. Turbin Ekstraksi.
Didalam turbin ini sebagian uap dalam turbin diekstraksi untuk proses pemanasan lain, misalnya proses industri.

1.4. Kondensor

Kondensor merupakan peralatan untuk mengembunkan kembali uap yang telah di manfaatkan untuk memutar turbin uap. Hal ini di perlukan untuk menghemat sumber air yang ada di sekitarnya, kemurnian air yang digunakan dalam system turbin uap agar tidak terjadi pengendapan maupun kotoran-kotoran yang dapat merusak. Sebagai pendingin kondensor biasanya menggunakan air

dingin seperti air sungai, laut atau air tanah yang sudah diproses melalui water treatment terlebih dahulu.

Gambar 2.3. System Kondensor terdiri dari banyak bagian alat / komponen yang bekerja bersama-sama. Supaya kondensor bisa bekerja normal, maka semua komponen kondensor harus bisa bekerja dengan maksimal. Kerusakan atau masalah pada salah satu komponen kondensor akan menyebabkan gangguan pada kondensor bahkan bisa menyebabkan trip Turbin Uap.



Gambar 2.3. Sistem Kondensor

1. Pipa Kondensor (Condenser Tube)

Berfungsi Untuk menyerap panas dari uap bekas turbin sehingga temperaturnya (suhu) uap turun dan berubah fasa menjadi air (cair).

Terletak di bagian dalam Kondensor dan terdiri dari banyak (ratusan/ribuan) pipa-pipa dengan diameter kecil yang disusun rapat dan biasanya tersusun secara horizontal. Air pendingin akan dimasukkan ke dalam pipa kondenser dari bagian bawah (inlet) dan dikeluarkan dari bagian atas (outlet).

Sedangkan uap bekas Turbin akan bersentuhan dengan pipa Kondensor bagian luar.

2. Cooling Water Pump (CWP)

Adalah sebuah pompa air yang mengalirkan air pendingin ke bagian dalam pipa Kondensor. Air pendingin bisa berasal dari air tawar (sumur, sungai, danau, rawa dll) atau air asin (air laut). Tergantung dari kapasitas Turbin uap, semakin besar kapasitasnya maka akan memerlukan air dalam jumlah yang banyak dan biasanya menggunakan air laut yang melimpah.

Air pendingin Kondensor bisa digunakan / disirkulasikan sekali saja setelah itu dibuang keluar atau bisa digunakan berulang kali tapi harus memiliki alat tambahan untuk menjaga temperatur air pendingin tetap terjaga sesuai desain Kondensor. Biasanya akan dilengkapi dengan suatu alat yang bernama Tower Pendingin (Cooling Tower).

3. Pompa Vakum

Pompa vakum berfungsi untuk menarik gas-gas yang tidak diperlukan keluar dari Kondensor. Kegagalan dalam membuang gas-gas tersebut akan membuat tekanan di dalam Kondensor turun/jelek/positif (Drop) yang akan menyebabkan uap bekas Turbin mengalami kesulitan mengalir ke kondensor dan bisa menyebabkan harus diturunkannya beban turbin atau bahkan membuat turbin uap trip.

Pompa Vakum akan mengalirkan air dari tangki ejektor melewati suatu nozzle berkecepatan tinggi dan dilewatkan ke saluran pipa yang sempit yang

terhubung ke dalam Kondensor. Akibatnya gas-gas di dalam Kondensor akan tertarik dan dibuang bersama air ejektor ke udara luar (atmosfer).

4. Hotwell

Hotwell adalah suatu alat yang terdapat di bawah kondenser namun masih menjadi satu dengan Kondensor dan berfungsi menampung air kondensat.

5. Pompa Kondensat (Condensate Pump)

Berfungsi untuk memompakan air Kondensat di Hotwell ke Tangki Deaerator (Deaerator Tank).

6. System Uap Perapat (Steam Seals System)

Berfungsi untuk memberikan uap perapat pada Labirin Turbin agar udara luar tidak masuk ke dalam Kondensor. Uap bertekanan rendah akan memenuhi labirin yang berfungsi sebagai perapat sehingga hanya uap yang akan di hisap vakum Kondensor.

7. Parameter Kontrol dan Instrumen

Berfungsi untuk mengetahui / membaca tekanan dan temperatur di dalam ruang kondensor.

1.5. Efisiensi Turbin Uap

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin besarnya kerugian didalam turbin akan mempengaruhi efisiensinya. Kerugian yang besar berarti efisiensinya rendah.

Faktor-faktor penyebab kerugian didalam turbin diantaranya :

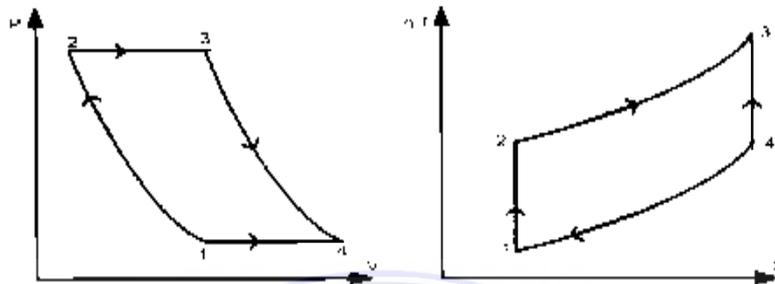
- a. Kerugian pada Katup Governor.
- b. Kerugian pada Nosel (Nozzle Loss)
- c. Kerugian pada Moving Blades.
- d. Kerugian pada uap meninggalkan moving blades (Leaving Velocity / Carry Over Loss).
- e. Kerugian Gesekan.
- f. Kerugian Celah (Clearance Loss).
- g. Kerugian akibat kebasahan uap.
- h. Kerugian akibat kecepatan uap keluar turbin.
- i. Kerugian luar (External Loss).

1.6. Siklus Rankine

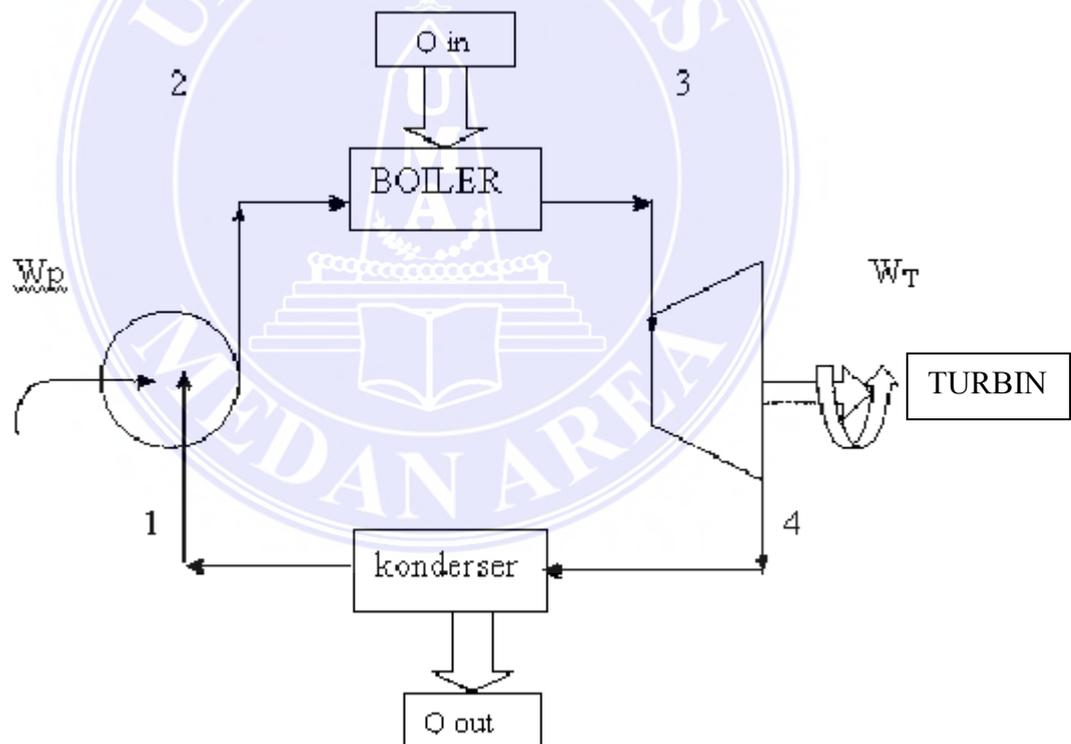
Siklus Rankine setelah diciptakan langsung diterima sebagai standar untuk pembangkit daya yang menggunakan uap (steam). Siklus Rankine nyata yang digunakan dalam instalasi pembangkit daya jauh lebih rumit dari pada siklus Rankine ideal asli yang sederhana. siklus ini merupakan siklus yang paling banyak digunakan untuk pembangkit daya listrik sekarang ini. Oleh karena siklus Rankine merupakan siklus uap cair maka paling baik siklus itu

digambarkan dengan diagram P - v dan T - s dengan garis yang menunjukkan uap jenuh dan cair jenuh. (Novi Gusnita, 2017)

Adapun diagram h,T vs S dan P vs V dapat dilihat berikut ini:



Gambar 2.4. Diagram P-V dan diagram T-S (siklus ideal)



Gambar 2.5. Siklus rankine

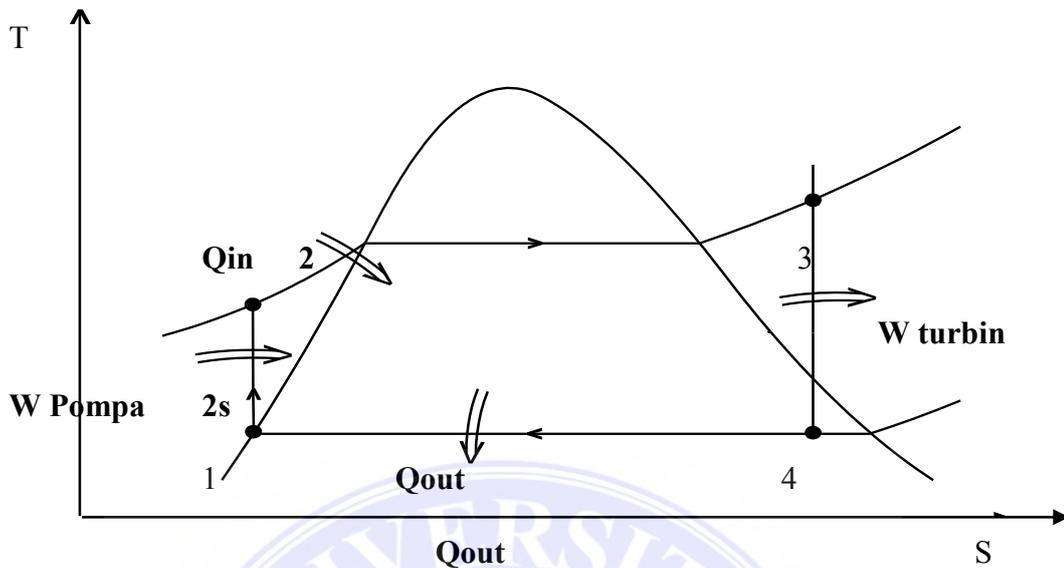
Terdapat 4 proses dalam siklus Rankine, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan/atau wujud) sebagai berikut:

1. Proses1 : Fluida dipompa dari bertekanan rendah ketekanan tinggi dalam bentuk cair. Proses ini membutuhkan sedikit input energi.
2. Proses2 : Fluida cair bertekanan tinggi masuk keboiler dimana fluida dipanaskan hingga menjadi uap pada tekanan konstan menjadi uap jenuh.
3. Proses 3 : Uap jenuh bergerak menuju turbin, menghasilkan energy listrik. Halini mengurangi temperature dan tekanan uap, dan mungkin sedikit kondensasi juga terjadi.
4. Proses4 : Uap basah memasuki kondenser dimana uap diembunkan dalam tekanan dan temperatur tetap hingga menjadi cairan jenuh.

Siklus ideal yang terjadi didalam turbin adalah siklus Renkine ; Air pada siklus 1 dipompakan, kondisinya adalah isentropik $S_1 = S_2$ masuk ke boiler dengan tekanan yang sama dengan tekanan di kondenser tetapi Boiler menyerap panas sedangkan kondenser melepaskan panas, kemudian dari boiler masuk keturbin dengan kondisi super panas $h_3=h_4$ dan keluaran dari turbin berbentuk uap jenuh dimana laju aliran massa yang masuk ke turbin sama dengan laju aliran massa keluar dari turbin, ini dapat digambarkan dengan menggunakan diagram T – S berikut:

Pada Gambar 2.6. yaitu Proses proses yang terjadi dari diagram tersebut diatas adalah sebagai berikut:

1. Proses1-2 : Proses kompresi isentropis pada kompresor.
2. Proses2-3 : Proses pembakaran pada tekanan konstan (*isobar*) Didalam ruang bakar, adanya pemasukan panas.
3. Proses3-4 : Proses ekspansi isentropik pada turbin.
4. Proses4-1 : Proses pelepasan kalor pada tekanan konstan.



Gambar 2.6. Diagram Temperatur (T) – Entropi (S) siklus Rankine sederhana.

Menghitung efisiensi turbin berdasarkan metode siklus *braython* adalah sebagai berikut:

$$\eta_T = \frac{W_T}{W_{Ts}} \dots \dots \dots (1.1)$$

Dimana :

η_T = Efisiensi Turbin

W_T = Kerja Turbin Aktual

W_{Ts} = Kerja Turbin Ideal

Siklus ideal adalah suatu siklus yang dibangun berdasarkan asumsi sebagai berikut :

1. Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara reversible adiabatik (isentropis).
2. Perubahan energi kinetik dari fluida kerja diantara sisi masuk dan sisi keluar setiap kompresor diabaikan.

3. Tidak ada kerugian tekanan pada sisimasuk ruang bakar dan keluar gas.
4. Fluida kerja dianggap gas ideal dengan panas jenis konstan.(Dwi Cahyadi, 2015)

Menghitung efisiensi termal ideal siklus *brayton* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{th.s} = \frac{W_{net.s}}{Q_{in.s}} \dots\dots\dots(1.2)$$

Dimana :

$\eta_{th.s}$ = Efisiensi Termal Ideal Siklus Braython

$W_{net.s}$ = Kerja Bersih Generator

$Q_{in.s}$ = Panas masuk system ideal kompresor

Atau menggunakan persamaan berikut :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} \dots\dots\dots(1.3)$$

Dimana :

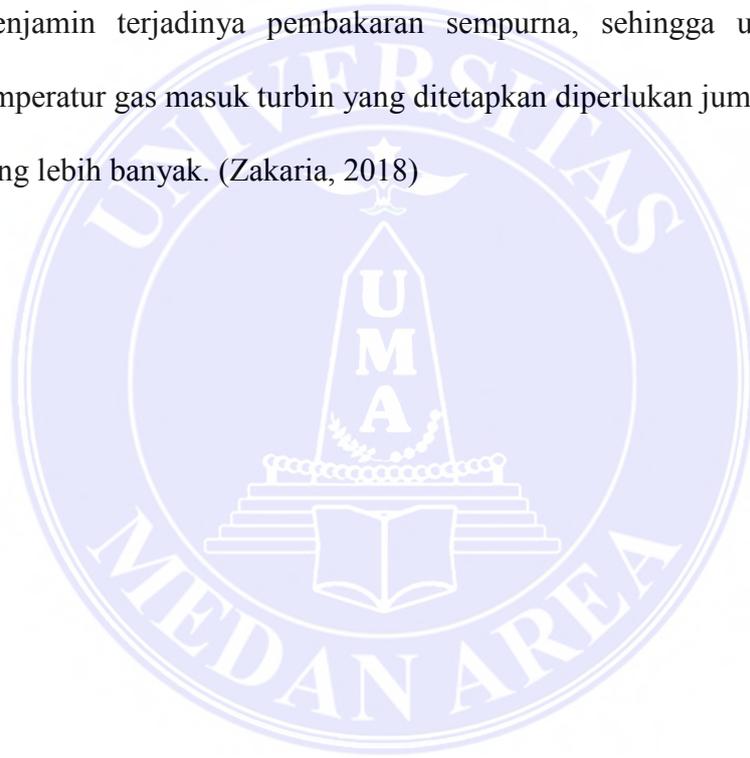
η_{th} = Efisiensi termal aktuelsiklus *braython*

W_{net} = kerja bersih sistem aktual generator

q_{in} = Panas masuk system actual kompresor

Proses–proses yang terjadi diatas berlaku secara teoritis, tetapi kenyataannya (secara aktual) terjadi penyimpangan–penyimpangan dan proses yang ideal. Penyimpangan-penyimpangan itu adalah :

- a. Fluida kerja bukanlah gas ideal dengan panas spesifik konstan.
- b. Laju aliran massa fluida kerja tidak konstan.
- c. Proses yang berlangsung disetiap komponen tidak adiabatik dan *reversibel*, karena ada kerugian energy akibat gesekan, perpindahan panas dan lain-lain.
- d. Proses kompresi didalam kompresor tidak berlangsung secara isentropik.
- e. Proses ekspansi didalam turbin tidak berlangsung secara isentropik.
- f. Proses pembakaran tidak berlangsung secara adiabatik serta tidak dapat menjamin terjadinya pembakaran sempurna, sehingga untuk mencapai temperatur gas masuk turbin yang ditetapkan diperlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak. (Zakaria, 2018)



BAB III

METODE PENELITIAN

1.1. Tempat Dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit Kebun Timur. Waktu Penelitian selama satu bulan yaitu pada tanggal 15 Agustus – 15 September 2018.

1.2. Bahan Dan Alat

1.2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah;

1. Data Log Sheet harian karyawan.
2. Data realisasi dari peneliti.

1. Turbin

Turbin uap yang digunakan ialah turbin uap yang berada di Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit Kebun Timur dengan spesifikasi turbin seperti ditunjukkan dibawah ini:

Tabel 3.1. Spesifikasi turbin uap 1 Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit Kebun

Timur:

Merk	Type	Serial Number	KW Normal	Pin	Pout	1/n
STANFORD	C5DS11- GVS	X13S152719	1600	30 Bar	4,5 Bar	6414/1500



Gambar 3.1. Turbin

1.2.2. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam proses penelitian ini antara lain adalah:

1. Manometer

Manometer adalah alat yang digunakan secara luas pada audit energy untuk mengukur perbedaan tekanan di dua titik yang berlawanan. Gambar 3.2. Manometer yang digunakan ialah manometer yang dipakai pada turbin uap di Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit Kebun Timur, yang berfungsi untuk mengukur tekanan udara dalam ruang tertutup. Suatu tekanan yang ekuivalen dengan tekanan yang dikeluarkan oleh persis 76 cm pada suhu 0°C di bawah temperature ini adalah $13,595 \text{ gram/cm}^3$



Gambar 3.2. Manometer

2. Control Panel

Gambar 3.3. Control Panel yang berfungsi untuk mengukur tekanan udara dalam ruang tertutup, mengukur tekanan turbin alternator berkapasitas 1600 KW.



Gambar 3.3. Control Panel

1.3. Variabel

1.3.1. Variabel Bebas

1. Daya
2. Kapasitas
3. Heatrate
4. Entalpi

1.3.2. Variable Tetap

1. Waktu
2. Efisiensi turbin

1.4. Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Mencatat seluruh kegiatan yang terjadi selama proses di stasiun pembangkit tenaga (*powerplant*) dalam buku harian mandor.
2. Mencatat data waktu pengolahan, tekanan *steam* masuk, daya yang dihasilkan oleh turbin, penggunaan bahan bakar pada boiler.
3. Melakukan wawancara dengan operator dan mandor stasiun pembangkit tenaga, serta asisten *maintenance* terkait dengan proses *power plant*.
4. Melakukan perhitungan nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) tersebut.
5. Menganalisa dan menyimpulkan mengenai konsumsi panas (energi) dalam menghasilkan listrik pabrik.

1.5. Pengamatan Penelitian

1.5.1. Observasi (pengamatan)

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dengan melakukan pengamatan dan pencatatan langsung yang berkaitan dengan stasiun pembangkit tenaga (*power plant*) terutama pada daya turbin uap dan Boiler di PKS PTPN IV Unit Kebun Timur selama tanggal 15 Agustus – 15 september 2018.

1.5.2. Wawancara

Pengumpulan data secara langsung (wawancara) dilakukan dengan bertanya kepada pihak manajemen *maintenance* termasuk *operator*, mandor dan asisten dengan memberikan penjelasan tentang keadaan dan masalah dari stasiun pembangkit tenaga (*power plant*) yaitu pada tekanan uap yang rendah pada turbin.

1.5.3. Pengolahan Data

1. Pengolahan Kualitatif

Data yang di dapat berupa sajian tentang performa stasiun pembangkit tenaga melalui wawancara dengan pihak operator, mandor dan asisten *maintenance*.

2. Pengolahan Kuantitatif

Data yang diambil tersebut adalah data skunder dari buku harian mandor mengenai performa stasiun pembangkit tenaga (*power plant*) selama satu (1) bulan yaitu pada tanggal 15 Agustus – 15 September 2018. Kemudian dilakukan analisa perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

2. Entalpi:

Mencari nilai entalpi (*h*) *superheated* dengan cara interpolasi dengan menggunakan tabel uap.

Mencari nilai dengan cara interpolasi seperti dibawah ini:

$$h = h_1 + \left(\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} \right) (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (1.4)$$

dengan: T= Temperatur °C

h = Entalpi (KJ/kg)

b. Net Heat Rate (NHR)

$$\text{Heat rate} = \frac{h_i}{\text{daya yang dihasilkan}}$$

Dimana: h_i = enthalpy sistem

Daya yang dihasilkan = daya yang dihasilkan oleh turbin

$$W_{\text{pump, in}} = V_1(P_2 - P_1) \quad (1.5)$$

1.5.4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan studi literature untuk memperoleh data-data yang lengkap untuk objek yang akan diteliti. Literature yang penulis gunakan bersumber dari beberapa jurnal dengan materi yang sama dan buku termodinamika teknik dasar beserta referensi yang ada di internet.

Setelah melakukan studi literature tahap selanjutnya adalah pembuatan proposal tugas akhir dan setelah di konsultasikan dengan dosen pembimbing. Setelah itu penulis akan mengambil data di PTPN IV Unit Kebun Timur.

1.5.5. Metode Penelitian

Metode yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian analisis efisiensi daya turbin uap terhadap kapasitas listrik pembangkit berikut adalah :

1. Metode Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku penunjang lainnya mengenai daya turbin uap dan termodinamika dasar.

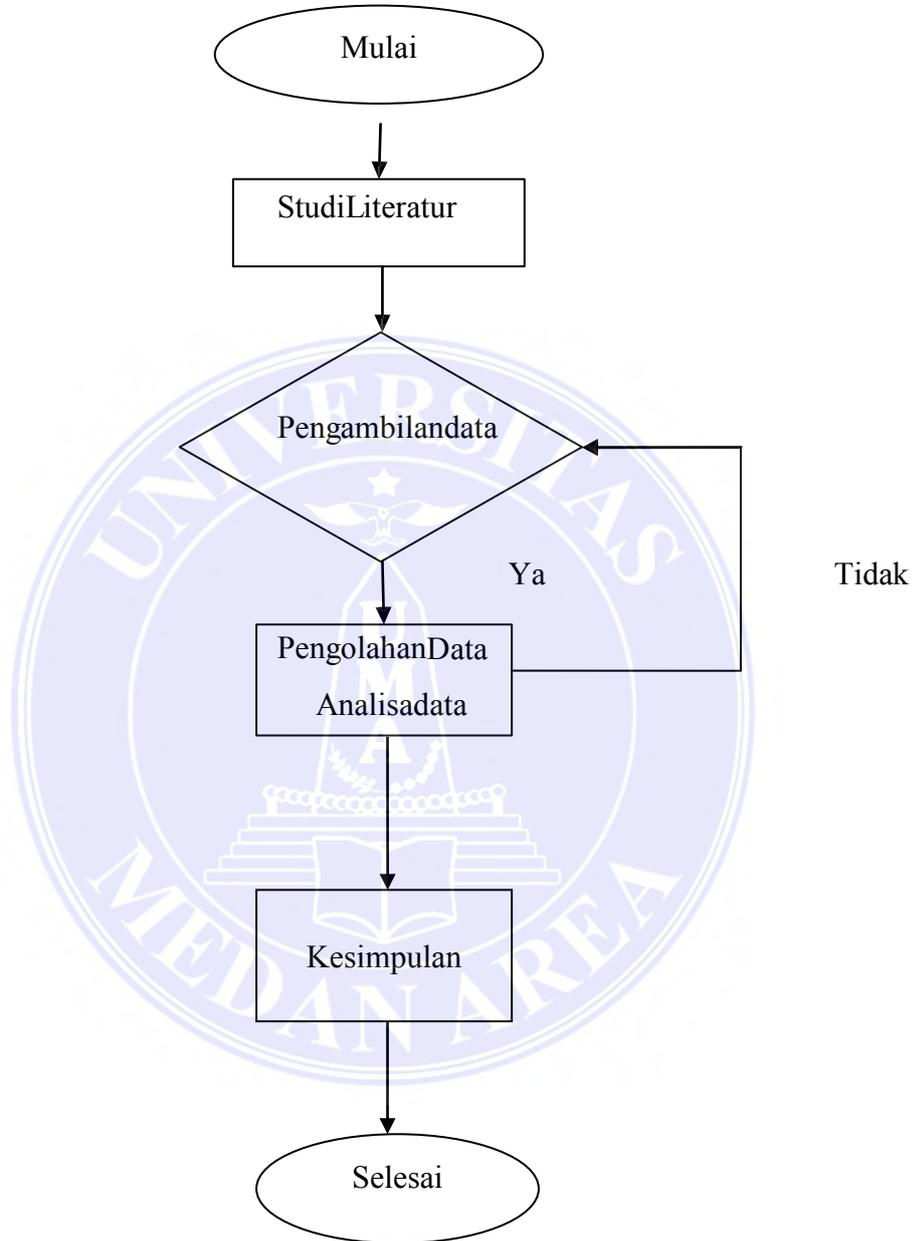
2. Metode Studi Lapangan

Metode ini dilakukan dengan pengamatan dan pengumpulan data yang diperlukan.

3. Metode Pengolahan dan Analisa Data

Metode ini dilakukan pengolahan data yang telah diperoleh penulis untuk menghitung nilai-nilai yang termasuk pada efisiensi daya turbin uap.

Diagram alir proses penelitian ini dapat dilihat pada gambar sistematis ini:



Gambar 3.4. Diagram alir proses penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1. Perhitungan Daya Turbin Uap Dan Generator

Dari data yang diketahui tekanan masuk turbin diambil nilai rata-rata adalah sebesar 20 Bar, dan di ambil perbandingan data di minggu pertama sampai minggu ke empat yaitu :

1. Minggu 1 = 18 Bar = 1800 Kpa = 1,8 Mpa
2. Minggu 2 = 16 Bar = 1600 Kpa = 1,6 Mpa
3. Minggu 3 = 20 Bar = 2000 Kpa = 2 Mpa
4. Minggu 4 = 25 Bar = 2500 Kpa = 2,5 Mpa

Temperature Turbin 300 °C

Tekanan keluar turbin 375 Kpa

Tahap 1 Minggu 1

$$P_1 = 375 \text{ Kpa}$$

$$h_1 = 594,73 \text{ Kj/Kg}$$

$$V_1 = 0,001081 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Tabel 4.1. Termodinamika Dasar

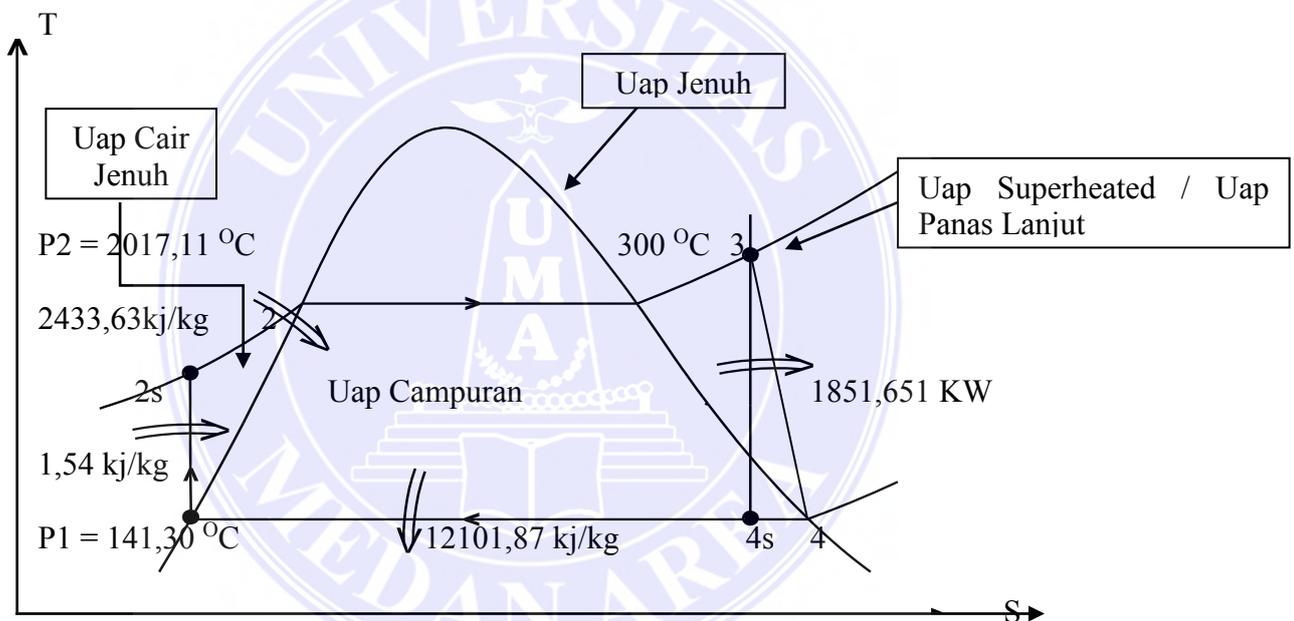
TABLE A-5 Saturated water—Pressure table												
Press., P kPa	Sat. temp., T _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561

Sumber : Buku Termodinamika Dasar.

Pada diagram T-S tersebut di jelaskan sebagai berikut :

Air masuk pompa pada tingkat keadaan 1 sebagai cairan jenuh kemudian dikompresi secara isentropik sampai tekanan operasi boiler/ketel pada tingkat keadaan 2. Kenaikan temperatur air selama kompresi isentropik seiring penurunan volume spesifik air tersebut. Air masuk boiler sebagai cairan terkompresi (*sub-cooled*) pada kondisi 2 kemudian mengalami perubahan fasa sampai menjadi uap *super-heat* (*steam-generator*) pada tingkat keadaan 3. Boiler pada dasarnya adalah alat penukar kalor di mana penambahan kalor berasal dari pembakaran gas, reaktor nuklir, atau pun sumber kalor lainnya. Uap *super-heat* (panas-lanjut) pada kondisi 3 ini kemudian masuk ke turbin, di mana uap mengalami ekspansi secara isentropik dan menghasilkan kerja untuk memutar poros yang umumnya

terhubung dengan generator listrik (genset). Tekanan dan temperatur uap/steam turun selama proses tersebut sampai pada tingkat keadaan 4, di mana uap/steam masuk ke kondensor. Pada kondisi 4 ini, biasanya uap/steam berada pada kondisi fasa campuran uap-cairan jenuh dengan kualitas uap yang tinggi. Kondensor pada dasarnya adalah alat penukar kalor di mana kalor dibuang ke medium dingin seperti sungai, danau, atau pun ke udara lingkungan sekitar. Uap meninggalkan kondensor sebagai cairan jenuh yang kemudian masuk pompa untuk melengkapi proses.



Gambar 4.1. Diagram Temperature T-S

Perlu diperhatikan di sini bahwa area di bawah kurva proses pada diagram T-s adalah perpindahan kalor sebagai proses reversibel internal. Sehingga area di bawah proses 2-3 adalah kalor yang ditambahkan ke fluida kerja (dalam hal ini air), sedangkan area di bawah kurva untuk proses 4-1 adalah kalor yang dibuang oleh fluida kerja pada kondensor. Selisih antara keduanya adalah kerja netto yang dihasilkan selama siklus.

1. Entalpi masuk turbin dan keluar turbin

Untuk mendapatkan nilai efisiensi turbin memerlukan beberapa tahap yaitu: (Jamaludin, 2016)

Dari tekanan masuk boiler yaitu penjumlahan antara tekanan ruangan 1 atm dengan tekanandearator $0,7 \text{ kg/cm}^2$ maka dapat dicari entalpi fluida masuk boiler (h_1) sebagai berikut:

Dari tabel thermodinamika tersebut di jelaskan bahwa :

- a. V_{fg} = selisih V_g dengan V_f
- b. U_f = energy internal dari cairan jenuh (saturated liquid)
- c. U_g = energy internal dari uap jenuh (saturated vapor)
- d. U_{fg} = selisih U_g dengan U_f
- e. h_f = enthalpy dari cairan jenuh (saturated liquid)
- f. h_g = enthalpy dari uap jenuh (saturated vapor)
- g. h_{fg} = selisih h_g dengan h_f ini disebut juga enthalpy penguapan
- h. s_f = entropy dari cairan jenuh (saturated liquid)
- i. s_g = entropy dari uap jenuh (saturated vapor)
- j. s_{fg} = selisih s_g dengan s_f

Tabel thermodinamika ini di sajikan dalam 2 bagian yakni :

1. Diurutkan berdasarkan suhu uap (T) yang diketahui, diperoleh tekanan jenuh (P_{sat}).
2. Diurutkan berdasarkan tekanan uap (P) yang diketahui, diperoleh nilai suhu jenuh (T_{sat}).

Selanjutnya dari entalpi fluida masuk boiler maka dapat dicari entalpi fluida keluar boiler (h_2) yaitu :

Tahap 2

$P_2 \rightarrow P_3 =$ Tekanan yang Konstan (Isobar) 18 Bar = 1800 Kpa = 1,8 Mpa

(Entropi) $S_2 = S_1$

Kerja spesifik pompa masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{pump, in}} &= V_1(P_2 - P_1) = 0,001081 \text{ m}^3 / \text{Kg} \times (1800 - 375) \text{ Kpa} \\ &= 0,001081 \text{ m}^3 / \text{kg} \times 1425 \text{ Kpa} \\ &= 1,54 \text{ Kj/Kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (1.5)

$$\begin{aligned} h_2 &= h_1 + W_{\text{pump, in}} = 594,73 \text{ kj/ kg} + 1,54 \text{ kj/ kg} \\ &= 596,27 \text{ kj/ kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya pada tahap tiga dari tekanan dan temperature dapat dicari (h_3) dan (S_3) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_p &= m (h_{2s} - h_1) \\ &= 20.000 \text{ Kg/Jam} (596,27 - 594,73) \text{ Kj/Kg} \\ &= 30.800 \text{ KW} \end{aligned}$$

Tabel 4.2. Termodinamika Dasar

TABLE A-6

Superheated water (Continued)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
P = 1.00 MPa (179.88°C)				P = 1.20 MPa (187.96°C)				P = 1.40 MPa (195.04°C)				
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
P = 1.60 MPa (201.37°C)				P = 1.80 MPa (207.11°C)				P = 2.00 MPa (212.38°C)				
Sat.	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45383	4684.8	5410.9	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1872	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384

Sumber : Buku Termodinamika Dasar

Pada Tahap 3 tekanan keluar turbin $P_3 = 1,8 \text{ Mpa}$ dan temperature $T_3 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, maka dari tekanan P_3 dan temperature T_3 di dapatlah entalpi dan entropi tahap 3 dari tabel uap superheater A-6 yang ada di lampirkan yaitu sebagai berikut :

Tahap 3

$$P_3 = 1,8 \text{ Mpa} = 1800 \text{ KPa(Tabel A-6)}$$

$$T_3 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 3029,9 \text{ kJ/ kg}$$

$$S_3 = 6,8246 \text{ kJ/ kg. K}$$

Tabel 4.3. Termodinamika Dasar

TABLE A-5 Saturated water—Pressure table												
Press., P kPa	Sat. temp., T _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561

Sumber : Buku Termodinamika Dasar.(Midland, 1971)

Tekanan kondensasi pada tahap 4 $P_4 = 375$ Kpa dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S_3 sama dengan

Entropi 4 S_4 maka dari tabel tekanan uap A-5 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 } (S_3) = 4 (S_4)$$

$$S_f = 1,7526 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 5,1645 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_g = 6,9171 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$h_f = 594,73 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{fg} = 2140,4 \text{ Kj/Kg}$$

Maka kualitas uap 4 (X_4)

$$X_4 = \left(\frac{S_4 - S_f}{S_{fg}} \right) \frac{6,8246 \frac{Kj}{Kg} - 1,7526 Kj/Kg}{5,1645 Kj/Kg}$$

$$X_4 = \left(\frac{5,072 \frac{Kj}{Kg}}{5,1645 Kj/Kg} \right) = 0,9820$$

Dan $h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg}$

$$= 594,73 Kj/Kg + (0,9820 \times 2140,4 Kj/Kg)$$

$$= 2696,6028 Kj/Kg$$

Setelah menganalisis ke empat proses siklus didapatkan panas yang masuk pada boiler (Q_{in}) sebesar.

$$Q_{in} = m_s (h_3 - h_2)$$

$$= 20.000 \text{ kg/ jam } (3029,9 \text{ kj/kg} - 596,27 \text{ kj/kg})$$

$$= 48.672.600 \text{ kj/kg}$$

$$Q_{out} = m_s (h_4 - h_1)$$

$$= 20.000 \text{ kg/ jam } (2696,6028 \text{ kj/kg} - 594,73 \text{ kj/kg})$$

$$= 42.037.456 \text{ kj/kg}$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2696,6028 \frac{Kj}{kg} - 594,73 \frac{Kj}{kg}}{3029,9 \frac{Kj}{kg} - 596,27 \frac{Kj}{kg}} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2101,8728}{2435,63} \right) = 0,1370 = 13,70 \%$$

1.2. Efisiensi Turbin Uap

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya steam masuk Turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}W_{Tin} &= m_s \times h_3 \dots\dots\dots(1.6) \\ &= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 3029,9 \text{ kJ/ kg} \\ &= 60.598.000 \text{ kJ/ Jam} \\ &= 16.832 \text{ KW}\end{aligned}$$

Daya steam keluar Turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}W_{Tout} &= m_s \times h_4 \dots\dots\dots(1.7) \\ &= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 2696,6028 \text{ kJ/ kg} \\ &= 53.932.056 \text{ kJ/ Jam} \\ &= 14.981 \text{ KW}\end{aligned}$$

1.3. Daya Turbin Uap dan Daya Generator

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000kg/ jam

Daya yang dihasilkan turbin uap adalah:

$$\begin{aligned}W_T &= m_s \times (h_3 - h_4) \dots\dots\dots(1.8) \\ &= 20.000 \text{ kg/ jam} \times (3029,9 \text{ kJ/ kg} - 2696,6028 \text{ KJ/kg}) \\ &= 6.665,94 \text{ kJ/ jam} = 1,85165 \text{ KW}\end{aligned}$$

Cos f rata-rata = 0,84 (nilai rata-rata Cos f dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan generator adalah:

$$\begin{aligned}W_{TG} &= W_T / \text{Cos } f \dots\dots\dots(1.9) \\ &= 1,851 \text{ KW} / 0,84\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1,55484 \text{ KW} \\
&= 1.55484 \text{ KW} \times 1.000 \\
&= 1.554,84 \text{ KW} = 1.554.000 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

Daya per rumah yaitu 900 Watt dan di unit kebun timur ada 350 rumah masyarakat jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah masyarakat yaitu 900 Watt x 350 = 315.000 KW

Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar 1.239.000 Watt = 1.239 KW dan daya yang di alirkan ke rumah masyarakat per rumah yaitu sebesar 900 Watt.

Efisiensi Termal, Terakhir kita bias hitung efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
W_{\text{net}} &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} \\
&= 48.672.600 \text{ Kj/Kg} - 42.037.456 \text{ Kj/Kg} \\
&= 6.635.144 \text{ Kj/Kg}
\end{aligned}$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}} \times 100$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{6.635.144 \text{ Kj/Kg}}{48.672.600 \text{ Kj/Kg}} \times 100$$

$$\eta_{\text{turbin}} = 13,63 \%$$

Menggunakan data pada minggu ke 2

Temperature Turbin 300 °C

Tekanan keluar turbin 375 Kpa

Tahap 1 Minggu 2

$$P_1 = 375 \text{ Kpa}$$

$$h_1 = 594,73 \text{ Kj/Kg}$$

$$V_1 = 0,001081 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Selanjutnya dari entalpi fluida masuk boiler maka dapat dicari entalpi fluida keluar boiler (h_2) yaitu :

Tahap 2

$P_2 \rightarrow P_3 =$ Tekanan yang Konstan (Isobar) 16 Bar = 1600 Kpa = 1,6 Mpa

(Entropi) $S_2 = S_1$

Kerja spesifik pompa masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{pump, in}} &= V_1(P_2 - P_1) = 0,001081 \text{ m}^3/\text{Kg} \times (1600 - 375) \text{ Kpa} \\ &= 0,001081 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1425 \text{ Kpa} \\ &= 1,324 \text{ Kj/Kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (1.5)

$$\begin{aligned} h_2 &= h_1 + W_{\text{pump, in}} = 594,73 \text{ kj/ kg} + 1,324 \text{ kj/ kg} \\ &= 596,054 \text{ kj/ kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya pada tahap tiga dari tekanan dan temperature dapat dicari (h_3) dan (S_3) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_p &= m (h_{2s} - h_1) \\ &= 20.000 \text{ Kg/Jam} (596,05 - 594,73) \text{ Kj/Kg} \\ &= 26.400 \text{ KW} \end{aligned}$$

Pada Tahap 3 tekanan keluar turbin $P_3 = 1,6 \text{ Mpa}$ dan temperature $T_3 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$, maka dari tekanan P_3 dan temperature T_3 di dapatlah entalpi dan entropi tahap 3 dari tabel uap superheater A-6 yang ada di lampirkan yaitu sebagai berikut :

Tahap 3

$$P_3 = 1,6 \text{ Mpa (Tabel A-6)}$$

$$T_3 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 3035,4 \text{ kJ/ kg}$$

$$S_3 = 6,8864 \text{ kJ/ kg. K}$$

Tekanan kondensasi pada tahap 4 $P_4 = 375 \text{ Kpa}$ dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S_3 sama dengan Entropi 4 S_4 maka dari tabel tekanan uap A-5 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (} S_3 \text{)} = 4 (S_4)$$

$$S_f = 1,7526 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 5,1645 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_g = 6,9171 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$h_f = 594,73 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fg} = 2140,4 \text{ KJ/Kg}$$

Maka kualitas uap 4 (X_4)

$$X_4 = \left(\frac{S_4 - S_f}{S_{fg}} \right) \frac{6,8246 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 1,7526 \text{ KJ/Kg}}{5,1645 \text{ KJ/Kg}}$$

$$X_4 = \left(\frac{5,072 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{5,1645 \text{ KJ/Kg}} \right) = 0,9820$$

Dan $h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg}$

$$= 594,73 \text{ KJ/Kg} + (0,9820 \times 2140,4 \text{ KJ/Kg})$$

$$= 2696,6028 \text{ Kj/Kg}$$

Setelah menganalisis ke empat proses siklus didapatkan panas yang masuk pada boiler (Q_{in}) sebesar.

$$\begin{aligned} Q_{in} &= m_s (h_3 - h_2) \\ &= 20.000 \text{ Kg/Jam} (3035,4 \text{ kj/kg} - 596,054 \text{ kj/kg}) \\ &= 48.786.920 \text{ kj/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{out} &= m_s (h_4 - h_1) \\ &= 20.000 \text{ Kg/Jam} (2696,6028 \text{ kj/kg} - 594,73 \text{ kj/kg}) \\ &= 42.037.456 \text{ kj/kg} \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2696,6028 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 594,73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3035,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 596,054 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2101,8728}{2439,346} \right) = 0,1383 = 13,83 \%$$

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya steam masuk Turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{Tin} &= m_s \times h_3 \dots\dots\dots(1.6) \\ &= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 3035,4 \text{ kJ/ kg} \\ &= 60.708.000 \text{ kJ/ Jam} \\ &= 16.863 \text{ KW} \end{aligned}$$

Daya steam keluar Turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{Tout} &= m_s \times h_4 \dots\dots\dots(1.7) \\ &= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 2696,6028 \text{ kJ/ kg} \\ &= 53.932.056 \text{ kJ/ Jam} \end{aligned}$$

$$= 14.981 \text{ KW}$$

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya yang dihasilkan turbin uap adalah:

$$\begin{aligned} W_T &= m_s \times (h_3 - h_4) \dots\dots\dots(1.8) \\ &= 20.000 \text{ kg/ jam} \times (3035,4 \text{ kJ/ kg} - 2696,6028 \text{ KJ/kg}) \\ &= 6.775.944 \text{ kJ/ jam} = 1.882 \text{ kW.} \end{aligned}$$

Cos f rata-rata = 0,84 (nilai rata-rata Cos f dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan generator adalah:

$$\begin{aligned} W_{TG} &= W_T / \text{Cos } f \dots\dots\dots(1.9) \\ &= 1.882 \text{ KW} / 0,84 \\ &= 2.240 \text{ KW} \\ &= 2.240 \text{ KW} = 2.240.000 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Daya per rumah yaitu 900 W dan di unit kebun timur ada 350 rumah masyarakat jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah masyarakat yaitu 900 Watt x 350 = 315.000 Watt

Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar 1.925.000 Watt = 1.925 KW dan daya yang di alirkan ke rumah masyarakat per rumah yaitu sebesar 900 Watt dan keseluruhannya yaitu 315.000 Watt.

Efisiensi Termal, Terakhir kita bias hitung efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{net} &= Q_{in} - Q_{out} \\ &= 48.786.920 \text{ KJ/Kg} - 42.037.456 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

$$= 6.749.464 \text{ Kj/Kg}$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}} \times 100$$

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{6.749.464 \text{ Kj/Kg}}{48.786.920 \text{ Kj/Kg}} \times 100$$

$$\eta_{\text{turbin}} = 13,83 \%$$

Menggunakan data pada minggu 3

Temperature Turbin 300°C

Tekanan Masuk turbin 375 Kpa

Tahap 1 Minggu 3

$$P_1 = 375 \text{ Kpa}$$

$$h_1 = 594,73 \text{ Kj/Kg}$$

$$V_1 = 0,001081 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Selanjutnya dari entalpi fluida masuk boiler maka dapat dicari entalpi fluida keluar boiler (h_2) yaitu :

Tahap 2

$P_2 \rightarrow P_3 =$ Tekanan yang Konstan (Isobar) $20 \text{ Bar} = 2000 \text{ Kpa} = 2 \text{ Mpa}$

(Entropi) $S_2 = S_1$

Kerja spesifik pompa masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{pump, in}} &= V_1(P_2 - P_1) = 0,001081 \text{ m}^3/\text{Kg} \times (2000 - 375) \text{ Kpa} \\ &= 0,001081 \text{ m}^3/\text{kg} \times 1.625 \text{ Kpa} \\ &= 1,75 \text{ Kj/Kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (1.5)

$$h_2 = h_1 + W_{\text{pump, in}} = 594,73 \text{ kJ/kg} + 1,75 \text{ kJ/kg}$$

$$= 596,48 \text{ kJ/kg}$$

$$W_p = m (h_{2s} - h_1)$$

$$= 20.000 \text{ Kg/Jam} (596,48 - 594,73) \text{ Kj/Kg}$$

$$= 35.000 \text{ KW}$$

Selanjutnya pada tahap tiga dari tekanan dan temperature dapat dicari (h_3) dan (S_3) sebagai berikut:

Pada Tahap 3 tekanan keluar turbin $P_3 = 2 \text{ Mpa}$ dan temperature $T_3 = 300$ °C, maka dari tekanan P_3 dan temperature T_3 di dapatlah entalpi dan entropi tahap 3 dari tabel uap superheater A-6 yang ada di lampirkan yaitu sebagai berikut :

Tahap 3

$$P_3 = 2 \text{ Mpa (Tabel A-6)}$$

$$T_3 = 300 \text{ °C}$$

$$h_3 = 3024,2 \text{ kJ/kg}$$

$$S_3 = 6,7684 \text{ kJ/kg.K}$$

Tekanan kondensasi pada tahap 4 $P_4 = 375 \text{ Kpa}$ dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S_3 sama dengan Entropi 4 S_4 maka dari tabel tekanan uap A-5 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 } (S_3) = 4 (S_4)$$

$$S_f = 1,7526 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 5,1645 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$S_g = 6,9171 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$h_f = 594,73 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{fg} = 2140,4 \text{ Kj/Kg}$$

Maka kualitas uap 4 (X_4)

$$X_4 = \left(\frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} \right) \frac{6,8246 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 1,7526 \text{ Kj/Kg}}{5,1645 \text{ Kj/Kg}}$$

$$X_4 = \left(\frac{5,072 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{5,1645 \text{ Kj/Kg}} \right) = 0,9820$$

Dan $h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg}$

$$= 594,73 \text{ Kj/Kg} + (0,9820 \times 2140,4 \text{ Kj/Kg})$$

$$= 2696,6028 \text{ Kj/Kg}$$

Setelah menganalisis ke empat proses siklus didapatkan panas yang masuk pada boiler (Q_{in}) sebesar.

$$Q_{in} = m_s (h_3 - h_2)$$

$$= 20.000 \text{ Kg/jam} (3024,2 \text{ kj/kg} - 596,48 \text{ kj/kg})$$

$$= 48.554.400 \text{ kj/kg}$$

$$Q_{out} = m_s (h_4 - h_1)$$

$$= 20.000 \text{ Kg/jam} (2696,6028 \text{ kj/kg} - 594,73 \text{ kj/kg})$$

$$= 42.002.456 \text{ kj/kg}$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2696,6028 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}} - 594,73 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}}{3024,2 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}} - 596,48 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2101,8728}{2427,72} \right) = 0,1342 = 13,42 \%$$

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya steam masuk Turbin adalah sebagai berikut :

$$W_{Tin} = m_s \times h_3 \dots\dots\dots(1.6)$$

$$\begin{aligned}
&= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 3024,2 \text{ kJ/ kg} \\
&= 60.484.000 \text{ kJ/ Jam} \\
&= 16.801 \text{ KW}
\end{aligned}$$

Daya steam keluar Turbin adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
W_{T_{out}} &= m_s \times h_4 \dots\dots\dots(1.7) \\
&= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 2696,6028 \text{ kJ/ kg} \\
&= 53.932.056 \text{ kJ/ Jam} \\
&= 14.981 \text{ KW}
\end{aligned}$$

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya yang dihasilkan turbin uap adalah:

$$\begin{aligned}
W_T &= m_s \times (h_3 - h_4) \dots\dots\dots(1.8) \\
&= 20.000 \text{ kg/ jam} \times (3024,2 \text{ kJ/ kg} - 2696,6028 \text{ kJ/ kg}) \\
&= 6.551.944 \text{ kJ/ jam} = 1.819 \text{ KW}
\end{aligned}$$

Cos f rata-rata = 0,84 (nilai rata-rata Cos f dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan generator adalah:

$$\begin{aligned}
W_{TG} &= W_T / \text{Cos } f \dots\dots\dots(1.9) \\
&= 1.819 \text{ KW} / 0,84 \\
&= 2.165 \text{ KW} \\
&= 2.165 \text{ KW} = 2.165.000 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

Daya per rumah yaitu 900 Watt dan di unit kebun timur ada 350 rumah masyarakat jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah masyarakat yaitu 900 Watt x 350 = 315.000 Watt

Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar 2.165.000 Watt = 2.165 KW dan daya yang di alirkan ke rumah masyarakat per rumah yaitu sebesar 900 Watt dan keseluruhan rumah yaitu 315.000 Watt.

Efisiensi Termal, Terakhir kita bias hitung efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}W_{net} &= Q_{in} - Q_{out} \\ &= 48.554.400 \text{ Kj/Kg} - 42.002.456 \text{ Kj/Kg} \\ &= 6.551.944 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = \frac{6.551.944 \text{ Kj/Kg}}{48.554.400 \text{ Kj/Kg}} \times 100$$

$$\eta_{turbin} = 13,49 \%$$

Menggunakan data pada minggu ke 4

Temperature Turbin 300 °C

Tekanan keluar turbin 375 Kpa

Tahap 1 Minggu 4

$$P_1 = 375 \text{ Kpa}$$

$$h_1 = 594,73 \text{ Kj/Kg}$$

$$V_1 = 0,001081 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Selanjutnya dari entalpi fluida masuk boiler maka dapat dicari entalpi fluida keluar boiler (h_2) yaitu :

Tahap 2

$P_2 \rightarrow P_3 =$ Tekanan yang Konstan (Isobar) 25 Bar = 2500 Kpa = 2,5 Mpa

(Entropi) $S_2 = S_1$

Kerja spesifik pompa masuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}W_{\text{pump, in}} &= V_1(P_2 - P_1) = 0,001081 \text{ m}^3/\text{Kg} \times (2500 - 375) \text{ Kpa} \\ &= 0,001081 \text{ m}^3/\text{kg} \times 2125 \text{ Kpa} \\ &= 2,29 \text{ Kj/Kg}\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (1.5)

$$\begin{aligned}h_2 &= h_1 + W_{\text{pump, in}} = 594,73 \text{ kj/ kg} + 2,29 \text{ kj/ kg} \\ &= 597,02 \text{ kj/ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}W_p &= m (h_{2s} - h_1) \\ &= 20.000 \text{ Kg/Jam} (596,02 - 594,73) \text{ Kj/Kg} \\ &= 25.800 \text{ KW}\end{aligned}$$

Selanjutnya pada tahap tiga dari tekanan dan temperature dapat dicari (h_3) dan (S_3) sebagai berikut:

Pada Tahap 3 tekanan keluar turbin $P_3 = 2,5$ Mpa dan temperature $T_3 = 300$ °C, maka dari tekanan P_3 dan temperature T_3 di dapatlah entalpi dan entropi tahap 3 dari tabel uap superheater A-6 yang ada di lampirkan yaitu sebagai berikut:

Tahap 3

$$P_3 = 2,5 \text{ Mpa (Tabel A-6)}$$

$$T_3 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 3009,6 \text{ kj/ kg}$$

$$S_3 = 6,6459 \text{ kJ/ kg. K}$$

Tekanan kondensasi pada tahap 4 $P_4 = 375 \text{ Kpa}$ dan fluidanya dalam keadaan mixture saturated dan tekanannya konstan dan entropi 3 S_3 sama dengan Entropi 4 S_4 maka dari tabel tekanan uap A-5 didapat data-data sebagai berikut :

$$\text{Entropi 3 (} S_3 \text{) = 4 (} S_4 \text{)}$$

$$S_f = 1,7526 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 5,1645 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_g = 6,9171 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$h_f = 594,73 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{fg} = 2140,4 \text{ KJ/Kg}$$

Maka kualitas uap 4 (X_4)

$$X_4 = \left(\frac{S_4 - S_f}{S_{fg}} \right) \frac{6,8246 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 1,7526 \text{ KJ/Kg}}{5,1645 \text{ KJ/Kg}}$$

$$X_4 = \left(\frac{5,072 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{5,1645 \text{ KJ/Kg}} \right) = 0,9820$$

Dan $h_4 = h_f + X_4 \cdot h_{fg}$

$$= 594,73 \text{ KJ/Kg} + (0,9820 \times 2140,4 \text{ KJ/Kg})$$

$$= 2696,6028 \text{ KJ/Kg}$$

Setelah menganalisis ke empat proses siklus didapatkan panas yang masuk pada boiler (Q_{in}) sebesar.

$$Q_{in} = m_s (h_3 - h_2)$$

$$= 20.000 \text{ Kg/jam} (3009,6 \text{ kJ/kg} - 597,02 \text{ kJ/kg})$$

$$= 48.251.600 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{out} = m_s (h_4 - h_1)$$

$$= 20.000 \text{ Kg/jam} (2696,6028 \text{ kj/kg} - 594,73 \text{ kj/kg})$$

$$= 42.037.456 \text{ kj/kg}$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{h4 - h1}{h3 - h2} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2696,6028 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 594,73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3009,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 597,02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \right)$$

$$\text{Efisiensi termal} = 1 - \left(\frac{2101,8728}{2412,58} \right) = 0,1287 = 12,87 \%$$

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya steam masuk Turbin adalah sebagai berikut :

$$W_{Tin} = m_s \times h_3 \dots\dots\dots(1.6)$$

$$= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 3009,6 \text{ kJ/ kg}$$

$$= 60.192.000 \text{ kJ/ Jam}$$

$$= 16.720 \text{ KW}$$

Daya steam keluar Turbin adalah sebagai berikut :

$$W_{Tout} = m_s \times h_4 \dots\dots\dots(1.7)$$

$$= 20.000 \text{ kg/ jam} \times 2696,6028 \text{ kJ/ kg}$$

$$= 53.932.056 \text{ kJ/ Jam}$$

$$= 14.981 \text{ KW}$$

Laju uap steam (m_s) yang dihasilkan = 20.000 kg/ jam

Daya yang dihasilkan turbin uap adalah:

$$W_T = m_s \times (h_3 - h_4) \dots\dots\dots(1.8)$$

$$= 20.000 \text{ kg/ jam} \times (3009,6 \text{ kj/ kg} - 2696,6028 \text{ Kj/kg})$$

$$= 6.259.944 \text{ kj/ jam} = 1.738 \text{ kW.}$$

Cos f rata-rata = 0,84 (nilai rata-rata Cos f dari hasil pengamatan pada panel turbin).

Daya yang dihasilkan oleh turbin dan di alirkan generator adalah:

$$\begin{aligned}
 W_{TG} &= W_T / \text{Cos } f \dots\dots\dots(1.9) \\
 &= 1.738 \text{ KW} / 0,84 \\
 &= 2.069 \text{ KW} \\
 &= 2.069 \text{ KW} = 2.069.000 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Daya per rumah yaitu 900 W dan di unit kebun timur ada 350 rumah masyarakat jadi daya yang di alirkan ke seluruh rumah masyarakat yaitu 900 Watt x 350 = 315.000 Watt

Daya yang di alirkan ke listrik pembangkit yaitu sebesar 2.069.000 Wat = 2.069 KW dan daya yang di alirkan ke rumah masyarakat per rumah yaitu sebesar 900 Watt.

Efisiensi Termal, Terakhir kita bias hitung efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{net} &= Q_{in} - Q_{out} \\
 &= 48.251.600 \text{ Kj/Kg} - 42.037.456 \text{ Kj/Kg} \\
 &= 6.214.144 \text{ Kj/Kg}
 \end{aligned}$$

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\%$$

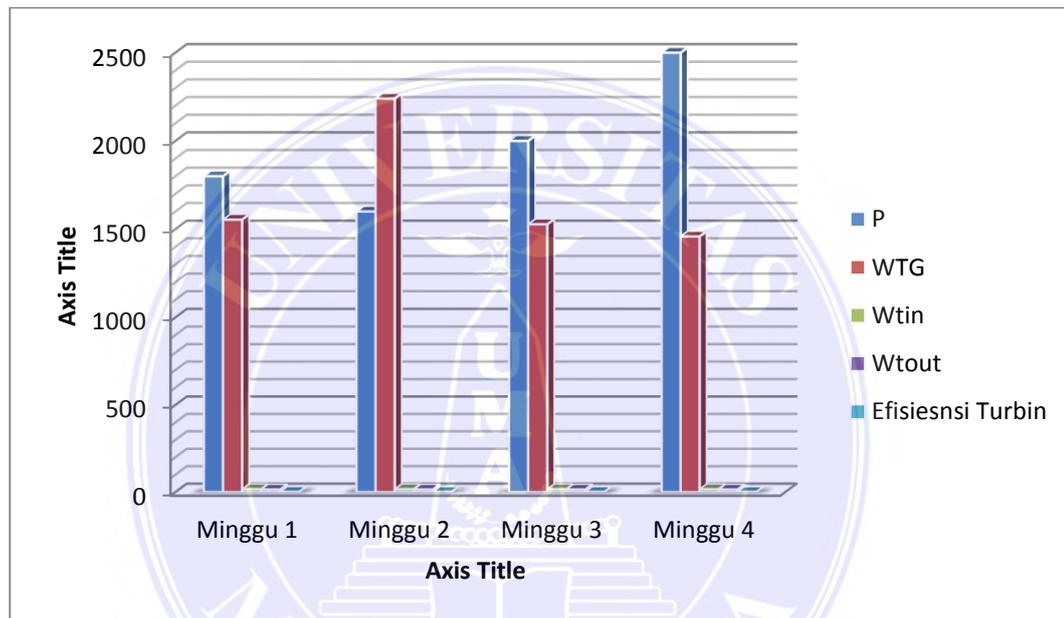
$$\eta_{turbin} = \frac{6.214.144 \text{ Kj/Kg}}{48.251.600 \text{ Kj/Kg}} \times 100$$

$$\eta_{turbin} = 12,87 \%$$

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan

Tabel	P	WTG	WTin	WTout	Efisiensi Turbin
Minggu 1	1800 Kpa	1554 KW	16,833 KW	14,981 KW	13,63%
Minggu 2	1600 Kpa	2240 KW	16,863 KW	14,981 KW	13,83%
Minggu 3	2000 Kpa	1528 KW	16,801 KW	14,981 KW	13,49%
Minggu 4	2500 Kpa	1459 KW	16,720 KW	14,981 KW	12,87%

Tabel 4.5. Grafik data



BAB V

PENUTUP

1.1. Kesimpulan

Setelah kegiatan penelitian yang dilakukan di Pabrik Kelapa Sawit unit kebun timur dapat disimpulkan :

1. Proses Turbin uap khususnya pada pabrik kelapa sawit unit kebun timur terdiri dari siklus bahan bakar, siklus uap dan air, serta siklus pembakaran.
2. Efisiensi turbin uap yang dihasilkan sebesar:
Pada minggu 1 = 13,63 %, minggu 2 = 13,83%, minggu 3 = 13,49%, minggu 4 = 12,87%.
3. Daya keluar yang di alirkan turbin uap ke generator adalah sebesar 1.554 KW = 1.554.000 Watt, daya yang di alirkan ke pembangkit listrik yaitu sebesar 1.239 KW, sedangkan daya yang di alirkan per rumah masyarakat yaitu sebesar 900 Watt. Jadi daya yang di alirkan keseluruhan rumah masyarakat yaitu 315.000 Watt.

1.2. Saran

1. Diharapkan dilakukan penambahan sensor alat ukur pada beberapa komponen unit agar dalam pengambilan data bisa lebih akurat dan lengkap, misalkan sensor flow steam pada turbin IP dan LP.
2. Dilakukan proses pendinginan pada mesin pompa di setiap penggantian beban untuk menjaga tenaga (*power*) yang di hasilkan oleh pompa. Karena

kondisi mesin pompa dalam keadaan panas yang diberi beban secara *continue* akan mengurangi tenaga dari pompa.



DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Cahyadi, H. (2015). Ilmiah. *ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG*.
- Jamaludin, I. K. (2016). Ilmiah. *ANALISIS PERHITUNGAN DAYA TURBIN YANG DIHASILKAN DAN EFISIENSI TURBIN UAP PADA UNIT 1 DAN UNIT 2 DI PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR*.
- Joko Purnomo, M. E. (2018). ANALISA. *ANALISA PENGARUH LOAD CAPACITY PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP TANJUNGAWAR-AWAR 350 MW TERHADAP EFISIENSI TURBIN GENERATOR QFSN-350-2 UNIT 1*, 43-49.
- Joko Purnomo, M. E. (2018). Analisis. *ANALISA PENGARUH LOAD CAPACITY PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP TANJUNGAWAR-AWAR 350 MW TERHADAP EFISIENSI TURBIN GENERATOR QFSN-350-2 UNIT 1*, 43-49.
- Midland, M. (1971). *Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3. JANAF: Carnegie Press, 1953.
- Novi Gusnita, K. S. (2017). Chicago. *Aanalisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alstom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW*, ISSN 1693-2390.
- Pitrandjalisari, V., & Putra, T. D. (2013). ANALISIS KAPASITAS PRODUKSI UAP TERHADAP STABILITAS PUTARAN MESIN TURBIN. *Widya Teknika*, 42 - 48.
- Putra, D. D. (2013). Ilmiah. *Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan Inlet Turbin dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik Turbin Pada Organic Rankine Cycle*, ISSN: 2337-3539.
- Sunarwo, S. (2015). Ilmiah. *ANALISA HEAT RATE PADA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3*, 61-68.
- Valdo Sihombing, N. H. (2014). Chicago. *Analisis Perhitungan Ekonomi dan Penghematan Energi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Pabrik Kelapa Sawit*, 2337-439.
- Wahyudi. (2018). *Effisiensi Trbin*. Medan: sumber ilmu.
- Zakaria, M. F. (2018). Chicago. *Analisa Energi Dan Eksergi Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 2 Tanjung Awar-Awar*, 77-85.

DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR

Tabel 4.1. Termodinamika Dasar

Berdasarkan tabel termo di dapat pada nilai yang akan di jelaskan pada halaman 38.

TABLE A-5												
Saturated water—Pressure table												
Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561

Tabel 4.2. Termodinamika Dasar

Berdasarkan tabel termo di dapat pada nilai yang akan di jelaskan pada halaman 39.



TABLE A-6

Superheated water (Continued)

<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K
<i>P</i> = 1.00 MPa (179.88°C)				<i>P</i> = 1.20 MPa (187.96°C)				<i>P</i> = 1.40 MPa (195.04°C)				
Sat.	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
<i>P</i> = 1.60 MPa (201.37°C)				<i>P</i> = 1.80 MPa (207.11°C)				<i>P</i> = 2.00 MPa (212.38°C)				
Sat.	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45383	4684.8	5410.9	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1872	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384

Tabel 4.3. Termodinamika Dasar

Berdasarkan tabel termo di dapat pada nilai yang akan di jelaskan pada halaman 41.

TABLE A-5

Saturated water—Pressure table

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561