



**Analisa Perbandingan Performa Generator
dengan Penggerak Turbin Tipe *Backpressure* dan
Turbin Tipe *Condesate* di PT. Bintan Alumina
Indonesia**

Tugas Akhir

**Oleh:
Nining Iaanatul Udzmah (4232231001)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Analisa Perbandingan Performa Generator dengan Penggerak Turbin Tipe *Backpressure* dan Turbin Tipe *Condensat* di PT. Bintang Alumina Indonesia" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bintan, 01 Januari 2025



Nining Iaanatul Udzmah
NIM: 4232231001

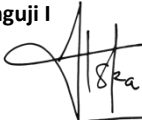
Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)/Ahli Madya Teknik (AMd.T.)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Nining laanatul Udzmah (4232231001)

Tanggal Sidang: 08 Januari, 2025

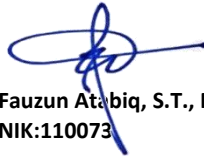
Penguji I



Hasnira, S.ST., M.Tr.T
NIK:113112

Disetujui oleh :

Pembimbing I



Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs
NIK:110073

Penguji II



Handri Toar, S.ST., M.Tr.T
NIK:113114

Lembar Pengesahan Industri

Lembar Pengesahan Industri

Data laporan Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapat izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik.

Disusun oleh:

Nining Iaanatul Udzmah (4232231001)

Program Studi: Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi

Jurusan: Teknik Elektro

Politeknik Negeri Batam

Judul Tugas Akhir: Analisa Perbandingan Performa Generator dengan Penggerak Turbin Tipe *Backpressure* dan Turbin Tipe *Condesate* di PT. Bintang Alumina Indonesia

Dosen Pembimbing



Fauzun Atabik, S.T., M.Cs
NIK:110073

Disetujui oleh :

Pembimbing Industri



Ariya Wahyu Saputra, A.Md
NIK:19040006

HRD/Manager



Jeprianto
NIK:12007003

Analisa Perbandingan Performa Generator dengan Penggerak Turbin Tipe *Backpressure* dan Turbin Tipe *Condensate* di PT. Bintang Alumina Indonesia

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi listrik, baik untuk kebutuhan masyarakat maupun industri, menuntut optimalisasi pemanfaatan sumber daya energi. PT Bintang Alumina Indonesia memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk mendukung proses pengolahan bauksit menjadi alumina. PLTU ini menggunakan dua jenis turbin uap, yaitu turbin tipe *backpressure* dan turbin tipe *condensat*, yang masing-masing menggerakkan generator berkapasitas 30 MW dan 33 MW. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa kedua jenis turbin berdasarkan parameter utama seperti efisiensi isentropik, konsumsi daya, laju aliran uap, serta output energi.

Metode penelitian mencakup pengumpulan data operasional dari sistem Distributed Control System (DCS) di ruang kendali, studi literatur, wawancara, serta pengolahan data menggunakan perhitungan termodinamika berdasarkan siklus Rankine. Data operasional diambil secara berkala selama satu bulan dengan pengukuran pada beban puncak. Analisis menunjukkan bahwa turbin tipe *condensat* memiliki efisiensi isentropik rata-rata lebih tinggi dibandingkan turbin tipe *backpressure*, yaitu sebesar 63,71% untuk turbin *condensat* dan 61,26% untuk turbin *backpressure*. Namun, turbin tipe *backpressure* lebih unggul dalam konsumsi uap, sehingga lebih hemat dalam penggunaannya.

Efisiensi generator pada kedua jenis turbin menunjukkan hasil di atas 90%, dengan efisiensi tertinggi pada generator yang digerakkan oleh turbin tipe *backpressure* sebesar 99,16%. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk pemilihan jenis turbin berdasarkan kebutuhan operasional, dengan mempertimbangkan efisiensi energi dan kapasitas produksi.

Kata kunci: turbin *backpressure*, turbin *condensat*, efisiensi isentropik, PLTU, siklus Rankine.

Analysis of Performance Comparison of Generators Driven by Backpressure Turbine and Condensate Turbine at PT Bintan Alumina Indonesia

Abstract

The increasing demand for electricity, both for community and industrial needs, necessitates the optimization of energy resources. PT Bintan Alumina Indonesia utilizes a Steam Power Plant (PLTU) to support the processing of bauxite into alumina. This PLTU employs two types of steam turbines: backpressure and condensate turbines, driving generators with capacities of 30 MW and 33 MW, respectively. This study aims to compare the performance of the two turbine types based on key parameters such as isentropic efficiency, power consumption, steam flow rate, and energy output.

The research methodology includes operational data collection from the Distributed Control System (DCS) in the control room, literature reviews, interviews, and data processing using thermodynamic calculations based on the Rankine cycle. Operational data were recorded periodically over a month, focusing on peak load conditions. Analysis reveals that the condensate turbine has a higher average isentropic efficiency compared to the backpressure turbine, at 63.71% and 61.26%, respectively. However, the backpressure turbine excels in steam consumption, making it more economical.

The generator efficiency of both turbines shows results above 90%, with the highest efficiency observed in the generator driven by the backpressure turbine at 99.16%. This study provides recommendations for selecting turbine types based on operational requirements, considering energy efficiency and production capacity.

Keywords: backpressure turbine, condensate turbine, isentropic efficiency, PLTU, Rankine cycle.

Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas berkat dan rahmatNya senantiasa menyertai penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Begitu juga penulis mengucapkan banyak terimakasih terkhusus kepada orang tua yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis baik berupa dukungan materil maupun dukungan moril.

Tugas Akhir ini berjudul "**Analisis Perbandingan Performa Generator dengan Penggerak Turbin Tipe *Backpressure* dan Turbin Tipe *Condensat* di PT. Bintang Alumina Indonesia**". Tugas Akhir merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Suami saya, Muhammad Halim Martin yang telah memberi banyak suport finansial maupun mental dalam penyelesaian penulisan tugas akhir ini.
2. Kedua Orang Tua, kakak, dan Keluarga penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran dalam penyusunan Tugas Akhir.
4. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd., M.Eng selaku Ketua Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi.
5. Bapak Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.Pd. selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir yang telah memberikan saran serta bantuan dalam penyusunan dan administrasi Tugas Akhir.
6. Muhammad Prihadi Eko Wahyudi, S.T., M.T. selaku wali dosen selama menempuh pendidikan di prodi Teknik Rekayasa Pembangkit Energi yang banyak mengingatkan, membantu, dan mempermudah masalah-masalah perkuliahan.
7. Ariya Wahyu Saputra, S.T selaku pembimbing lapangan di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia yang selalu meluangkan waktu, membantu pengambilan data pada Tugas Akhir ini, memberikan ilmu yang bermanfaat dan memberikan semangat kepada penulis.
8. Bapak Jepri selaku Manager HR Indonesia yang memberi kesempatan mahasiswa Politeknik Negeri Batam untuk melakukan magang di PT Bintang Alumina Indonesia.
9. Bapak Edi Susanto selaku supervisor departemen PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.

10. Rekan-rekan seangkatan dan seperjuangan Prodi Teknik Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan bagi penulis untuk menyelesaikan magang ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan magang.

Penulis telah berusaha menyelesaikan Tugas Akhir ini dan mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, banyak kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu penulis memohon maaf dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan yang membacanya..

Bintan, 01 Januari 2025



Penulis

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Pengesahan Industri	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xi
Bab 1. Pendahuluan	11
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan Masalah	2
Bab 2. Landasan Teori	3
2.1. Pendahuluan	3
2.2. Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap	4
2.2.1. Boiler	4
2.2.2. Turbin	4
2.2.2.1. Jenis Turbin ditinjau dari tekanan uap akhir	5
2.2.2.2. Komponen-Komponen Utama Turbin	6
2.2.2.3. Sistem Uap	8
2.2.2.4. Termodinamika	9
2.2.2.5. Daya Turbin Uap	11
2.2.2.6. Efisiensi Turbin Uap	12
2.2.2.5. Siklus Rankine	13

2.2.3. Generator	13
Bab 3. Metodologi Penelitian	18
3.1. Gambaran Umum	18
3.2. Tempat dan Jadwal Penelitian	20
3.3. Objek Penelitian	20
3.2. Variabel Penelitian	20
3.2. Pengumpulan Data	21
3.3. Pengolahan Data	23
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	24
4.1. Data Hasil Penelitian	24
4.2. Pembahasan	38
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	43
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43
Daftar Pustaka	45
Biodata	47
Lampiran	48

Daftar Gambar

Gambar 1. Blok diagram Siklus ideal PLTU	3
Gambar 2. Bagian-bagiab boiler	4
Gambar 3. <i>Design</i> Turbin Uap	5
Gambar 4. Siklus Turbin <i>Backpressure</i>	6
Gambar 5. Siklus Turbin <i>Condensate</i>	6
Gambar 6. T-s Diagram.	13
Gambar 7. h-s Diagram	14
Gambar 8. <i>Brushless Exciter</i> Unit 1 dan 2 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia ...	17
Gambar 9. Diagram alir tahapan penelitian.	19
Gambar 10. <i>Steam Inlet dan Outlet Generator Penggerak Turbin Condensat Unit 04</i>	27
Gambar 11. <i>Steam Inlet dan Outlet Generator Penggerak Turbin Backpressure Unit 05</i>	32
Gambar 12. Grafik Kebutuhan Uap per MW.	39
Gambar 13. Grafik Perbandingan Effisiensi Isentropik Turbin Uap	40
Gambar 14. Grafik Perbandingan Effisiensi Generator	40
Gambar 15. Grafik Perbandingan Konsumsi Daya di Generator	42
Gambar 16. Grafik Perbandingan Konsumsi Uap di Turbin	42

Daftar Tabel

Tabel.1 Spesifikasi Generator Unit 04 dan Generator Unit 05	21
Tabel 2. Spesifikasi Turbin <i>Condensat</i> Unit 04 dan Generator <i>Backpressure</i> Unit 05	22
Tabel 3. Spesifikasi Turbin Uap Tipe <i>Condensat</i> Unit 04 dan Generator <i>Backpressure</i> Unit 05	24
Tabel 4. Turbin Uap Tipe <i>Condensat</i> Unit 04.....	25
Tabel 5. Hasil Perhitungan menggunakan <i>Calculator Steam</i>	26
Tabel 6. Data Operasional Turbin Uap Tipe <i>Backpressure</i> Unit 05.....	30
Tabel 7. Hasil Perhitungan menggunakan <i>Calculator Steam</i>	31
Tabel 8. Perhitungan Effisiensi Isentropik dan Effisiensi Generator Turbin Tipe <i>Condensat</i> Unit 04	34
Tabel 9. Perhitungan Effisiensi Isentropik dan Effisiensi Generator Turbin Tipe <i>Backpressure</i> Unit 05	35
Tabel 10. Konsumsi Daya di Generator Penggerak Turbin Tipe <i>Condensate</i> Unit 04 dan Generator Penggerak Turbin Tipe <i>Backpressure</i> Unit 05	36
Tabel 11. Konsumsi Uap di Turbin Tipe <i>Condensate</i> Unit 04 dan Turbin Tipe <i>Backpressure</i> Unit 05.....	37

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan primer yang sangat menunjang kehidupan manusia dalam menjalankan aktivitasnya sehari-hari. Dan secara nasional, kebutuhan listrik juga meningkat sesuai dengan pertumbuhan jumlah penduduk, Listrik juga merupakan hal yang paling menyongkong dalam perkembangan dunia industri dan kemajuan teknologi. Semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik maka semakin tinggi pula kebutuhan sumberdaya yang harus dikonversi menjadi energi listrik. Sehingga penerapan program efisiensi energi menjadi sebuah tuntutan yang harus dipenuhi untuk mengendalikan jumlah pemakaian dan eksploitasi terhadap sumberdaya, baik dari segi proses produksi maupun dari segi penggunaan listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT Bintang Alumina Indonesia merupakan sebagian dari pembangkit listrik swasta yang digadang akan menjadi salah satu pembangkit terbesar di Kepulauan Riau, untuk tahap satu sekarang terdapat 6 unit pembangkit dengan dua diantaranya memiliki kapasitas 33MW dan yang lainnya masing-masing memiliki kapasitas 30 MW. Tahap satu atau tahap awal, Pemakaian dari energi listrik digunakan untuk menyuplai listrik ke Alumina karena produksi utama dari PT Bintang Alumina Indonesia merupakan pengolahan bauksit yang diproses menjadi bubuk alumina, Jadi pemakaian untuk saat ini hanya untuk kebutuhan proses pengolahan alumina tahap 1 dan juga digunakan untuk menyuplai kebutuhan pendukung seperti untuk PLTU sendiri, kemudian untuk *Gas Plan* , Pelabuhan, Perkantoran, dan untuk Asrama.

Penggunaan dua jenis tipe turbine yang berbeda di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia menjadi fokus utama untuk dilakukan penelitian ini, pada generator dengan kapasitas 33MW tipe penggerak yang digunakan adalah turbine dengan jenis tipe *condesat* dan pada generator dengan kapasitas 30 MW penggerak yang digunakan adalah turbin dengan jenis tipe *backpressure*, dari dua jenis turbin tersebut penulis ingin mengetahui mengapa harus terdapat dua jenis turbine yang berbeda dan ingin membandingkan performa diantara keduanya, berbicara dengan performa pasti akan berkaitan dengan keefektifannya dalam menggunakan energi listrik, Pada penelitian ini penulis akan melakukan pengumpulan data dengan melakukan *monitoring* pada *Distributed Control System* (DCS) yang terdapat pada *controlroom*.

Dari ke-enam generator yang ada terdapat 2 generator yang berfungsi sebagai cadangan, dan 4 lainnya beroperasi normal, Pada saat ini yang sedang tidak beroperasi adalah generator set unit 1 dan unit 2, dan yang akan diamati adalah generator set unit 4 dengan penggerak turbin tipe *condesat* dan generator set unit 5 dengan penggerak turbin tipe *backpressure*. Performa

atau unjuk kerja dari PLTU yang akan diamati meliputi : *Flow rate*, *Hate rate*, Daya Output (Beban), Tegangan, Frekuensi dan Powerfaktor. Beberapa parameter tersebut akan diamati selama satu bulan berturut-turut pada jam yang sama yaitu pukul 18.00 WIB karena merupakan beban puncak.

1.2. Rumusan Masalah

Setelah diketahui latar belakang, maka rumusan masalah pada tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana performa generator dengan penggerak turbin tipe *Backpressure* dan turbin tipe *Condensat*.
2. Apa yang menjadi alasan utama perusahaan menggunakan dua jenis generator yang berbeda

1.3. Tujuan

Tujuan dari analisa penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui performa dari dua jenis generator yang berbeda tipe penggerak
2. Mengetahui alasan utama penggunaan dari masing-masing generator set tersebut.

1.4. Manfaat

Manfaat dari analisa penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Sebagai sarana dalam menyelesaikan suatu permasalahan sesuai bidang keahlian dan untuk mempersiapkan diri dalam dunia kerja.
2. Sebagai penerapan dan mengaplikasikan ilmu yang telah dipelajari di bangku kuliah daan melihat secara aktual komponen dan proses dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

1.5. Batasan Masalah

Mengenai batasan masalah yang dibahas selama penyusunan tugas akhir ini yaitu:

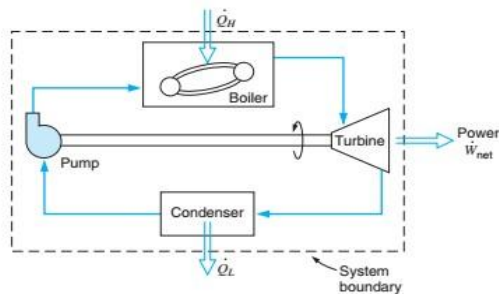
1. Penulis hanya menganalisa 2 jenis generator set yang berbeda
2. Parameter yang dipakai untuk menganalisa juga parameter yang berkaitan dengan keduanya, dan mengesampingkan parameter lain seperti tekanan pada vacum yang hanya terdapat di kondensor.
3. Penulis juga tidak membahas secara spesifik tentang boiler, pendingin dan sistem pelumasan yang digunakan.

Bab 2. Landasan Teori

2.1. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga uap pada dasarnya menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara, natural gas, minyak. Selain itu juga dapat menggunakan bahan bakar nuklir seperti uranium dan thorium yang kemudian dikonversikan menjadi energi gerak untuk memutar generator dan menghasilkan listrik.

Pembangkit listrik tenaga uap sederhana dalam sebuah siklus memiliki empat (4) komponen utama yaitu: Boiler, Turbin, Generator dan Kondensor. Keempat komponen utama tersebut memiliki peranan masing-masing dalam suatu proses pembangkitan. Seperti Boiler berfungsi untuk memanaskan air hingga berubah menjadi uap, turbin berfungsi untuk mengkonversikan energi mekanik menjadi energi gerak atau kinetik, pompa berfungsi untuk menaikkan tekanan air yang digunakan pada sistem pembangkitan dan kondenser berfungsi untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin menjadi air. Gambar blok diagram siklus ideal PLTU dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 1. Blok diagram Siklus ideal PLTU

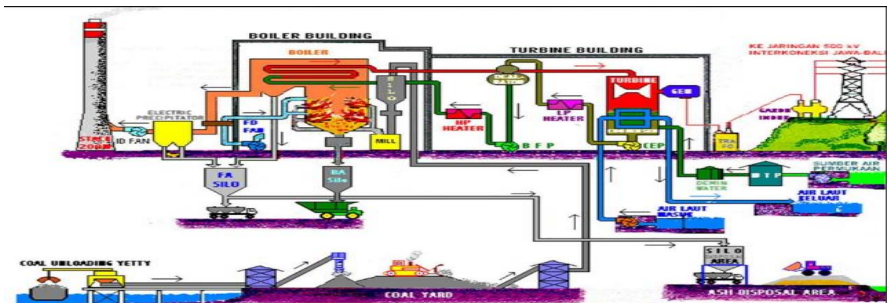
Sumber : https://research.iaun.ac.ir/pd/yaghoubi%20koupaye/pdfs/UploadFile_7004.pdf

Sedangkan pada pembangkit listrik tenaga uap sebenarnya tidak hanya menggunakan empat komponen diatas melainkan ditambah dengan beberapa komponen pendukung lain seperti heater, yang bertujuan untuk menambah efisiensi pembangkit sehingga dapat menghermat penggunaan bahan bakar tetapi menghasilkan daya listrik keluaran yang besar.

2.2. Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap

2.2.1. Boiler

Boiler atau ketel uap merupakan suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Boiler terdiri dari pipa-pipa dimana pipa-pipa tersebut berisi air laut yang telah dimurnikan terlebih dahulu. Pada bagian dasar terdapat furnace yang berfungsi untuk melakukan pembakaran untuk menghasilkan panas. Panas ini akan digunakan untuk menguapkan air yang berada di pipa-pipa tersebut dan uap yang dihasilkan dari pemanasan akan digunakan untuk menggerakkan turbin. Uap yang dihasilkan oleh boiler adalah uap panas lanjut atau *superheated steam* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Setiap satu unit boiler pada PLTU PT Bintang Alumina berkapasitas maksimal 220 t/h, debit jenis uap keluaran superheater 962,1 kg/m².s dengan temperatur berkisar pada level 530-545°C. Dalam pengoperasiannya, boiler ditunjang oleh beberapa peralatan seperti ruang bakar, dinding pipa, burner dan cerobong. Gambar bagian-bagian boiler dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2. Bagian-bagian boiler

Sumber : <https://zafranlapak.blogspot.com/2015/10/system-boiler-pembangkit-listrik-tenaga.html>

2.2.2. Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi mengalir melalui nozzle sehingga kecepatannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin turbin yang dipasang pada poros. Akibatnya poros turbin bergerak menghasilkan putaran. Uap yang masuk kedalam turbin atau uap yang digunakan untuk memutar sudu turbin tergantung dari besar daya yang akan dihasilkan. Jika diinginkan daya yang dihasilkan besar maka akan dibutuhkan suplai uap dalam jumlah

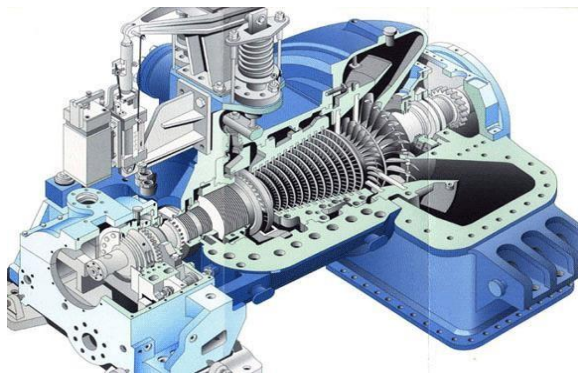
banyak, begitu juga sebaliknya. Pengaturan suplai uap ini dilakukan oleh *control valve* yang diatur melalui *central control room* (CCR). Dalam hal ini besar daya maksimum yang mampu disuplai oleh PLTU PT Bintang Alumina Unit 4 sebesar 25 MW dan Unit 5 sebesar 30 MW.

Pada kondisi aktual turbin yang digunakan ada 3 macam:

1. Turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbine*)
2. Turbin tekanan sedang (*Intermediate Pressure Turbine*)
3. Turbin tekanan tinggi (*High Pressure Turbine*)

Turbin sebagai komponen penting pada PLTU juga dilengkapi dengan peralatan proteksi yang berfungsi untuk mengamankan turbin dari kemungkinan terjadinya kerusakan fatal. Peralatan proteksi turbin akan bekerja bila salah satu sirkuit pengaman energize. Prinsip kerja sistem pengaman turbin adalah menutup (trip) *main stop valve* (MSV) turbin yang merupakan katup isolasi uap masuk. Gambar turbin uap dapat dilihat seperti gambar berikut, sedangkan sistem proteksi turbin akan trip jika salah satu dari hal-hal berikut terjadi:

- Overspeed
- Tekanan pelumas bantalan rendah
- Keausan bantalan aksial tinggi
- Vakum kondensor rendah
- Tombol trip ditekan *Emergency condition*

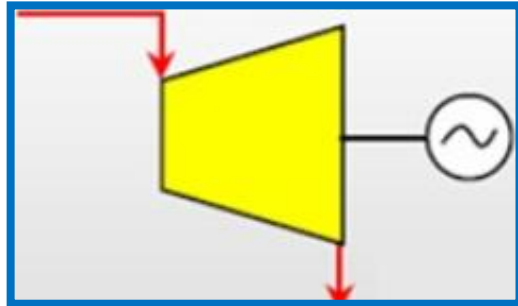


Gambar 3. Design Turbin Uap

Sumber : <https://e-green.uho.ac.id/course/info.php?id=1051>

2.2.2.1 Jenis turbin yang ditinjau dari tekanan uap akhir

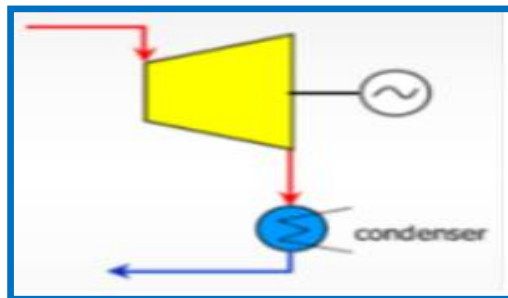
- a. Turbin Tekanan Lawan (Back Pressure Turbine) adalah turbin yang tekanan akhirnya diatas tekanan atmosfer karena uap keluaran akhir dari turbin tersebut tidak dikondensasikan.



Gambar 4. Siklus Turbin *Backpressure*

Sumber :<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621006223>

- b. **Turbin kondensasi** adalah turbin yang mana uap keluaran sudu terakhirnya dikondensasikan, tekanan akhir dari turbin kondensasi ini dibuat vaccum, sehingga temperatur kondensasinya sedikit diatas dari temperatur air pendingin yang tersedia.



Gambar 5. Siklus Turbin *Condensate*

Sumber :<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621006223>

2.2.2.2 Komponen – komponen Utama Turbin

1. *Casing*
Sebagai penutup bagian – bagian utama turbin
2. *Rotor*
Bagian turbin yang berputar yang terdiri dari poros, sudu turbin atau deretan sudu yaitu stasionary blade dan moving blade. Untuk turbin bertekanan tinggi atau ukuran besar. khususnya untuk turbin jenis reaksi

maka motor ini perlu balance untuk mengimbangi gaya reaksi yang timbul secara aksial terhadap poros.

3. *Bearing Pendestal*
Merupakan kedudukan dari poros rotor
4. *Journal Bearing Turbin part*
Berfungsi untuk menahan gaya radial atau gaya tegak lurus rotor.
5. *Thrust Bearing*
Bagian Turbin yang berfungsi untuk menahan atau untuk menerima gaya aksial atau gaya sejajar terhadap poros yang merupakan gerakan maju mundurnya poros rotor.
6. *Main Oli Pump*
Memompakan oli dari tangki untuk disalurkan pada bagian – bagian yang berputar pada turbin.
Dimana fungsi dari lube oil adalah :
 - a. Sebagai pelumas pada bagian – bagian yang berputar.
 - b. Sebagai pendingin (*Oil Cooler*) yang telah panas dan masuk kebagian turbin dan akan menekan atau terdorong keluar secara sirkuler
 - c. Sebagai pelapis (*Oil Film*) pada bagian turbin yang bergerak sebagai Pembersih (*Oil Cleaner*) dimana sirkuler oli yang telah kotor sebagai akibat dari benda – benda yang berputar dari turbin akan terdorong keluar secara sirkuler oleh oli yang masuk.
7. *Gland Packing*
Sebagai Penyekat untuk menahan kebocoran baik kebocoran Uap maupun kebocoran oli.
8. *Labirinth Ring*
Mempunyai fungsi yang sam dengan gland packing.
9. *Impuls Stage*
Sudu turbin tingkat pertama yang mempunyai sudu sebanyak 116 buah
10. *Stasionary Blade*
Sudu-sudu yang berfungsi untuk menerima dan mengarahkan *steam* yang masuk.
11. *Moving Blade*
Sejumlah sudu-sudu yang berfungsi menerima dan merubah Energi *Steam* menjadi Energi Kinetik yang akan memutar generator.
12. *Control Valve*
Merupakan katup yang berfungsi untuk mengatur steam yang masuk kedalam turbin sesuai dengan jumlah *Steam* yang diperlukan.
13. *Stop Valve*
Merupakan katup yang berfungsi untuk menyalurkan atau menghentikan aliran steam yang menuju turbin.
14. *Reducing Gear*

Suatu bagian dari turbin yang biasanya dipasang pada turbin-turbin dengan kapasitas besar dan berfungsi untuk menurunkan putaran poros rotor dari 5500rpm menjadi 1500 rpm

15. *Turning Device*

Turning device adalah *mekanisme* yang berfungsi untuk memutar rotor dari turbin pada saat *start* awal atau setelah *shut down*, guna mencegah terjadinya *distorting* atau *bending* akibat proses pemanasan atau pendinginan yang tidak seragam pada rotor.

2.2.2.3. Sistem Uap

Sistem uap merupakan suatu proses dimana fluida kerja berwujud uap. *Steam* adalah air yang mengalami perubahan fase cair menjadi fase gas yang dihasilkan dari menjadi dari proses pendidihan air dengan diberikan tambahan panas atau dipanaskan. Pada pusat pembangkit listrik, uap diproses di dalam ketel uap dan akan masuk ke dalam turbin. Uap juga digunakan untuk proses pemanasan yang dibutuhkan di suatu industri dan pembangkit listrik. Kualitas *steam* perlu dijaga dan harus tersedia dalam jumlah yang benar agar aliran panas yang memadai tersedia untuk perpindahan panas. Suhu dan tekanan pada *steam* juga mempengaruhi kinerja. Kemudian *steam* harus bebas dari udara atau gas yang dapat mengembun agar tidak menghambat perpindahan panas.

Pengelompokkan sistem uap terdiri dari:

a. *Main Steam Sytem*

Main steam sytem adalah sistem uap utama yang mengalirkan uap yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang dihasilkan *Boiler* menuju turbin.

b. *Reheat Steam System*

Reheat steam system adalah sistem uap panas ulang dimana jalur pipa uap terdiri dari dua segmen yaitu menyalur uap bekas dari turbin tekanan tinggi kembali ke *Boiler* dan yang menyalurkan uap dari *Boiler* menuju ke turbin tekanan menengah dan rendah.

c. *Extraction Steam System*

Extraction steam system adalah sistem uap ekstraksi, saat uap melewati turbin hingga ke kondensor, terdapat beberapa titik *stage* pipa ekstraksi yang akandialirkan menuju pemanas awal air umpan dan air kondensat. Proses penguapan terjadi ketika panas yang diberikan pada air akan terus bertambah suhunya. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air, hingga sampai pada titik dimana molekul-molekul air mampu melepaskan diri dari lingkungannya pada temperatur 100°C dan tekanan 1 kg/ h, kemudian air perlahan-lahan akan berubah menjadi fasa uap.

Dalam proses penguapan, uap dibagi menjadi tiga berdasarkan keadaannya yaitu:

a. Uap Basah

Proses pembentukan uap basah adalah air akan bercampur dalam uap dengan perbandingan tertentu, sehingga terbentuk suatu campuran antara uap dengan air. Proses ini terjadi pada drum *Boiler* yang harus terisi air.

b. Uap Jenuh

Proses pembentukan uap jenuh adalah saat uap basah diberikan kalor, maka air akan mengalami penguapan dengan temperatur 16 uap konstan. Uap akan semakin kering bila mengalami proses pemanasan hingga mencapai keadaan jenuh.

c. Uap Kering

Proses pembentukan uap kering adalah uap yang mengalami pemanasan lanjut dengan cara dialirkan melalui pipa-pipa yang dipanasi sampai keadaan uap kering.

Berdasarkan jenisnya uap dibagi menjadi dua yaitu :

a. *Saturated Steam*

Saturated steam adalah kondisi uap dalam jenuh, dimana uap terbentuk saat air dalam kondisi titik didihnya (titik *saturated water*). *Saturated steam* berada dalam kondisi dimana uap air berada pada tekanan dan temperature yang sama dengan air fasa cair (*liquid*). Saat temperatur *saturated steam* turun di bawah titik didihnya maka uap akan langsung terkondensasi.

b. *Superheated Steam*

Superheated steam adalah *steam* yang mempunyai temperatur lebih tinggi dari titik penguapannya pada tekanan absolut dimana temperatur diukur. *Superheated steam* adalah gas kering yang tidak mengandung kelembaban air sama sekali. *Superheated steam* mempunyai efisiensi yang baik dan mampu meningkatkan entalpi. Entalpi dalam termodinamika merupakan jumlah energi dalam, tekanan panas dan volume dari suatu zat. Entalpi dapat mengkonversi dirinya menjadi kerja dan panas.

2.2.2.4 Termodinamika

Termodinamika adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari mengenai energi secara spesifik dan membahas sifat zat yang berhubungan dengan energi panas dan proses kerjanya. Hukum termodinamika menjadi bagian yang penting dalam ilmu fisika dan memiliki tiga hukum termodinamika.

A. Hukum Termodinamika Pertama

Pada hukum pertama menyatakan bahwa "Energi tidak dapat dimusnahkan, melainkan hanya bisa diubah bentuknya saja." Hukum ini berkaitan dengan hukum kekekalan energi. Energi dari suatu sistem yang mengalami perubahan dapat berkurang atau bertambah oleh pertukaran dengan lingkungan dan energi diubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain di dalam sistem itu

sendiri. Dalam sistem termodinamika I mengalami 4 proses yaitu: isothermal, isobaric, isokhorik dan adiabatik.

Entalpi menyatakan jumlah energi internal dari suatu sistem termodinamika ditambah energi yang digunakan untuk melakukan kerja. Entalpi juga merupakan transfer panas antara sistem dan lingkungan yang ditransfer dalam kondisi tekanan konstan (*isobaric*). Nilai Entalpi uap masuk dan nilai entalpi uap keluar dicari interpolasi.

Nilai entalpi *steam* masuk dicari menggunakan interpolasi dengan menggunakan Tabel uap (*superheated steam*) dengan data temperatur dan tekanan masuk.

$$h_i = h_b + (T_i - T_b) \frac{h_a - h_b}{T_a - T_b}$$

Dengan:

h_i = Entalpi uap masuk turbin (kJ/kg)

h_a = Entalpi atas pada Tabel uap (kJ/kg)

h_b = Entalpi bawah pada Tabel uap (kJ/kg)

T_i = Temperatur uap masuk turbin (°C)

T_a = Temperatur atas pada Tabel uap (°C)

T_b = Temperatur bawah pada Tabel uap (°C)

Sedangkan nilai entalpi *steam* keluar dicari menggunakan interpolasi dengan menggunakan Tabel uap (*superheated steam*) dengan data temperatur dan tekanan keluar.

$$h_0 = h_b + (T_0 - T_b) \frac{h_a - h_b}{T_a - T_b}$$

Dengan:

h_0 = Entalpi uap keluar turbin (kJ/kg)

h_a = Entalpi atas pada Tabel uap (kJ/kg)

h_b = Entalpi bawah pada Tabel uap (kJ/kg)

T_0 = Temperatur uap keluar turbin (°C)

T_a = Temperatur atas pada Tabel uap (°C)

T_b = Temperatur bawah pada Tabel uap (°C)

B. Hukum Termodinamika kedua

Hukum termodinamika dalam konsep entropi menyatakan bahwa “Sebuah proses alami yang bermula di dalam satu keadaan kesetimbangan dan berakhir di dalam satu keadaan kesetimbangan lain akan bergerak di dalam arah yang menyebabkan entropi dari sistem dan lingkungannya semakin besar.” Entropi adalah salah satu besaran termodinamika yang mengukur energi dalam system per satuan temperature yang tidak dapat digunakan untuk melakukan usaha.

2.2.2.5 Daya Turbin Uap

Hukum pertama termodinamika berbunyi perubahan energi dalam sebuah sistem tertutup, sama dengan jumlah energi panas masuk ke dalam sistem ke lingkungan sekitarnya. Sehingga persamaan dasar dari hukum tersebut adalah:

$$q - w = \Delta h + \Delta Ek + \Delta Ep$$

Pada sistem turbin uap tidak terjadi perubahan energi panas, energi kinetik dan energi potensial fluida sehingga:

$$\begin{aligned} -w &= \Delta h \\ -w &= h_2 - h_1 \\ wr &= h_1 - h_2 \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dihitung daya turbin dengan mengalikan daya spesifik dengan *steam flow*.

$$\begin{aligned} w_T &= m \times w \\ w_T &= m \times (h_i - h_0) \end{aligned}$$

1. Parameter Kerja Turbin Uap

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

1. Entalpi

Entalpi merupakan istilah dalam termodinamika yang menggambarkan banyaknya energi yang digunakan untuk melakukan usaha ditambah energi internal dari suatu termodinamika. Adapun usaha adalah tenaga yang digunakan untuk melakukan kerja (W). Usaha (W) adalah selisih antara entalpi yang masuk dengan entalpi yang keluar.

2. Kerja turbin kondisi actual (W_a)

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

Keterangan

W_a = Kerja turbin secara actual (KJ/Kg)

h_1 = Entalpi actual masuk turbin (KJ/Kg)

h_{2a} = Entalpi kondisi actual (KJ/Kg)

3. Kerja turbin kondisi isentropic (W_s)

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

Keterangan

W_s = Kerja turbin secara isentropik (KJ/Kg)

h_1 = Entalpi actual masuk turbin (KJ/Kg)

h_{2s} = Entalpi kondisi actual (KJ/Kg)

a. Fraksi Uap

Fraksi uap adalah nilai fraksi cairan yang terkandung dalam uap output dari turbin yang digunakan untuk menghitung entalpi keluaran dari turbin tersebut. Karena entropi merupakan perubahan keadaan pada sistem setimpang, maka entropi (S) system selalu sama ketika system berada pada kondisi keseimbangan tertentu.

$$x_{2s} = (S_{2s} - S_{fg})/S_g$$

Keterangan:

X = Nilai fraksi uap

S_{2s} = Entropi output turbin aktual (KJ/Kg)

S_{fg} = Entropi campuran fluida gas (KJ/Kg)

S_g = Entropi uap/gas (KJ/Kg)

b. Efisiensi Isentropik

Efisiensi isentropic adalah perbandingan antara kinerja actual peralatan dengan kinerja yang dapat dicapai dibawah keadaan ideal untuk keadaan *input* dan *output* yang sama.

$$\eta_{thermal} = \frac{W_a}{W_s} \times 100\%$$

Keterangan:

$\eta_{thermal}$ = Efisiensi isentropic (%)

W_a = Kinerja actual turbin (KJ/Kg)

W_s = Kinerja isentropic turbin (KJ/Kg)

2.2.2.6 Efisiensi Turbin Uap

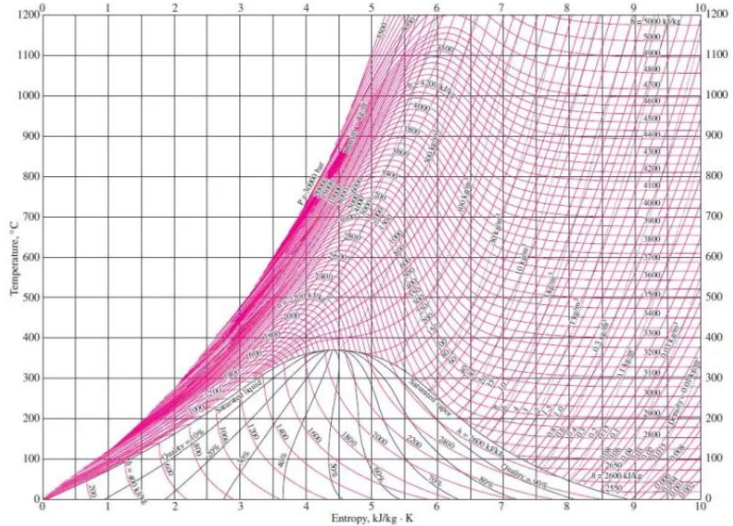
Efisiensi adalah salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui konversi energi atau proses transfer yang terjadi berjalan dengan baik. Keinginan efisiensi dari suatu unit itu adalah berjalan dengan baik agar pengoperasian pada suatu unit tidak terganggu. Tetapi pada kenyataannya, hal ini tidak mungkin dapat dilaksanakan karena adanya berbagai rugi-rugi yang terjadi hampir disetiap komponen PLTU. Berikut faktor-faktor penyebab rugi-rugi di dalam turbin diantaranya:

- A. Rugi-rugi pada uap meninggalkan *moving blades*.
- B. Rugi-rugi pada *nozzle*
- C. Rugi-rugi celah
- D. Rugi-rugi pada katup atau *governor*
- E. Rugi-rugi pada *moving blades*
- F. Rugi-rugi akibat kebasahan uap
- G. Rugi-rugi gesekan

Efisiensi internal turbin merupakan besaran praktis yang tergantung pada berbagai faktor yaitu kapasitas, serta kondisi uap dan beban turbin. Efisiensi internal turbin merupakan besaran praktis dan nilainya bersifat spesifik untuk suatu turbin.

2.2.2.7 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus daya uap yang digunakan untuk menghitung atau memodelkan kerja turbin uap. Siklus ini bekerja fluida kerja air. Semua turbin uap bekerja berdasarkan prinsip kerja siklus Rankine. Siklus Rankine pertamakali dimodelkan oleh: William John Macquorn Rankine, seorang ilmuwan Skotlandia dari Universitas Glasgow. Adapun dalam memahami Siklus Rankine, perlu dipelajari mengenai T-s diagram air seperti yang tertera pada diagram T-s pada Gambar:



Gambar 6. T-s Diagram

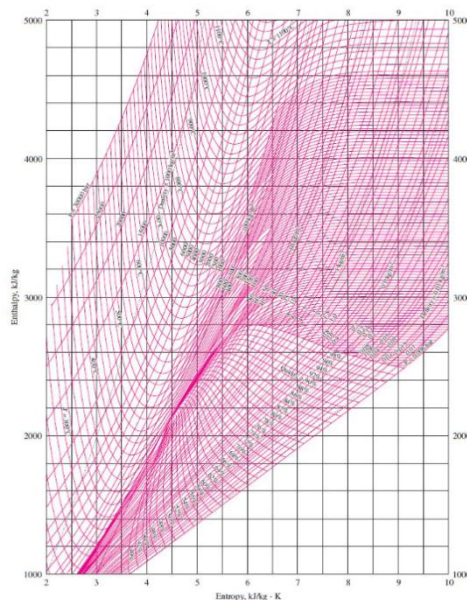
Sumber : <https://studylib.net/doc/26319228/boles-steam-tables>

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

Posisi titik kritis menuju arah kanan mengikuti garis kubah uap merupakan garis uap jenuh. Jika tekanan dan temperature fluida berada pada kondisi yang sesuai dengan garis tersebut, maka fluida berada pada kondisi 100% uap jenuh. Titik kritis menuju arah kiri mengikuti garis kubah uap, disebut garis cair jenuh. Pada garis ini fluida memiliki fasa cair 100%.

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

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



Gambar 7. h-s Diagram

Sumber : <https://studylib.net/doc/26319228/boles-steam-tables>

Selain diagram T-s juga dikenal *Mollier diagram* atau h-s diagram. Berikut ini adalah h-s. Diagram h-s menggambarkan hubungan antara energi total entalpi (h) dengan entropi (s). Sama seperti diagram T-s, untuk setiap fluida memiliki

diagram h-s nya sendiri-sendiri. Kedua diagram ini dapat digunakan untuk menghitung kinerja pembangkit listrik tenaga uap dengan menggunakan siklus Rankin

2.2.3. Generator

Generator merupakan salah satu komponen utama yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Generator yang dikopel langsung dengan turbin akan menghasilkan tegangan listrik ketika turbin berputar. Proses konversi energi didalam generator adalah dengan memutar medan magnet didalam kumparan. Rotor generator sebagai medan magnet menginduksi kumparan yang dipasang pada stator sehingga menimbulkan tegangan diantara kedua ujung kumparan generator. Untuk membuat rotor agar menjadi medan magnet, maka dialirkan arus DC pada kumparan rotor. Sistem pemberian arus DC kepada rotor agar menjadi magnet ini disebut eksitasi.

1. Pengertian Generator Sinkron

Generator Sinkron merupakan mesin listrik yang digunakan untuk mengkonversi energi mekanis (Energi Gerak) menjadi energi listrik (*Electric*) melalui proses induksi elektromagnetik. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Kumparan medan pada generator sinkron terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator.

Konstruksi umum dari suatu generator sinkron terdiri dari penggerak mula, rotor atau bagian yang berputar, stator atau bagian yang diam, dan celah udara antara stator dan rotor. Konstruksi rotor sendiri terdiri atas rotor silinder dan rotor kutub sepatu yang masing-masingnya memiliki fungsi yang berbeda. Disamping itu juga perlu rangkaian eksitasi sebagai penghasil tegangan induksi pada terminal jangkar. Untuk generator sinkron yang besar, rangkaian jangkar diletakkan pada stator untuk menghindari timbulnya bunga api jika rangkaian jangkar pada bagian rotor. Untuk rangkaian eksitasi dapat dibagi atas dua yaitu eksitasi dengan sikat (*Brush Excitation*) dan tanpa sikat (*Brushless Excitation*).

2. Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik (AC) secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator. Pada gambar 1 dapat dilihat bentuk sederhana dari sebuah generator sinkron.

Secara umum generator sinkron terdiri atas stator, rotor, dan celah udara bagian yang berputar. Celah udara adalah ruang antara stator dan rotor. Pada bagian ini akan dibahas mengenai konstruksi generator sinkron secara garis besar. Bagian-bagian generator yang dibahas pada bagian ini antara lain Stator dan Rotor.

a. Stator

Stator (*Armature*) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat. Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1) Rangka stator

Rangka stator merupakan rumah kerangka yang menyangga inti jangkar generator. Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin di mana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

2) Inti Stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus terpasang ke rangka stator

3) Alur (slot) dan Gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3 (tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup. Bentuk-bentuk alur atau slot.

4) Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

b. Rotor

Pada rotor generator terdapat kumparan jangkar yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik yang disearahkan melalui komutator. Sumber listrik yang dihasilkan komutator dikeluarkan melalui sikat (*Brush*). Rotor terdiri dari tiga komponen utama yaitu:

1) *Slip Ring*

Slip Ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasang ke *Slip*

Ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (*Brush*) yang letaknya menempel pada *Slip Ring*.

2) Kumparan Rotor (Kumparan Medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu

3) Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros rotor tersebut telah dibentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

c. Sistem Eksitasi



Gambar 8. Brushless Exciter Unit 1 dan 2 PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia

Sumber: PT. Bintang Alumina Indonesia

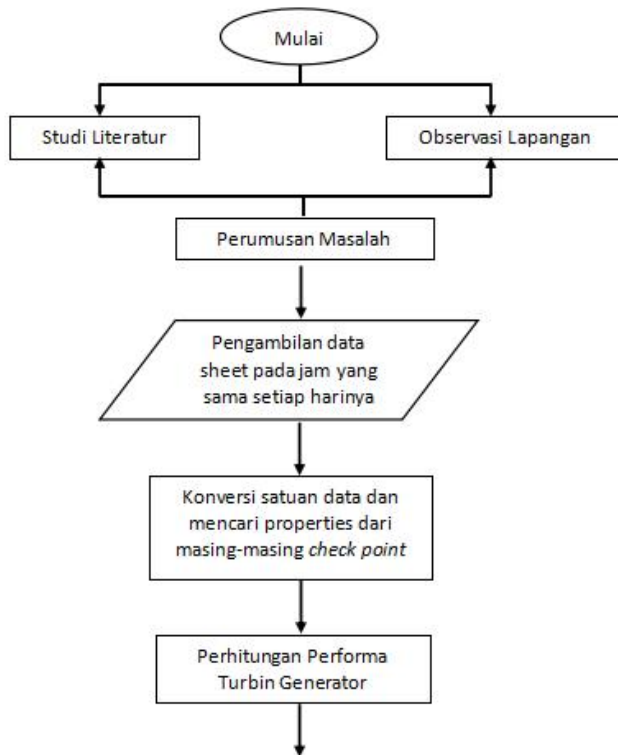
Sistem eksitasi adalah sistem mengalirnya pasokan listrik DC sebagai penguatan pada generator listrik, sehingga menghasilkan tenaga listrik dan besar tegangan output bergantung pada besarnya arus eksitasi. Perkembangan sistem eksitasi generator cenderung ke sistem eksitasi tanpa sikat, karena adanya sikat menimbulkan kesulitan, misalnya timbul loncatan api pada putaran tinggi dan daya tinggi pada generator arus searah yang menghasilkan arus penguat. Untuk menghilangkan sikat digunakan rotating diode.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Gambaran Umum

Berdasarkan permasalahan dan tujuan pada bab 1 maka penelitian pada tugas Akhir ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif dan deskripsi kualitatif. Penelitian kuantitatif bertujuan untuk mendapatkan hasil perhitungan matematis dalam menentukan performa generator turbin. Sedangkan penelitian kualitatif bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi performa generator turbin.

Secara umum langkah-langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini di perlihatkan pada diagram alir sebagai berikut:





Gambar 9. Diagram alir tahapan penelitian

Berdasarkan Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir di atas akan dijabarkan sebagai berikut:

1. Observasi dan Perumuan Masalah

Observasi dan Perumusan masalah dilakukan untuk menemukan sebuah topik yang akan dijadikan penelitian dengan pendampingan dari dosen pembimbing. Setelah topik permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ditemukan maka diidentifikasi langkah-langkah yang akan dilakukan untuk penyelesaian dari masalah tersebut

2. Studi Literatur

Mencari rujukan/sumber mengenai metode yang akan digunakan dalam pemecahan masalah yang dihadapi, yakni dengan cara:

- a. Studi penulisan tugas akhir, yaitu mempelajari artikel, jurnal, makalah, karya tulis, buku-buku, serta halaman web yang terkait dengan pengenalan karakter tulisan, metode pengenalan tentang berbagai komponen peralatan yang terdapat dipembangkit dan klasifikasinya.
- b. Konsultasi dilakukan dengan dosen pembimbing yang memiliki kapabilitas dan konsentrasi dalam bidang penelitian yang dilakukan. Dosen pembimbing yang sebelumnya telah memiliki latar belakang pada bidang pembangkit listrik. Dalam metode ini pengumpulan data dan informasi dilakukan

dengan bertanya kepada narasumber yang ada yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi. Dalam hal ini kami konsultasi kepada pembimbing lapangan yang berkompeten, sehingga didapatkan data maupun informasi yang dibutuhkan

3. Perhitungan

Melakukan Perhitungan efisiensi turbin generator dengan berdasarkan siklus rankine sederhana ideal berdasarkan data yang telah dikumpulkan dengan menggunakan tabel tekanan.

4. Evaluasi Hasil

Analisis hasil dari pengamatan parameter sistem yang ada, yakni dengan cara membandingkan kedua parameter sehingga dan dilakukan evaluasi sehingga mendapatkan hasil performa dari kedua jenis tipe generator turbin set tersebut.

3.2. Tempat dan Jadwal Penelitian

3.2.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Bintang Alumina Indonesia dengan alamat Gn. Kijang, Kabupaten Bintang, Provinsi Kepulauan Riau. PT. Bintang Alumina Indonesia merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan bauksit menjadi alumina sehingga membutuhkan pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik dan menggunakan uap keluaran untuk proses produksi alumina.

3.2.2. Jadwal Penelitian

Dalam mengambil data operasional dilakukan perjam selama 1 hari pada tanggal 01 November 2023 sedangkan untuk data konsumsi listrik dan uap diambil selama 30 hari mulai dari tanggal 01 hingga 30 November 2023.

3.3. Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah generator penggerak turbin tipe *condensat* unit 04 dan generator penggerak turbin tipe *backpressure* unit 05 di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.

3.4. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah besaran yang dapat mengubah dan mempengaruhi hasil suatu penelitian. Adanya variabel memudahkan dalam menganalisis masalah. Variabel yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi penelitian. Variabel dalam penelitian ini berdasarkan data operasi atau data parameter yang ditunjukkan pada layar DCS di *control room* PLTU PT Bintan Alumina Indonesia yaitu:

- a. Tekanan uap masuk dan tekanan uap keluar pada turbin uap.
- b. Suhu uap masuk pada turbin uap.
- c. Laju aliran debit uap dan entalpi.
- d. Perubahan beban listrik yang dihasilkan turbin.

2. Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang terpengaruh dalam penelitian. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah

- a. *Actual Steam Rate*
- b. Efisiensi turbin uap

3.5. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, beberapa teknik yang dilakukan untuk pengumpulan data, yaitu :

a. Pengamatan Langsung

Penulis mengambil data melalui langsung pada turbin uap *back pressure* yang ada di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia. Mencatat tekanan, temperatur, debit aliran uap dari layar DCS di *control room*.

b. Pengamatan Tidak Langsung

Penulis melakukan pengambilan data dengan cara mengambil data melalui *control room* dan juga data spesifikasi pada turbin uap *back pressure* Unit 02. Turbin unit 02 memiliki model C30-8,83/1,1 dan B25-8.83/1.1, dengan tipe *high temperature dan high pressure, single cylinder, impulse, back type steam turbine*. Berikut spesifikasi turbin uap *back pressure* unit 04 dan unit 05 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia:

Tabel 1. Spesifikasi Generator Unit 04 dan Generator Unit 05

Kategori	Spesifikasi Generator Unit 04		Spesifikasi Generator Unit 05	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Tipe	QFW-33-2		QFW-30-2	
Nilai Tegangan	6300	V	6300	V
Nilai Arus	3780	A	3437	A
Nilai Kecepatan	3000	r/min	3000	r/min

Frekuensi	50	Hz	50	Hz
Nilai Output	41,25	MVA	37,5	MVA
Nilai Daya	33	MW	30	MW
Arus Eksitasi	431	A	379,5	A
Faktor Daya	0,8		0,8	

Tabel 2. Spesifikasi Turbin *Condensat* Unit 04 dan Generator *Backpressure* Unit 05

Kategori	Spesifikasi Turbin Unit 04 <i>Condesat</i>		Spesifikasi Turbin Unit 05 <i>Backpressure</i>	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Tipe	C30-8,83/1,1		B25-8,83/1.1	
Nilai Daya	30	MW	25	MW
Nilai Tekanan Masuk	8,83	Mpa	8,83	Mpa
Nilai Tekanan Ekstraksi	1,1	Mpa	1,1	Mpa
Nilai Kecepatan	3000	r/min	3000	r/min
Nilai Temperatur Masuk	535	°C	535	°C
Nilai Laju Uap Ekstraksi	80	t/h	165	t/h

c. Wawancara

Kegiatan wawancara ini dimaksudkan untuk pengambilan data pendukung Tugas Akhir. Wawancara dilakukan dengan cara mengajukan beberapa pertanyaan kepada karyawan dan dosen pembimbing lapangan serta operator control room di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.

d. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk pengumpulan pengetahuan yang berkaitan dengan kinerja efisiensi turbin uap serta mempelajari hal-hal yang mempengaruhi kondisi uap. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku-buku referensi dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan tema Tugas Akhir

3.6. Pengolahan Data

Setelah beberapa data diperoleh, langkah selanjutnya adalah tahapan pengolahan data. Pengolahan data yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini dilakukan dengan cara menguraikan data dan menganalisis perhitungan *actual steam rate* dan efisiensi internal turbin sehingga diketahui kinerja dari turbin uap unit 04 jenis *condensat* dan *backpressure* PLTU PT Bintan Alumina Indonesia. Berikut langkah-langkah pengolahan data dan perhitungan sebagai berikut :

1. Mengolah data tekanan, temperatur, daya listrik dan debit aliran uap. Data ini akan diolah dan digunakan untuk menghitung nilai *actual steam rate* dan efisiensi internal turbin.
2. Data daya yang dihasilkan turbin dengan laju uap yang dibutuhkan turbin untuk menentukan *actual steam rate*. Kemudian tekanan dan temperature masuk dan keluar turbin uap digunakan untuk menghitung *theoretical steam rate*.
3. Hasil perhitungan *actual steam rate* dan *theoretical steam rate* untuk mendapatkan nilai efisiensi internal turbin dan efisiensi generator.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian diperoleh dari proses pengumpulan data setelah melakukan penelitian, dan pengamatan di lapangan. Data yang diambil berdasarkan data spesifikasi dan data aktual pada turbin uap. Data spesifikasi berdasarkan pada buku operasi turbin uap di PT Bintan Alumina Indonesia. Sedangkan pada data aktual berdasarkan operasi dari turbin uap unit 04 dan unit 05 dibulan November. Hasil penelitian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik merupakan hasil pengolahan data primer.

Tabel.3 Spesifikasi Turbin Uap Tipe *Condesat* Unit 04 dan Tipe *Backpressure* Unit 05

Kategori	Spesifikasi Turbin Tipe <i>Backpressure</i> Unit 05		Spesifikasi Turbin Tipe <i>Backpressure</i> Unit 05	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Tipe	C30-8,83/1,1		B25-8,83/1.1	
Nilai Daya	30	MW	25	MW
Nilai Tekanan Masuk	8,83	Mpa	8,83	Mpa
Nilai Tekanan Ekstraksi	1,1	Mpa	1,1	Mpa
Nilai Kecepatan	3000	r/min	3000	r/min
Nilai Temperatur Masuk	535	°C	535	°C
Nilai Laju Uap Ekstraksi	80	t/h	165	t/h

Tabel 4. Turbin Uap Tipe *Condensat* Unit 04

WAKTU (01 Nov)	TURBIN TIPE <i>CONDENSATE</i> NO.4					
	Steam Flowrate	Inlet Pressure	Inlet Temperature	Vacuum Pressure	Outlet Temperature	Debit Outlet Supply
	mi	Pi	Ti	Po	To	mo
	t/h	Mpa	°C	Kpa	°C	t/h
0:00	53.02	8.9	526.38	5.31	36.09	0
1:00	65.93	9.1	531.82	5.77	36.68	0
2:00	59.93	8.67	534.63	5.61	35.83	0
3:00	63.99	8.96	532.06	5.83	36.41	0
4:00	60.52	9.22	534.34	5.78	36.42	0
5:00	71.96	8.55	529.93	6.09	36.91	0
6:00	64.12	9.01	532.95	5.77	36.32	0
7:00	56.39	8.91	533.9	5.48	36.27	0
8:00	57.05	8.86	534.39	5.72	36.04	0
9:00	59.15	9.02	532.98	5.72	36.58	0
10:00	68.55	9.11	535.3	5.69	36.86	0
11:00	61.08	9.22	530.98	5.72	36.58	0
12:00	57.53	8.88	530.61	5.58	37.02	0
13:00	62.45	9.04	531.28	5.86	37.26	0
14:00	65.55	9.05	532.98	5.72	36.58	0
15:00	61.22	8.98	532.98	5.72	36.58	0
16:00	54.76	8.97	532.15	5.63	36.26	0
17:00	51.62	8.99	540.21	5.61	36.62	0
18:00	65.34	8.73	530.95	6.06	37.28	0
19:00	67.53	8.77	535.47	6.06	37.41	0
20:00	55.61	9.26	540.99	5.62	36.8	0
21:00	59.19	8.99	537.24	5.68	37.01	0
22:00	47.51	9.32	535.67	5.22	35.95	0
23:00	65.74	8.85	536.51	5.63	36.18	0

Dapat diketahui pada tabel.4 merupakan Data Operasional Turbin Uap Unit 04 merupakan salah satu tipe turbin *condensat*. Pada dasarnya tipe turbin jenis *condensat* ini akan mengkondensasikan uap untuk menghilangkan energi dan mengubah menjadi air kembali. Proses ini menciptakan tekanan vakum di keluaran sehingga tidak ada uap yang tersedia untuk digunakan lebih lanjut. Pada kondisi tertentu yaitu kondisi dimana tipe turbin *backpressure*

tidak mampu memenuhi permintaan alumina, turbin jenis condensat juga digunakan untuk menyuplai uap ke alumina, tetapi dalam kondisi normal uap tidak disuplai ke alumina melainkan semua uap dikondnsasi, sehingga debit outlet supply alumina 0 t/h.

4.1.1 Perhitungan Effisiensi Generator Turbin Unit 04 dan Unit 05

A. Perhitungan Efisiensi Isentropik (Kondisi Ideal)

1. Perhitungan Entalphi Kondisi Isentropik

B. Perhitungan Efisiensi Isentropik (Kondisi Nyata/Operasi)

1. Perhitungan Entalphi Kondisi Isentropik (Kondisi Aktual)

Dengan menggunakan data spesifikasi turbin yang telah diketahui, entalpi turbin pada kondisi isentropik dapat ditentukan dengan menggunakan Tabel Termodinamika. Data Kondisi Outlet (Sisi Keluar):

- ◆ Tekanan Vacum = -94,69 KPa
Tekanan Udara = 1 atm = 0,1 MPa
= 100KPa
Tekanan Keluar (P_2) = Tekanan Udara - Tekanan Vacum
= 100KPa - 94,69 KPa
= 5,41 KPa
- ◆ Temperatur Keluar (T_2) = 36,09°C

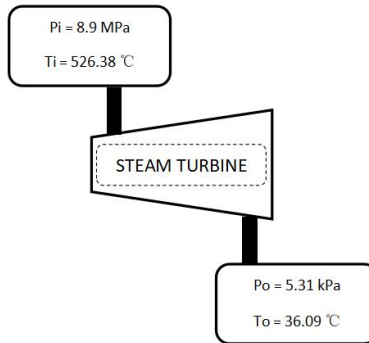
Dengan data tersebut dapat di proses untuk menentukan nilai entalpi dengan titik pengukuran 2 untuk kondsii isentropik dan hasilnya adalah:

Tabel 05. Hasil Perhitungan menggunakan *Calculator Steam*

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Saturated Steam Temperature</i>	34.2856	°C
<i>Latent Heat of Steam</i>	2419.64	kJ/kg
<i>Specific Enthalpy of Saturated Steam</i>	2563.3	kJ/kg
<i>Specific Enthalpy of Saturated Water</i>	143.659	kJ/kg
<i>Specific Volume of Saturated Steam</i>	26.1672	m ³ /kg
<i>Specific Volume of Saturated Water</i>	0.001005	m ³ /kg

- ◆ H_{2s} = 2563,3 kJ/kg
- ◆ m = 53.02 ton/jam
= 14,73 kg/s
- 2. Perhitungan Entalpi pada Kondisi Aktual (Kondisi Nyata/Kondisi Operasi)
Data pada pukul 0.00 WIB
Po (tekanan uap keluar) = 5.31 kPa

P_i (tekanan uap masuk) = 8.9 MPa
 T_o (suhu uap keluar) = 36.09 °C
 T_i (suhu uap masuk) = 526.38 °C



Gambar 10. Steam Inlet dan Outlet Generator Penggerak Turbin Condensat Unit 04

Gambar 10. diatas merupakan proses konversi energi dalam turbin uap , data pengukuran pada kondisi aktual dimana tercatat P_i (tekanan uap masuk) sebesar 8.9 MPa dan temperatur 526.38 °C merupakan tekanan dan temperatur superheated yang diekspansi didalam turbin sehingga menghasilkan kerja mekanik, dan uap keluar yang sangat rendah 5.31 kPa merupakan kondisi vacum dan diperoleh suhu outlet 36.09 °C dimana telah dikondensasi sehingga mendekati suhu lingkungan.

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

a. Pada titik 1 (Kondisi Aktual)

$P_i = 8.9$ MPa

$T_i = 526.38$ °C

$h_i = 3454.54$ KJ/Kg

S_i (aktual) = 6.7427 KJ/Kg.K

b. Pada titik 2 (Kondisi Aktual)

$P_o = 5.31$ kPa

$T_o = 36.09$ °C

$h_{2a} = 2566.81$ KJ/Kg

c. Pada titik 2s (Kondisi Isentropik)

$$P_o = 5.31 \text{ kPa}$$

$$T_o = 36.09 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_g = 2562.35 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_f = 0.4886 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 7.8874 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{2s} = S_i = 6.7427 \text{ KJ/Kg.K}$$

d. Pada titik 2a (Kondisi Aktual)

$$P_o = 5.31 \text{ kPa}$$

$$T_o = 36.09 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_g = 2562.35 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_f = 0.4886 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 7.8874 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{2s} = S_i = 6.7427 \text{ KJ/Kg.K}$$

3. Menentukan Fraksi Uap Isentropik

$$x_{2s} = (S_{2s} - S_{fg})/S_g \\ = 0.7929$$

4. Menentukan Fraksi Uap Aktual

$$x_{2a} = (S_{2a} - S_f)/S_{fg} \\ = 0.7929$$

5. Menentukan nilai Entalpi h_{2s}

$$h_{2s} = (h_f - X_{2s} \cdot h_{fg}) \\ = 2061.05 \text{ kJ/Kg}$$

6. Energi yang Digunakan oleh Turbin Uap Kondisi Aktual

$$w_a = (h_1 - h_{2a}) \\ = 887.73 \text{ kJ/Kg}$$

7. Energi yang Digunakan oleh Turbin Uap Kondisi Isentropik

$$w_s = (h_1 - h_{2s}) \\ = 1393.49 \text{ kJ/Kg}$$

8. Efisiensi Isentropik Turbin Uap

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{w_a}{w_s} \times 100\% \\ = 63.71\%$$

9. Kerja Turbin Uap Kondisi Aktual

$$W_a = m_i \times w_a$$

$$= 13.085 \text{ MW}$$

10. Efisiensi Generator

$$\eta_{generator} = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\%$$

$$= 93.85\%$$

Tabel 6. Data Operasional Turbin Uap Tipe *Backpressure* Unit 05

WAKTU (01 Nov)	TURBIN TIPE <i>BACKPRESSURE</i> NO.4					
	Steam Flowrate	Inlet Pressure	Inlet Temperature	Vacuum Pressure	Outlet Temperature	Debit Outlet Supply
	mi	Pi	Ti	Po	To	mo
	t/h	Mpa	°C	Kpa	°C	t/h
0:00	160.04	9.14	533.52	1.01	317.26	123.12
1:00	160.04	9.14	533.52	1.01	317.26	123.12
2:00	162.7	8.94	526.96	1	310.41	123.84
3:00	162.7	8.94	526.96	1	310.41	123.84
4:00	158.67	8.99	532.87	0.99	315	122.08
5:00	158.87	8.67	534.12	0.99	316.69	122.29
6:00	158.87	8.67	534.12	0.99	316.69	122.29
7:00	158.66	8.71	521.36	0.96	305.26	120.56
8:00	162.36	8.63	528.35	0.99	312.19	123.01
9:00	163.01	9.06	526.37	1	308.15	124.93
10:00	162	8.71	529.18	0.99	310.71	125.04
11:00	161.64	8.71	529.18	0.99	310.71	125.04
12:00	166.1	8.86	529.92	1	310.98	125.62
13:00	161.64	8.73	527.92	1	308.64	123.38
14:00	166.1	8.74	528.82	0.99	309.15	127.52
15:00	146.12	8.97	525.39	0.99	322.47	105.52
16:00	146.12	8.97	525.39	0.99	322.47	105.56
17:00	146.73	9.19	532.01	1.04	334.42	106.33
18:00	165.36	8.99	537.5	1	314.86	130.11
19:00	165.36	8.99	537.5	1	314.86	130.11
20:00	163.58	8.69	531.82	0.97	309.14	126.03
21:00	163.25	9.07	530.83	0.99	311.11	123.63
22:00	158.21	8.91	528.82	0.98	310.71	121.14
23:00	161.48	8.77	531.33	0.98	313.74	123.99

Dapat diketahui pada tabel.6 Data Operasional Turbin Uap Unit 05 merupakan salah satu tipe turbin *backpressure*. Turbine *back pressure* didesain untuk memungkinkan uap keluaran pada tekanan yang lebih tinggi, uap ini tidak dikondensasiakan sehingga tersedia untuk digunakan dalam proses industri. Uap sisah ini biasanya dimanfaatkan untuk pemanasan dan sebagainya. Maka dapat diketahui pada tabel diatas debit outlet suply ke alumina pada turbine *back pressure* itu berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan pada industri.

A. Perhitungan berdasarkan Spesifikasi Turbin

Turbin unit 05 di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia memiliki spesifikasi yang terdapat pada Tabel 1 di atas. Dari data spesifikasi turbin unit 05 yang tercantum pada Tabel 6 dan juga berdasarkan data spesifikasi turbin yang tercantum pada Tabel 3 di atas dilakukan perhitungan sebagai berikut.

◆ *Enthalpy Specific Inlet*

Nilai *enthalpy specific Inlet* (h_i) dicari menggunakan kalkulator tabel uap :

$$P_i = 9,14 \text{ MPa}$$

$$T_i = 533,52 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabel 7. Hasil Perhitungan menggunakan *Calculator Steam*

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Specific Enthalpy of Saturated Steam</i>	3469.71	kJ/kg

Berdasarkan data dari dari kalkulator uap diatas diketahui hasil nilai entalpi uap superheated (h_i):

$$h_i = 3469,71 \text{ kJ/kg}$$

◆ *Entropy Specific Inlet*

Bedasarkan nilai temperatur inlet $533,52 \text{ }^\circ\text{C}$ dapat dicari nilai entropi dengan tabel uap sebagai berikut :

$$S_i = S_i' + (P_i - P_i') \frac{S_i'' - S_i'}{P_i'' - P_i'}$$

$$S_i = 6,8207 + (8,83 - 8,0) \frac{6,7886 - 6,8207}{9,0 - 8,0}$$

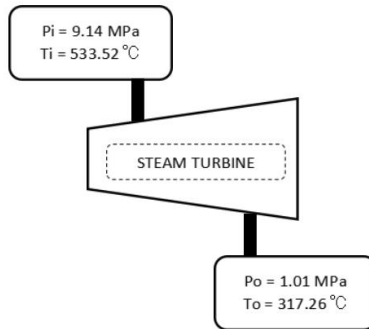
$$S_i = 6,7940 \text{ kJ/kg}$$

◆ *Entalpy Specific Outlet*

Nilai *enthalpy specific outlet* (h_o) dicari menggunakan kalkulator tabel uap

$$P_o = 1,1 \text{ MPa}$$

$$T_o = 282,8 \text{ }^\circ\text{C}$$



Gambar 11. Steam Inlet dan Outlet Generator Penggerak Turbin Backpressure

Gambar 11. diatas merupakan proses konversi energi dalam turbin uap tipe *backpressure* , data pengukuran pada kondisi aktual dimana tercatat P_i (tekanan uap masuk) sebesar 9.14 MPa dan temperatur $533.52 \text{ }^\circ\text{C}$ merupakan kondisi aktual turbin dimana dilakukan pencatatan saat operasional, tekanan dan temperatur superheated yang dieskansi didalam turbin sehingga menghasilkan kerja mekanik, dan uap keluar 1.01 MPa dan suhu outlet $317.26 \text{ }^\circ\text{C}$ nilainya berbeda dengan turbin jenis *condensat*, dengan tekanan dan suhu outlet tersebut dapat dipastikan bahwa uap tersebut digunakan lagi untuk proses produksi.

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

a. Pada titik 1 (Kondisi Aktual)

$$P_i = 9.14 \text{ MPa}$$

$$T_i = 533.52 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_i = 3469.71 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_i \text{ (aktual)} = 6.7940 \text{ KJ/Kg.K}$$

b. Pada titik 2 (Kondisi Aktual)

$$P_o = 1.01 \text{ kPa}$$

$$T_o = 317.26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{2a} = 3111.56 \text{ KJ/Kg}$$

c. Pada titik 2s (Kondisi Isentropik)

$$P_o = 1.01 \text{ MPa}$$

$$T_o = 317.26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_g = 2708.49 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_f = 3.4219 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 2.1396 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{2s} = S_i = 6.5557 \text{ KJ/Kg.K}$$

d. Pada titik 2a (Kondisi Aktual)

$$P_o = 1.01 \text{ kPa}$$

$$T_o = 317.26^\circ\text{C}$$

$$h_g = 2708.49 \text{ KJ/Kg}$$

$$S_f = 3.4219 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{fg} = 2.1396 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$S_{2s} = S_i = 6.5557 \text{ KJ/Kg.K}$$

4. Menentukan Fraksi Uap Isentropik

$$x_{2s} = (S_{2s} - S_{fg})/S_g$$

$$= 1.4647$$

5. Menentukan Fraksi Uap Aktual

$$x_{2a} = (S_{2a} - S_f)/S_{fg}$$

$$= 1.4647$$

6. Menentukan Entalpi h_{2s}

$$h_{2s} = (h_f - X_{2s} \cdot h_{fg})$$

$$= 443.82 \text{ kJ/Kg}$$

7. Energi yang Digunakan oleh Turbin Uap Kondisi Aktual

$$w_a = (h_1 - h_{2a})$$

$$= 4893.09 \text{ kJ/Kg}$$

8. Energi yang Digunakan oleh Turbin Uap Kondisi Isentropik

$$w_s = (h_1 - h_{2s})$$

$$= 3025.89 \text{ kJ/Kg}$$

9. Efisiensi Isentropik Turbin Uap

$$\eta_{\text{thermal}} = \frac{w_a}{w_s} \times 100\%$$

$$= 61.84 \%$$

10. Kerja Turbin Uap Kondisi Aktual

$$W_a = m_i \times w_a$$

$$= 12.28 \text{ MW}$$

11. Efisiensi Generator

$$\eta_{generator} = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\%$$

$$= 99.16\%$$

DATA HASIL PERHITUNGAN EFFISIENSI TURBIN UAP

Hasil Perhitungan Efisiensi Isentropik dan Efisiensi Generator turbin uap unit 04 seperti pada tabel 6 dan turbin uap unit 05 pada tabel 7.

Tabel 8. Perhitungan Efisiensi Isentropik dan Efisiensi Generator Turbin Tipe *Condensat* Unit 04

WAKTU	OUTLET STEAM TURBIN			Efisiensi Isentropik	Kerja Turbin Uap Kondisi Aktual (Wa) MW	Daya Generator MW	Efisiensi Generator
	(ISENTROPIK)						
	Po kpa	To °C	entalpi (h2s) kJ/kg				
01, Nov 2023							
0:00	5.31	36.09	2061.05	63.71%	15.54	12.28	79.01%
1:00	5.77	36.68	2064.17	64.07%	15.48	15.15	97.84%
2:00	5.61	35.83	2063.09	64.43%	15.72	11.64	74.06%
3:00	5.83	36.41	2064.58	64.18%	16.02	12.69	79.19%
4:00	5.78	36.42	2064.24	64.24%	14.91	12.89	86.46%
5:00	6.09	36.91	2066.34	64.18%	14.79	14.21	96.08%
6:00	5.77	36.32	2064.17	64.22%	14.7	13.91	94.62%
7:00	5.48	36.27	2062.2	64.22%	15.38	12.47	81.10%
8:00	5.72	36.04	2063.83	64.37%	15.55	12.09	77.76%
9:00	5.72	36.58	2063.83	64.17%	16.03	11.24	70.13%
10:00	5.69	36.86	2063.63	64.24%	15.67	12.41	79.19%
11:00	5.72	36.58	2063.83	63.98%	14.64	13.26	90.55%
12:00	5.58	37.02	2062.88	63.95%	14.68	13.78	93.85%
13:00	5.86	37.26	2064.78	64.01%	14.89	12.62	84.78%
14:00	5.72	36.58	2063.83	64.16%	15.63	12.17	77.84%
15:00	5.72	36.58	2063.83	64.18%	15.05	13.21	87.80%
16:00	5.63	36.26	2063.22	64.14%	15.44	11.7	75.78%
17:00	5.61	36.62	2063.09	64.58%	14.87	12.48	83.93%
18:00	6.06	37.28	2066.14	64.14%	14.78	12.71	86.01%

WAKTU	OUTLET STEAM TURBIN			Efisiensi Isentropik	Kerja Turbin Uap Kondisi Aktual (Wa)	Daya Generator	Efisiensi Generator
	(ISENTROPIK)						
	Po	To	entalpi (h2s)		MW	MW	
	kpa	°C	kJ/kg				
01, Nov 2023							
19:00	6.06	37.41	2066.14	64.54%	15.65	12	76.67%
20:00	5.62	36.8	2063.15	64.54%	14.71	13.9	94.51%
21:00	5.68	37.01	2063.56	64.37%	14.77	13.59	92.03%
22:00	5.22	35.95	2060.44	64.17%	15.77	11.33	71.85%
23:00	5.63	36.18	2063.22	64.46%	15.22	12.98	85.29%

Tabel 9. Perhitungan Efisiensi Isentropik dan Efisiensi Generator Turbin Tipe Backpressure Unit 05

WAKTU	OUTLET STEAM TURBIN			Efisiensi Isentropik	Kerja Turbin Uap Kondisi Aktual (Wa)	Daya Generator	Efisiensi Generator
	(ISENTROPIK)						
	Po	To	entalpi (h2s)		MW	MW	
	kpa	°C	kJ/kg				
01, Nov 2023							
0:00	1.01	317.26	443.82	61.84%	16.32	15.8	96.80%
1:00	1.01	317.26	443.82	61.84%	16.39	15.18	92.61%
2:00	1	310.41	355.88	61.54%	16.65	16.43	98.68%
3:00	1	310.41	355.88	61.54%	16.17	15.73	97.29%
4:00	0.99	315	413.99	61.87%	16.11	15.59	96.78%
5:00	0.99	316.69	436.3	61.93%	16.34	15.57	95.27%
6:00	0.99	316.69	436.3	61.93%	16.13	15.23	94.44%
7:00	0.96	305.26	292.93	61.32%	16.41	14.91	90.87%
8:00	0.99	312.19	378.42	61.70%	16.29	15.02	92.19%
9:00	1	308.15	328.15	61.51%	16.29	15.48	95.02%
10:00	0.99	310.71	359.68	61.76%	16.33	15.8	96.78%
11:00	0.99	310.71	359.68	61.76%	16.41	15.99	97.46%
12:00	1	310.98	363.1	61.77%	16.12	15.6	96.80%
13:00	1	308.64	334.12	61.71%	16.32	15.53	95.16%
14:00	0.99	309.15	340.34	61.76%	16.35	15.9	97.26%
15:00	0.99	322.47	514.11	61.21%	16.12	15.28	94.77%
16:00	0.99	322.47	514.11	61.21%	16.14	15.63	96.86%
17:00	1.04	334.42	630.55	61.26%	16.38	15.87	96.86%
18:00	1	314.86	412.22	62.20%	16.21	15.95	98.39%
19:00	1	314.86	412.22	62.20%	16.09	15.64	97.21%
20:00	0.97	309.14	340.21	61.98%	17.05	13.77	80.75%
21:00	0.99	311.11	364.75	61.76%	16.54	14.86	89.82%
22:00	0.98	310.71	359.68	61.68%	16.11	15.67	97.26%
23:00	0.98	313.74	287.29	61.43%	16.33	16.08	98.48%

4.1.2 Data Operasional Konsumsi Daya di Generator Unit 04 dan Unit 05

Adapun data pada Tabel 8 yang merupakan hasil dari pencatatan KWH meter yang dilakukan 1kali dalam 24 jam selama 30 hari berturut-turut pada jam yang sama yaitu pukul 24:00 untuk mengetahui besar konsumsi listrik di masing-masing unit.

Tabel 10. Konsumsi Daya di Generator Penggerak Turbin Tipe *Condensate* Unit 04 dan Generator Penggerak Turbin Tipe *Bacpressure* Unit 05

Waktu (November)	Konsumsi Daya		Konsumsi Daya	
	Generator Unit 04 (KWh)		Generator Unit 05 (KWh)	
	Generator	Reaktor	Generator	Reaktor
11.01	309960	63756	369432	78876
11.02	337680	65016	351288	80136
11.03	344736	62748	372456	82152
11.04	300384	65520	381024	80640
11.05	319032	65016	375984	80892
11.06	330120	65520	366408	79884
11.07	363888	67788	360864	79632
11.08	351288	65520	359856	80388
11.09	311472	67788	387072	80388
11.1	348264	67032	404208	80892
11.11	318528	66780	395136	82656
11.12	322056	65268	373968	85176
11.13	380016	77616	350280	85428
11.14	380520	94248	350280	86184
11.15	417312	95256	335664	85428
11.16	438480	99288	400680	82908
11.17	345744	99792	359856	84672
11.18	387072	101556	365904	87444
11.19	424368	101052	348768	87192
11.2	394128	113148	362880	87948
11.21	402696	121212	355320	87444
11.22	430416	121968	340704	86940
11.23	416808	123228	355320	78876
11.24	358344	122472	362376	36540
11.25	379512	121716	358344	37044
11.26	398160	106848	356328	36540
11.27	341208	98784	362376	36792

Waktu	Konsumsi Daya		Konsumsi Daya	
	(November)			
	Genererator Unit 04 (KWh)		Genererator Unit 05 (KWh)	
	Generator	Reaktor	Generator	Reaktor
11.28	413280	99540	350784	35784
11.29	404208	95760	348768	36036
11.3	350784	88704	353808	35532

4.1.3 Data Operasional Konsumsi Uap di Turbin Tipe *Condensat* Unit 04 dan Unit 05

Tidak hanya konsumsi listrik tetapi juga konsumsi uap turbin juga dilakukan pencatatan 1kali dalam 24 jam selama 30 hari berturut-turut pada jam yang sama yaitu pukul 24:00 untuk mengetahui besar konsumsi uap di masing-masing uni yang disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Konsumsi Uap di Turbin Tipe *Condensate* Unit 04 dan Turbin Tipe *Backpressure* Unit 05

Waktu	Konsumsi Uap Turbin Unit 04	Konsumsi Uap Turbin Unit 05
	(TON)	(TON)
11.01	1473	3861
11.02	1560	3727
11.03	1589	3865
11.04	1444	3940
11.05	2269	3787
11.06	1540	3838
11.07	1641	3804
11.08	1460	3787
11.09	1388	3956
11.1	1602	4081
11.11	1491	4013
11.12	1512	3871
11.13	1716	3698
11.14	1730	3661
11.15	1837	3535
11.16	1919	3974
11.17	1619	3703
11.18	1732	3716

Waktu	Konsumsi Uap Turbin Unit 04	Konsumsi Uap Turbin Unit 05
	(TON)	(TON)
11.19	1865	3624
11.2	1766	3730
11.21	1793	3655
11.22	1889	3578
11.23	1844	3670
11.24	1638	3735
11.25	1717	3779
11.26	1788	3769
11.27	1549	3804
11.28	1664	3736
11.29	1627	3696
11.3	1456	3747

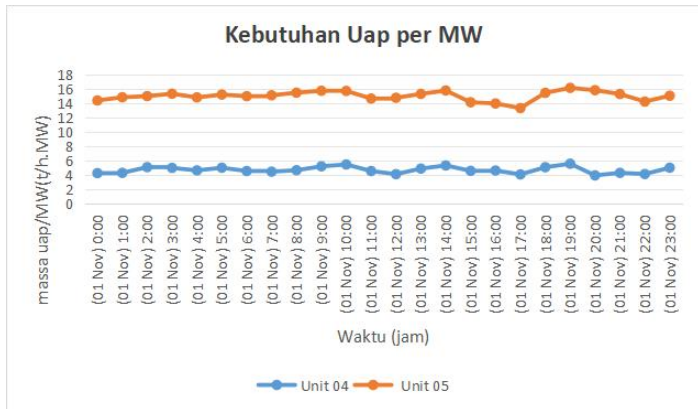
4.2. Pembahasan

Dari hasil penelitian selanjutnya dilakukan pengolahan dan perhitungan data untuk dilakukan pembahasan dan analisa.

4.2.1 Analisa debit Uap Inlet

Berdasarkan data operasional diatas dapat dilakukan analisa bahwa dua buah jenis turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator di PT Bintan Alumina Indonesia memiliki debit inlet yang sangat berbeda, Pada tanggal 1 Bulan November dari pukul 00.00-23.00 generator dengan penggerak turbin *condensat* memiliki debit uap berkisar antara 47,51 ton/jam hingga 71,96 ton/jam sedangkan generator dengan penggerak turbin *backpressure* memiliki debit uap berkisar antara 146,12 ton/jam hingga 166,1 ton/jam. Hal ini dikarenakan pada jenis turbin *condensat* hampir semua uap digunakan untuk menghasilkan daya pada generator dan sisa uap tersebut kemudian dikondensasikan menjadi uap air, sehingga dapat terlihat juga bahwa debit uap outlet pada turbin *condensat* adalah 0. Sedangkan pada jenis turbin *backpressure* dengan nilai debit uap inlet yang hampir 3x lipat dari turbin *condensat* masih memiliki nilai debit uap outlet yang berkisar antara 105,52ton/jam hingga 130,11ton/jam. Hal ini dikarenakan uap pada generator turbin unit 05 disuplai kealumina untuk pengolahan bauksit hingga menjadi bubuk alumina, meskipun pada kondisi tertentu generator unit 04 juga bisa mensuplai uap ke alumina tetapi dengan jumlah debit yang tidak terlalu banyak, seperti turbin jenis *backpressure*. Berdasarkan data operasional tersebut dapat juga diketahui masing-masing unit membutuhkan berapa banyak debit untuk menghasilkan daya per 1 MW. Gambar 15 merupakan

grafik perbandingan kebutuhan uap dengan daya yang dihasilkan antara unit 04 dan unit 05.



Gambar 12. Grafik Kebutuhan Uap per MW

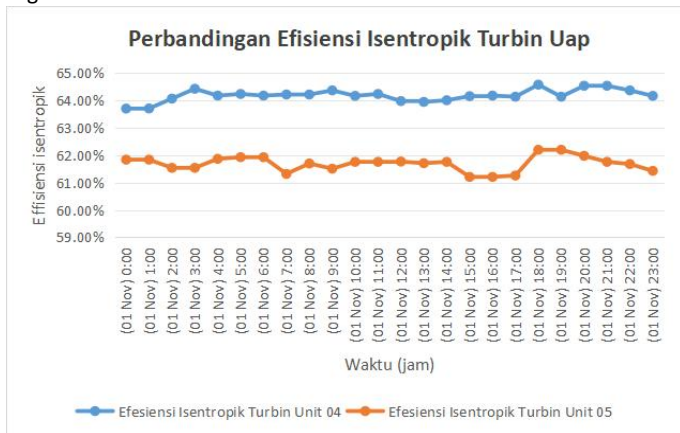
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa pada unit 04 untuk menghasilkan 1 MW daya diperlukan debit uap rata-rata 4,76t/h sedangkan pada unit 05 untuk menghasilkan 1 MW daya diperlukan debit uap rata-rata 10,31t/h. Sehingga dapat dikatakan bahwa unit 05, 2x lebih banyak membutuhkan uap untuk menghasilkan daya output per MW.

4.2.2 Analisa Effisiensi Isentropik dan Effisiensi Generator

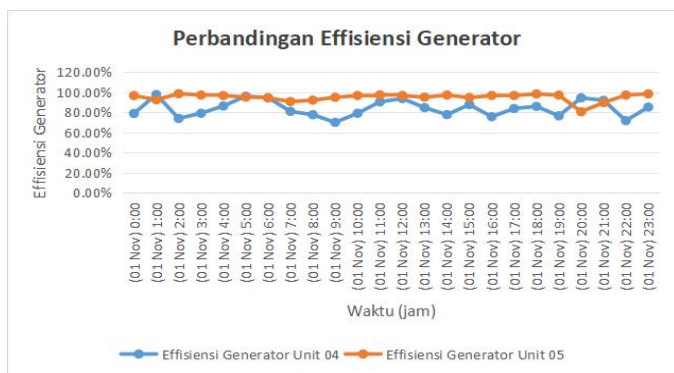
Sebelumnya untuk mengetahui effisiensi isentropik unit 04 dan unit 05 perlu dilakukan perhitungan, dibutuhkan beberapa data seperti data spesifikasi alat dan juga data operasiona/aktual untuk mengrtahui nilai kondisi nyata dengan nilai kondisi isentropik, data tersebut antara lain adalah Tekanan Masuk Turbin Uap (Mpa), Temperatur Masuk Turbin Uap ($^{\circ}$ C), Tekanan Keluar Turbin Uap (Mpa), Temperatur Keluar Turbin Uap ($^{\circ}$ C). Agar mempermudah proses pencarian nilai entalpi dan entropi dari setiap data yang diambil, dapat digunakan aplikasi *SteamTab* dan Kalkulator Steam.

Sebagai contoh, pada tanggal 1 bulan november jam 00.00, berdasarkan data operasional pada unit 04 tekanan inlet $P_i = 8.9$ MPa dengan suhu inlet $T_i = 526.38$ $^{\circ}$ C dengan menggunakan kalkulator steam diperoleh entalpi inlet $h_i = 3454.54$ KJ/Kg dan menggunakan *SteamTab* diperoleh nilai entropi S_i (aktual) = 6.7427 KJ/Kg.K. Pada titik 2 (Kondisi Aktual) Tekanan outlet $P_o = 5.31$ KPa dengan suhu outlet $T_o = 36.09$ $^{\circ}$ C dengan menggunakan kalkulator steam diperoleh entalpi inlet $h_{2a} = 2566.81$ KJ/Kg . Sedangkan untuk mengetahui nilai entalpi pada kondisi isentropik diketahui dengan menggunakan data spesifikasi diperoleh nilai entalpi isentropik $h_{2s} = 2061.05$ KJ/Kg, dengan nilai Effisiensi Isentropik Turbin Uap sebesar 63,71%, Besar Kerja Turbin sebesar 15.54MW dan Effisiensi generator 79,01%. Untuk

perhitungan dan pengukuran kedua dilakukan pada waktu dan tanggal yang sama dengan menggunakan rumus yang sama pada unit 05 berdasarkan data operasional diperoleh tekanan inlet $P_i = 9.14$ MPa dengan suhu inlet $T_i = 533.52$ °C dengan entalpi inlet $h_i = 3469.71$ KJ/Kg dan nilai entropi S_i (aktual) = 6.7427 KJ/Kg.K. Pada titik 2 (Kondisi Aktual) Tekanan outlet $P_o = 1.01$ MPa dengan suhu outlet $T_o = 317.26$ °C diperoleh entalpi inlet $h_{2a} = 3111.56$ KJ/Kg, berdasarkan data spesifikasi diperoleh nilai entalpi isentropik $h_{2s} = 443.8247$ KJ/Kg, dengan nilai Efisiensi isentropik Turbin Uap sebesar 61.84%, nilai Kerja Turbin sebesar 15.8MW dan Efisiensi generator 96.80%. Grafik berikut merupakan sarana untuk mengetahui perbandingan Efisiensi isentropik dan efisiensi generator kedua buah unit.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Efisiensi Isentropik Turbin Uap

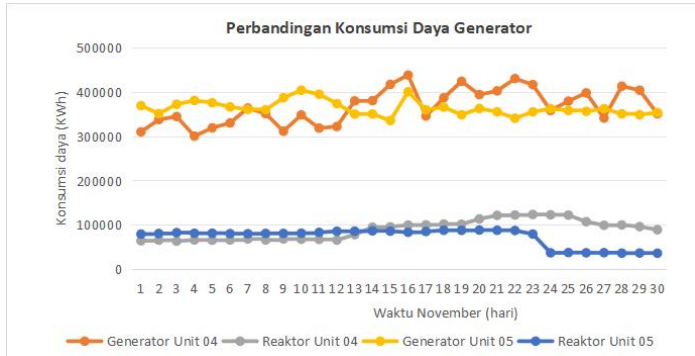


Gambar 14. Grafik Perbandingan Efisiensi Generator

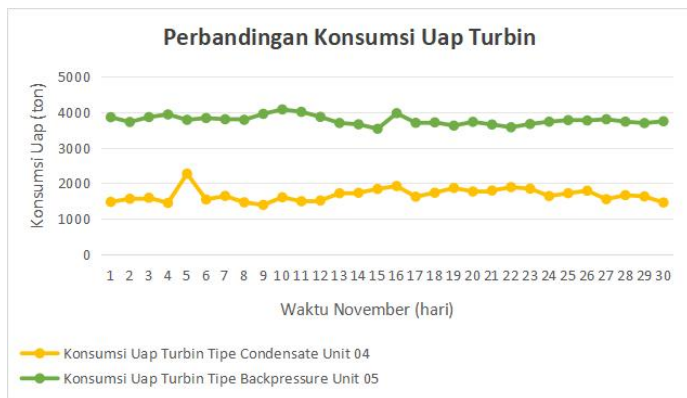
Berdasarkan grafik diatas nilai perbandingan efisiensi unit 04 lebih besar dibandingkan efisiensi unit 05 meskipun perbedaan nilainya sangat kecil karena efisiensi isentropik kedua unit masih disekitar 60-an %, Berbanding terbalik dengan Efisiensi generator dimana hasil perbandingan efisiensi generator unit 05 lebih besar dibandingkan unit 04. Jadi performa unit 04 berdasarkan perhitungan efisiensi isentropik lebih bagus dibandingkan unit 05 karena terdapat faktor utama seperti perpindahan panas dari sistem ke lingkungan dan sebaliknya. Idealnya proses yang terjadi di turbin adalah adiabatik, dimana tidak ada pertukaran panas antara sistem dan lingkungan. Efisiensi sendiri menggambarkan seberapa dekat suatu proses nyata menekati proses isentropik yang ideal, tetapi sangat sulit karena hampir tidak mungkin. Sedangkan berdasarkan efisiensi generator, Unit 05 lebih besar dibandingkan unit 04 hal ini dikarenakan daya aktif dari unit 05 yang dihasilkan lebih besar dibandingkan unit 04. Perbedaan Daya itu sendiri dikarenakan jumlah uap yang diperlukan oleh alumina, semakin sedikit uap yang diperlukan oleh alumina maka Daya Aktif pada unit 04 juga semakin kecil karena tekanan uap inlet akan dikurangi. Selain itu Besar nilai kerja turbin juga mempengaruhi performa generator. Sehingga tekanan uap pada unit 05 akan dinaikkan, begitu sebaliknya.

4.2.2 Analisa Perbandingan Besar Konsumsi Beban Listrik dan Konsumsi Uap

Konsumsi Beban Listrik dan Konsumsi Uap dilakukan pencatatan 1 hari sekali pukul 24:00 sehingga data yang diambil berbeda waktunya dengan yang lainnya, Selama 30 hari pencatatan dibulan November dapat diketahui bahwa nilai rata-rata konsumsi uap generator 05 dan 06 hampir sama yaitu pada unit 04 =367349 KWh dan pada unit 05 =363871 KWh, konsumsi reaktor di unit 04 = 88998KWh dan unit 05 = 72214.8KWh, konsumsi listrik di reaktor adalah konsumsi listrik yang dipakai oleh alat itu sendiri, sedangkan konsumsi generator adalah konsumsi yang dipakai ke alumina , dari segi design sendiri generator turbin penggerak sistem condensate lebih rumit dibandingkan tipe backpressure karena banyak pompa tambahan sehingga konsumsi peralatan yang dipakai juga lebih besar. Besar konsumsi listrik juga akan mempengaruhi performa dari kedua unit karena semakin besar konsumsi listrik sebuah generator maka performanya juga akan turun.



Gambar 15. Grafik Perbandingan Konsumsi Daya di Generator



Gambar 16. Grafik Perbandingan Konsumsi Uap di Turbin

Berdasarkan grafik konsumsi uap diatas dapat diketahui bahwa konsumsi uap unit 05 jenis *backpressure* lebih besar daripada unit 04 tipe *condensat* hal ini memang karena design dari turbin tersebut agar uap sisa masih bisa digunakan kembali untuk proses produksi yang lain. Tetapi berdasarkan performa dari sudut pandang bahwa turbin sebagai penggerak generator saja untuk menghasilkan listrik dapat dikatakan bahwa unit 05 memiliki performa yang kurang bagus dari pada unit 04 dalam mengonsumsi uap. Sehingga agar performa dari kedua buah unit seimbang untuk memproduksi listrik unit 04 dengan tipe *condensat* sangat cocok dan untuk memproduksi uap sangat disarankan menggunakan unit 05 dengan tipe *backpressure*. Oleh karena itu, Di PT Bintang Alumunia Indonesia hanya terdapat 2 buah jenis generator turbin tipe *condensat* dan 4 buah generator turbin tipe *Backpressure*.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis data operasional pada generator turbin PT Bintang Alumina Indonesia, diperoleh beberapa poin penting:

5.1. Kesimpulan

1. Perbandingan Debit Uap Inlet Turbin *condensat* membutuhkan debit uap rata-rata lebih kecil (4,76 t/h per MW) dibandingkan turbin *backpressure* (10,31 t/h per MW). Turbin *backpressure* menghasilkan lebih banyak uap outlet untuk digunakan kembali dalam proses produksi. Pada hal ini dapat diketahui bahwa untuk menghasilkan listrik yang sama Turbin jenis *backpressure* akan memerlukan biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan tipe *condensate* karena membutuhkan uap yang banyak sehingga kebutuhan bahan bakar juga akan meningkat.
2. Efisiensi Isentropik dan Generator, Unit 04 tipe *condensat* memiliki efisiensi isentropik rata-rata yang sedikit lebih tinggi yaitu (64,22%) dibandingkan Unit 05 tipe *backpressure* (61,70%). Sebaliknya, unit 05 memiliki efisiensi generator rata-rata yang lebih besar yaitu (84,01%) dibandingkan unit 04 (95,16%), ada beberapa faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai efisiensi yaitu tekanan dan temperatur. Jika tekanan dan temperatur uap semakin tinggi maka semakin tinggi nilai efisiensinya.
3. Konsumsi Beban Listrik dan Uap, Unit 05 memiliki konsumsi uap lebih tinggi karena desainnya yang mendukung pemanfaatan kembali uap sisa untuk produksi alumina. Konsumsi listrik generator dan reaktor lebih tinggi pada unit 04, karena desain sistem *condensate* membutuhkan lebih banyak peralatan tambahan.
4. Pemilihan turbin yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan proses dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi, mendukung inisiatif keberlanjutan perusahaan. Efisiensi produksi pada turbin *condensate* dapat menghasilkan lebih banyak energi listrik, yang dapat meningkatkan efisiensi produksi. Namun, jika perusahaan memiliki kebutuhan uap untuk proses lain, turbin *backpressure* mungkin lebih sesuai karena uap buangnya dapat dimanfaatkan, meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem.

5.2. Saran

1. Optimalisasi Penggunaan Generator dengan menggunakan unit 04 untuk menghasilkan listrik karena efisiensi konsumsi uapnya lebih baik dan menggunakan unit 05 untuk mendukung kebutuhan produksi uap di proses alumina.

2. Pengurangan Konsumsi Listrik dengan memeriksa desain sistem *condensate* pada unit 04 untuk mengurangi konsumsi listrik yang tinggi, misalnya dengan meningkatkan efisiensi pompa tambahan.
3. Monitoring dan Perawatan, Lakukan pemeliharaan rutin untuk menjaga efisiensi isentropik dan generator agar performa tetap optimal. Gunakan alat bantu seperti SteamTab secara berkala untuk mengukur entalpi dan entropi, memastikan kondisi operasi mendekati nilai optimal.
4. Evaluasi Sistem Penggunaan Energi dan Pertimbangkan penerapan sistem pemulihan panas tambahan untuk meningkatkan efisiensi total, terutama pada unit 05, guna mengurangi kehilangan energi.

Daftar Pustaka

- [1] J. Purnomo and M. Effendy, "Analisa Pengaruh Load Capacity Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar 350 MW Terhadap Efisiensi Turbin Generator QFSN-350-2 Unit 1," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 43–49, 2018.
- [2] H. P. I. Sinaga, C. T. Utomo, and E. Tarigan, "Analisis Performansi Turbin Uap Kapasitas 1,95 Mw Di Pt Perkebunan Lembah Bhakti Astra Agro Lestari Tbk," *SINERGI POLMED J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 23–33, 2022, doi: 10.51510/sinergipolmed.v3i1.703.
- [3] Najamudin, "Pengaruh Tekanan Masuk dan Tekanan Keluar Turbin terhadap Daya Penggerak Generator," *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 1–9, 2019.
- [4] N. Yuniarti and I. W. Aji, "Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik," *Jur. Pendidik. Tek. Elektro FT. Univ. Negeri Yogyakarta*, pp. 41–48, 2019.
- [5] B. Wahyudi, "Analisis Efisiensi Turbin Uap terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit," Universitas Medan Area, 2019. [Online]. Available: [https://repository.uma.ac.id/bitstream/123456789/10688/1/148130010-Banu Wahyudi - Fulltext.pdf](https://repository.uma.ac.id/bitstream/123456789/10688/1/148130010-Banu%20Wahyudi%20-Fulltext.pdf)
- [6] H. Susanto, *Sistem Utilitas Pabrik Kimia*. Bandung, 2007. [Online]. Available: <https://www.coursehero.com/file/24560104/SU-1-Bab-4-Turbin-Uappdf/>
- [7] W. E. Forsthoffer, "Steam Turbine Best Practices," *Forsthoffer's Best Pract. Handb. Rotating Mach.*, pp. 261–312, 2011, doi: 10.1016/b978-0-08-096676-2.10005-0.
- [8] T. M. Anggraini, A. S. Sanjaya, and R. A. Wikanswasto, "Perhitungan Asr dan Efisiensi Internal Steam Turbine (Back Pressure)," *J. Chemurg.*, vol. 2, no. 2, 2018, doi: 10.30872/cm.g.v2i2.2231.
- [9] Y. Cengel, M. Boles, and M. Kanoglu, *Thermodynamics_An Approach_Yunus Cengel*. 2019.
- [10] R. Mustangin, M., H. Saptiyaji, M., Fellando., S, *TURBIN UAP : Prinsip ,start-up,Perawatan ,Penunjangnya*. 2018.
- [11] T. Tanuma, *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plant*. 2016. [Online]. Available: <https://www.elsevier.com/books/advances-in-steam-turbines-for-modern-power-plants/tanuma/978-0-08-100314-5>
- [12] R. X. Perez and D. W. Lawhon, *Operator's Guide to General Purpose Steam Turbines*. 2016. doi: 10.1002/9781119294474.
- [13] H. P. Bloch and M. P. Singh, *Steam Turbines Design, Applications and Re-Rating*, 2nd editio. McGraw Hill, 2008.

- [14] D. A. Kurnia, "Analisis pengaruh bukaan katup governor terhadap efisiensi turbin generator pada pltu dengan daya 295 mw tugas akhir," Institut Teknologi Indonesia, 2020.
- [15] R. Subagyo, *Sistem Pembangkit dan Turbin Uap*. 2018. [Online]. Available:
https://mesin.ulm.ac.id/assets/dist/bahan/Sistem_Pembangkit_dan_Turbin_Uap.pdf
- [16] P. Shlyakhin, *Turbin Uap (Steam Turbines) Teori dan Rancangan*. 2018

Biodata



Nama : Nining Iaanatu Ludzmah
TTL : Pati,04 Maret 1997
Agama : Islam
Alamat : Jl. Kampung Sumber
Karya,RT015/RW005,Toapaya
Asri,Toapaya,Kab.Bintan,Kepulauan Riau

Email : niningbae1997@gmail.com
Riwayat Pendidikan SMA/SMK : SMA Negeri 02 Pati
SMP : SMP Negeri 08 Pati

Lampiran

TABLE A - 4

Saturated water—Temperature table

Temp., <i>T</i> 8C	Sat. press., <i>P</i> _{sat} kPa	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	Sat. vapor, <i>s</i> _g	
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	2.1.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

TABLE A-4

Saturated water—Temperature table (Concluded)

Temp., T 8C	Sat. press., P_{sat} kPa	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
205	1724.3	0.001164	0.11508	872.86	1723.5	2596.4	874.87	1920.0	2794.8	2.3776	4.0154	6.3930
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.38	1702.9	2598.3	897.61	1899.7	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
215	2105.9	0.001181	0.094680	918.02	1681.9	2599.9	920.50	1878.8	2799.3	2.4712	3.8489	6.3200
220	2319.6	0.001190	0.086094	940.79	1660.5	2601.3	943.55	1857.4	2801.0	2.5176	3.7664	6.2840
225	2549.7	0.001199	0.078405	963.70	1638.6	2602.3	966.76	1835.4	2802.2	2.5639	3.6844	6.2483
230	2797.1	0.001209	0.071505	986.76	1616.1	2602.9	990.14	1812.8	2802.9	2.6100	3.6028	6.2128
235	3062.6	0.001219	0.065300	1010.0	1593.2	2603.2	1013.7	1789.5	2803.2	2.6560	3.5216	6.1775
240	3347.0	0.001229	0.059707	1033.4	1569.8	2603.1	1037.5	1765.5	2803.0	2.7018	3.4405	6.1424
245	3651.2	0.001240	0.054656	1056.9	1545.7	2602.7	1061.5	1740.8	2802.2	2.7476	3.3596	6.1072
250	3976.2	0.001252	0.050085	1080.7	1521.1	2601.8	1085.7	1715.3	2801.0	2.7933	3.2788	6.0721
255	4322.9	0.001263	0.045941	1104.7	1495.8	2600.5	1110.1	1689.0	2799.1	2.8390	3.1979	6.0369
260	4692.3	0.001276	0.042175	1128.8	1469.9	2598.7	1134.8	1661.8	2796.6	2.8847	3.1169	6.0017
265	5085.3	0.001289	0.038748	1153.3	1443.2	2596.5	1159.8	1633.7	2793.5	2.9304	3.0358	5.9662
270	5503.0	0.001303	0.035622	1177.9	1415.7	2593.7	1185.1	1604.6	2789.7	2.9762	2.9542	5.9305
275	5946.4	0.001317	0.032767	1202.9	1387.4	2590.3	1210.7	1574.5	2785.2	3.0221	2.8723	5.8944
280	6416.6	0.001333	0.030153	1228.2	1358.2	2586.4	1236.7	1543.2	2779.9	3.0681	2.7898	5.8579
285	6914.6	0.001349	0.027756	1253.7	1328.1	2581.8	1263.1	1510.7	2773.7	3.1144	2.7066	5.8210
290	7441.8	0.001366	0.025554	1279.7	1296.9	2576.5	1289.8	1476.9	2766.7	3.1608	2.6225	5.7834
295	7999.0	0.001384	0.023528	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2076	2.5374	5.7450
300	8587.9	0.001404	0.021659	1332.7	1230.9	2563.6	1344.8	1404.8	2749.6	3.2548	2.4511	5.7059
305	9209.4	0.001425	0.019932	1360.0	1195.9	2555.8	1373.1	1366.3	2739.4	3.3024	2.3633	5.6657
310	9865.0	0.001447	0.018333	1387.7	1159.3	2547.1	1402.0	1325.9	2727.9	3.3506	2.2737	5.6243
315	10556	0.001472	0.016849	1416.1	1121.1	2537.2	1431.6	1283.4	2715.0	3.3994	2.1821	5.5816
320	11284	0.001499	0.015470	1445.1	1080.9	2526.0	1462.0	1238.5	2700.6	3.4491	2.0881	5.5372
325	12,051	0.001528	0.014183	1475.0	1038.5	2513.4	1493.4	1191.0	2684.3	3.4998	1.9911	5.4908
330	12,858	0.001560	0.012979	1505.7	993.5	2499.2	1525.8	1140.3	2666.0	3.5516	1.8906	5.4422
335	13,707	0.001597	0.011848	1537.5	945.5	2483.0	1559.4	1086.0	2645.4	3.6050	1.7857	5.3907
340	14,601	0.001638	0.010783	1570.7	893.8	2464.5	1594.6	1027.4	2622.0	3.6602	1.6756	5.3358
345	15,541	0.001685	0.009772	1605.5	837.7	2443.2	1631.7	963.4	2595.1	3.7179	1.5585	5.2765
350	16,529	0.001741	0.008806	1642.4	775.9	2418.3	1671.2	892.7	2563.9	3.7788	1.4326	5.2114
355	17,570	0.001808	0.007872	1682.2	706.4	2388.6	1714.0	812.9	2526.9	3.8442	1.2942	5.1384
360	18,666	0.001895	0.006950	1726.2	625.7	2351.9	1761.5	720.1	2481.6	3.9165	1.1373	5.0537
365	19,822	0.002015	0.006009	1777.2	526.4	2303.6	1817.2	605.5	2422.7	4.0004	0.9489	4.9493
370	21,044	0.002217	0.004953	1844.5	385.6	2230.1	1891.2	443.1	2334.3	4.1119	0.6890	4.8009
373.95	22,064	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

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> _l	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _l	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _l	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _l	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	2676.3	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
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

TABLE A-5

Saturated water—Pressure table (Concluded)

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
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.3	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.5	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	699.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	625.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

TABLE A-6

Superheated water

<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> = 0.01 MPa (45.81°C)												
Sat.	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2876.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
<i>P</i> = 0.02 MPa (120.21°C)												
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9093
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
<i>P</i> = 0.05 MPa (81.32°C)												
<i>P</i> = 0.10 MPa (99.61°C)												
<i>P</i> = 0.20 MPa (151.83°C)												
<i>P</i> = 0.30 MPa (133.52°C)												
<i>P</i> = 0.40 MPa (143.61°C)												
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	8.1692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.3554
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

TABLE A-6

Superheated water (Concluded)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
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	8.7955
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
P = 2.50 MPa (223.95°C) P = 3.00 MPa (233.85°C) P = 3.50 MPa (242.56°C)												
Sat.	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244
225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629								
250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764
300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484
350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601
400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428
450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074
500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593
600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.13245	3285.5	3682.8	7.5103	0.11325	3282.5	3679.9	7.4357
700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3908.3	7.6855
800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156
900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304
1000	0.23446	4049.0	4635.6	8.4897	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324
1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236
1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053
1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786

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> = 4.0 MPa (250.35°C)												
Sat.	0.04978	2601.7	2800.8	6.0696	0.04406	2599.7	2798.0	6.0198	0.03945	2597.0	2794.2	5.9737
275	0.05461	2668.9	2887.3	6.2312	0.04733	2651.4	2864.4	6.1429	0.04144	2632.3	2839.5	6.0571
300	0.05887	2726.2	2961.7	6.3639	0.05138	2713.0	2944.2	6.2854	0.04535	2699.0	2925.7	6.2111
350	0.06647	2827.4	3093.3	6.5843	0.05942	2818.6	3081.5	6.5153	0.05197	2809.5	3069.3	6.4516
400	0.07343	2920.8	3231.5	6.7714	0.06477	2914.2	3205.7	6.7071	0.05784	2907.5	3196.7	6.6483
450	0.08004	3011.0	3374.2	6.9386	0.07076	3005.8	3324.2	6.8770	0.06332	3000.6	3317.2	6.8210
500	0.08644	3100.3	3446.0	7.0922	0.07652	3096.0	3440.4	7.0323	0.06858	3091.8	3434.7	6.9781
600	0.09886	3279.4	3674.9	7.3706	0.08766	3276.4	3670.9	7.3127	0.07870	3273.3	3666.9	7.2605
700	0.11098	3462.4	3906.3	7.6214	0.09850	3460.0	3903.3	7.5647	0.08852	3457.7	3900.3	7.5136
800	0.12292	3650.6	4142.3	7.8523	0.10916	3648.8	4140.0	7.7962	0.09816	3646.9	4137.7	7.7458
900	0.13476	3844.8	4383.9	8.0675	0.11972	3843.3	4382.1	8.0118	0.10769	3841.8	4380.2	7.9619
1000	0.14653	4045.1	4631.2	8.2698	0.13020	4043.9	4629.8	8.2144	0.11715	4042.6	4628.3	8.1648
1100	0.15824	4251.4	4884.4	8.4612	0.14064	4250.4	4883.2	8.4060	0.12655	4249.3	4882.1	8.3566
1200	0.16992	4463.5	5143.2	8.6430	0.15103	4462.6	5142.2	8.5880	0.13592	4461.6	5141.3	8.5388
1300	0.18157	4680.9	5407.2	8.8164	0.16140	4680.1	5406.5	8.7616	0.14527	4679.3	5405.7	8.7124
<i>P</i> = 4.5 MPa (257.44°C)												
<i>P</i> = 5.0 MPa (263.94°C)												
<i>P</i> = 6.0 MPa (275.59°C)												
<i>P</i> = 7.0 MPa (285.83°C)												
<i>P</i> = 8.0 MPa (295.01°C)												
Sat.	0.03245	2589.9	2784.6	5.8902	0.027378	2581.0	2772.6	5.8148	0.023525	2570.5	2758.7	5.7450
300	0.03619	2668.4	2885.6	6.0703	0.029492	2633.5	2839.9	5.9337	0.024279	2592.3	2786.5	5.7937
350	0.04225	2790.4	3043.9	6.3357	0.035262	2770.1	3016.9	6.2305	0.029975	2748.3	2988.1	6.1321
400	0.04742	2893.7	3178.3	6.5432	0.039958	2879.5	3159.2	6.4502	0.034344	2864.6	3139.4	6.3658
450	0.05217	2989.9	3302.9	6.7219	0.044187	2979.0	3288.3	6.6353	0.038194	2965.8	3273.3	6.5579
500	0.05667	3083.1	3423.1	6.8826	0.048157	3074.3	3411.4	6.8000	0.041767	3065.4	3399.5	6.7266
550	0.06102	3175.2	3541.3	7.0308	0.051966	3167.9	3531.6	6.9507	0.045172	3160.5	3521.8	6.8800
600	0.06527	3267.2	3658.8	7.1693	0.055665	3261.0	3650.6	7.0910	0.048463	3254.7	3642.4	7.0221
700	0.07355	3453.0	3894.3	7.4247	0.062850	3448.3	3888.3	7.3487	0.054829	3443.6	3882.2	7.2822
800	0.08165	3643.2	4133.1	7.6582	0.069856	3639.5	4128.5	7.5836	0.061011	3635.7	4123.8	7.5185
900	0.08964	3838.8	4376.6	7.8751	0.076750	3835.7	4373.0	7.8014	0.067082	3832.7	4369.3	7.7372
1000	0.09756	4040.1	4625.4	8.0786	0.083571	4037.5	4622.5	8.0055	0.073079	4035.0	4619.6	7.9419
1100	0.10543	4247.1	4879.7	8.2709	0.090341	4245.0	4877.4	8.1982	0.079025	4242.8	4875.0	8.1350
1200	0.11326	4459.8	5139.4	8.4534	0.097075	4457.9	5137.4	8.3810	0.084934	4456.1	5135.5	8.3181
1300	0.12107	4677.7	5404.1	8.6273	0.103781	4676.1	5402.6	8.5551	0.090817	4674.5	5401.0	8.4925
<i>P</i> = 9.0 MPa (303.35°C)												
<i>P</i> = 10.0 MPa (311.00°C)												
<i>P</i> = 12.5 MPa (327.81°C)												
Sat.	0.020489	2558.5	2742.9	5.6791	0.018028	2545.2	2725.5	5.6159	0.013496	2505.6	2674.3	5.4638
325	0.023284	2647.6	2857.1	5.8738	0.019877	2611.6	2810.3	5.7596	0.020030	2789.6	3040.0	6.0433
350	0.025816	2725.0	2957.3	6.0380	0.022440	2699.6	2924.0	5.9460	0.016138	2624.9	2826.6	5.7130
400	0.029960	2849.2	3118.8	6.2876	0.026436	2833.1	3097.5	6.2141	0.025630	3023.2	3343.6	6.4651
450	0.033524	2956.3	3258.0	6.4872	0.029782	2944.5	3242.4	6.4219	0.023019	2913.7	3201.5	6.2749
500	0.036793	3056.3	3387.4	6.6603	0.032811	3047.0	3375.1	6.5995	0.025630	3023.2	3343.6	6.4651
550	0.039885	3153.0	3512.0	6.8164	0.035655	3145.4	3502.0	6.7585	0.028033	3126.1	3476.5	6.6317
600	0.042861	3248.4	3634.1	6.9605	0.038378	3242.0	3625.8	6.9045	0.030306	3225.8	3604.6	6.7828
650	0.045755	3343.4	3755.2	7.0954	0.041018	3338.0	3748.1	7.0408	0.032491	3324.1	3730.2	6.9227
700	0.048589	3438.8	3876.1	7.2229					0.034612	3422.0	3854.6	7.0540
800	0.054132	3632.0	4119.2	7.4606	0.048629	3628.2	4114.5	7.4085	0.038724	3618.8	4102.8	7.2967
900	0.059562	3829.6	4365.7	7.6802	0.053547	3826.5	4362.0	7.6290	0.042720	3818.9	4352.9	7.5195
1000	0.064919	4032.4	4616.7	7.8855	0.058391	4029.9	4613.8	7.8349	0.046641	4023.5	4606.5	7.7269
1100	0.070224	4240.7	4872.7	8.0791	0.063183	4238.5	4870.3	8.0289	0.050510	4233.1	4864.5	7.9220
1200	0.075492	4454.2	5133.6	8.2625	0.067938	4452.4	5131.7	8.2126	0.054342	4447.7	5127.0	8.1065
1300	0.080733	4672.9	5399.5	8.4371	0.072667	4671.3	5398.0	8.3874	0.058147	4667.3	5394.1	8.2819

TABLE A-6

Superheated water (Concluded)

<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> = 15.0 MPa (342.16°C)					<i>P</i> = 17.5 MPa (354.67°C)					<i>P</i> = 20.0 MPa (365.75°C)				
Sat.	0.010341	2455.7	2610.8	5.3108	0.007932	2390.7	2529.5	5.1435	0.005862	2294.8	2412.1	4.9310		
350	0.011481	2520.9	2693.1	5.4438										
400	0.015671	2740.6	2975.7	5.8819	0.012463	2684.3	2902.4	5.7211	0.009950	2617.9	2816.9	5.5526		
450	0.018477	2880.8	3157.9	6.1434	0.015204	2845.4	3111.4	6.0212	0.012721	2807.3	3061.7	5.9043		
500	0.020828	2998.4	3310.8	6.3480	0.017385	2972.4	3276.7	6.2424	0.014793	2945.3	3241.2	6.1446		
550	0.022945	3106.2	3450.4	6.5230	0.019305	3085.8	3423.6	6.4266	0.016571	3064.7	3396.2	6.3390		
600	0.024921	3209.3	3583.1	6.6796	0.021073	3192.5	3561.3	6.5890	0.018185	3175.3	3539.0	6.5075		
650	0.026804	3310.1	3712.1	6.8233	0.022742	3295.8	3693.8	6.7366	0.019695	3281.4	3675.3	6.6593		
700	0.028621	3409.8	3839.1	6.9573	0.024342	3397.5	3823.5	6.8735	0.021134	3385.1	3807.8	6.7991		
800	0.032121	3609.3	4091.1	7.2037	0.027405	3599.7	4079.3	7.1237	0.023870	3590.1	4067.5	7.0531		
900	0.035503	3811.2	4343.7	7.4288	0.030348	3803.5	4334.6	7.3511	0.026484	3795.7	4325.4	7.2829		
1000	0.038808	4017.1	4599.2	7.6378	0.033215	4010.7	4592.0	7.5616	0.029200	4004.3	4584.7	7.4950		
1100	0.042062	4227.7	4858.6	7.8339	0.036029	4222.3	4852.8	7.7588	0.031504	4216.9	4847.0	7.6933		
1200	0.045279	4443.1	5122.3	8.0192	0.038806	4438.5	5117.6	7.9449	0.033952	4433.8	5112.9	7.8802		
1300	0.048469	4663.3	5390.3	8.1952	0.041556	4659.2	5386.5	8.1215	0.036371	4655.2	5382.7	8.0574		
<i>P</i> = 25.0 MPa					<i>P</i> = 30.0 MPa					<i>P</i> = 35.0 MPa				
375	0.001978	1799.9	1849.4	4.0345	0.001792	1738.1	1791.9	3.9313	0.001701	1702.8	1762.4	3.8724		
400	0.006005	2428.5	2578.7	5.1400	0.002798	2068.9	2152.8	4.4758	0.002105	1914.9	1988.6	4.2144		
425	0.007886	2607.8	2805.0	5.4708	0.005299	2452.9	2611.8	5.1473	0.003434	2253.3	2373.5	4.7751		
450	0.009176	2721.2	2950.6	5.6759	0.006737	2618.9	2821.0	5.4422	0.004957	2497.5	2671.0	5.1946		
500	0.011143	2887.3	3165.9	5.9643	0.008691	2824.0	3048.8	5.7956	0.006933	2755.3	2997.9	5.6331		
550	0.012736	3020.8	3339.2	6.1816	0.010175	2974.5	3279.7	6.0403	0.008348	2925.8	3218.0	5.9093		
600	0.014140	3140.0	3493.5	6.3637	0.011445	3103.4	3446.8	6.2373	0.009523	3065.6	3399.0	6.1229		
650	0.015430	3251.9	3637.7	6.5243	0.012590	3221.7	3599.4	6.4074	0.010565	3190.9	3560.7	6.3030		
700	0.016643	3359.9	3776.0	6.6702	0.013654	3334.3	3743.9	6.5599	0.011523	3308.3	3711.6	6.4623		
800	0.018922	3570.7	4043.8	6.9322	0.015628	3551.2	4020.0	6.8301	0.013278	3531.6	3996.3	6.7409		
900	0.021075	3780.2	4307.1	7.1668	0.017473	3764.6	4288.8	7.0695	0.014904	3749.0	4270.6	6.9853		
1000	0.023150	3991.5	4570.2	7.3821	0.019240	3978.6	4555.8	7.2880	0.016450	3965.8	4541.5	7.2069		
1100	0.025172	4206.1	4835.4	7.5825	0.020954	4195.2	4823.9	7.4906	0.017942	4184.4	4812.4	7.4118		
1200	0.027157	4424.6	5103.5	7.7710	0.022630	4415.3	5094.2	7.6807	0.019398	4406.1	5085.0	7.6034		
1300	0.029115	4647.2	5375.1	7.9494	0.024279	4639.2	5367.6	7.8602	0.020827	4631.2	5360.2	7.7841		
<i>P</i> = 40.0 MPa					<i>P</i> = 50.0 MPa					<i>P</i> = 60.0 MPa				
375	0.001641	1677.0	1742.6	3.8290	0.001560	1638.6	1716.6	3.7642	0.001503	1609.7	1699.9	3.7149		
400	0.001911	1855.0	1931.4	4.1145	0.001731	1787.8	1874.4	4.0029	0.001633	1745.2	1843.2	3.9317		
425	0.002538	2097.5	2199.0	4.5044	0.002009	1960.3	2060.7	4.2746	0.001816	1892.9	2001.8	4.1630		
450	0.003692	2364.2	2511.8	4.9449	0.002487	2160.3	2284.7	4.5896	0.002086	2055.1	2180.2	4.4140		
500	0.005623	2681.6	2906.5	5.4744	0.003890	2528.1	2722.6	5.1762	0.002952	2393.2	2570.3	4.9356		
550	0.006985	2875.1	3154.4	5.7857	0.005118	2769.5	3025.4	5.5563	0.003955	2664.6	2901.9	5.3517		
600	0.008089	3350.4			0.006108	2947.1	3252.6	5.8245	0.004833	2866.8	3156.8	5.6527		
650	0.009053	3159.5	3521.6	6.2078	0.006957	3095.6	3443.5	6.0373	0.005591	3031.3	3366.8	5.8867		
700	0.009930	3282.0	3679.2	6.3740	0.007717	3228.7	3614.6	6.2179	0.006265	3175.4	3551.3	6.0814		
800	0.011521	3972.6	6.6613		0.009073	3472.2	3925.8	6.5225	0.007456	3432.6	3880.0	6.4033		
900	0.012980	3733.3	4252.5	6.9107	0.010296	3702.0	4216.8	6.7819	0.008519	3670.9	4182.1	6.6725		
1000	0.014360	3952.9	4527.3	7.1355	0.011441	3927.4	4499.4	7.0131	0.009504	3902.0	4472.2	6.9099		
1100	0.015686	4173.7	4801.1	7.3425	0.012534	4152.2	4778.9	7.2244	0.010439	4130.9	4757.3	7.1255		
1200	0.016976	4396.9	5075.9	7.5357	0.013590	4378.6	5058.1	7.4207	0.011339	4360.5	5040.8	7.3248		
1300	0.018239	4623.3	5352.8	7.7175	0.014620	4607.5	5338.5	7.6048	0.012213	4591.8	5324.5	7.5111		

**FORMULIR LOGBOOK BIMBINGAN DAN PENGAJUAN
SEMINAR PROPOSAL/SIDANG TUGAS AKHIR***

Nama : Nining Iaanatul Udzmah
 NIM : 4232231001
 Pembimbing I : Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs.
 Judul : Analisa Perbandingan Performa Generator dengan Penggerak Turbin Tipe Backpressure dan Turbin Tipe Condensat di PT.Bintan Alumina Indonesia

No	Hari/Tgl	Rincian Kegiatan	TTD Pembimbing I & II
1	Sabtu, 09 September 2023	Pengajuan judul tugas akhir	
2	Senin, 11 September 2023	Berdiskusi tentang topik berdasarkan judul tugas akhir	
3	Rabu, 13 September 2023	Pengajuan proposal tugas akhir	
4	Senin, 15 September 2023	Mengerjakan tugas akhir dari Bab 1 s.d Bab 3, proposal siap diseminarkan	
5	Jumat, 27 September 2024	Revisi proposal tugas akhir	
6	Kamis, 10 Oktober 2024	Konsultasi Bab IV dan Bab V	
7	Sabtu, 26 Oktober 2024	Melakukan Revisi Bab IV dan Bab V dan penambahan jurnal ilmiah	
8	Selasa, 10 Desember 2024	Memeriksa dan melengkapi tugas akhir dari bagian awal hingga bagian akhir	
9	Selasa, 17 Desember 2024	Konsultasi keseluruhan tugas akhir	
10	Jumat, 27 Desember 2024	Menyelesaikan tugas akhir	

Berdasarkan hasil bimbingan yang telah dilaksanakan selama 4 bulan dan telah disetujui oleh dosen pembimbing, maka dengan ini saya mengajukan diri sebagai peserta Sidang Tugas Akhir.

Batam, 01 Januari 2025
Peserta

Nining Iaanatul Udzmah

NIM: 4232231001

**Hapus yang tidak perlu.
 Jumlah bimbingan minimal 10 kali. Dalam satu minggu maksimal bimbingan yang dihitung adalah 2 kali.*