



**ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMA
TURBIN UAP SEBELUM DAN SESUDAH
MAINTENANCE PADA PLTU PT. ECOGREEN
OLEOCHEMICALS BATAM**

Tugas Akhir

**Oleh:
Yuni Natalia S (4232001052)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2023**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul **“Analisis Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah *Maintenance* Pada PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam”** 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.

Batam, 22 Desember 2023



Nama: Yuni Natalia S

NIM: 4232001052

Lembar Pengesahan

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

Disusun oleh:
Yuni Natalia S (4232001052)

Tanggal Sidang: 28 Desember, 2023

Disetujui oleh :

Penguji I




Fitriyanti Nakul, S.Pd., M.Si
NIK: 118197

Pembimbing I



Yusiran, M.T
NIK: 123294

Penguji II



Muhammad Prihadli Eko Wahyudi, S.T., M.T.
NIK: 118206

Pembimbing II



Jhon Hery
NIK: 1109007

Lembar Pengesahan Industri

Laporan Tugas Akhir ini mendapatkan izin untuk disimpan dan dikelola untuk kepentingan akademik

Disusun Oleh : Yuni Natalia S
Program Studi : Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan : Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam

Judul : Analisis Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Maintenance Pada PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals

Perusahaan : PT. Ecogreen Oleochemicals Batam

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing



Yusiran, M.T
NIK: 123294

Pembimbing Industri



Jhon Hery
NIK: 1109007

HRD/ Manager

PT Ecogreen Oleochemicals



Rudyanto, S.T., S.H., M.M
NIK: 011100

Analisis Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Maintenance Pada PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga uap memainkan peran sentral dalam mendukung berbagai proses industri, termasuk produksi oleokimia di PT. Ecogreen Oleochemicals Batam, pembangkit listrik tenaga uap merupakan sumber daya kunci dalam memenuhi kebutuhan energi untuk proses produksi. Salah satu contoh mesin konversi energi listrik adalah turbin uap. Seiring berjalannya waktu, pada kondisi aktual, performa ataupun efisiensi dari turbin uap sebagai pembangkit listrik tenaga uap yang digunakan di PT. Ecogreen Oleochemicals Batam akan berubah dan tidak optimal. Sehingga penurunan performa tersebut berdampak langsung pada efisiensi serta biaya operasional yang juga akan bertambah. Maka dari itu, perlu dilakukan sebuah *maintenance* agar dapat menjaga performa saat pengoperasian unit agar dalam keadaan optimal. Sebuah pembangkit listrik (turbin uap) dapat diukur kemampuan efisiensinya berdasarkan nilai yang disebut *turbin heat rate* dengan satuan kcal/kWh. Tujuan penelitian adalah untuk menghitung nilai *turbin heat rate* pada bulan November 2023 pada turbin uap di PT. Ecogreen Oleochemicals Batam, sehingga diketahui nilai *turbin heat rate* sebelum *maintenance* adalah 1.178,75 kcal/kWh sedangkan sesudah *maintenance* adalah 954,33 kcal/kWh. Dengan begitu maka *turbin heat rate* sesudah *maintenance* menunjukkan penurunan daripada *turbin heat rate* sebelum *maintenance* ialah sebesar 222,42 kcal/kWh. Nilai efisiensi sebelum *maintenance* ialah 78% sedangkan sesudah *maintenance* ialah 81%. Dengan begitu efisiensi menunjukkan kenaikan sebesar 3%. Dalam hal ini tinggi rendahnya nilai efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai *turbin heat rate* yang artinya semakin rendah nilai *turbin heat rate* maka nilai efisiensi turbin akan semakin baik.

Kata kunci: *Turbin Heat Rate*, Turbin Uap, Efisiensi Turbin, *Maintenance*.

Comparative Analysis of Steam Turbine Performance Before and After Maintenance at PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam

Abstract

Steam power plants play a central role in supporting various industrial processes, including the production of oleochemicals at PT. Ecogreen Oleochemicals Batam, steam power plants are a key resource in meeting the energy needs for the production process. One example of an electrical energy conversion machine is a steam turbine. Over time, under actual conditions, the performance or efficiency of the steam turbine as a steam power plant used at PT. Ecogreen Oleochemicals Batam will change and not be optimal. The decrease in performance will have a direct impact on efficiency and operational costs which will also increase. Therefore, it is necessary to carry out a maintenance in order to maintain the performance during the operation of the unit to be in an optimal state. A power plant (steam turbine) can be measured its efficiency based on a value called turbine heat rate with units of kcal/kWh. The purpose of the study is to calculate the value of turbine heat rate in November 2023 on the steam turbine at PT Ecogreen Oleochemicals Batam, so it is known that the turbine heat rate value before maintenance is 1.178,75 kcal/kWh while after maintenance is 954,33 kcal/kWh. That way the turbine heat rate after maintenance shows a decrease than the turbine heat rate before maintenance is 224,42 kcal/kWh. The efficiency value before maintenance is 78% while after maintenance is 81%. That way the increase in efficiency shows an increase of 3%. In this case, the high and low value of turbine efficiency is influenced by the turbine heat rate value, which means that the lower the turbine heat rate value, the better the turbine efficiency value.

Keywords: Turbine Heat Rate, Steam Turbine, Turbine Efficiency, Maintenance.

Kata Pengantar

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan YME karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya yang begitu besar kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Maintenance Pada PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam”. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat dalam untuk mencapai gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) pada program studi Teknik Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan laporan magang ini tidaklah mudah bagi penulis. Oleh karena itu penulis, mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Uuf Brajawidagda, ST., MT., Ph.D, selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
2. Bapak Dr. Budi Sugandi, S.T., M.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs, selaku Ketua Program Studi Teknik Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Muhammad Prihadi Eko Wahyudi, S.T., M.T, selaku Koordinator Magang di Program Studi Teknik Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri batam.
5. Bapak Yusiran, M.T, Selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis menempuh perkuliahan.
7. Bapak Surianto, selaku pembimbing perusahaan PT. Ecogreen Oleochemicals Batam yang telah bersedia memberikan ilmu, waktu dan arahan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
8. Seluruh staff dan karyawan Perusahaan PT. Ecogreen Oleochemicals Batam yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu pengetahuan yang belum pernah penulis terima sebelumnya.
9. Kedua orang tua saya yang selalu mendukung dan selalu mendoakan yang terbaik untuk penulis.
10. Nenek saya yang sangat saya sayangi yang telah banyak memberikan perhatian, nesehat, dukungan, semangat dan doa sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Feny Friscilya selaku sahabat saya yang tiada henti memberikan dukungan dan membantu untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Kepada seluruh sahabat dan teman yang tidak bisa saya sebutkan satu

persatu terimakasih atas dukungan dan doa kepada penulis.

13. 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 tugas akhir ini.

Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan inspirasi untuk menciptakan penelitian dan karya inovatif yang selanjutnya. Dan penulis menyadari sepenuhnya, bahwa dalam tulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan didalamnya. Oleh karena itu kritik dan saran yang konstruktif dari berbagai pihak sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

Batam, 22 Desember 2023

Yuni Natalia S
4232001052

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.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Batasan.....	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	3
2.1. Pengertian Turbin Uap.....	3
2.2. Komponen Turbin Uap.....	3
2.2.1. Komponen Utama.....	3
2.2.2. Komponen Pendukung.....	6
2.3. Klasifikasi Turbin Uap	10
2.4. Prinsip Kerja Turbin Uap	12
2.5. Siklus <i>Rankine</i>	15
2.5.1. Uap Basah	16
2.5.2. Uap Jenuh.....	16
2.6. <i>Maintenance</i>	17
2.6.1. <i>Preventive Maintenance</i>	17
2.7. <i>Heat Rate</i>	18

2.8. <i>Turbin Heat Rate</i>	19
2.9. Efisiensi Turbin	21
2.10. <i>TLV Calculator Steam</i>	21
Bab 3. Metode	22
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.1.1. Waktu Penelitian	22
3.1.2. Tempat Penelitian	22
3.2. Studi Literatur	22
3.3. Pengumpulan Data Penelitian	23
3.4. Diagram Alir	24
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	25
4.1. Data Hasil Penelitian Turbin Uap Sebelum <i>Maintenance</i>	25
4.1.1. Analisis Performa Turbin Uap Sebelum <i>Maintenance</i>	26
4.2. Data Hasil Penelitian Turbin Uap Sesudah <i>Maintenance</i>	31
4.2.1. Analisis Performa Turbin Uap Sesudah <i>Maintenance</i>	32
4.3. Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum dan Sesudah <i>Maintenance</i>	37
4.3.1. Perbandingan <i>Turbin Heat Rate</i> Sebelum dan Sesudah <i>Maintenance</i>	37
4.3.2. Perbandingan Efisiensi Turbin Sebelum dan Sesudah <i>Maintenance</i>	39
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	42
5.1. Kesimpulan	42
5.2. Saran	42
Daftar Pustaka	43

Daftar Gambar

Gambar 2.1. Turbin Uap PT. Ecogreen Oleochemicals Batam.	3
Gambar 2.2. <i>Nozzle</i>	4
Gambar 2.3. <i>Casing</i> Turbin Uap.....	5
Gambar 2.4. Rotor.....	5
Gambar 2.5. <i>Shaft Seals</i>	6
Gambar 2.6. <i>Bearing</i>	7
Gambar 2.7. Katup Ekstraksi Turbin.....	7
Gambar 2.8. <i>Turbine Stop Valve</i>	8
Gambar 2.9. <i>Turning Device</i>	8
Gambar 2.10. <i>Governor</i>	9
Gambar 2.11. <i>Oil Tank, Oil Filter, Oil Pump</i>	10
Gambar 2.12. Turbin Impuls	11
Gambar 2.13. Penyemprotan Turbin Reaksi.....	12
Gambar 2.14. Prinsip Kerja Turbin Uap.....	15
Gambar 2.15. <i>TLV Calculator Steam</i>	21
Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 4.1. Diagram Turbin Uap.....	26
Gambar 4.2. Diagram Turbin Uap.....	32
Gambar 4.3. Grafik Perbandingan <i>Turbin Heat Rate</i> Sebelum dan Sesudah <i>Maintenance</i>	37
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin Sebelum dan Sesudah <i>Maintenance</i>	39

Daftar Tabel

Tabel 4.1. Data Turbin Uap Sebelum <i>Maintenance</i>	25
Tabel 4.2. Data Turbin Uap Sesudah <i>Maintenance</i>	31

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

PT. Ecogreen Oleochemicals Batam merupakan salah satu produsen Alkohol Lemak Alami terkemuka di dunia, yang memiliki pembangkit sendiri dengan total daya 30 MW, dengan dalah satu pembangkitan, menggunakan turbin uap. Pembangkit listrik tenaga uap ini tidak hanya berfungsi untuk keperluan pembangkit listrik industri saja namun dapat digunakan juga untuk proses produksi.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi kinetik uap untuk menggerakkan turbin uap, sehingga menghasilkan energi listrik melalui generator (Marsudi, D. 2011) (Yulia et al., 2021). Prinsip kerja dari PLTU adalah panas dari hasil pembakaran batu bara digunakan untuk memutar turbin yang seporos dengan generator, sehingga generator menghasilkan listrik.

Dalam prosesnya pada PLTU terdapat berbagai macam peralatan utama seperti turbin, rotor, *nozzle*, dan generator. Peralatan tersebut jika digunakan terus menerus akan berkurang keandalan (performa) serta umur pakainya (*lifetime*), hal ini akan berkaitan langsung dengan efisiensi dan *heat rate* turbin dari pembangkit tersebut. Oleh karena itu, untuk menjaga agar operasional turbin uap tersebut pada keadaan optimal, maka dilakukan tindakan yakni *preventive maintenance* yang dilakukan terjadwal, umumnya secara periodik, dimana sejumlah tugas pemeliharaan seperti inspeksi, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan penyesuaian dilaksanakan. Sehingga dengan sistem *preventive maintenance* ini diharapkan mampu memberikan solusi yang efektif bagi penanganan mesin-mesin produksi agar performa turbin tetap maksimal dan panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar menjadi listrik dengan sempurna.

Berdasarkan latar belakang diatas penulis mencoba meneliti tentang “Analisis Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum dan Sesudah *Maintenance Pada* PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam” ini bertujuan untuk mengetahui besarnya efisiensi energi yang dihasilkan oleh PLTU dengan mengetahui besarnya nilai turbin *heat rate* sebelum dan sesudah *maintenance*.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Menganalisis bagaimana perbandingan nilai *turbin heat rate* sebelum dan sesudah *maintenance*.
2. Bagaimana perbandingan efisiensi turbin uap sebelum dan sesudah *maintenance*.

1.3. Tujuan

Adapun maksud dan tujuan dari yang ingin dicapai pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui perbandingan *turbin heat rate* pada PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam sebelum dan sesudah *maintenance*.
- b. Mengetahui perbandingan efisiensi turbin pada PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam sebelum dan sesudah *maintenance*.

1.4. Manfaat

Manfaat yang bisa diperoleh dari tugas akhir ini antara lain:

1. Menambah pengetahuan dan juga pemahaman terkait pengaruh *maintenance* terhadap performa turbin uap.
2. Dapat menjadi sumber referensi pembelajaran di bidang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (turbin uap) dalam menambah bahan ajar.
3. Dapat menjadi sumber referensi dan Informasi bagi PT Ecogreen Oleochemicals Batam mengenai performa turbin uap.

1.5. Batasan

Berdasarkan pemaparan diatas untuk menghindari meluasnya topik yang diteliti, maka penulis membatasi permasalahan agar penyusunan tugas akhir tidak 3 menyimpang dari tujuan yang akan dicapai. Adapun batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Hanya menganalisis di Section 518 PT. Ecogreen Oleochemicals Batam berdasarkan *steam* yang masuk dan *steam* yang keluar.
2. Data sebelum *maintenance* diambil pada bulan Mei 2023 dan sesudah *maintenance* pada bulan November 2023.
3. Entalpi steam masuk dan *steam* keluar didapatkan dari *TLV calculator steam* agar cepat dalam perhitungan.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pengertian Turbin Uap

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

Turbin uap merupakan salah satu komponen dasar dalam pembangkit listrik tenaga uap, dimana komponen utama dari sistem tersebut yaitu: Ketel, kondensor, pompa air ketel, dan turbin itu sendiri. Turbin uap adalah turbin yang menggunakan uap sebagai fluidanya kerjanya yang juga berfungsi untuk memutar generator, terdiri dari HP (*High Pressure*) turbin, MP (*Medium Pressure*) turbin, dan LP (*Low Pressure*) turbin. Uap yang bekerja sebagai fluida kerja dihasilkan oleh ketel uap yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mrngubah air menjadi uap akan menghasilkan listrik.



Gambar 2.1 Turbin Uap PT. Ecogreen Oleochemicals Batam

2.2. Komponen Turbin Uap

Secara umum dapat kita lihat bahwa turbin uap terbagi dalam beberapa komponen yaitu:

2.2.1. Komponen Utama

1. *Nozzle*

Nozzle adalah suatu komponen yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dengan cara mengembangkan (meng ekspansi) uap dari tekanan tinggi ke tekanan rendah dalam sebuah turbin. Kecepatan aliran uap yang tinggi

dimanfaatkan untuk memutar rotor turbin. *Nozzle* dapat juga disebut sebagai sudu tetap karena berfungsi sebagai pengarah uap yang masuk ke turbin.

Ada tiga jenis *nozzle* pada turbin uap yaitu;

a. *Nozzle* Konvergen

Nozzle yang cocok untuk meng ekspansikan uap dari tekanan tertentu ke tekanan - tekanan yang lebih tinggi dari tekanan kritis yang bersangkutan.

b. *Nozzle* Divergen

Nozzle yang memungkinkan meng ekspansi di dalamnya sehingga tekanan, temperatur dan entalpi turun sehingga terjadi penurunan energi termal sedangkan volume jenis, kecepatan aliran uap naik sehingga menimbulkan energi kinetik.

c. *Nozzle* Konvergen-Divergen

Nozzle yang cocok untuk meng ekspansikan uap dari tekanan-tekanan awal tertentu ke tekanan-tekanan yang lebih rendah dari tekanan kritis yang bersangkutan.



Gambar 2.2 Nozzle

2. Casing

Casing pada turbin uap fungsi utamanya adalah untuk meletakkan semua komponen turbin uap pada posisinya agar *performance*-nya sesuai dengan rancangan. Fungsi lain dari casing antara lain:

- Tempat dari kedudukan dari komponen stator lainnya atau sudu-sudu diam yang mengarahkan aliran uap pada sudu gerak (putar).
- Pengamanan terhadap kemungkinan adanya bahaya kebocoran uap panas dan terpentalnya rotating blade dari rotor atau disc (piringan).
- Tempat kedudukan katup *governor*.
- Sebagai *appearance* atas produk.

Penamaan *casing* ditentukan dari bagian di bawah disebut *lower casing (bottom casing)* dan bagian atas disebut *upper casing (top casing)*. Selain posisi penamaan juga menggunakan tekanan uap yang terjadi pada bagian tersebut, yaitu *high pressure casing, intermediate* atau *medium pressure casing*, dan *low pressure casing*. Penamaan juga didasarkan pada posisi arah radial yaitu *Inner casing* dan *outer casing*. Terhadap dimensi serta bentuk dan jumlahnya ditentukan dari kapasitas turbin uap.



Gambar 2.3 Casing Turbin Uap

3. Rotor

Rotor merupakan serangkaian beberapa tingkat sudu-sudu gerak, rotor merupakan bagian dari turbin yang berfungsi untuk mentransfer energi kinetik uap yang telah di ekspansikan oleh *nozzle* pada sudu – sudu tetap menjadi energi putar poros. Komponen turbin yang berputar terdiri atas poros, sudu turbin, atau deretan sudu yang disebut *stationary blade* dan *moving blade*. Untuk turbin bertekanan tinggi atau ukuran besar, khususnya untuk turbin jenis reaksi maka motor ini perlu di balance untuk mengimbangi gaya reaksi yang timbul secara aksial terhadap poros.



Gambar 2.4 Rotor

2.2.2. Komponen Pendukung

1. Shaft Seals

Shaft seals adalah bagian dari turbin antara poros dengan *casing* yang berfungsi untuk mencegah uap air keluar dari dalam turbin melewati sela-sela antara poros dengan *casing* akibat perbedaan tekanan dan juga untuk mencegah udara masuk ke dalam turbin (terutama turbin LP karena tekanan uap air yang lebih vakum) selama turbin uap beroperasi.

Turbin uap menggunakan sistem labyrinth seal untuk *shaft seals*. Sistem ini berupa bagian yang berkelak-kelok pada poros dan *casing*-nya yang kedua sisinya saling bertemu secara berselang-seling. Antara *labyrinth* poros dengan *labyrinth casing* ada sedikit rongga dengan jarak tertentu. Sistem ini bertujuan untuk mengurangi tekanan uap air di dalam turbin yang masuk ke sela-sela *labyrinth* sehingga tekanan antara uap air dengan udara luar akan mencapai nilai yang sama pada titik tertentu. Selain adanya sistem *labyrinth seal*, ada satu sistem tambahan bernama sistem *seal* dan *gland steam*. Sistem ini bertugas untuk menjaga tekanan di *labyrinth seal* pada nilai tertentu terutama pada saat *start up* awal atau *shutdown* turbin dimana pada saat tersebut tidak ada uap air yang masuk ke dalam turbin uap.



Gambar 2.5 *Shaft Seals*

2. Turbine Bearing

Bantalan berfungsi sebagai penyangga di dalam *casing* dan rotor dapat berputar dengan aman dan bebas. Adanya bantalan yang menyangga turbin selain bermanfaat untuk menjaga rotor turbin tetap pada posisinya juga menimbulkan kerugian mekanik karena gesekan.

Bearing/bantalan pada turbin uap memiliki fungsi sebagai berikut:

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



Gambar 2.6 Bearing

3. Balance Piston

Balance piston pada turbin uap berfungsi untuk mengkompensasikan timbulnya gaya aksial akibat aliran dari uap air dengan jumlah gaya 50%. *Balance piston* ini meringankan kerja dari *thrust bearing*.

4. Turbine Extraction Valve

Turbine extraction valve merupakan katup yang berfungsi mengatur jumlah *steam* yang keluar turbin (*steam extraction*) sesuai dengan jumlah *steam* yang diperlukan sesuai dengan kebutuhan proses produksi pada industri.



Gambar 2.7 Katup Ekstraksi Turbin

5. Turbine Stop Valve

Turbine stop valve atau disebut juga *emergency stop valve* karena berfungsi sebagai komponen pemutus utama antara pipa uap dan turbin, dalam pengoperasian saat terjadi kecelakaan, untuk mengisolasi turbin dari *supply steam* pada keadaan darurat untuk menghindari kerusakan atau juga *overspeed*.



Gambar 2.8 Turbine Stop Valve

6. Turning Device

Turning device adalah suatu mekanisme untuk memutar rotor dari turbin pada saat *start* awal atau pada saat setelah *shutdown* untuk mencegah terjadinya *distorsi/bending* akibat dari proses pemanasan atau pendinginan yang tidak seragam pada rotor.



Gambar 2.9 Turning Device

7. Governor

Governor digunakan sebagai '*interface*' antara turbin penggerak dan generator. Pengaturan putaran turbin sejak turbin mulai bergerak sampai *steady state* dilakukan oleh *governor*, jadi bukan diambil alih oleh *governor*. Fungsi utama pengaturan putaran ini adalah untuk menjaga kestabilan sistem secara keseluruhan terhadap adanya variasi beban atau gangguan pada sistem. Ada dua mode operasi *governor*, yaitu *droop* dan *isochronous*. Pada mode *droop*, *governor* sudah memiliki "*setting point*" (daya mekanik) yang besarnya sesuai dengan *rating* generator atau menurut kebutuhan. Dengan adanya "*fixed*

setting" ini, *output* daya listrik generator nilainya tetap dan adanya perubahan beban tidak akan mengakibatkan perubahan putaran turbin (daya berbanding lurus dengan putaran). Lain halnya dengan mode *isochronous*, "*set point*" putaran *governor* ditentukan berdasarkan kebutuhan daya listrik sistem pada saat itu (*real time*). Kemudian melalui *internal* proses di dalam *governor* (sesuai dengan kontrol *logic* dari manufaktur), *governor* akan menyesuaikan nilai output daya mekanik turbin supaya sesuai dengan daya listrik yang dibutuhkan sistem. Pada saat terjadi perubahan beban, *governor* akan menentukan *setting point* yang baru sesuai dengan aktual beban sehingga dengan pengaturan putaran ini diharapkan frekuensi listrik generator tetap berada di dalam "*acceptable range*" dan generator tidak mengalami "*out of synchronization*". Seperti halnya peralatan listrik yang lain, *governor* juga memiliki keterbatasan kemampuan. Parameter-parameter *governor*, seperti daya mekanik, *gas producer*, *speed droop*, dan lain-lain.



Gambar 2.10 Governor

8. Pompa oli utama

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

Adapun fungsi dari oli pelumas adalah:

- a. Untuk melumasi bagian-bagian yang berputar, agar tidak aus. Hal ini juga berpengaruh pada keawetan konstruksi turbin.
- b. Untuk mendinginkan (*oil cooler*) bagian turbin yang telah panas dan masuk ke bagian turbin dan akan menekan keluar secara sirkuler.
- c. Untuk melapisi (*oil film*) bagian turbin yang bergerak secara rotasi.
- d. Untuk membersihkan (*oil cleaner*) oli yang telah kotor. Kekotoran oli sebagai akibat dari benda-benda yang berputar dari turbin akan terdorong ke luar secara sirkuler oleh oli yang masuk.



Gambar 2.11 Oil tank, Oil filter dan Oil pump

2.3. Klasifikasi Turbin Uap

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

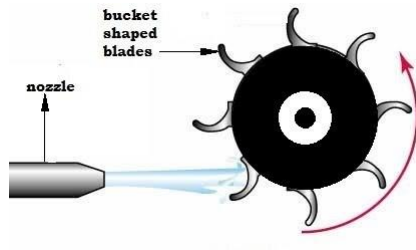
1. Klasifikasi Turbin berdasarkan Prinsip Kerjanya

a. Turbin Impuls

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

Turbin impuls memiliki beberapa bagian komponen sebagai berikut:

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



Gambar 2.12 Turbin Impuls

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

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

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

Turbin impuls lain adalah sebagai berikut:

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

Ciri-ciri dari turbin impuls antara lain:

1. Proses pengembangan uap/penurunan tekanan seluruhnya terjadi pada sudu diam/*nozzle*.
2. Akibat tekanan dalam turbin sama sehingga disebut dengan tekanan rata.

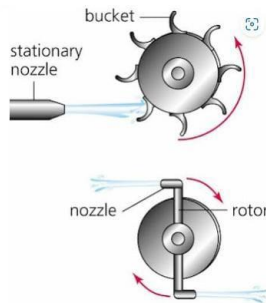
b. Turbin Reaksi

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

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

Ciri-ciri turbin reaksi adalah:

1. Penurunan tekanan uap sebagian terjadi di *nozzle* dan sudu gerak
2. Adanya perbedaan tekanan didalam turbin sehingga disebut tekanan bertingkat.



Gambar 2.13 Penyemprotan Turbin Reaksi

2. Klasifikasi Turbin Uap berdasarkan Pada Tingkat Penurunan Tekanan dalam Turbin.

- a. Turbin tunggal (*single stage*), dengan kecepatan satu tingkat atau lebih turbin ini cocok untuk daya kecil, misalnya penggerak kompresor, blower, dll
- b. Turbin bertingkat (aksi dan reaksi) disini sudu-sudu turbin dibuat bertingkat, biasanya cocok untuk daya besar. Pada turbin bertingkat terdapat deretan pada sudu 2 atau lebih. Sehingga turbin tersebut terjadi distribusi/kecepatan tekanan.

3. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Proses Penurunan Tekanan Uap.

- a. Turbin kondensasi, tekanan keluar turbin kurang dari 1 atm dan dimasukkan ke dalam kompresor.
- b. Turbin tekanan lawan apabila tekanan sisi keluar turbin masih besar dari 1 atm sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin lain.
- c. Turbin ekstraksi, di dalam turbin ini sebagian uap dalam turbin diekstraksi untuk proses pemanasan lain, misalnya proses industri.

4. Menurut Kondisi-Kondisi Uap Pada Sisi Masuk Turbin

- a. Turbin tekanan rendah, yang memakai uap pada tekanan 1,2 sampai 2 ata.
- b. Turbin tekanan menengah, yang memakai uap pada tekanan sampai 40 ata.
- c. Turbin tekanan tinggi, yang memakai uap pada tekanan diatas 40 ata.
- d. Turbin tekanan yang sangat tinggi, yang memakai uap pada tekanan 170 ata atau lebih dan temperatur diatas 550°C.
- e. Turbin tekanan super kritis, yang memakai uap pada tekanan 225 ata atau lebih.

5. Menurut pemakaiannya di bidang industri

- a. Turbin *stasioner* dengan kecepatan putar yang konstan dipakai terutama untuk menggerakkan alternator.
- b. Turbin uap *stasioner* dengan kecepatan yang bervariasi dipakai untuk menggerakkan blower-turbo, pengedar udara (*air circulator*), pompa dan lain - lain.
- c. Turbin yang tidak *stasioner* dengan kecepatan putar yang bervariasi, turbin jenis ini biasanya dipakai pada kapal-kapal uap, lokomotif kereta api.

2.4. Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip kerja turbin uap secara umum ada tiga yaitu: prinsip aksi-aksi, prinsip aksi-reaksi, dan prinsip radial-reaksi.

1. Prinsip Aksi-Aksi

Bila sebuah turbin uap, uap diekspansikan dalam *nozzle*, maka akan terjadi penurunan tekanan uap dan kenaikan kecepatan uap pada saat meninggalkan *nozzle*, serta penurunan temperatur uap. Dalam sudu-sudu gerak terjadi penurunan kecepatan uap dan selama uap melewati sudu-sudu gerak tidak terjadi penurunan tekanan. Jadi tekanan uap masuk sama dengan tekanan uap keluar turbin. Prinsip kerja turbin ini adalah prinsip kerja impuls.

2. Prinsip Aksi-Reaksi

Pada turbin jenis ini, uap dari ketel diekspansikan di dalam *nozzle* dan sudu-sudu gerak. Pada *nozzle*, uap akan mengalami penurunan tekanan dan terjadi kenaikan kecepatan. Pada sudu-sudu gerak, tekanan dan kecepatan akan turun. Jadi pada turbin reaksi ekspansi uap terjadi di dalam *nozzle* atau sudu-sudu gerak. Sudu-sudu turbin reaksi berbentuk asimetris dan akan menghasilkan suatu aliran uap yang berbentuk *nozzle* konvergen-divergen.

Pada tiap tingkat reaksi turbin reaksi, profil sudu-sudu gerak dikonstruksikan dengan sudut masuk nisbi sama dengan sudut masuk mutlak ($\beta_0 = \alpha_0$) dan sudut keluar nisbi sama dengan sudut masuk mutlak ($\beta_1 = \alpha_1$). Jadi kecepatan sudut masuk nisbi sama dengan kecepatan uap keluar.

3. Prinsip Radial-Reaksi

Pada dasarnya baik turbin impuls maupun turbin reaksi bekerja dengan aliran aksial, artinya uap masuk turbin mendeteksi sejajar dengan poros turbin. Tetapi lain halnya dengan turbin radial karena uap masuk dalam arah radial.

Turbin pada prinsip ini mempunyai dua rotor yaitu A dan B yang padanya dipasang sudu-sudu jalan lainnya. Turbin ini juga mempunyai dua poros C dan D yang terpisah dengan putaran yang berlawanan arah. Uap masuk dari kedua sisi kotak pengumpul uap E, kemudian memasuki sudu-sudu dalam arah radial. Uap meng ekspansikan pada masing-masing sudu. Jadi sesuai dengan prinsip reaksi sehingga turbin ini mempunyai prinsip kerja reaksi-radial.

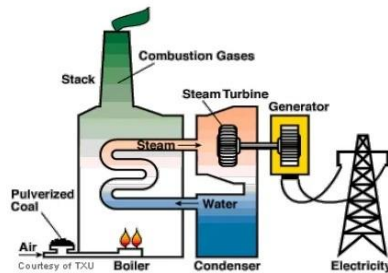
Pada intinya prinsip kerja turbin uap adalah menerima energi kinetik dari *superheated vapor* (uap kering) yang dikeluarkan oleh *nozzle* sehingga sudu-sudu turbin terdorong secara *angular* atau bergerak memutar.

Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut:

1. Uap masuk kedalam turbin melalui *nozzle*. Di dalam *nozzle* energi panas dari uap diubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari *nozzle* lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam *nozzle*, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar *nozzle* lebih besar dari pada saat masuk ke dalam *nozzle*. Uap yang memancar keluar dari *nozzle* diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang di

sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan ke arah mengikuti lengkungan dari sudu turbin, perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.

2. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian energi kinetik dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan, supaya energi kinetik yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak, maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.
3. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetik yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.



Gambar 2.14 Prinsip Kerja Turbin Uap

2.5. Siklus Rankine

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

dengan diagram P-v dan T-s dengan garis yang menunjukkan uap jenuh dan cair jenuh. Fluida kerjanya adalah air (H_2O).

Proses terbentuknya uap terjadi melalui perubahan energi panas pembakaran bahan bakar menjadi energi panas dalam bentuk uap. Panas hasil pembakaran digunakan untuk menaikkan entalpi air sampai terbentuk uap air yang mengandung energi dalam yang disimpan dalam bentuk panas dan tekanan. Salah satu proses pembentukan uap adalah dengan menyentuh titik didih air, dimana titik didih suatu zat cair bergantung pada tekanan yang diberikan pada permukaan zat cair. Untuk menghasilkan uap yang lebih besar digunakan ketel uap, dimana fluida kerja yang digunakan adalah air". Air memiliki sifat-sifat yang lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Adapun kelebihan penggunaan air sebagai fluida kerja adalah:

- a. Mudah diperoleh dengan biaya yang murah.
- b. Air dapat bersifat netral ($pH = 7$), sehingga sifat korosif yang merusak logam dapat diatasi.
- c. Air tidak dapat terbakar.
- d. Mampu menerima kalor dalam jumlah besar.
- e. Dapat bekerja pada tekanan yang tinggi.

Uap yang terbentuk dari pemanasan ini diubah menjadi uap basah ataupun uap kering melalui beberapa tahap. Dengan demikian uap yang terbentuk dapat digolongkan kedalam berbagai bentuk jenis uap, yaitu:

1. Uap Basah

Kondisi uap ini mengandung titik-titik air. Kualitas uap ini dapat dinyatakan dengan kualitas uap tertentu (x). Dalam hal ini temperatur air dan uap adalah sama seperti ditunjukkan pada gambar dibawah.

2. Uap Jenuh

Kondisi uap ini didapatkan melalui proses pemanasan uap jenuh pada tekanan konstan, sehingga temperaturnya meningkat.

Siklus *rankine* sendiri memiliki 2 jenis siklus yaitu:

1. Siklus terbuka, yaitu dimana sisa uap hasil dari penggunaan turbin langsung digunakan untuk keperluan proses tanpa adanya pendinginan kembali.
2. Siklus tertutup, yaitu dimana sisa uap hasil dari penggunaan dari turbin dimanfaatkan kembali dengan cara di kondensasikan menggunakan kondensor, kemudian dialirkan ke pompa kemudian masuk kedalam *deaerator* dan dipanaskan kembali oleh boiler.

2.6. Maintenance

Pemeliharaan dan perawatan (*maintenance*) menurut Assauri dalam Edi Santoso & Edwin Julianto C adalah suatu kegiatan untuk menjaga atau memelihara fasilitas dan peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan yang direncanakan. Peran *maintenance* ini menentukan dalam kegiatan produksi yang menyangkut kelancaran atau kemacetan produksi, kelambatan dan volume produksi, serta efisiensi berproduksi (Assauri, 1993:88). Kegiatan *maintenance* dalam Perusahaan dapat dibedakan menjadi dua (Assauri, 1993:89). Pertama *preventive maintenance*, dan yang kedua *corrective maintenance* atau *breakdown maintenance*.

2.6.1. Preventive Maintenance

Preventive maintenance adalah perawatan yang dilakukan secara terjadwal. Umumnya secara periodik, dimana sejumlah tugas pemeliharaan seperti inspeksi, perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan dan tindakan lain yang dapat mencegah kerusakan atau kegagalan peralatan.

Preventive maintenance merupakan salah satu jenis perawatan yang banyak digunakan oleh kebanyakan perusahaan, metode ini bertujuan untuk mencegah kerusakan peralatan yang sifatnya mendadak. Jarak interval ini ditentukan dari tingkat peralatan atau mesin dan kondisi beban. Pekerjaan perawatan *preventive* bisa menolong memperpanjang umur mesin (sampai 3-4 kali) dan mengurangi kerusakan yang tidak diharapkan. Perbaikan yang dilakukan pada interval waktu yang direncanakan pada *preventive maintenance* umumnya dikategorikan atas empat tingkat sesuai dengan volume pekerjaan yaitu: inspeksi (I), perbaikan ringan (R), perbaikan sedang (S) dan *overhaul* (O). Beban pekerjaan perawatan bertambah mulai dari inspeksi hingga ke tingkat *overhaul*. Berikut kegiatan yang dilakukan saat keadaan *maintenance* di PT. Ecogreen Oleochemicals Batam :

1. *Cleaning ICW basin, filler* dan kondensor.
2. Pemeriksaan keretakan-keretakan pada bagian stator turbin.
3. Membersihkan dan mengganti *oil collar, air cooler* dan *oil tank*.
4. Pemeriksaan *level controler daerator*.
5. Penggantian *valve* dari *equalizer*.
6. *Repair bearing condensor pump* A dan B.
7. *Repair ICW pump* A.
8. Penggantian *radial bearing, labyrinth seal* akibat adanya korosi dan erosi.
9. Membersihkan kerak-kerak yang ada pada sudu tetap turbin menggunakan pasir (*sandblast*).

2.7. Heat Rate

Heat rate merupakan ukuran umum dari efisiensi suatu pembangkit listrik tenaga uap dalam mengkonversi energi atau panas (Btu/kWh) menjadi satuan unit tenaga (listrik). Panas yang dimaksud disini merupakan panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar di boiler. Dari proses pembakaran bahan bakar di ruang dapur (*furnance*), sehingga bahan bakar menghasilkan panas, panas tersebut kemudian akan memanasi air yang ada di pipa kemudian akan menghasilkan uap yang akan digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu pada turbin yang kemudian akan menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Daya listrik yang dihasilkan oleh turbin uap tersebut akan kemudian digunakan dalam operasional suatu pabrik.

Heat rate merupakan kebalikan dari efisiensi suatu pembangkit tenaga, maksudnya adalah apabila nilai *heat rate* suatu pembangkit tenaga tinggi maka efisiensi pembangkit tenaga tersebut akan rendah, begitupun sebaliknya. Semakin rendah penggunaan kalor dalam menghasilkan listrik maka efisiensi pembangkit tenaga akan naik dan penggunaan bahan bakar akan semakin sedikit dan menekan *cost*. *Heat rate* juga dapat didefinisikan dengan energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik 1 kWh pada suatu pembangkit tenaga. Dengan kata lain, mengukur efisiensi pembangkit listrik menggunakan metode *heat rate* merupakan proses pengoptimalan dari panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar menjadi listrik.

Pada suatu pembangkit listrik tenaga uap (turbin), terdapat beberapa titik pengambilan untuk mengukur nilai *heat rate*, yaitu (Yusuf, M, S. 2014):

1. *Turbin Heat Rate* (THR) adalah laju *heat* yang masuk ke dalam siklus uap yang dihitung dari parameter fluida yang masuk dan keluar dari suatu sistem (turbin).
2. *Gross Plant Heat Rate* (THR) adalah laju *heat* yang masuk kedalam boiler dihitung berdasarkan bahan bakar yang masuk.
3. *Net Plant Heat Rate* (NPHR) adalah laju *heat* yang masuk ke dalam boiler atau *net output*, daya yang dihasilkan suatu pembangkit listrik setelah dikurangi daya yang dipakai sendiri oleh pembangkit tersebut untuk kebutuhan pabrik.

2.8. Turbin Heat Rate

Turbin heat rate adalah sebuah indikator kinerja yang mengukur seberapa efisien turbin dalam pembangkit listrik atau pabrik daya dalam mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik atau listrik yang berguna. *Turbin heat rate* menggambarkan seberapa efisien turbin tersebut dalam menggunakan bahan bakar atau sumber panas untuk menghasilkan daya atau listrik. Semakin rendah nilai *turbin heat rate*, semakin efisien turbin dalam mengkonversi panas menjadi daya atau listrik. *turbin heat rate* menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator (Sunarwo dan Supriyo 2015).

Dalam konteks ini, "*heat rate*" mengacu pada seberapa banyak panas yang diperlukan untuk menghasilkan daya atau listrik tertentu. Ini dapat diukur dalam berbagai unit, seperti BTU (*British Thermal Unit*) per kWh (*Kilowatt-Hour*) atau dalam unit energi lainnya per unit daya yang dihasilkan. Semakin kecil nilai *turbin heat rate*, semakin sedikit panas yang diperlukan untuk menghasilkan daya atau listrik yang sama, yang menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam penggunaan sumber panas atau bahan bakar.

Turbin heat rate adalah parameter penting dalam industri pembangkit listrik dan energi karena efisiensi pembangkit listrik sangat berpengaruh pada biaya operasional dan dampak lingkungan dari pembangkit listrik tersebut. Pembangkit listrik selalu berusaha untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi *turbin heat rate* untuk menghemat bahan bakar dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Turbin heat rate dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Yudisaputro, H. 2010):

$$THR = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1) - (\dot{m}_2 \times h_2) - (\dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_4 \times h_4) - (\dot{m}_5 \times h_5)}{PG} \quad (1)$$

Keterangan:

THR	: <i>Turbin Heat Rate</i> (kcal/kWh)
\dot{m}_1	: Massa aliran uap masuk turbin (kg/s)
h_1	: Entalpi uap masuk turbin (kcal/kg)
\dot{m}_2	: Massa aliran uap masuk <i>ejector</i> (kg/s)
h_2	: Entalpi uap masuk <i>ejector</i> (kcal/kg)
\dot{m}_3	: Massa aliran uap masuk ekstraksi (kg/s)
h_3	: Entalpi uap masuk ekstraksi (kcal/kg)
\dot{m}_4	: Massa aliran uap masuk <i>daerator</i> (kg/s)
h_4	: Entalpi uap masuk <i>daerator</i> (kcal/kg)
\dot{m}_5	: Massa aliran uap masuk kondensor (kg/s)
h_5	: Entalpi uap masuk kondensor (kcal/kg)
PG	: <i>Power Generator</i> (MW)

1. Analisis steam yang masuk ke turbin

Analisis *steam* yang masuk ke turbin dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \dot{m}_1 \times h_1 \quad (2)$$

2. Analisis steam yang masuk ke *ejector*

Analisis *steam* yang masuk ke *ejector* dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \dot{m}_2 \times h_2 \quad (3)$$

3. Analisis steam yang masuk ke ekstraksi

Analisis *steam* yang masuk ke ekstraksi dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \dot{m}_3 \times h_3 \quad (4)$$

4. Analisis steam yang masuk ke *daerator*

Analisis *steam* yang masuk ke *daerator* dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \dot{m}_4 \times h_4 \quad (5)$$

5. Analisis steam yang masuk ke kondensor

Analisis *steam* yang masuk ke kondensor dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \dot{m}_5 \times h_5 \quad (6)$$

Keterangan

Q	: Energi panas (kcal/s)
\dot{m}_1	: Massa aliran uap masuk turbin (kg/s)
h_1	: Entalpi uap masuk turbin (kcal/kg)
\dot{m}_2	: Massa aliran uap masuk <i>ejector</i> (kg/s)
h_2	: Entalpi uap masuk <i>ejector</i> (kcal/kg)
\dot{m}_3	: Massa aliran uap masuk ekstraksi (kg/s)
h_3	: Entalpi uap masuk ekstraksi (kcal/kg)
\dot{m}_4	: Massa aliran uap masuk <i>daerator</i> (kg/s)
h_4	: Entalpi uap masuk <i>daerator</i> (kcal/kg)
\dot{m}_5	: Massa aliran uap masuk kondensor (kg/s)
h_5	: Entalpi uap masuk kondensor (kcal/kg)

2.9. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah ukuran sejauh mana turbin atau mesin putar serupa dapat mengubah energi termal menjadi energi mekanik atau listrik dengan seefisien mungkin. Efisiensi ini mengukur seberapa baik turbin dapat memanfaatkan energi yang diberikan untuk melakukan pekerjaan yang berguna. Semakin tinggi efisiensi turbin, semakin sedikit energi yang hilang dalam bentuk panas dan semakin banyak energi yang diubah menjadi bentuk energi yang dapat digunakan. Efisiensi turbin dapat diukur dengan membandingkan energi yang dihasilkan oleh turbin dengan energi yang diberikan.

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

η Turbin : Efisiensi Turbin (%)

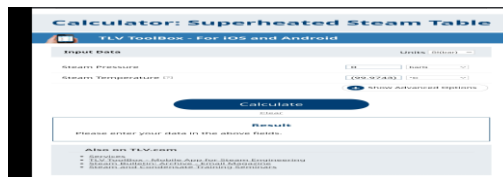
Q_{out} : Massa *steam* yang keluar dari turbin dan masuk ke (*ejector*, ekstraksi, *daerator*, dan kondensor) (kcal/s)

Q_{in} : Massa *steam* yang masuk ke turbin (kcal/s)

Hasil perhitungan efisiensi ini biasanya diekspresikan dalam bentuk persentase. Semakin tinggi persentase efisiensi, semakin baik turbin dalam mengubah panas menjadi energi yang bermanfaat. Turbin yang lebih efisien memerlukan lebih sedikit bahan bakar atau energi termal untuk menghasilkan daya atau listrik yang sama, yang mengarah pada penghematan biaya operasional dan dampak lingkungan yang lebih rendah. Efisiensi turbin adalah parameter penting dalam industri energi dan pembangkit listrik.

2.10. TLV Calculator Steam

Website TLV A Steam Specialist Company merupakan website kalkulator *engineer* yang dapat digunakan untuk mencari nilai entalpi dengan memasukkan nilai dari temperatur, tekanan maupun salah satunya sehingga diketahui nilai entalpi.



Gambar 2.15 TLV Calculator Steam

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu Penelitian

Waktu Penelitian selama 3 bulan yaitu pada bulan September s/d November 2023 setiap hari senin sampai jumat.

3.1.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Ecogreen Oleochemicals Batam
Jl. Raya Pelabuhan, Kabil, Kecamatan Nongsa, Kota Batam, KepRI 29435.

NO	URAIAN	BULAN KE			
		1	2	3	4
1	Kajian Literatur				
2	Penyusunan Proposal Penelitian				
3	Penyusunan bab 1 sampai dengan bab 3				
4	Seminar Proposal				
5	Penelitian dan Pengambilan Data				
7	Analisis data				
8	Seminar hasil				

3.2. Studi Literatur

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

1. Metode Studi Pustaka
Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku penunjang lainnya mengenai *turbin heat rate*.
2. Metode Studi Lapangan
Metode ini dilakukan dengan pengamatan dan pengumpulan data yang diperlukan.
3. Metode Pengolahan dan Analisis Data

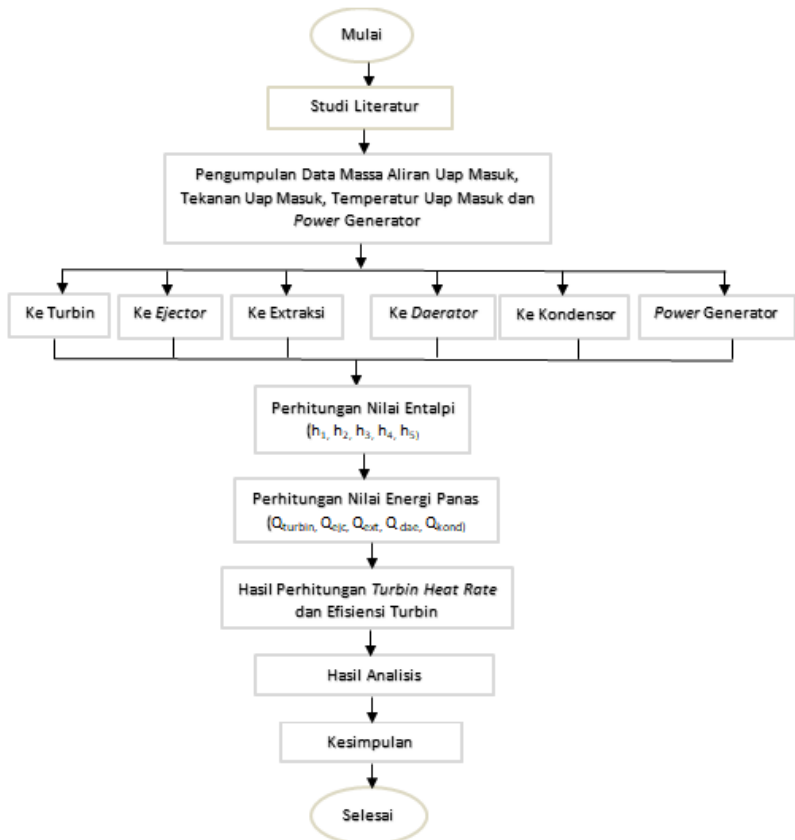
Metode ini dilakukan pengolahan data yang telah diperoleh penulis untuk menghitung nilai-nilai yang termasuk pada efisiensi daya turbin uap.

3.3. Pengumpulan Data

Tahapan pengambilan data dilakukan dengan mencatat langsung data operasional turbin yang ditunjukkan oleh pembacaan alat ukur yang terdapat pada sistem pembangkit yang telah terkoneksi pada DCS (*Digital Control System*) yang terletak di ruang pusat kontrol atau yang lebih disebut CCR (*Central Control Room*) di PT. Ecogreen Oleochemicals Batam. Adapun parameter-parameter yang diambil pada saat penelitian sebagai berikut:

1. Data energi uap masuk dari *superheater* ke turbin meliputi:
 - Massa aliran uap masuk ke turbin uap
 - Tekanan uap masuk ke turbin uap
 - Temperatur uap masuk ke turbin uap
2. Data energi uap masuk ke *ejector* meliputi:
 - Massa aliran uap masuk ke *ejector*
 - Tekanan uap masuk ke *ejector*
 - Temperatur uap masuk ke *ejector*
3. Data energi uap masuk ke ekstraksi (*MP Steam*) meliputi:
 - Massa aliran uap masuk ke ekstraksi
 - Tekanan uap masuk ke ekstraksi
 - Temperatur uap masuk ke ekstraksi
4. Data energi uap masuk ke *daerator* (*LP Steam*) meliputi:
 - Massa aliran uap masuk ke *daerator*
 - Tekanan uap masuk ke *daerator*
 - Temperatur uap masuk ke *daerator*
5. Data energi uap keluar dari turbin ke kondensor meliputi:
 - Massa aliran uap masuk ke kondensor
 - Tekanan uap masuk ke kondensor
 - Temperatur uap masuk ke kondensor
6. *Power Generator*

3.4. Diagram Alir



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

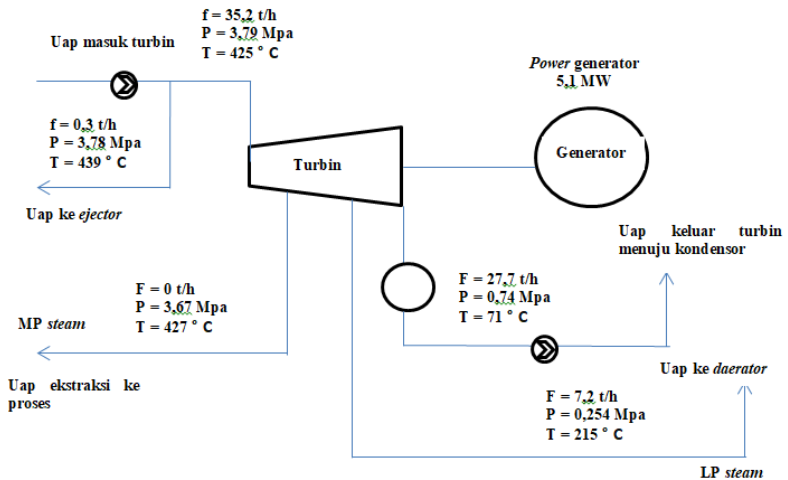
Pada Bab berikut akan dijabarkan langkah-langkah perhitungan turbin uap dan hasil perhitungan perbandingan performa turbin uap sebelum dan sesudah *maintenance* berdasarkan *turbin heat rate* dan efisiensi Turbin, dengan menggunakan data operasi sebelum dan sesudah *maintenance*.

4.1. Data Hasil Penelitian Sebelum *Maintenance*

Hasil dari penelitian pengambilan data berdasarkan *database Central Control Room (CCR)* didapatkan beberapa data pada turbin uap sebelum *maintenance* pada bulan Mei 2023 ditampilkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Turbin Uap Sebelum *Maintenance*

Jenis turbin	Condensing
Massa aliran uap masuk turbin (\dot{m}_{turbin})	35,2 t/h
Tekanan uap masuk turbin (P_{turbin})	3,79 Mpa
Temperatur uap masuk turbin (T_{turbin})	425 ° C
Massa aliran uap masuk <i>ejector</i> (\dot{m}_{ejc})	0,3 t/h
Tekanan uap masuk <i>ejector</i> (P_{ejc})	3,78 Mpa
Temperatur uap masuk <i>ejector</i> (T_{ejc})	439 ° C
Massa aliran uap masuk ekstraksi (\dot{m}_{ext})	0 t/h
Tekanan uap masuk ekstraksi (P_{ext})	3,67 Mpa
Temperatur uap masuk ekstraksi (T_{ext})	427 ° C
Massa aliran uap masuk <i>daerator</i> (\dot{m}_{dae})	7,2 t/h
Tekanan uap masuk <i>daerator</i> (P_{dae})	0,254 Mpa
Temperatur uap masuk <i>daerator</i> (T_{dae})	215 ° C
Massa aliran uap masuk kondensator (\dot{m}_{kond})	27,7 t/h
Tekanan uap masuk kondensator (P_{kond})	0,74 Mpa
Temperatur uap masuk kondensator (T_{kond})	71 ° C
Power generator (PG)	5,1 MW = 5.100 kWh = 1218,1 kcal/s



Gambar 4.1 Diagram Turbin Uap

4.1.1. Analisis Performa Turbin Uap Sebelum *Maintenance*

Dari tabel 4.1 dapat diperoleh massa aliran, temperatur, beserta tekanan uap masuk dan keluar.

1. Analisis Data Uap Masuk Ke Turbin

Data energi yang masuk ke turbin:

$$m_{steam} = 35,2 \text{ t/h} = 35.200 \text{ kg/h} = 9,777 \text{ kg/s}$$

$$P = 3,79 \text{ Mpa}$$

$$T = 425 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 782,299 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{turbin} , menggunakan rumus dengan persamaan 2

$$Q_{\text{turbin}} = \dot{m}_1 \times h_1$$

Keterangan:

Q_{turbin} = Energi panas masuk ke turbin

m = Massa aliran uap masuk ke turbin

h_1 = Entalpi uap masuk ke turbin

$$\begin{aligned} Q_{\text{turbin}} &= \dot{m}_1 \times h_1 \\ &= 9,777 \text{ kg/s} \times 782,299 \text{ kcal/kg} \\ &= 7.648,53 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

2. Analisis Data Uap Masuk ke Ejector

Data energi masuk ke *ejector*:

$$m_{\text{steam}} = 0,3 \text{ t/h} = 300 \text{ kg/h} = 0,0833 \text{ kg/s}$$

$$P = 3,78 \text{ Mpa}$$

$$T = 439^\circ \text{ C}$$

$$h_2 = 790,079 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{ejc} , menggunakan rumus dengan persamaan 3

$$Q_{\text{ejc}} = \dot{m}_2 \times h_2$$

Keterangan:

Q_{ejc} = Energi panas masuk ke *ejector*

m = Massa aliran uap masuk ke *ejector*

h_2 = Entalpi uap masuk ke *ejector*

$$\begin{aligned} Q_{\text{ejc}} &= \dot{m}_2 \times h_2 \\ &= 0,0833 \text{ kg/s} \times 790,079 \text{ kcal/kg} \\ &= 65,813 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

3. Analisis Data Energi Uap Masuk Extraksi Ke Proses Dalam Keadaan Tertutup

Data energi yang masuk ke ekstraksi:

$$m_{\text{steam}} = 0 \text{ t/h} = 0 \text{ kg/h} = 0 \text{ kg/s}$$

$$P = 3,67 \text{ Mpa}$$

$$T = 427 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 783,845 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{ext} , menggunakan rumus dengan persamaan 4

$$Q_{\text{ext}} = \dot{m}_3 \times h_3$$

Keterangan:

Q_{ext} = Energi panas masuk ke ekstraksi

m = Massa aliran uap masuk ke ekstraksi

h_3 = Entalpi uap masuk ke ekstraksi

$$Q_{\text{ext}} = \dot{m}_3 \times h_3$$

$$= 0 \text{ kg/s} \times 783,845 \text{ kcal/kg}$$

$$= 0 \text{ kcal/s}$$

4. Analisis Data Uap Masuk Ke Pemanas *Daerator*

Data energi yang masuk ke *daerator*:

$$m_{\text{steam}} = 7,2 \text{ t/h} = 7.200 \text{ kg/h} = 2 \text{ kg/s}$$

$$P = 0,254 \text{ Mpa}$$

$$T = 215 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_4 = 691,417 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{dae} , menggunakan rumus dengan persamaan 5

$$Q_{dae} = \dot{m}_4 \times h_4$$

Keterangan:

Q_{dae} = Energi panas masuk ke *daerator*

\dot{m} = Massa aliran uap masuk ke *daerator*

h_4 = Entalpi uap masuk ke *daerator*

$$\begin{aligned} Q_{dae} &= \dot{m}_4 \times h_4 \\ &= 2 \text{ kg/s} \times 691,417 \text{ kcal/kg} \\ &= 1.382,834 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

5. Analisis Data Uap Keluar Turbin Ke Kondensor

Data energi keluar dari turbin ke kondensor:

$$\dot{m}_{\text{steam}} = 27,7 \text{ t/h} = 27.700 \text{ kg/h} = 7,694 \text{ kg/s}$$

$$P = 0,74 \text{ Mpa}$$

$$T = 71 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_5 = 627,761 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{kond} , menggunakan rumus dengan persamaan 6

$$Q_{kond} = \dot{m}_5 \times h_5$$

Keterangan:

Q_{kond} = Energi panas keluar dari turbin ke kondensor

\dot{m} = Massa aliran uap masuk kondensor

h_5 = Entalpi uap masuk ke kondensor

$$\begin{aligned} Q_{kond} &= \dot{m}_5 \times h_5 \\ &= 7,694 \text{ kg/s} \times 627,761 \text{ kcal/kg} \\ &= 4.529,99 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan energi panas dari masing-masing unit, selanjutnya mencari nilai *turbin heat rate* menggunakan rumus dengan persamaan 1

$$\text{THR} = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1) - (\dot{m}_2 \times h_2) - (\dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_4 \times h_4) - (\dot{m}_5 \times h_5)}{PG}$$

$$\text{THR} = \frac{(Q1) - (Q2) - (Q3) - (Q4) - (Q5)}{PG}$$

$$\text{THR} = \frac{(7.648,53) - (65,813) - (0) - (1.382,83) - (4.529,99) \text{ kcal/s}}{5.100 \text{ kWh}}$$

$$\text{THR} = \frac{1.669,897 \text{ kcal/s}}{5.100 \text{ kWh}}$$

$$\text{THR} = \frac{6.011.629,2 \text{ kcal/h}}{5.100 \text{ kWh}}$$

$$\text{THR} = 1.178,75 \text{ kcal/kWh}$$

Setelah dilakukan perhitungan nilai entalpi total, nilai *turbin heat rate*, maka untuk perhitungan nilai efisiensi turbin menggunakan rumus persamaan 7

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{\dot{m}(h_2) + \dot{m}(h_3) + \dot{m}(h_4) + \dot{m}(h_5)}{\dot{m}(h_1)} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{(65,813) + (0) + (1.382,83) + (4.529,99) \text{ kcal/s}}{(7.648,53) \text{ kcal/s}} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{(5.978,633) \text{ kcal/s}}{(7.648,53) \text{ kcal/s}} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = 0,78 \times 100\%$$

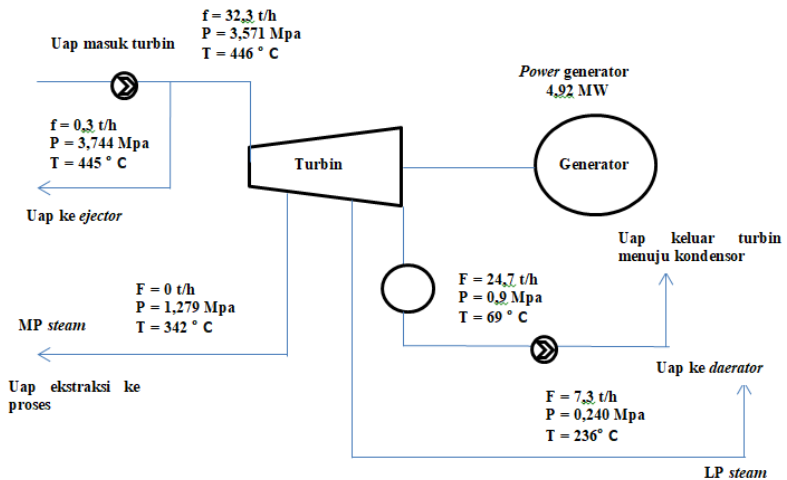
$$\eta \text{ Turbin} = 78 \%$$

4.2. Data Hasil Penelitian Sesudah *Maintenance*

Hasil dari penelitian pengambilan data berdasarkan *database Central Control Room (CCR)* didapatkan beberapa data pada turbin uap sebelum *maintenance* pada bulan November 2023 seperti pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Turbin Uap Sesudah *Maintenance*

Jenis turbin	Condensing
Masa aliran uap masuk turbin (\dot{m}_{turbin})	32,3 t/h
Tekanan uap masuk turbin (P_{turbin})	3,571 Mpa
Temperatur uap masuk turbin (T_{turbin})	446 ° C
Massa aliran uap masuk <i>ejector</i> (\dot{m}_{ejc})	0,3 t/h
Tekanan uap masuk <i>ejector</i> (P_{ejc})	3,744 Mpa
Temperatur uap masuk <i>ejector</i> (T_{ejc})	445 ° C
Massa aliran uap masuk ekstraksi (\dot{m}_{ext})	0 t/h
Tekanan uap masuk ekstraksi (P_{ext})	1,279 Mpa
Temperatur uap masuk ekstraksi (T_{ext})	342 ° C
Massa aliran uap masuk <i>daerator</i> (\dot{m}_{dae})	7,3 t/h
Tekanan uap masuk <i>daerator</i> (P_{dae})	0,240 Mpa
Temperatur uap masuk <i>daerator</i> (T_{dae})	236 ° C
Massa aliran uap masuk kondensor (\dot{m}_{kond})	24,7 t/h
Tekanan uap masuk kondensor (P_{kond})	0,9 Mpa
Temperatur uap masuk kondensor (T_{kond})	69 ° C
<i>Power generator</i> (PG)	4,92 MW = 4.920 kWh = 1175,1 kcal/s



Gambar 4.2 Diagram Turbin Uap

4.2.1. Analisis Performa Turbin Uap Sesudah *Maintenance*

Dari tabel 4.2 dapat diperoleh massa aliran, temperature, beserta tekanan uap masuk dan keluar.

1. Analisis Data Uap Masuk ke Turbin

Data energi masuk ke turbin:

$$m_{steam} = 32,3 \text{ t/h} = 32.300 \text{ kg/h} = 8,972 \text{ kg/s}$$

$$P = 3,571 \text{ Mpa}$$

$$T = 446 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 794,634 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{turbin} , menggunakan rumus dengan persamaan 1

$$Q_{\text{turbin}} = \dot{m}_1 \times h_1$$

Keterangan:

Q_{turbin} = Energi panas yang masuk ke turbin

m = Massa aliran uap masuk ke turbin

h_1 = Entalpi uap masuk ke turbin

$$\begin{aligned} Q_{\text{turbin}} &= \dot{m}_1 \times h_1 \\ &= 8,972 \text{ kg/s} \times 794,634 \text{ kcal/kg} \\ &= 7.129,63 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

2. Analisis Data Uap ke Ejector

Data energi masuk ke *ejector*:

$$m_{\text{steam}} = 0,3 \text{ t/h} = 300 \text{ kg/h} = 0,0833 \text{ kg/s}$$

$$P = 3,744 \text{ Mpa}$$

$$T = 445 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_2 = 793,507 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{ejc} , menggunakan rumus dengan persamaan 3

$$Q_{\text{ejc}} = \dot{m}_2 \times h_2$$

Keterangan:

Q_{ejc} = Energi panas masuk ke *ejector*

m = Massa aliran uap masuk ke *ejector*

h_2 = Entalpi uap masuk ke *ejector*

$$\begin{aligned} Q_{\text{ejc}} &= \dot{m}_2 \times h_2 \\ &= 0,0833 \text{ kg/s} \times 793,507 \text{ kcal/kg} \\ &= 66,1 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

3. Analisis Data Energi Uap Masuk Extraksi Ke Proses Dalam Keadaan Tertutup

Data energi yang masuk ke ekstraksi:

$$m_{\text{steam}} = 0 \text{ t/h} = 0 \text{ kg/h} = 0 \text{ kg/s}$$

$$P = 1,279 \text{ Mpa}$$

$$T = 342 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_3 = 748,487 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{ext} , menggunakan rumus dengan persamaan 4

$$Q_{\text{ext}} = \dot{m}_3 \times h_3$$

Keterangan:

Q_{ext} = Energi panas masuk ke ekstraksi

m = Massa aliran uap masuk ke ekstraksi

h_3 = Entalpi uap masuk ke ekstraksi

$$\begin{aligned} Q_{\text{ext}} &= \dot{m}_3 \times h_3 \\ &= 0 \text{ kg/s} \times 748,487 \text{ kcal/kg} \\ &= 0 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

4. Analisis Data Uap Extraksi Ke Pemanas *Daerator*

Data energi yang masuk ke *daerator*:

$$m_{\text{steam}} = 7,3 \text{ t/h} = 7.300 \text{ kg/h} = 2,0278 \text{ kg/s}$$

$$P = 0,24 \text{ Mpa}$$

$$T = 236 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_4 = 701,85 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{dae} , menggunakan rumus dengan persamaan 5

$$Q_{dae} = \dot{m}_4 \times h_4$$

Keterangan:

Q_{dae} = Energi panas masuk ke *daerator*

\dot{m} = Massa aliran uap masuk ke *daerator*

h_4 = Entalpi uap masuk ke *daerator*

$$\begin{aligned} Q_{dae} &= \dot{m}_4 \times h_4 \\ &= 2,0278 \text{ kg/s} \times 701,85 \text{ kcal/kg} \\ &= 1.458,44 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

5. Analisis Data Uap Keluar Turbin Ke Kondensor

Data energi keluar dari turbin ke kondensor:

$$\dot{m}_{steam} = 24,7 \text{ t/h} = 24.700 \text{ kg/h} = 6,86 \text{ kg/s}$$

$$P = 0,9 \text{ Mpa}$$

$$T = 69 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_5 = 626,944 \text{ kcal/kg}$$

(Nilai entalpi didapatkan dari *TLV calculator steam* dengan memasukkan nilai temperatur dan tekanan)

Maka untuk mencari Q_{kond} , menggunakan rumus dengan persamaan 6

$$Q_{kond} = \dot{m}_5 \times h_5$$

Keterangan:

Q_{kond} = Energi panas keluar dari turbin ke kondensor

\dot{m}_5 = Masa aliran uap masuk kondensor

h_5 = Entalpi uap masuk ke kondensor

$$\begin{aligned} Q_{kond} &= \dot{m}_5 \times h_5 \\ &= 6,86 \text{ kg/s} \times 626,944 \text{ kcal/kg} \\ &= 4.300,83 \text{ kcal/s} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan energi panas dari masing-masing unit, selanjutnya mencari nilai *turbin heat rate* ialah dengan menggunakan rumus dengan persamaan 1

$$\text{THR} = \frac{(\dot{m}_1 \times h_1) - (\dot{m}_2 \times h_2) - (\dot{m}_3 \times h_3) - (\dot{m}_4 \times h_4) - (\dot{m}_5 \times h_5)}{PG}$$

$$\text{THR} = \frac{(Q1) - (Q2) - (Q3) - (Q4) - (Q5)}{PG}$$

$$\text{THR} = \frac{(7.129,63) - (66,099) - (0) - (1.458,44) - (4.300,83) \text{ kcal/s}}{4.920 \text{ kWh}}$$

$$\text{THR} = \frac{1.304,261 \text{ kcal/s}}{4.920 \text{ kWh}}$$

$$\text{THR} = \frac{4.695.339,6 \text{ kcal/h}}{4.920 \text{ kWh}}$$

$$\text{THR} = 954,33 \text{ kcal/kWh}$$

Setelah dilakukan perhitungan nilai entalpi total, nilai *turbin heat rate* maka untuk perhitungan nilai efisiensi turbin menggunakan rumus persamaan 7

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{\dot{m}(h_2) + \dot{m}(h_3) + \dot{m}(h_4) + \dot{m}(h_5)}{\dot{m}(h_1)} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{(66,099) + (0) + (1.458,44) + (4.300,83) \text{ kcal/s}}{(7.129,63) \text{ kcal/s}} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = \frac{(5.825,36) \text{ kcal/s}}{(7.129,63) \text{ kcal/s}} \times 100\%$$

$$\eta \text{ Turbin} = 0,81 \times 100\%$$

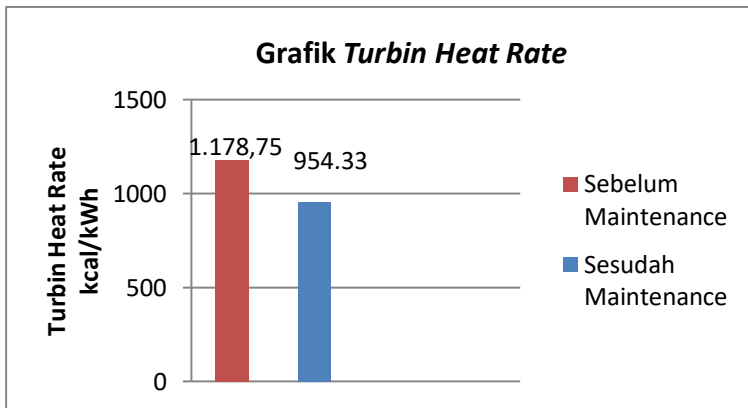
$$\eta \text{ Turbin} = 81 \%$$

4.3. Perbandingan Performa Turbin Uap Sebelum dan Sesudah *Maintenance*

Perhitungan performa turbin uap sebelum dan sesudah *maintenance* dapat kita lihat pada hasil perhitungan di Bab sebelumnya. Di dalam Bab tersebut dapat kita lihat perbedaan *turbin heat rate*, efisiensi turbin sebelum dan sesudah *maintenance*. Jika perbedaan tersebut kita sajikan dalam bentuk grafik hasilnya akan menjadi seperti Gambar 4.3 dan Gambar 4.4

4.3.1. Perbandingan *Turbin Heat Rate* Sebelum dan Sesudah *Maintenance*

Untuk mempermudah pembacaan kita bisa melihat perbedaan dari Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan *Turbin Heat Rate* Sebelum Dan Sesudah *Maintenance*

Dari Gambar 4.3, menunjukkan bahwa *turbin heat rate* pembangkit listrik mengalami penurunan signifikan setelah dilakukan *maintenance*. Penurunan sebesar 224,42 kcal/kWh atau sebesar 19,0% dari 1.178,75 kcal/kWh menjadi 954,33 kcal/kWh menunjukkan efektivitas langkah-langkah perawatan yang diimplementasikan. Penurunan ini secara langsung berkontribusi pada peningkatan efisiensi pembangkit listrik, yang dapat diinterpretasikan sebagai

penggunaan energi panas yang lebih efisien dalam menghasilkan energi listrik. Efisiensi yang lebih tinggi bukan hanya dapat meningkatkan kinerja operasional, tetapi juga berpotensi mengurangi dampak lingkungan melalui penggunaan bahan bakar yang lebih efisien. Hal ini menegaskan bahwa *maintenance* memainkan peran kunci dalam menjaga dan meningkatkan efisiensi pembangkit listrik. Oleh karena itu, langkah-langkah perawatan yang tepat dapat memberikan manfaat besar bagi industri pembangkit listrik, baik dari segi operasional maupun lingkungan.

Dampak dari tinggi dan rendahnya *turbin heat rate terhadap* performa turbin:

1. Biaya Operasional

- *Heat Rate* Tinggi: Efisiensi rendah berarti turbin harus bekerja lebih keras untuk menghasilkan daya yang sama. Hal ini mengakibatkan biaya operasional yang lebih tinggi, terutama dalam hal pemakaian bahan bakar.
- *Heat Rate* Rendah: Pembangkit listrik dengan *heat rate* rendah dapat mengurangi biaya operasional yang lebih rendah karena penggunaan bahan bakar yang lebih efisien.

2. Konsumsi Bahan Bakar

- *Heat Rate* Tinggi: *Heat rate* tinggi mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi untuk menghasilkan daya yang sama, menyebabkan biaya operasional lebih tinggi.
- *Heat Rate* Rendah: *Heat rate* yang rendah mengindikasikan konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit, yang dapat mengurangi biaya operasional dan meningkatkan ketersediaan daya listrik.

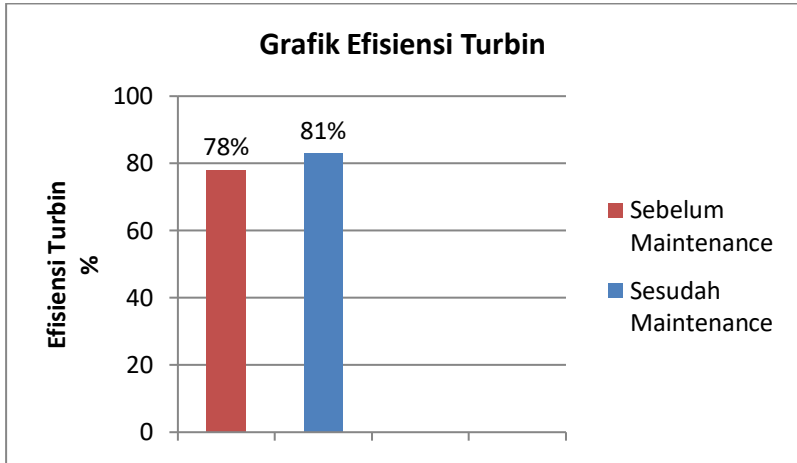
3. Emisi Gas Rumah Kaca

- *Heat Rate* Tinggi: Penggunaan bahan bakar yang lebih besar dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca dan polutan atmosfer, berpotensi merusak kualitas udara dan menyumbang pada perubahan iklim.
- *Heat Rate* Rendah: Penggunaan bahan bakar yang lebih efisien menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah, mendukung praktik pembangkit listrik yang lebih ramah lingkungan.

Meskipun nilai *turbin heat rate* rendah yang diinginkan, namun perlu dicatat bahwa keberhasilan turbin dan pembangkit listrik secara keseluruhan juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, seperti pemeliharaan yang baik, sistem kontrol efisien, dan manajemen operasional yang baik. Oleh karena itu, perlu dilakukannya *maintenance* dalam meningkatkan performa dan efisiensi pembangkit listrik.

4.3.2. Perbandingan Efisiensi Turbin Sebelum dan Sesudah *Maintenance*

Untuk mempermudah pembacaan kita bisa melihat perbedaan dari Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin Sebelum Dan Sesudah *Maintenance*

Dari Gambar 4.4, menunjukkan bahwa efisiensi turbin mencerminkan kemampuannya dalam mengonversi energi fluida menjadi energi mekanis. Dalam konteks efisiensi turbin sebelum dan sesudah *maintenance*, efisiensi adalah parameter kunci yang mengindikasikan seberapa efektif turbin dalam memanfaatkan energi yang dimasukkan. Sebelum *maintenance*, efisiensi turbin sebesar 78%, yang menggambarkan bahwa sekitar 78% dari energi fluida yang dimasukkan dapat diubah menjadi energi mekanis yang bermanfaat. Salah satu penurunan performa turbin uap disebabkan oleh beban kerja yang berlebihan akibat pengoperasian yang terus menerus. Perawatan turbin uap melalui *maintenance* penting dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin uap, meningkatkan kesiapan, keandalan dan efisiensi unit pembangkit dan menurunkan persentase pemeliharaan *emergency*.

Setelah dilakukan *maintenance*, efisiensi turbin meningkat menjadi 81%, mencerminkan perbaikan atau optimalisasi yang dilakukan pada turbin. Peningkatan efisiensi turbin setelah *maintenance* dapat diartikan sebagai hasil positif dari tindakan perawatan yang dilakukan. Hal ini bisa melibatkan

pembersihan komponen, penyetelan, atau perbaikan yang mengarah pada kinerja yang lebih baik.

Dengan efisiensi yang lebih tinggi, turbin dapat menghasilkan lebih banyak daya mekanis dengan menggunakan jumlah energi fluida yang sama atau bahkan lebih sedikit. Efisiensi yang lebih tinggi dalam turbin memiliki konsekuensi positif, termasuk potensial penghematan energi dan biaya operasional. Penggunaan energi yang lebih efisien dapat membantu meningkatkan kinerja keseluruhan pembangkit listrik, mendukung tujuan keberlanjutan, dan mengurangi dampak lingkungan. Dengan demikian, peningkatan efisiensi turbin setelah *maintenance* bukan hanya menciptakan kinerja yang lebih baik dalam menghasilkan energi mekanis, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan yang signifikan bagi sistem pembangkit listrik. Hal membuktikan pentingnya pemeliharaan teratur dalam menjaga dan meningkatkan efisiensi operasional suatu pembangkit.

Dampak dari tinggi dan rendahnya efisiensi turbin terhadap performa turbin:

1. Daya yang Dihasilkan

- Efisiensi Tinggi: Turbin dengan efisiensi tinggi dapat menghasilkan lebih banyak daya mekanis dari aliran fluida yang masuk. Ini mengarah pada peningkatan kapasitas daya dan ketersediaan daya yang lebih besar.
- Efisiensi Rendah: Turbin dengan efisiensi rendah menguah sebagian kecil dari energi fluida menjadi daya mekanik. Ini berarti bahwa daya yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan turbin yang lebih efisien.

2. Penggunaan Energi

- Efisiensi Tinggi: Turbin yang lebih efisien menggunakan energi fluida dengan lebih baik, menghasilkan lebih banyak daya mekanik dari jumlah energi yang masuk. Hal ini mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar.
- Efisiensi Rendah: Turbin dengan efisiensi rendah memerlukan lebih banyak energi untuk menghasilkan daya yang sama, yang dapat menyebabkan bahan bakar yang lebih tinggi dan biaya operasional yang lebih besar.

3. Efisiensi Bahan Bakar

- Efisiensi Tinggi: Turbin yang efisien memaksimalkan konversi energi bahan bakar menjadi daya mekanis. Hal ini dapat memaksimalkan efisiensi bahan bakar yang lebih baik, mengurangi emisi gas buang, dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan.

- Efisiensi Rendah: Turbin yang kurang efisien cenderung menghasilkan lebih banyak panas dan emisi, meningkatkan konsumsi bahan bakar dan dampak lingkungan negatif.

4. Respon Terhadap Beban

- Efisiensi Tinggi: Turbin yang lebih efisien dapat lebih cepat menyesuaikan dengan fluktuasi beban dan kecepatan. Hal ini memungkinkan operasi yang lebih stabil dan respons yang lebih baik terhadap perubahan keadaan.
- Efisiensi Rendah: Turbin dengan efisien rendah mungkin memiliki keterlambatan dalam menyesuaikan dengan perubahan beban, yang dapat mempengaruhi kestabilan sistem.

Oleh karena itu pentingnya *maintenance* terhadap efisiensi turbin memberikan keuntungan ekonomi dan lingkungan yang signifikan, sedangkan turbin yang kurang efisien cenderung menyebabkan biaya operasional yang lebih tinggi dan dampak lingkungan yang lebih besar.

Bab 5. Kesimpulan Dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dapat diambil kesimpulan mengenai *turbin heat rate* terhadap efisiensi yang dihasilkan turbin uap selama bulan November yakni sebelum dan sesudah *maintenance* adalah sebagai berikut:

1. Nilai *turbin heat rate* sebelum *maintenance* adalah 1.178,75 kcal/kWh sedangkan sesudah *maintenance* adalah 954,33 kcal/kWh. Dengan begitu maka *turbin heat rate* sesudah *maintenance* menunjukkan penurunan daripada *turbin heat rate* sebelum *maintenance* ialah sebesar 224,42 kcal/kWh.
2. Nilai efisiensi sebelum *maintenance* ialah 78% sedangkan sesudah *maintenance* ialah 81%. Dengan begitu Kenaikan efisiensi menunjukkan kenaikan sebesar 3%.
3. Dalam hal ini tinggi rendahnya efisiensi turbin dipengaruhi oleh nilai turbin *heat rate*. *Turbin heat rate* berbanding terbalik dengan efisiensi turbin, yang artinya semakin rendah nilai *turbin heat rate* maka nilai efisiensi turbin semakin baik.
4. Pentingnya dilakukan *maintenance* sehingga meningkatkan efisiensi dari turbin uap.

5.2. Saran

Penelitian yang dilakukan terhadap performa turbin dengan membandingkan nilai *turbin heat rate* dan efisiensi turbin sebelum dan sesudah *maintenance* pada PLTU PT. Ecogreen Oleochemicals Batam memberikan beberapa yang dapat dilanjutkan, yaitu:

1. Diharapkan peneliti selanjutnya dapat menganalisis konsumsi panas atau energi berdasarkan *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) yang merupakan laju *heat* yang masuk ke dalam siklus uap.
2. Meningkatkan pengawasan nilai *turbin heat rate* secara rutin sehingga konsumsi energi panas dari bahan bakar dapat ditekan sehingga performa turbin dapat dipertahankan.
3. Kegiatan *maintenance* harus selalu tetap dilakukan untuk mencapai performa terbaik mesin sehingga memberikan dampak positif terhadap kenaikan efisiensi termal pembangkit efisiensi dan kinerjanya tetap berjalan optimal.

Daftar Pustaka

- [1] P.Shlyakhin, TURBIN UAP (*STEAM TURBINES*) Teori dan Rancangan. JAKARTA: ERLANGGA, 1990.
- [2] Mahaputra, K. R., & Mursadin, A. (2021). Analisa Kinerja Turbin Uap Unit 3 Berdasarkan *Performance Test* Di Unit Pelaksana PT. PLN (Persero) Pembangunan Asam-Asam. *Rotary*, 3(1), 95-106.
- [3] Apriandi, R., & Mursadin, A. (2016). Analisis Kinerja Uap Berdasarkan *Performance Test* PLTU PT. Indocement P - 12 Tarjun. *Sjme Kinematika* 1(1), 37-46.
- [4] Jamaludin., & Kurniawan, I. (2016). Analisis Perhitungan Daya Turbin Yang Dihasilkan Dan Efisiensi Turbin Uap Pada Unit 1 Dan Unit 3 Di PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar.
- [5] Sunarwo., & Supriyo. (2015). Analisa *Heat Rate* Pada Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* PLTU Tanjung Jati B Unit 3. *Eksergi Jurnal Teknik Energi* 11(3), 61-68
- [6] Prastyo, E., & Damayanthie, i. (2022). Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Setelah Proses *Overhaul* di PT Pertamina Geothermal Energi Area Kamojang. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia* 6(1).
- [7] Anggara, G, P, R., & Sinaga, N. (2021). Analisa *Heat Rate* Pada Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* PLTU Banjarsari Unit #2 135 MW. *Jurnal Teknika* 15(1). 131-141.
- [8] Komarudin., Saputro, A., & Wahuningsih, E. (2020). Analisis Kenaikan *Plant Heat Rate* PLTU Sebelum Perbaikan Berkala Terhadap Kondisi Testing Komisioning (Studi Kasus : PLTU XX). *Bina Teknika* 16(1). 25-33.
- [9] Wahyudi, B. “ Analisa Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit” Skripsi, Universitas Negeri Medan, Medan 2019.
- [10] Novansyah, F., Hakim, L., & Zulfika, D, N. (2022). Analisa Efisiensi Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 7,5 MW. *Majamecha* 4(2). 110-115.

- [11] Alber, I, D., & Kiono, B, F, T. (2022). Analisa Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan, *Heat Rate* Dan Efisiensi Pada Unit 1 PLTU Kendari-3. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*. 1(3). 179-186.
- [12] Islami, I, A. (2022). Penerapan Preventive Maintenance Di PLTU Rembang. *Jurnal Energi Dan Manufaktur* 15 (1). 42-53
- [13] Yulia, F., Sofianita, F., Prayogo, K., & Nasruddin, N. (2021). Optimization Of Post Combustion CO₂ Absorption System Monoethanolamine (MEA) Based For 320 MW Coal-Fired Power Plant Application – Exergy And Exergoenvironmental Analysis. *Case Studies in Thermal Engineering*. 26. 101093
- [14] Marsudi, D. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik*. Erlangga.
- [15] Yusuf, M, S. (2014). *Analisa Performa Steam Turbine Item 61-101 JT Pada Bagian Ammonia-II Di PT. Pupuk Iskandar Muda*. *Mesin Sains Terapan* 2 (1).
- [16] Yudisaputro, H. (2010). *Turbin Heat Rate (THR) Batu Bara*.

Biodata Penulis



Nama : Yuni Natalia S
TTL : Batam, 22 Desember 2001
Agama : Katolik
Alamat : Perumahan Bukit Mangsang Indah Blok B1
No.12
Email : yuninatalia52@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMA : SMAS RK Serdang Murni Lubuk Pakam
SMP : SMP Negeri 2 Lubuk Pakam

Lampiran

Lampiran 1. Memperbaiki *castable* turbin



Lampiran 2. Penggantian *filler*



Lampiran 3. Penggantian *ejector oil tank*



Lampiran 4. Membersihkan jalur *oil cooler*



Lampiran 5. Repair icw pump A



Lampiran 6. Membersihkan ICW

