TUGAS AKHIR

ANALISIS *SPECIFIC STEAM CONSUMPTION* PADA TURBIN UAP KAPASITAS 1300 KW DI PT ADIBRATA UNGGUL JAYA

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh :

SANDI PRATAMA BUTAR-BUTAR
2207230030

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama	: Sandi Pratama Butar-butar
NPM	: 2207230030
Program Studi	: Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir	: Analisis *Specific Steam Consumption* pada Turbin Uap Kapasitas 1300 KW di PT Adibrata Unggul Jaya
Bidang Ilmu	: Manufaktur

Telah diperiksa oleh Dosen Pembimbing dan dinyatakan dapat dilanjutkan untuk mengikuti seminar hasil penelitian tugas akhir pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 07 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T	Chandra A Siregar, S.T., M.T
Dosen Penguji III	Program Studi Teknik Mesin Ketua
Dr. Munawar Alfasury Siregar, S.T.,M,T	Chandra A Siregar, S.T., M.T

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama Lengkap	: Sandi Pratama Butar-butar
Tempat/Tanggal Lahir	: Tebing Tinggi, 29 Desember 2003
NPM	: 2207230030
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul,

"Analisis Specific Steam Consumption pada Turbin Uap Kapasitas 1300 KW di PT Adibrata Unggul Jaya"

Bukan merupakan plagiarism, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan versifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 07 Agustus 2026

Saya, yang menyatakan



Sandi Pratama Butar-butar

ABSTRAK

Turbin uap merupakan peralatan utama dalam sistem pembangkit listrik yang berfungsi mengubah energi termal uap menjadi energi mekanik untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja turbin adalah *Specific Steam Consumption* (*SSC*), yaitu jumlah uap yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Nilai *SSC* yang tinggi menunjukkan penurunan efisiensi penggunaan energi uap sehingga meningkatkan konsumsi uap dan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai *SSC* aktual turbin uap berkapasitas 1300 kW di PT Adibrata Unggul Jaya, membandingkannya dengan nilai desain, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi peningkatan konsumsi uap. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan analisis termodinamika berdasarkan data operasi aktual turbin. Data primer diperoleh melalui pengukuran tekanan uap, temperatur uap, laju aliran massa uap, dan daya keluaran turbin, sedangkan data sekunder diperoleh dari spesifikasi desain turbin dan literatur pendukung. Nilai *SSC* dihitung berdasarkan perbandingan antara laju aliran massa uap dengan daya listrik yang dihasilkan, kemudian dibandingkan dengan nilai desain untuk mengevaluasi tingkat penyimpangan kinerja turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *SSC* aktual sebesar 6,00 kg/kWh, sedangkan SSC desain sebesar 5,70 kg/kWh, sehingga terjadi penyimpangan sebesar 5,26%. Konsumsi uap aktual mencapai 7.800 kg/jam, lebih tinggi 390 kg/jam dibandingkan kebutuhan berdasarkan desain. Peningkatan nilai *SSC* mengindikasikan adanya penurunan efisiensi pemanfaatan energi uap yang dipengaruhi oleh kerugian mekanis, kebocoran uap, fouling pada sudu turbin, penurunan efisiensi internal, serta ketidakakuratan instrumen pengukuran. Apabila nilai *SSC* dapat dikembalikan mendekati kondisi desain, potensi penghematan konsumsi uap diperkirakan mencapai 3.089 ton per tahun. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa turbin uap masih mampu beroperasi sesuai kapasitas desain sebesar 1300 kW, namun efisiensi penggunaannya mengalami penurunan yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai *SSC*. Oleh karena itu, diperlukan pemeliharaan preventif, inspeksi kebocoran uap, pembersihan komponen turbin, serta pemantauan nilai *SSC* secara berkala untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan operasi turbin.

Kata kunci: *Specific Steam Consumption*, turbin uap, efisiensi energi, konsumsi uap, kinerja turbin.

ABSTRACT

A steam turbine is one of the primary components in a power generation system that converts the thermal energy of steam into mechanical energy to produce electrical power. One of the key parameters used to evaluate turbine performance is Specific Steam Consumption (SSC), which represents the amount of steam required to generate 1 kWh of electricity. A high SSC value indicates a decrease in steam utilization efficiency, resulting in higher steam consumption and increased operating costs. This study aims to determine the actual SSC of a 1300 kW steam turbine at PT Adibrata Unggul Jaya, compare it with the design SSC, and identify the factors contributing to the increase in steam consumption. This research employed a quantitative descriptive method using a thermodynamic analysis approach based on the turbine's actual operating data. Primary data were obtained from measurements of steam pressure, steam temperature, steam mass flow rate, and turbine power output, while secondary data were collected from the turbine design specifications and relevant literature. The SSC value was calculated by comparing the steam mass flow rate with the electrical power output and then compared with the design value to evaluate the turbine performance deviation.
The results showed that the actual SSC was 6.00 kg/kWh, while the design SSC was 5.70 kg/kWh, indicating a deviation of 5.26%. The actual steam consumption reached 7,800 kg/h, which was 390 kg/h higher than the design requirement. The increase in SSC indicates a reduction in steam energy utilization efficiency, which is influenced by mechanical losses, steam leakage, fouling on turbine blades, a decrease in internal efficiency, and measurement instrument inaccuracies. If the SSC can be restored close to its design value, the potential steam savings are estimated to reach 3,089 tons per year. Based on the findings, it can be concluded that the steam turbine is still capable of operating at its design capacity of 1300 kW. However, its operational efficiency has decreased, as indicated by the increase in the SSC value. Therefore, preventive maintenance, steam leakage inspection, turbine component cleaning, and periodic SSC monitoring are recommended to improve the turbine's efficiency and operational reliability.

Keywords*: Steam turbine, Specific Steam Consumption (SSC), turbine efficiency, steam consumption, power generation*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb

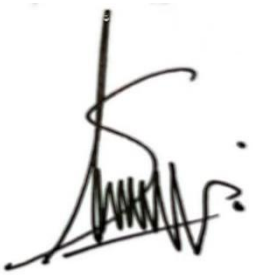
Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada :

1. Bapak Dr. Munawar A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ir. Ade Faisal, S.T.,M.Sc,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik-mesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis : Charles M.T Butar-butar dan Nining Suhartini yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Keluarga penulis : Claudia Ade Fadilla Butar-butar yang telah mendukung penulis sampai berada di tingkat Pendidikan sarjana ini.
8. Sahabat penulis : Riszki Yunda Pratama, Syahrul Prayoga, Dimas Aditia, S.P, Muhammad Fahreza dan Fahmi Prayoga Nasution selaku sahabat penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 07 Agustus 2026



Sandi Pratama Butar-butar

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
HALAMAN PENGESAHAN ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PROPOSAL TUGAS AKHIR iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xii

BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Ruang Lingkup 2
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Turbin Uap 4
2.2 Klasifikasi Turbin Uap 5
2.3 Komponen Turbin Uap 6
2.3.1 Komponen Utama Turbin Uap 6
2.3.2 Komponen-komponen Pendukung Turbin Uap 7
2.4 Prinsip Kerja Turbin Uap 9
2.5 *Specific Steam Consumption* 11
2.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Uap 11
2.7 Perbandingan Desain dan Perbandingan Aktual 12
2.7.1 Perbandingan Desain 12
2.7.2 Perbandingan Aktual 14

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Tempat dan Waktu 17
3.1.1 Tempat Penelitian 17
3.1.2 Waktu Penelitian 17
3.2 Data yang Diperlukan 17
3.2.1 Data Primer 18
3.2.2 Data Sekunder 18
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 18
3.3.1 Alat Penelitian 19
3.3.2 Bahan Penelitian 20
3.4 Metodologi Penelitian 20
3.5 Diagram Alir 21
3.6 Prosedur Penelitian 22

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN **23**
4.1 *Analisa Specific Steam Consumption* (SSC) 23
4.2 Analisis perbandingan *SSC Aktual* dan *SSC Desain* 23
4.3 Analisis Hasil 24
4.4 Analisis Faktor Penyebab Meningkatnya Konsumsi Uap 26
4.5 Implikasi Terhadap Efisiensi Energi 27
4.6 Ringkasan Hasil Pembahasan 30
4.7 Kegiatan Efisiensi Peningkatan Kinerja Turbin 34

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN **39**
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 39

DAFTAR PUSTAKA **40**
LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR **40**
Lampiran 1. Hasil Penelitian **40**
Lampiran 2. SK Pembimbing
Lampiran 3. Daftar Evaluasi Seminar
Lampiran 4. Daftar Hadir Seminar
Lampiran 5. Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian 17
Tabel 3. 2 Data Parameter Turbin 17
Tabel 3. 3 Alat Penelitian 18
Tabel 4. 1 Data yang digunakan 23
Tabel 4. 2 Tabel Peningkatan Kinerja Turbin 30
Tabel 4. 3 Perbandingan *SSC Desain dan SSC Aktual* 30
Tabel 4. 4 Tabel sesivitas SSC 32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin uap (Zakina, 2023) 4
Gambar 2. 2 Reverse blade (PT Adibrata) 6
Gambar 2. 3 Nozzle (PT Adibrata) 6
Gambar 2. 4 Rotor wheel (PT Adibrata) 7
Gambar 2. 5 Flanger (PT Adibrata) 7
Gambar 2. 6 Bearing (PT Adibrata) 8
Gambar 2. 7 Pin Trip U-lock (PT Adibrata) 8
Gambar 3. 1 Preassure gauge 19
Gambar 3. 2 Thermocouple 19
Gambar 4. 1 Grafik perbandingan kebutuhan steam 28
Gambar 4. 2 Target Peningkatan Kinerja Turbin Melalui Penurunan SSC 29
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan *SSC Desain* dan *SSC Aktual* 31
Gambar 4. 4 Proses Pembukaan *Casing* Turbin 34
Gambar 4. 5 Pemeriksaan dan Pembersihan Komponen Turbin 35
Gambar 4. 6 Pemasangan Rotor Turbin 36
Gambar 4. 7 *Upper Casing* 37

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SSC	*Specific Steam Consumption*
n_t	Efisiensi *Isentropik*
h_1	Entalpi Uap Masuk
h_2	Entalpi Uap Keluar
m_s	Laju Aliran Massa Uap Masuk
P_o	Daya Listrik

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Turbin uap merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem pembangkit tenaga yang berfungsi mengubah energi termal dari uap menjadi energi mekanik, yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Kinerja turbin uap sangat dipengaruhi oleh kondisi dan karakteristik uap yang digunakan, antara lain tekanan, temperatur, serta laju aliran uap. Salah satu parameter penting dalam menilai efisiensi kerja turbin uap adalah spesifikasi konsumsi uap (*steam consumtion specification)* (Ramadhan, 2023).

Spesifikasi konsumsi uap menunjukkan jumlah uap yang diperlukan oleh turbin untuk menghasilkan daya tertentu dalam satuan waktu. Parameter ini umumnya dinyatakan dalam satuan kilogram uap per kilowatt-jam (kg/kWh) atau pound uap per tenaga kuda/jam (lb/hp·h). Nilai konsumsi uap yang lebih rendah menandakan bahwa turbin memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi, karena energi yang terkandung dalam uap dimanfaatkan secara optimal untuk menghasilkan daya mekanik.

Pemahaman terhadap spesifikasi konsumsi uap sangat penting dalam proses perancangan, pengoperasian, maupun evaluasi kinerja sistem turbin uap. Dengan mengetahui hubungan antara konsumsi uap dan daya keluaran, operator dapat mengoptimalkan penggunaan energi, menekan biaya bahan bakar, serta meminimalkan kerugian energi akibat proses termodinamika yang tidak efisien. Selain itu, spesifikasi ini juga berperan penting dalam menentukan kapasitas peralatan pendukung seperti boiler, kondensor, dan sistem perpipaan uap .

Perkembangan industri manufaktur dan pengolahan saat ini menuntut ketersediaan energi yang andal, efisien, dan berkelanjutan. Salah satu sumber energi yang masih banyak digunakan dalam sektor industri adalah energi uap, khususnya melalui pemanfaatan turbin uap sebagai penggerak utama pembangkit listrik internal. Turbin uap memiliki peranan penting dalam mengonversi energi panas dari uap menjadi energi mekanik, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator.

PT Adibrata Unggul Jaya sebagai perusahaan industri memanfaatkan turbin uap berkapasitas 1300 kW untuk memenuhi kebutuhan energi listrik operasional. Dalam pengoperasiannya, efisiensi turbin uap menjadi faktor krusial karena berpengaruh langsung terhadap konsumsi uap, biaya operasional, serta kinerja keseluruhan sistem pembangkit. Salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensi turbin uap adalah *Specific Steam Consumption (SSC)*, yaitu jumlah uap yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya listrik.

Nilai SSC yang tinggi mengindikasikan bahwa sistem bekerja kurang efisien, sehingga menyebabkan pemborosan energi dan meningkatnya biaya produksi. Sebaliknya, nilai SSC yang rendah menunjukkan pemanfaatan energi uap yang lebih optimal. Oleh karena itu, analisis terhadap Specific Steam Consumption pada turbin uap menjadi penting untuk mengetahui tingkat efisiensi aktual turbin, mengidentifikasi potensi penyimpangan kinerja, serta sebagai dasar dalam upaya peningkatan efisiensi energi.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan analisa spesific consumption yang menganalisis Specific Steam Consumption pada turbin uap berkapasitas 1300 kW di PT Adibrata Unggul Jaya guna memperoleh gambaran kinerja turbin serta memberikan rekomendasi perbaikan yang dapat meningkatkan efisiensi operasional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapakah nilai *Specific Steam Consumption* (*SSC)* aktual turbin uap 1300 kW?
2. Bagaimana perbandingan *SSC* aktual dengan *SSC* desain?
3. Faktor apa saja yang memengaruhi perubahan nilai *SSC*?

1.3 Ruang Lingkup

1. Analisis hanya mencakup aspek termodinamika turbin uap, tidak termasuk analisis performa boiler, sistem perpipaan, atau generator secara mendalam.

2. Data yang digunakan adalah data aktual operasi turbin pada beberapa kondisi beban, dibandingkan dengan data spesifikasi desain pabrikan.
3. Perhitungan efisiensi difokuskan pada efisiensi isentropik dan perbandingan *SSC*, tanpa melakukan simulasi *CFD* (*Computational Fluid Dynamics*) atau analisis *transien*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai *SSC* turbin uap kapasitas 1300 kW.
2. Menganalisis penyimpangan *SSC* aktual terhadap desain.
3. Mengidentifikasi faktor penyebab meningkatnya konsumsi uap.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain :

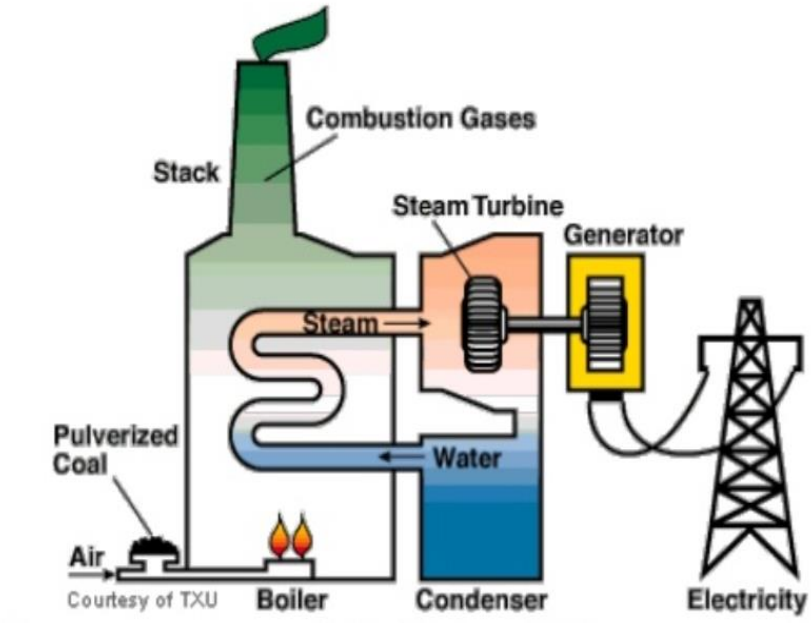
1. Bagi pihak operasional dan teknisi : Sebagai bahan evaluasi untuk mengetahui kondisi aktual kinerja turbin dan dasar dalam melakukan perawatan atau optimasi sistem.
2. Bagi manajemen perusahaan : Sebagai acuan dalam pengambilan keputusan terkait efisiensi energi dan penghematan biaya operasional.
3. Bagi akademisi dan peneliti : Sebagai referensi dalam penelitian lebih lanjut mengenai analisis performa dan efisiensi turbin uap.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi potensial dan kinetik dari uap air menjadi energi mekanik rotasi pada poros turbin. Energi mekanik ini kemudian digunakan untuk menggerakkan generator listrik atau peralatan mekanis lainnya. Prinsip dasar kerja turbin uap adalah memanfaatkan ekspansi uap bertekanan tinggi melalui deretan sudu-sudu tetap (*nozzle*) dan sudu-sudu gerak (*rotor blade*) sehingga menghasilkan gaya dorong yang memutar poros turbin.

Turbin uap digunakan secara luas dalam berbagai sektor industri, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pabrik gula, pabrik kelapa sawit, kilang minyak, dan industri kimia, karena kemampuannya menghasilkan energi besar dengan efisiensi tinggi dan keandalan yang baik.



Gambar 2. 1 Turbin uap (Zakina, 2023)

2.2 Klasifikasi Turbin Uap

Turbin uap di klasifikasikan menjadi beberapa kriteria, yaitu :

1. Berdasarkan arah aliran uap :
   a. Turbin aksi (*Impulse Turbine*), energi kinetik uap diubah di nozzle dan menghasilkan gaya pada sudu gerak. Contohnya : Turbin Pelton atau turbin *Curtis*.
   b. Turbin reaksi (*Reaction Turbine*), energi kinetik dan tekanan uap berubah di sepanjang sudu tetap dan sudu gerak. Contohnya, turbin *parsons*.
2. Berdasarkan tahapan ekspansi :
   a. Turbin tekanan tunggal (*Single-stage*), hanya memiliki satu tingkat sudu tetap dan sudu gerak.
   b. Turbin multi-tahap (*Multi-stage*), memiliki beberapa tingkat sudu tetap dan sudu gerak, untuk memanfaatkan ekspansi uap secara bertahap agar lebih efisien.
3. Berdasarkan fungsi dan aplikasi :
   a. Turbin *condensing*, mengalirkan uap keluar ke kondensor pada tekanan rendah untuk memperoleh energi maksimal.
   b. Turbin *back pressure*, mengeluarkan uap buang pada tekanan tertentu untuk digunakan kembali dalam proses industri.
   c. Turbin ekstraksi (*Extraction turbine*), mengambil sebagian uap pada titik tertentu untuk keperluan pemanasan atau proses lainnya (Cengel & Boles, 2015).

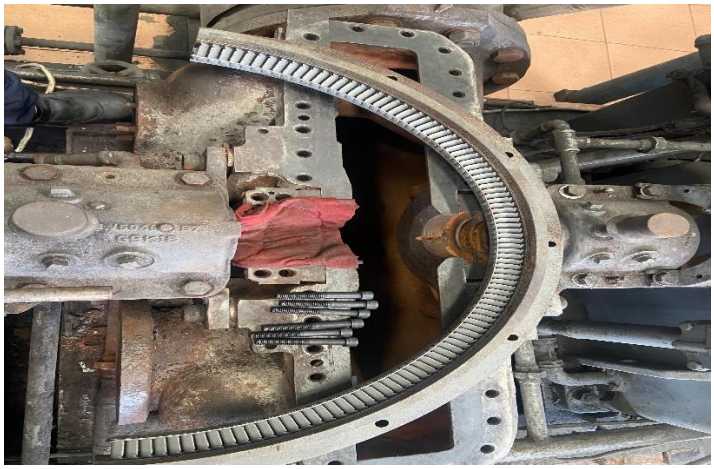
2.3 Komponen Turbin Uap

Turbin uap memiliki beberapa komponen utama dan komponen pendukung yang berkaitan dalam proses kerja turbin.

2.3.1 Komponen Utama Turbin Uap

1. *Reverse Blade*

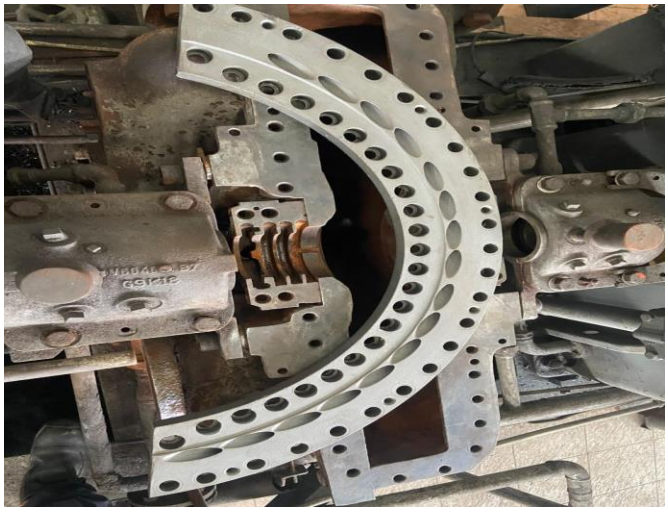
   Bagian ini merupakan sudu yang dipasang berlawanan arah dari arah normal aliran fluida untuk menghasilkan gaya dan torsi berlawanan (rem, dorong balik, kontrol aliran).



Gambar 2. 2 Reverse blade (PT Adibrata)

2. *Nozzle*

   Bagian ini merupakan bagian paling penting yang ada pada turbin uap karena berfungsi mengubah energi tekanan (*enthalpy*) uap menjadi energi kinetik.



Gambar 2. 3 Nozzle (PT Adibrata)

3. *Rotor Wheel*

   Rotorwheel merupakan sudu dan cakram yang bersama-sama mengubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik rotasi.



Gambar 2. 4 Rotor wheel (PT Adibrata)

2.3.2 Komponen-komponen Pendukung Turbin Uap

1. *Flanger*

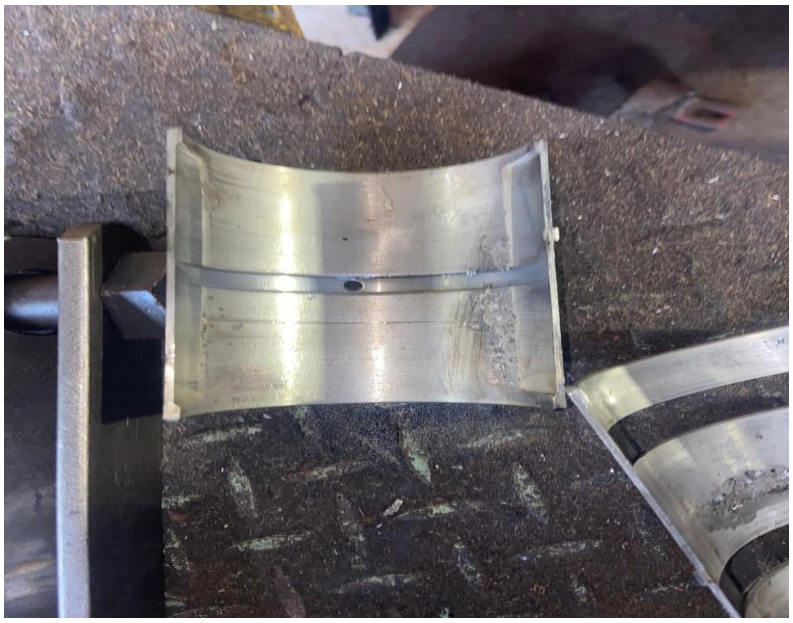
   Flanger merupakan komponen berbentuk pelat bundar dengan lubang baut di sekelilingnya, yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian pipa atau komponen mesin secara mekanis dan menyediakan sambungan yang bisa dibongkar-pasang.



Gambar 2. 5 Flanger (PT Adibrata)

2. *Bearing*

   Merupakan bantalan komponen mekanis yang menopang poros (shaft) dan memungkinkan poros berputar dengan gesekan seminimal mungkin, sambil menjaga posisi dan keseimbangan rotor.



Gambar 2. 6 Bearing (PT Adibrata)

3. Pin Trip U-lock

   Komponen mekanis yang ikut menjamin proteksi turbin ketika terjadi kecepatan *over-speed* (putaran terlalu tinggi).



Gambar 2. 7 Pin Trip U-lock (PT Adibrata)

2.4 Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip kerja turbin uap didasarkan pada hukum kekekalan energi. Uap bertekanan tinggi dari boiler diarahkan ke turbin melalui katup kontrol dan nozzle. Saat uap melewati *nozzle*, energi panas dan tekanannya diubah menjadi energi kinetik. Uap berkecepatan tinggi ini kemudian menabrak sudu-sudu turbin, menyebabkan sudu berputar dan menghasilkan energi mekanik rotasi.

Secara umum, proses konversi energi pada turbin uap dapat dijelaskan sebagai berikut :

a Energi termal uap → energi kinetik (di *nozzle*).

b Energi kinetik uap → energi mekanik rotasi (di sudu gerak).

c Energi mekanik → energi listrik (melalui generator).

Dalam sistem pembangkit tenaga uap, uap dihasilkan oleh boiler melalui proses pemanasan air hingga mencapai kondisi jenuh atau *superheated*. Uap yang memiliki tekanan dan temperatur tinggi dialirkan menuju turbin melalui pipa utama dan katup pengatur (*main stop valve dan control valve*). Katup ini berfungsi mengatur jumlah aliran uap yang masuk ke turbin sesuai dengan kebutuhan beban. Pengaturan aliran uap sangat penting untuk menjaga kestabilan putaran turbin serta mempertahankan daya keluaran yang diinginkan.

Setelah melewati katup pengatur, uap memasuki nozzle. Nozzle merupakan komponen yang berfungsi mengubah sebagian besar energi tekanan (*pressure energy*) menjadi energi kecepatan (*kinetic energy*). Penampang *nozzle* yang semakin mengecil menyebabkan kecepatan aliran uap meningkat secara signifikan, sedangkan tekanannya menurun. Proses ini merupakan proses ekspansi yang menghasilkan aliran uap berkecepatan tinggi untuk menggerakkan sudu-sudu turbin.

Uap berkecepatan tinggi kemudian diarahkan menuju sudu gerak (*moving blade*) yang terpasang pada rotor. Ketika uap mengenai permukaan sudu, terjadi perubahan momentum aliran uap sehingga timbul gaya dorong pada sudu. Gaya tersebut menghasilkan torsi yang menyebabkan rotor dan poros turbin berputar. Semakin besar perubahan momentum uap, semakin besar pula gaya yang diterima sudu sehingga daya yang dihasilkan turbin meningkat.

Pada turbin impuls, seluruh penurunan tekanan terjadi di dalam nozzle, sedangkan tekanan uap pada sudu gerak relatif konstan. Sebaliknya, pada turbin reaksi, penurunan tekanan terjadi baik pada sudu tetap maupun sudu gerak sehingga proses ekspansi berlangsung secara bertahap. Kedua jenis turbin tersebut memiliki karakteristik operasi yang berbeda, namun sama-sama memanfaatkan perubahan energi uap untuk menghasilkan putaran poros.

Selama proses ekspansi berlangsung, tekanan dan temperatur uap akan terus menurun dari sisi masuk menuju sisi keluar turbin. Penurunan tekanan ini menunjukkan bahwa sebagian energi termal uap telah berhasil dikonversi menjadi energi mekanik. Apabila proses ekspansi berlangsung secara ideal (*isentropik*), maka kehilangan energi sangat kecil sehingga efisiensi turbin menjadi tinggi. Akan tetapi, pada kondisi operasi nyata selalu terjadi rugi-rugi akibat gesekan, turbulensi aliran, kebocoran uap, perpindahan panas ke lingkungan, dan hambatan mekanis pada bantalan maupun poros. Kerugian tersebut menyebabkan energi yang dapat dimanfaatkan menjadi lebih kecil dibandingkan kondisi ideal.

Energi mekanik yang dihasilkan oleh poros turbin diteruskan ke generator melalui sistem kopling (*coupling*). Generator kemudian mengubah energi mekanik menjadi energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Stabilitas putaran poros sangat menentukan frekuensi dan kualitas energi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, sistem governor digunakan untuk mengontrol bukaan katup uap sehingga kecepatan putaran turbin tetap konstan meskipun terjadi perubahan beban.

Kinerja turbin uap dipengaruhi oleh berbagai parameter operasi, seperti tekanan uap masuk, temperatur uap masuk, tekanan buang, laju aliran massa uap, serta kondisi mekanis turbin. Tekanan dan temperatur uap yang lebih tinggi akan meningkatkan kandungan entalpi uap sehingga energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi kerja mekanik semakin besar. Sebaliknya, apabila tekanan uap masuk menurun atau tekanan buang meningkat, maka energi yang dapat diekstraksi dari uap akan berkurang sehingga efisiensi turbin mengalami penurunan.

Selain kondisi operasi, kualitas uap juga sangat memengaruhi performa turbin. Uap yang berada pada kondisi *superheated* lebih disukai dibandingkan uap jenuh karena memiliki kandungan energi yang lebih tinggi dan mampu mengurangi

pembentukan butiran air selama proses ekspansi. Keberadaan butiran air pada kecepatan tinggi dapat menyebabkan erosi pada sudu turbin sehingga mempercepat keausan komponen dan menurunkan efisiensi sistem.

Dalam penelitian ini, turbin uap yang digunakan memiliki tekanan masuk sebesar 21 bar dan temperatur masuk sebesar 300°C, sehingga uap berada pada kondisi superheated. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas uap yang masuk ke turbin masih sesuai untuk menghasilkan proses ekspansi yang baik. Oleh karena itu, apabila nilai Specific Steam Consumption (SSC) meningkat dibandingkan kondisi desain, maka penyebab utama lebih besar kemungkinan berasal dari faktor internal turbin, seperti kebocoran uap, penurunan efisiensi isentropik, fouling pada nozzle dan sudu, kerugian mekanis, atau ketidakakuratan instrumen pengukuran, bukan karena kualitas uap masuk yang buruk. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan nilai SSC aktual sebesar 6,00 kg/kWh, lebih tinggi dibandingkan nilai desain 5,70 kg/kWh, sehingga mengindikasikan adanya penurunan efisiensi pemanfaatan energi uap selama proses operasi.

2.5 *Specific Steam Consumption*

Specific Steam Consumption (*SSC*) adalah parameter penting yang digunakan untuk menilai efisiensi penggunaan uap pada turbin. SSC menunjukkan banyaknya uap (dalam kilogram) yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh (Cengel & Boles, 2015).

dimana,

$$SSC = \frac{3600}{n_t.(h_1 - h_2)}$$

atau,

$$SSC = \frac{\Delta h.m_s}{P_e}$$

2.6 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Uap

Beberapa faktor yang dapat memengaruhi konsumsi uap pada turbin uap antara lain :

1. Kondisi uap masuk : Tekanan dan temperatur yang tidak sesuai spesifikasi dapat menurunkan efisiensi ekspansi.

2. Tekanan buang : Semakin rendah tekanan buang (pada turbin *condensing*), maka energi yang dihasilkan semakin besar.
3. Kondisi operasi beban : Operasi di bawah beban nominal sering menyebabkan penurunan efisiensi.
4. Kehilangan energi (*losses*) : Termasuk kebocoran uap, gesekan mekanis, dan kerugian panas.
5. Kondisi perawatan : Kotoran pada sudu, ausnya bantalan, atau kerusakan seal dapat menurunkan performa turbin.

2.7 Perbandingan Desain dan Perbandingan Aktual

2.7.1 Perbandingan Desain

Perbandingan desain merupakan kondisi parameter ideal atau kondisi pabrikan. Parameter ini biasanya tercantum dalam dokumentasi desain (manual pabrik / spesifikasi alat) dan menjadi standar acuan performa mesin.

Dalam kondisi desain, turbin diasumsikan beroperasi pada parameter optimal tanpa kerugian besar karena keausan, kerusakan, atau kondisi lingkungan yang tidak ideal. Dengan kata lain, desain adalah target performa mesin sebelum operasional nyata. Berikut merupakan contoh parameter desain turbin :

- Tekanan uap masuk
- Temperatur uap
- *Backpressure* (tekanan buang)
- *Flow* uap desain
- Daya keluaran desain
- *Specific Steam Consumption (SSC*) desain

Nilai desain (*design performance*) merupakan nilai acuan yang ditetapkan oleh produsen turbin uap berdasarkan hasil perancangan, analisis termodinamika, simulasi, dan pengujian performa sebelum turbin dioperasikan secara komersial. Nilai desain menggambarkan kondisi operasi optimum yang diharapkan dapat dicapai oleh turbin apabila seluruh komponen bekerja sesuai spesifikasi dan tidak mengalami kerusakan maupun penurunan performa. Oleh karena itu, nilai desain dijadikan sebagai standar dalam mengevaluasi kinerja turbin selama masa operasinya.

Dalam suatu turbin uap, nilai desain meliputi berbagai parameter penting, seperti daya keluaran (output power), tekanan uap masuk, temperatur uap masuk, tekanan uap keluar, laju aliran massa uap, efisiensi turbin, putaran poros, serta Specific Steam Consumption (SSC). Semua parameter tersebut saling berkaitan dan menjadi dasar dalam menentukan apakah turbin masih bekerja sesuai spesifikasi atau telah mengalami penurunan kinerja.

Pada tahap perancangan, produsen melakukan perhitungan berdasarkan hukum-hukum termodinamika dan mekanika fluida untuk memperoleh kondisi operasi yang paling efisien. Tekanan dan temperatur uap dirancang sedemikian rupa agar menghasilkan energi kinetik yang mampu menggerakkan sudu turbin secara maksimal. Selain itu, bentuk nozzle, profil sudu, diameter rotor, dan sistem kontrol dirancang agar kerugian energi akibat gesekan maupun turbulensi dapat diminimalkan. Dengan demikian, nilai desain mencerminkan kondisi ideal yang menjadi target performa selama turbin dioperasikan.

Nilai desain juga menjadi acuan utama dalam proses commissioning atau uji awal setelah instalasi turbin selesai dilakukan. Pada tahap ini, seluruh parameter operasi dibandingkan dengan spesifikasi pabrikan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan rancangan. Apabila hasil pengujian menunjukkan nilai yang mendekati nilai desain, maka turbin dinyatakan layak untuk dioperasikan. Sebaliknya, apabila terdapat penyimpangan yang signifikan, maka perlu dilakukan pemeriksaan terhadap instalasi, sistem perpipaan, maupun komponen internal turbin.

Dalam praktiknya, nilai desain tidak selalu dapat dipertahankan selama umur operasi turbin. Seiring bertambahnya jam operasi, berbagai faktor seperti keausan komponen, korosi, erosi sudu, fouling pada nozzle, kebocoran uap, serta perubahan kondisi operasi akan menyebabkan performa turbin mengalami penurunan. Oleh karena itu, nilai desain berfungsi sebagai standar pembanding untuk mengetahui sejauh mana perubahan performa yang terjadi selama turbin digunakan.

Pada penelitian mengenai Specific Steam Consumption (SSC), nilai desain memiliki peranan yang sangat penting karena menunjukkan jumlah konsumsi uap minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya tertentu pada kondisi ideal.

Nilai SSC yang rendah menunjukkan bahwa turbin mampu memanfaatkan energi uap secara efisien. Sebaliknya, apabila nilai SSC aktual lebih besar daripada nilai desain, maka hal tersebut mengindikasikan bahwa turbin memerlukan konsumsi uap yang lebih banyak untuk menghasilkan daya yang sama. Kondisi tersebut menandakan adanya penurunan efisiensi sistem yang perlu dianalisis lebih lanjut.

Selain digunakan untuk mengevaluasi efisiensi, nilai desain juga menjadi dasar dalam penyusunan program pemeliharaan (maintenance). Perbandingan antara nilai operasi dengan nilai desain dapat digunakan untuk mendeteksi secara dini adanya penyimpangan performa sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius. Dengan demikian, tindakan perawatan dapat dilakukan lebih cepat sehingga umur pakai turbin menjadi lebih panjang dan biaya operasional dapat ditekan.

Secara keseluruhan, nilai desain merupakan parameter acuan yang sangat penting dalam pengoperasian turbin uap. Melalui perbandingan antara kondisi desain dan kondisi operasi aktual, perusahaan dapat menilai tingkat efisiensi, keandalan, serta kondisi kesehatan turbin secara menyeluruh. Oleh karena itu, setiap penyimpangan dari nilai desain harus dianalisis secara berkala agar performa turbin tetap berada pada kondisi optimum dan konsumsi uap dapat dipertahankan pada tingkat yang efisien.

2.7.2 Perbandingan Aktual

Perbandingan aktual merupakan nilai atau kondisi nyata yang diukur dilapangan, bukan asumsi atau teori yang digunakan. Parameter aktual dipengaruhi oleh banyak faktor di lapangan, seperti:

a. Penurunan tekanan steam dari boiler
b. Turbulensi aliran uap
c. Backpressure yang tidak stabil
d. *Fouling* / deposit pada sudu turbin
e. Kerugian mekanis (friksi *bearing,* kebocoran, dsb.)
f. Variasi beban operasi

Data aktual ini mencerminkan performa riil turbin saat digunakan, bukan nilai target desain.

Nilai aktual (*actual performance*) merupakan nilai kinerja turbin uap yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran langsung pada saat turbin beroperasi di lapangan. Berbeda dengan nilai desain yang diperoleh dari hasil perancangan dan pengujian pabrikan pada kondisi ideal, nilai aktual menggambarkan kondisi nyata dari sistem selama proses operasi. Oleh karena itu, nilai aktual dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional, kondisi lingkungan, serta kondisi mekanis peralatan yang telah mengalami penggunaan dalam jangka waktu tertentu.

Pengukuran nilai aktual dilakukan dengan mengamati parameter-parameter operasi turbin, seperti tekanan uap masuk, temperatur uap masuk, tekanan uap keluar, laju aliran massa uap, putaran poros, daya keluaran generator, serta konsumsi uap yang digunakan selama proses pembangkitan energi. Data-data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung parameter performa, salah satunya adalah Specific Steam Consumption (SSC). Nilai SSC aktual menunjukkan jumlah uap yang benar-benar dibutuhkan oleh turbin untuk menghasilkan energi listrik sebesar satu kilowatt-jam pada kondisi operasi yang sedang berlangsung.

Dalam kondisi operasi nyata, nilai aktual hampir selalu berbeda dengan nilai desain. Perbedaan tersebut merupakan hal yang wajar karena selama pengoperasian turbin terjadi berbagai kerugian energi yang tidak diperhitungkan secara penuh pada saat perancangan. Kerugian tersebut dapat berupa gesekan pada bantalan (bearing), kebocoran uap pada sistem perpipaan maupun gland seal, penumpukan kerak (fouling) pada nozzle dan sudu turbin, penurunan kualitas uap, perubahan beban operasi, hingga penurunan efisiensi akibat usia pemakaian peralatan. Faktor-faktor tersebut menyebabkan kemampuan turbin dalam mengubah energi panas menjadi energi mekanik menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi ideal.

Nilai aktual juga dipengaruhi oleh kestabilan sistem pendukung, seperti boiler, kondensor, pompa air pengisi (*feed water pump*), sistem pelumasan, dan sistem kontrol. Apabila salah satu sistem tersebut tidak bekerja secara optimal, maka performa turbin akan ikut menurun. Sebagai contoh, penurunan tekanan uap dari boiler akan mengurangi energi yang tersedia untuk proses ekspansi, sedangkan menurunnya kinerja kondensor akan meningkatkan tekanan buang turbin sehingga selisih tekanan selama proses ekspansi menjadi lebih kecil. Kedua kondisi tersebut menyebabkan turbin memerlukan konsumsi uap yang lebih besar untuk

menghasilkan daya yang sama. Kenaikan nilai SSC aktual dibandingkan nilai desain mengindikasikan adanya penurunan efisiensi konversi energi pada turbin. Meskipun daya keluaran masih dapat dipertahankan sesuai kebutuhan operasi, peningkatan konsumsi uap menunjukkan bahwa sebagian energi panas yang terkandung dalam uap tidak berhasil dimanfaatkan secara optimal menjadi energi mekanik. Kondisi ini akan berdampak pada meningkatnya konsumsi bahan bakar boiler, biaya operasional yang lebih tinggi, serta menurunnya efisiensi sistem pembangkit secara keseluruhan.

Oleh karena itu, pemantauan nilai aktual secara berkala sangat penting sebagai bagian dari evaluasi kinerja turbin. Dengan membandingkan nilai aktual terhadap nilai desain, operator dapat mengetahui tingkat penyimpangan performa, mengidentifikasi penyebab penurunan efisiensi, serta menentukan tindakan pemeliharaan yang diperlukan. Evaluasi ini juga menjadi dasar dalam penyusunan program preventive maintenance dan predictive maintenance, sehingga keandalan turbin dapat dipertahankan dan konsumsi uap tetap berada pada tingkat yang efisien.

Secara keseluruhan, nilai aktual memberikan gambaran nyata mengenai kondisi operasi turbin uap. Semakin kecil perbedaan antara nilai aktual dan nilai desain, maka semakin baik kinerja turbin. Sebaliknya, apabila selisih kedua nilai semakin besar, hal tersebut menjadi indikasi bahwa turbin mengalami penurunan performa sehingga diperlukan evaluasi teknis dan tindakan perbaikan untuk mengembalikan efisiensi sistem mendekati kondisi desain.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada unit turbin uap dengan kapasitas 1300 kW yang beroperasi di PT Adibrata Unggul Jaya.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama 09 September 2024 - 09 September 2025, mencakup tahapan pengumpulan data, analisis, dan evaluasi hasil.

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul						
2	Studi literature						
3	Analisa data						
4	Penulisan tugas akhir						
5	Sidang tugas akhir						

3.2 Data yang Diperlukan

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder :

Tabel 3. 2 Data Parameter Turbin

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Daya keluaran turbin	P	1300	kW
Tekanan uap masuk	P_1	21	bar
Temperatur uap masuk	T_1	300	°C
Tekanan uap keluar	P_2	2.5	bar
Efisiensi *isentropic* turbin	η_t	0.8	-

3.2.1 Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil pengukuran langsung dan observasi di lapangan, antara lain :

1. Tekanan uap masuk turbin (bar)
2. Temperatur uap masuk turbin (°C)
3. Tekanan uap buang (bar)
4. Temperatur uap buang (°C)
5. Laju aliran massa uap (kg/jam)
6. Daya listrik keluaran turbin (kW)

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis pabrikan, laporan operasional, dan literatur pendukung, meliputi :

1. Spesifikasi desain turbin uap 1300 kW
2. Nilai efisiensi isentropik turbin (desain)
3. Standar konsumsi uap dari pabrikan (kg/kWh)

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Untuk memperoleh data yang akurat, penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Alat Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	*Pressure gauge*	Mengukur tekanan uap masuk dan keluar turbin
2	*P'Thermocouple* / Thermometer digital	Mengukur temperatur uap masuk dan buang
3	*Flowmeter* uap	Mengukur laju aliran massa uap
4	*Wattmeter* atau panel kontrol generator	Mengukur daya keluaran listrik turbin

3.3.1 Alat Penelitian

‘Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. *Preassure gauge*

   Preassure gauge merupakan alat yang digunakan untuk memantau tekanan uap di berbagai titik dalam sistem turbin, seperti *inlet steam, exhaust/outlet, boiler* atau pipa utama uap.



Gambar 3. 1 *Preassure* gauge (PT Adibrata)

2. *Thermocouple*

   Thermocouple terdiri dari dua logam berbeda (misalnya tembaga dan konstantan, atau nikel-kromium dan nikel-alumel) yang ujungnya disambungkan menjadi satu titik yang disebut *junction.*



Gambar 3. 2 Thermocouple

3. *Flow meter* uap

   Flow meter pada turbin uap adalah alat ukur laju aliran (*flow rate*) uap di dalam pipa yang mengalir menuju atau keluar dari turbin.

4. *Watermeter*

   Watermeter merupakan alat untuk mengukur kesesuaian air yang masuk pada turbin.

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data spesifikasi turbin dan data operasi turbin beroperasi dalam jangka waktu tertentu.

3.4 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah penelitian secara umum meliputi tahapan berikut :

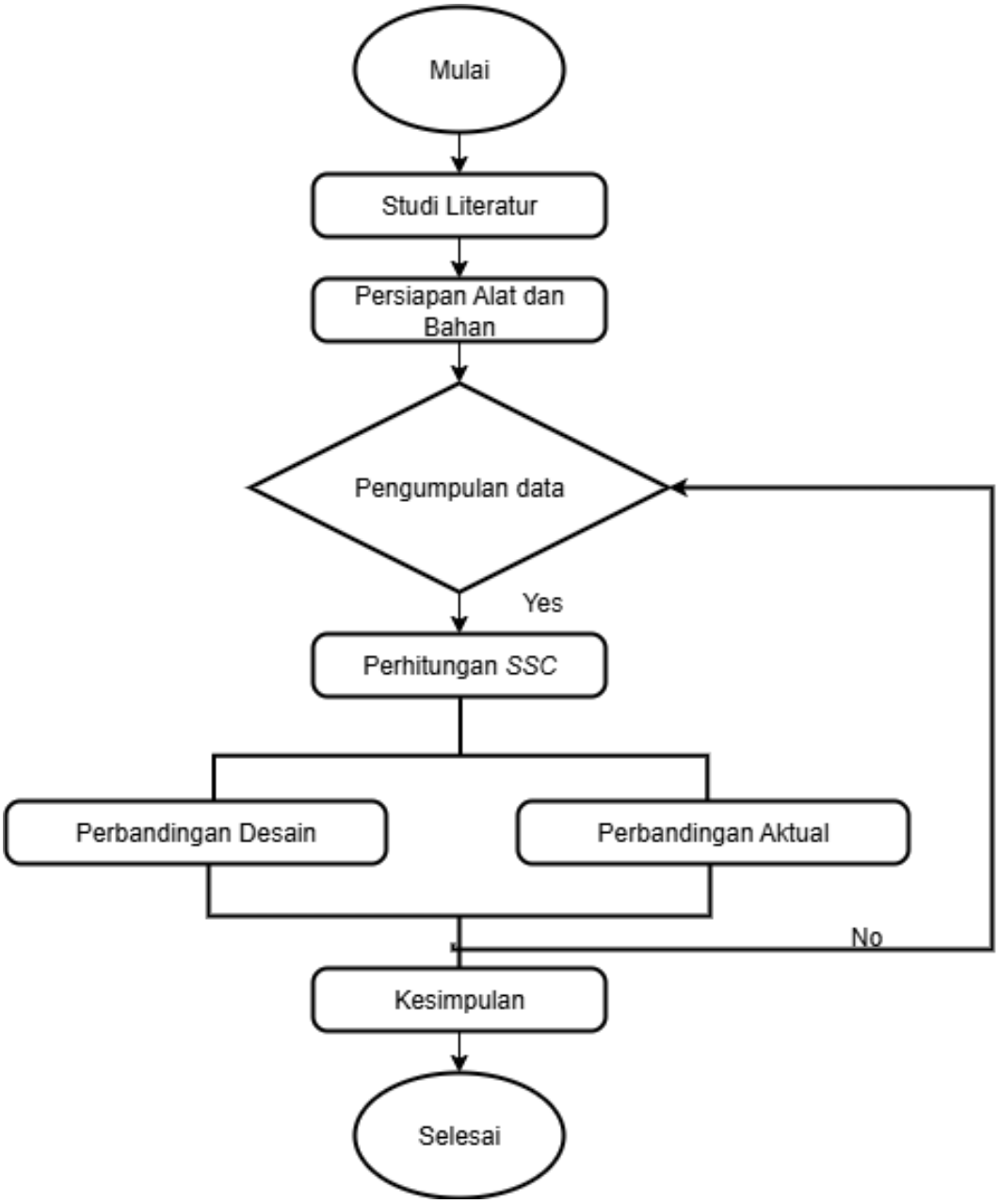
1. Studi Literatur

Melakukan kajian teori dari buku, jurnal, dan dokumen pabrikan terkait prinsip kerja turbin uap, parameter operasi, dan rumus perhitungan konsumsi uap (*SSC*).

2. Pengumpulan Data

Mengambil data tekanan, temperatur, laju aliran uap, dan daya keluaran turbin saat beroperasi pada beban nominal (1300 kW) serta beberapa variasi beban lainnya.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3. 3 Diagram Alir

3.6 Prosedur Penelitian

Data yang telah diperoleh dianalisis menggunakan metode perbandingan parameter termodinamika. Langkah-langkah analisis sebagai berikut :

1. Menghitung entalpi uap masuk dan keluar menggunakan tabel uap berdasarkan data tekanan dan temperatur.
2. Menghitung daya teoritis turbin.
3. Menghitung *Specific Steam Consumption* (*SSC*) aktual.
4. Membandingkan *SSC* aktual dengan *SSC* desain untuk menilai performa turbin.
5. Menarik kesimpulan tentang efisiensi aktual dan memberikan rekomendasi perbaikan sistem.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Analisa Specific Steam Consumption* (SSC)

Data yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 1 Data yang digunakan

Parameter	Nilai	Satuan
Daya Turbin	1300	kW
Laju Aliran Uap	7800	kg/jam
Tekanan Masuk	21	bar
Temperatur Masuk	300	°C
Tekanan Keluar	2,5	bar

Rumus:

$$SSC = \frac{m}{P}$$

Perhitungan:

SSC = = 6,00 *kg/kWh*

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh diperlukan konsumsi uap sebesar 6 kg. Nilai SSC ini digunakan sebagai indikator utama efisiensi pemanfaatan energi uap pada turbin. Pada tekanan 21 bar, temperatur jenuh (saturation temperature) uap sekitar 212–215 °C. Karena temperatur aktual masuk adalah 300 °C, maka:

Superheat = 300-214 ≈ 86°

4.2 Analisis perbandingan *SSC Aktual* dan *SSC Desain*

Nilai turbin sejenis (*desain*) = 5,70 kg/kWh

Nilai aktual = 6,00 kg/kWh

Selisih *SSC :*

Persentase penyimpangan:

$$\frac{6{,}00 - 5{,}70}{5{,}70} 100\% = 5{,}26\%$$

Jika *steam* aktual tetap 7800 kg/jam tetapi *SSC* kembali ke desain:

$\frac{7800}{5{,}70} = 1368\ Kw$

Daya saat ini:

= 1300 kW

Opportunity loss:

$= 1368 - 1300 = 68\ Kw$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsumsi uap aktual lebih tinggi sebesar 5,26% dibandingkan kondisi desain. Kenaikan nilai *SSC* mengindikasikan bahwa efisiensi pemanfaatan energi uap mengalami penurunan dibandingkan kondisi ideal yang ditetapkan oleh pabrikan.

Perbedaan antara kondisi aktual dan kondisi desain merupakan hal yang umum terjadi pada peralatan yang telah beroperasi dalam jangka waktu tertentu. Selama pengoperasian, berbagai kerugian energi akan muncul sehingga performa aktual tidak dapat mencapai performa desain secara penuh.

4.3 Analisis Hasil

Nilai *Specific Steam Consumption* (*SSC*) yang diperoleh sebesar 6,00 kg/kWh. Artinya untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh dibutuhkan konsumsi uap sekitar 6 kg. SSC merupakan indikator efisiensi penggunaan uap pada turbin. Semakin kecil nilai *SSC*, semakin baik kinerja turbin.

Berdasarkan referensi turbin *back pressure* dengan kapasitas sekitar 1–2 MW, nilai *SSC* desain umumnya berada pada kisaran 5,70 kg/kWh. Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan sebesar 6,00 kg/kWh, terdapat penyimpangan sekitar 5,26%. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi uap aktual lebih tinggi dibandingkan kondisi desain.

Peningkatan nilai *SSC* dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti penurunan tekanan dan temperatur uap masuk, kerugian mekanis pada bearing dan poros, kebocoran uap pada sistem perpipaan, kondisi sudu turbin yang mengalami fouling atau keausan, serta variasi beban operasi yang tidak selalu berada pada kondisi nominal.

Meskipun demikian, nilai *SSC* sebesar 6,00 kg/kWh masih berada dalam rentang operasi normal turbin industri kapasitas 1300 kW. Perbaikan sistem

pemeliharaan dan pengendalian parameter operasi berpotensi menurunkan konsumsi uap dan meningkatkan efisiensi energi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa *SSC* turbin sebesar 6,00 kg/kWh. Nilai tersebut lebih tinggi dari nilai desain 5,70 kg/kWh dengan penyimpangan 5,26%. Faktor utama yang memengaruhi peningkatan *SSC* adalah kualitas uap masuk, kerugian mekanis, kebocoran uap, dan variasi beban operasi.

Analisis *Steam Waste Index*

Steam yang terbuang karena kenaikan *SSC*:

= 390 kg/jam

Persentasenya terhadap total *steam*:

$$\frac{390}{7800}100 = 5{,}26\%$$

4.4 Analisis Faktor Penyebab Meningkatnya Konsumsi Uap

Tujuan ketiga penelitian adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan meningkatnya konsumsi uap pada turbin.

Berdasarkan hasil analisis dan teori yang telah dijelaskan pada Bab II, terdapat beberapa faktor yang memengaruhi peningkatan nilai *SSC.*

1. Kondisi Uap Masuk

   Tekanan dan temperatur uap masuk sangat menentukan besarnya energi yang tersedia pada turbin. Apabila tekanan atau temperatur uap mengalami penurunan dari kondisi desain maka energi yang terkandung dalam uap akan berkurang sehingga diperlukan jumlah uap yang lebih besar untuk menghasilkan daya yang sama.

2. Penurunan Efisiensi Isentropik

   Efisiensi isentropik turbin yang tidak mencapai 100% menunjukkan adanya kerugian selama proses ekspansi uap. Pada penelitian ini efisiensi isentropik sebesar 80%, sehingga sebagian energi uap hilang dalam bentuk rugi-rugi termodinamika. Akibatnya energi yang dapat diubah menjadi kerja mekanik menjadi lebih kecil dan konsumsi uap meningkat.

3. Kerugian Mekanis

   Kerugian mekanis berasal dari gesekan antara poros dan bantalan (bearing), ketidakseimbangan rotor, serta kerugian pada sistem transmisi daya. Kerugian

   ini menyebabkan sebagian energi yang dihasilkan turbin tidak dapat dimanfaatkan oleh generator.

4. Kebocoran Uap

   Kebocoran pada flange, valve, packing, maupun sambungan pipa menyebabkan sebagian uap keluar dari sistem sebelum dimanfaatkan oleh turbin. Kehilangan massa uap tersebut akan meningkatkan nilai SSC.

5. Kondisi Sudu Turbin

   Sudu turbin yang mengalami keausan, korosi, atau penumpukan deposit akan menurunkan efisiensi aliran uap. Akibatnya proses konversi energi kinetik uap menjadi energi mekanik tidak berlangsung secara optimal.

6. Variasi Beban Operasi

Turbin dirancang untuk bekerja paling efisien pada beban nominal. Ketika turbin beroperasi di bawah kapasitas desain, efisiensi akan menurun sehingga konsumsi uap per satuan daya menjadi lebih besar.

4.5 Implikasi Terhadap Efisiensi Energi

Semakin tinggi nilai *SSC* maka semakin besar kebutuhan uap untuk menghasilkan energi listrik yang sama. Kondisi tersebut akan meningkatkan beban boiler, konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional. Oleh karena itu SSC dapat digunakan sebagai indikator evaluasi performa energi secara berkala.

a. Dampak terhadap Konsumsi

Uap Pada daya tetap 1300 kW:

Kebutuhan steam desain 5,70 x 1300 = 7410 kg/jam Kebutuhan steam aktual 6,00 x 1300 = 7800 kg/jam

Selisih :

7800 - 7410 = 390 kg/jam

Artinya terdapat kelebihan konsumsi steam 390 kg/jam.

b. Dampak terhadap boiler

Boiler harus menghasilkan steam tambahan sebesar:

≈ 390 kg/jam

Implikasinya:

- Konsumsi bahan bakar meningkat.
- Beban boiler bertambah.
- Efisiensi sistem pembangkit secara keseluruhan menurun.
- Potensi peningkatan emisi CO_2dan gas buang.

c. Dampak Tahunan

Jika turbin beroperasi:

24 jam/hari

330 hari/tahun

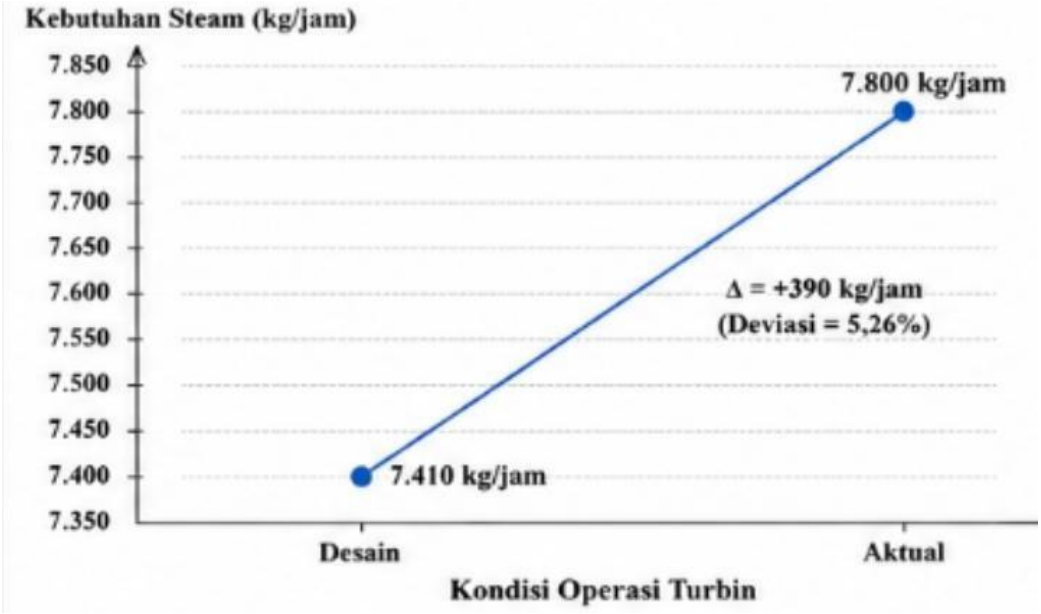
Steam

tambahan:

= 390 x 24 x 330.390 x 24 x 330 = 3.089.000 kg/tahun

≈ 3.089 ton steam/tahun.

Artinya sekitar 3.089 ton steam per tahun digunakan di luar kebutuhan desain.



Gambar 4. 1 Grafik perbandingan kebutuhan steam

Interpretasi

Titik Desain = 7.410 kg/jam

Titik Aktual = 7.800 kg/jam

Kenaikan = 390 kg/jam

Deviasi = 5,26%

Grafik menunjukkan bahwa kebutuhan steam pada kondisi desain adalah 7.410 kg/jam, sedangkan pada kondisi aktual meningkat menjadi 7.800 kg/jam. Terjadi kenaikan kebutuhan steam sebesar 390 kg/jam atau sekitar 5,26% dibandingkan kondisi desain.

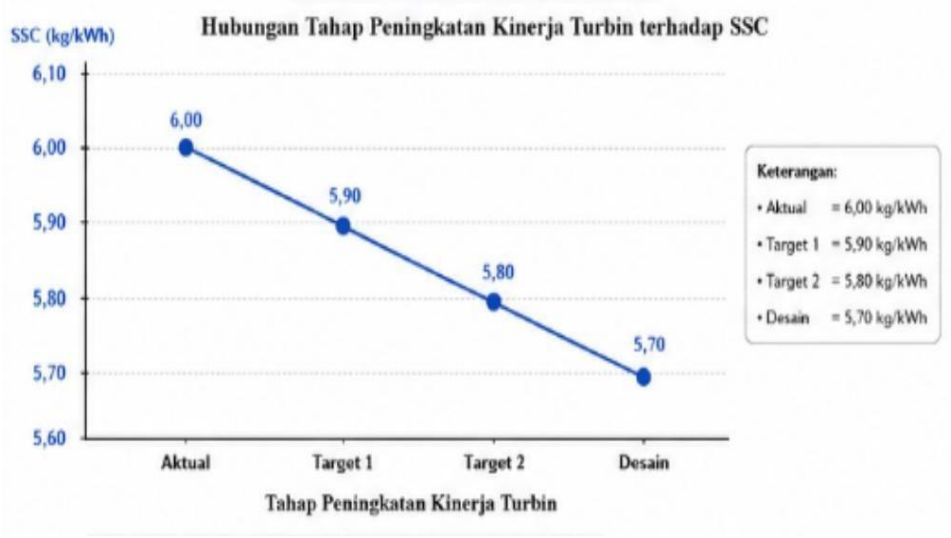
Peningkatan kebutuhan steam tersebut menunjukkan bahwa turbin memerlukan suplai steam yang lebih besar untuk menghasilkan daya keluaran yang sama, yaitu 1.300 kW. Hal ini mengindikasikan adanya penurunan efisiensi kinerja turbin akibat meningkatnya konsumsi steam selama operasi. Semakin besar

kebutuhan steam untuk menghasilkan daya yang sama, maka semakin rendah efisiensi sistem pembangkit dan semakin besar beban kerja boiler. 4.6 Upaya Peningkatan Kinerja Turbin

Beberapa langkah yang dapat dilakukan yaitu menjaga stabilitas tekanan dan temperatur uap, membersihkan sudu turbin secara berkala, memeriksa kondisi seal dan bearing, serta mengoperasikan turbin sedekat mungkin dengan beban nominal. Dengan deviasi SSC sebesar 5,26%, fokus utama sebaiknya pada:

- Pemeriksaan kebocoran steam (quick win).
- Inspeksi nozzle dan sudu turbin.
- Evaluasi tekanan buang/back pressure.
- Kalibrasi flow meter dan power meter.
- Monitoring tren SSC secara berkala.

Jika SSC dapat dikembalikan dari 6,00 menjadi 5,70 kg/kWh, konsumsi steam dapat berkurang sekitar 390 kg/jam, yang berpotensi menghemat lebih dari 3.000 ton steam per tahun.



Gambar 4. 2 Target Peningkatan Kinerja Turbin Melalui Penurunan SSC

Grafik menunjukkan perubahan nilai SSC pada setiap tahap peningkatan kinerja turbin, yaitu Aktual (6,00 kg/kWh), Target 1 (5,90 kg/kWh), Target 2 (5,80 kg/kWh), hingga mencapai kondisi Desain (5,70 kg/kWh).

Terlihat adanya *tren* penurunan nilai *SSC* secara bertahap. Penurunan ini menunjukkan bahwa setiap tahap perbaikan yang dilakukan mampu meningkatkan

efisiensi turbin. Semakin rendah nilai *SSC*, semakin sedikit steam yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik, sehingga konsumsi steam menjadi lebih efisien dan biaya operasional dapat ditekan.

Selain itu, penurunan *SSC* dari 6,00 menjadi 5,70 kg/kWh memberikan potensi penghematan steam hingga 390 kg/jam, yang berdampak pada berkurangnya konsumsi bahan bakar boiler serta meningkatnya efisiensi keseluruhan sistem pembangkit.

Grafik menunjukkan bahwa peningkatan kinerja turbin dicapai dengan menurunkan nilai *SSC*:

Tabel 4. 2 Tabel Peningkatan Kinerja Turbin

Tahap	SSC (kg/kWh)	Penghematan Steam
Aktual	6,00	-
Target 1	5,90	130 kg/jam
Target 2	5,80	260 kg/jam
Desain	5,70	390 kg/jam

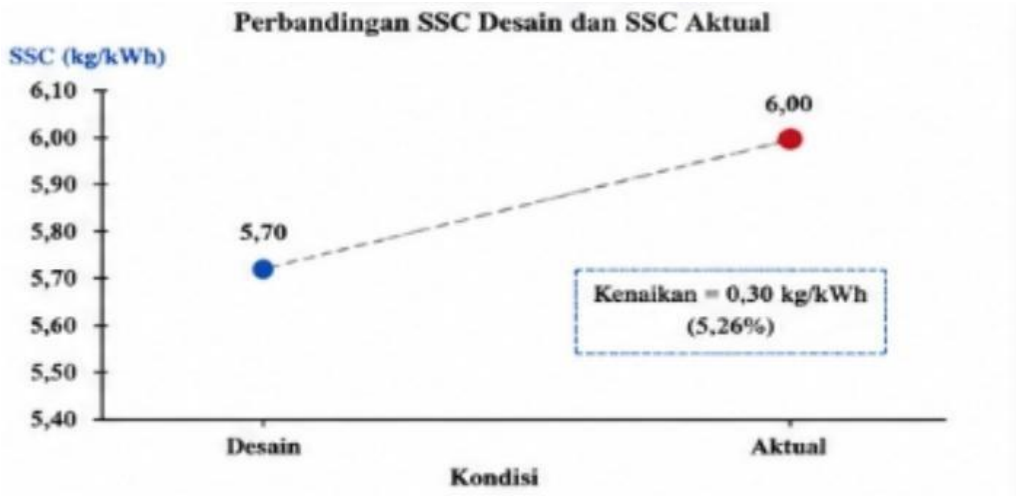
Apabila SSC berhasil turun dari 6,00 menjadi 5,70 kg/kWh, konsumsi steam dapat berkurang 390 kg/jam tanpa mengurangi daya keluaran 1300 kW, sehingga efisiensi keseluruhan sistem boiler–turbin meningkat secara signifikan.

4.6 Ringkasan Hasil Pembahasan

Analisis menunjukkan bahwa SSC aktual sebesar 6,00 kg/kWh masih tergolong baik, namun lebih tinggi daripada kondisi desain. Hal ini mengindikasikan adanya potensi penghematan energi apabila faktor-faktor penyebab rugi-rugi dapat diminimalkan.

Tabel 4. 3 Perbandingan *SSC Desain dan SSC Aktual*

Parameter	Desain	Aktual
SSC (kg/kWh)	5,70	6,00
Daya (kW)	1300	1300
Tekanan Masuk (bar)	21	21
Tekanan Keluar (bar)	2,5	2,5



Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan *SSC Desain* dan *SSC Aktual*

Grafik memperlihatkan bahwa nilai *Steam Specific Consumption* (*SSC*) pada kondisi desain sebesar 5,70 kg/kWh, sedangkan pada kondisi aktual meningkat menjadi 6,00 kg/kWh. Terjadi kenaikan sebesar 0,30 kg/kWh atau sekitar 5,26%.

Kenaikan nilai *SSC* menunjukkan bahwa jumlah steam yang dibutuhkan untuk menghasilkan setiap 1 kWh energi listrik menjadi lebih besar dibandingkan kondisi desain. Dengan demikian, efisiensi termal turbin mengalami penurunan karena konsumsi *steam* meningkat tanpa adanya peningkatan daya keluaran.

- *SSC Desain* = 5,70 kg/kWh
- *SSC Aktual* = 6,00 kg/kWh
- *Deviasi* = +5,26%
- Kelebihan konsumsi uap ≈ 390 kg/jam dibanding kondisi desain pada daya 1300 kW.

Setiap kenaikan *SSC* sebesar:

= 0,1 kg/kWh

Pada daya:

= 1300 kW

akan menambah steam:

1300 × 0,11300 × 0,1=130 kg/jam

Tabel 4. 4 Tabel sesivitas SSC

SSC	*Steam Flow* (kg/jam)
5,70	7410
5,80	7540
5,90	7670
6,00	7800

Berdasarkan hasil analisis kinerja turbin uap dengan daya keluaran 1300 kW, laju aliran uap 7800 kg/jam, tekanan masuk 21 bar, temperatur masuk 300°C, dan tekanan keluar 2,5 bar, diperoleh nilai Steam Specific Consumption (SSC) aktual sebesar 6,00 kg/kWh. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan SSC desain sebesar 5,70 kg/kWh, sehingga terjadi deviasi sebesar 0,30 kg/kWh atau 5,26%.

Kenaikan SSC menunjukkan bahwa turbin memerlukan konsumsi uap yang lebih besar untuk menghasilkan daya yang sama dibandingkan kondisi desain. Pada beban 1300 kW, kebutuhan steam berdasarkan desain adalah 7410 kg/jam, sedangkan kondisi aktual mencapai 7800 kg/jam, sehingga terdapat kelebihan konsumsi steam sebesar 390 kg/jam.

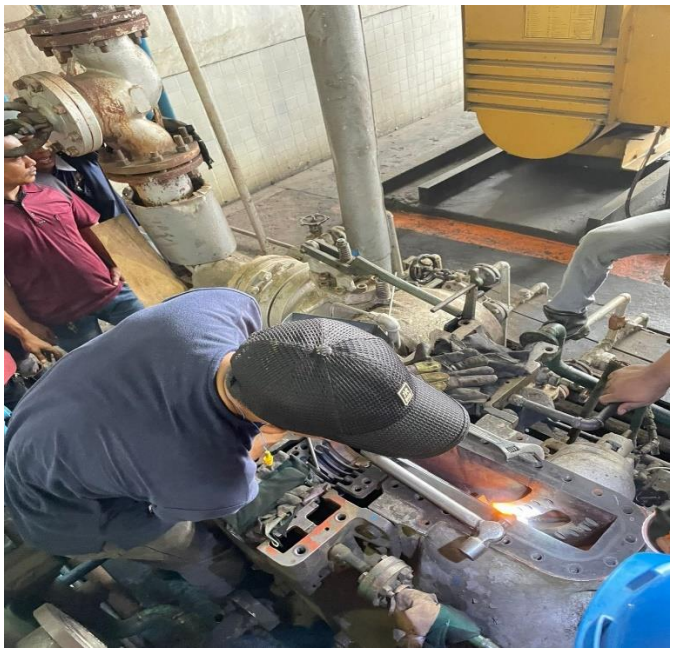
Hasil evaluasi kondisi uap masuk menunjukkan bahwa uap pada tekanan 21 bar dan temperatur 300°C berada dalam kondisi superheated steam dengan derajat superheat sekitar 86°C. Kondisi ini tergolong baik dan masih sesuai untuk operasi turbin karena mampu mengurangi risiko kondensasi serta meningkatkan efisiensi ekspansi. Oleh karena itu, peningkatan SSC tidak diindikasikan berasal dari penurunan kualitas uap masuk.

Berdasarkan analisis parameter operasi, tekanan masuk, tekanan keluar, dan daya keluaran masih sesuai dengan kondisi desain. Dengan demikian, kenaikan SSC diduga disebabkan oleh faktor internal sistem, seperti kebocoran steam, fouling atau deposit pada nozzle dan sudu turbin, erosi blade, penurunan efisiensi internal turbin, atau ketidakakuratan instrumen pengukuran aliran steam dan daya listrik.

Apabila nilai SSC dapat dikembalikan ke kondisi desain sebesar 5,70 kg/kWh, maka konsumsi steam dapat dikurangi sekitar 390 kg/jam, atau setara dengan penghematan sekitar 3.089 ton steam per tahun pada asumsi operasi 24 jam per hari selama 330 hari per tahun. Selain itu, dengan laju aliran steam yang sama, terdapat potensi peningkatan daya hingga sekitar 68 kW tanpa penambahan konsumsi steam.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin masih mampu menghasilkan daya sesuai kapasitas desain, namun telah mengalami penurunan efisiensi pemanfaatan energi uap yang tercermin dari kenaikan nilai SSC sebesar 5,26%. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan kinerja melalui inspeksi kebocoran steam, evaluasi kondisi nozzle dan sudu turbin, verifikasi instrumen, serta pemantauan tren SSC secara berkala untuk mengembalikan performa turbin mendekati kondisi desain dan meningkatkan efisiensi operasi pembangkit.

4.7 Kegiatan Efisiensi Peningkatan Kinerja Turbin



Gambar 4. 4 Proses Pembukaan *Casing* Turbin

Pada Gambar 4. 4 terlihat proses pembukaan casing turbin untuk memberikan akses terhadap komponen internal, seperti rotor, nozzle, dan sudu turbin. Pembukaan casing dilakukan sebagai langkah awal dalam kegiatan overhaul untuk memudahkan pemeriksaan visual terhadap kondisi komponen yang bekerja pada tekanan dan temperatur tinggi.

Kegiatan ini bertujuan mengidentifikasi adanya endapan kerak (fouling), korosi, erosi sudu, retakan, maupun kebocoran pada sistem seal yang dapat menurunkan efisiensi turbin. Apabila ditemukan endapan atau kerusakan, maka energi uap tidak dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga konsumsi uap meningkat untuk menghasilkan daya yang sama. Dengan melakukan inspeksi dan perbaikan sejak dini, distribusi aliran uap dapat kembali optimal sehingga proses konversi energi menjadi lebih efisien.



Gambar 4. 5 Pemeriksaan dan Pembersihan Komponen Turbin

Pada Gambar 4.5 terlihat kondisi bagian dalam casing turbin setelah penutup dilepas. Tahap ini dilakukan untuk membersihkan komponen internal serta memeriksa kondisi *nozzle*, sudu tetap (*stationary blade*), ruang aliran uap, dan sistem *sealing*.

Pembersihan kerak dan kotoran yang menempel pada jalur aliran uap bertujuan mengurangi hambatan aliran serta meminimalkan turbulensi. Apabila jalur aliran bersih, kecepatan uap yang melewati *nozzle* akan kembali sesuai dengan kondisi desain sehingga energi kinetik uap dapat ditransfer secara maksimal ke sudu gerak. Kondisi ini akan meningkatkan efisiensi turbin dan menurunkan nilai *Specific Steam Consumption* (*SSC*) karena kebutuhan uap untuk menghasilkan daya tertentu menjadi lebih kecil.

Selain itu, inspeksi ini memungkinkan pendeteksian dini terhadap keausan komponen sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum menyebabkan penurunan performa yang lebih besar.



Gambar 4. 6 Pemasangan Rotor Turbin

Pada Gambar 4.6 terlihat proses pemasangan rotor turbin menggunakan alat bantu pengangkat (chain block). Tahap ini merupakan bagian penting setelah seluruh komponen selesai diperiksa dan dibersihkan. Rotor harus dipasang dengan posisi yang presisi agar sumbu putar berada pada kondisi yang sejajar (alignment) dengan generator.

Ketepatan pemasangan rotor sangat berpengaruh terhadap efisiensi mekanis turbin. Rotor yang tidak sejajar dapat menyebabkan getaran berlebih, meningkatkan gesekan pada bearing, mempercepat keausan komponen, serta meningkatkan kehilangan energi mekanis. Sebaliknya, apabila rotor terpasang dengan benar dan seluruh celah (clearance) sesuai spesifikasi pabrikan, putaran turbin akan lebih stabil dan rugi-rugi mekanis dapat diminimalkan.



Gambar 4. 7 *Upper Casing*

Gambar 4 menunjukkan proses pengangkatan upper casing (bagian atas rumah turbin) menggunakan chain block pada saat kegiatan overhaul turbin uap. Proses ini merupakan salah satu tahapan penting dalam pemeliharaan berkala karena memberikan akses terhadap komponen-komponen utama di dalam turbin, seperti *rotor*, *nozzle,* sudu tetap (*stator*), sudu gerak (*rotor blade*), bearing, serta sistem sealing. Pengangkatan casing dilakukan dengan hati-hati menggunakan alat angkat untuk menghindari kerusakan pada permukaan sambungan (parting line) maupun komponen internal turbin.

Pembongkaran *upper casing* bertujuan untuk melakukan inspeksi menyeluruh terhadap kondisi komponen yang selama operasi bekerja pada tekanan dan temperatur tinggi. Melalui inspeksi ini dapat diketahui adanya keausan, korosi, erosi pada sudu, retakan, kebocoran pada *gland seal,* maupun penumpukan kerak (*fouling*) yang dapat menghambat aliran uap. Kerusakan atau penurunan kualitas komponen tersebut akan menyebabkan proses ekspansi uap tidak berlangsung secara optimal sehingga efisiensi turbin menurun dan nilai *Specific Steam Consumption (SSC)* meningkat.

Selain untuk inspeksi, pembukaan casing juga memberikan kesempatan untuk melakukan pembersihan endapan pada jalur aliran uap. Endapan yang terbentuk selama operasi dapat mengubah profil aliran dan meningkatkan turbulensi sehingga energi kinetik uap yang diteruskan ke sudu menjadi berkurang. Setelah endapan dibersihkan dan komponen yang mengalami kerusakan diperbaiki atau diganti, distribusi aliran uap kembali mendekati kondisi desain. Hal ini

memungkinkan proses konversi energi berlangsung lebih efektif sehingga daya keluaran turbin meningkat dengan konsumsi uap yang lebih rendah.

Proses overhaul seperti yang ditunjukkan pada gambar juga berperan dalam meningkatkan keandalan (*reliability*) dan umur pakai turbin. Pemeriksaan berkala memungkinkan potensi kerusakan terdeteksi lebih awal sebelum berkembang menjadi kegagalan yang lebih serius, sehingga risiko penghentian operasi secara mendadak (*unplanned shutdown*) dapat diminimalkan. Dengan demikian, program overhaul tidak hanya meningkatkan efisiensi termal turbin, tetapi juga menjaga kontinuitas produksi dan menekan biaya pemeliharaan jangka panjang.

Secara keseluruhan, kegiatan pengangkatan upper casing merupakan tahapan awal yang sangat penting dalam proses overhaul turbin uap. Keberhasilan tahap ini menentukan kualitas inspeksi, pembersihan, dan perbaikan komponen internal. Apabila seluruh pekerjaan dilakukan sesuai prosedur dan standar pemeliharaan, performa turbin dapat dipulihkan mendekati kondisi desain, sehingga efisiensi meningkat, rugi-rugi energi berkurang, dan nilai *Specific Steam Consumption (SSC)* dapat dipertahankan pada tingkat yang optimal.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diperoleh SSC sebesar 6,00 kg/kWh. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan SSC desain sebesar 5,70 kg/kWh dengan penyimpangan 5,26%. Peningkatan SSC menunjukkan adanya penurunan efisiensi penggunaan energi uap. Faktor utama yang mempengaruhi adalah kondisi uap masuk, rugi-rugi mekanis, kebocoran uap, kondisi sudu, dan variasi beban operasi. Secara umum turbin masih beroperasi dengan baik namun masih memiliki potensi peningkatan efisiensi.

5.2 Saran

Disarankan melakukan monitoring SSC secara berkala sebagai indikator performa turbin. Perawatan preventif pada bearing, seal, dan sudu perlu ditingkatkan. Stabilitas tekanan dan temperatur uap harus dijaga agar proses ekspansi berlangsung optimal. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan data operasi aktual selama periode yang lebih panjang dan membandingkannya dengan data desain pabrikan secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2020). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (9th ed.). Wiley.

Ganesan, V. (2017). *Steam Turbines : Theory and Design.* McGraw-Hill.

Kothandaraman, C. P. (2015). *Power Plant Engineering.* New Age International Publishers.

Rizal, M. (2019). "Analisis Konsumsi Uap pada Turbin Uap Kapasitas 10 MW di PLTU." *Jurnal Energi dan Konversi Daya*, 7(2), 45–52.

Putra, D. (2021). "Evaluasi Efisiensi Turbin Uap Back Pressure di Pabrik Kelapa Sawit." *Jurnal Teknologi Energi*, 9(1), 33–40.

Sari, N. (2023). "Analisis Perbandingan Konsumsi Uap Aktual dan Desain pada Turbin 1500 kW." *Jurnal Rekayasa Energi*, 11(3), 102–109.

Siemens AG. (2018). *Steam Turbine Technical Data Manual.* Siemens Industrial Solutions.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Solutions Manual for Thermodynamics : An Engineering Approach 8th Edition in SI Units Chapter 1 Introduction And Basic Concepts*.

Ramadhan, A. (2023). *Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Generator Turbine Uap Menggunakan Relay Arus Lebih Di Pabrik Kelapa Sawit Pt . Bumi Sama Ganda*.

Suriaman, I., Suprayitno, A., & Hermanto, A. (2022). *Analisis Pengaruh Laju Uap Terhadap Efisiensi Turbin Uap Condensing Pada Pltu Pt . Xxx Analysis Of The Effect Of Steam Rate On The Effciency Of Steam Condensng Turbine At Pltu Pt . Xxx*. *12*(2), 205–215.

Zakina, A. (2023). *Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Tidak Langsung Dan Heat Rate Pada Pt Pln Nusantara Power Unit Pelaksana Pembangkitan Punagaya 2×100 Mw Unit 1 Skripsi*. 1–123.

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis *Specific Steam Consumption* pada Turbin Uap Kapasitas 1300 KW di PT Adibrata Unggul Jaya

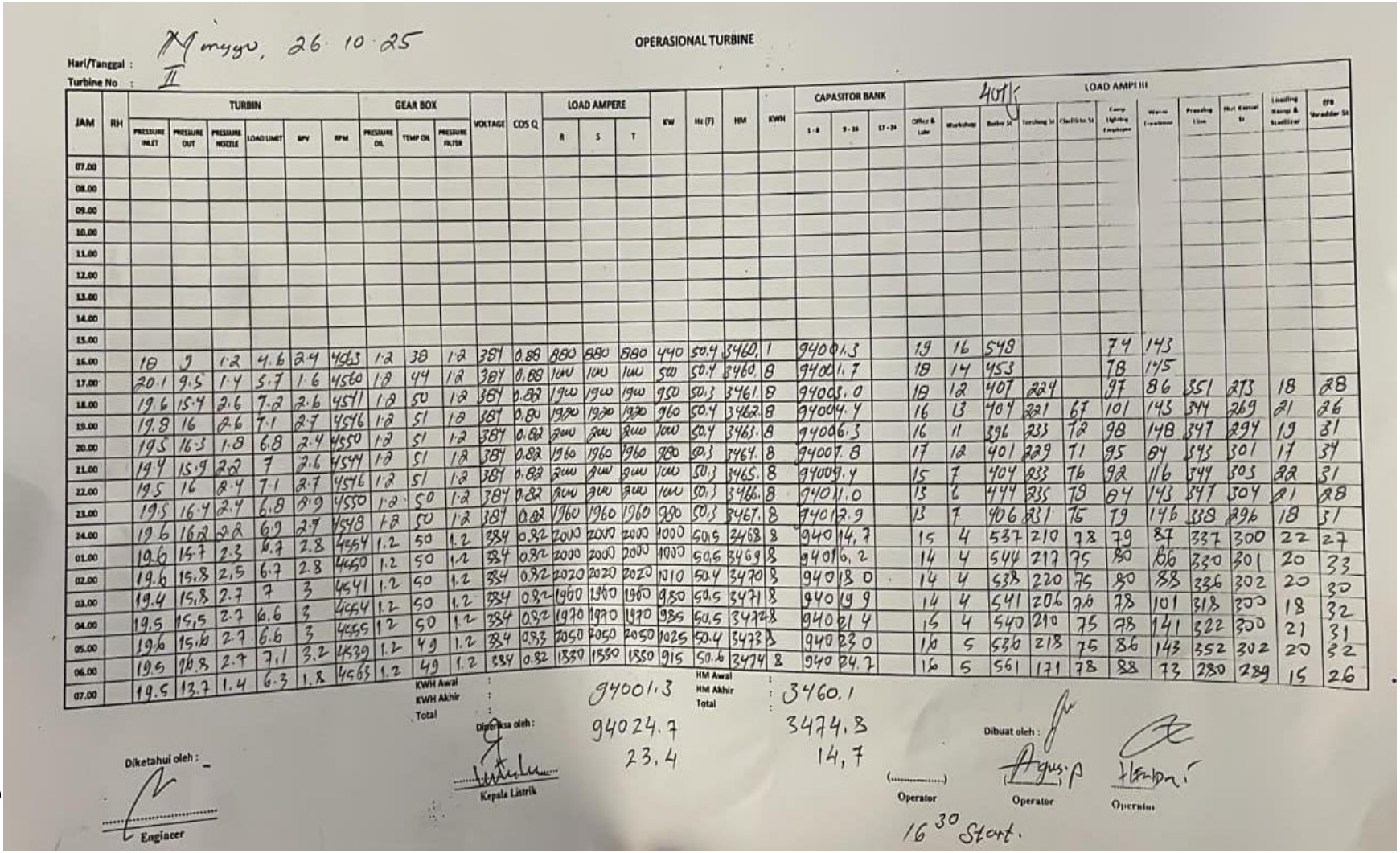
Nama : Sandi Pratama Butar-butar

NPM : 2207230030

Dosen Pembimbing : Dr. Munawar A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	kamis 13/11/2025	Perbaiki Cover belakang	
2	selasa 2/12/2025	Perbaiki tujuan dan masalah	
3	kamis 11/12/2025	Perbaiki Metode dan diagram alir	
4	kamis 18/12/2025	Perbaiki gbr fakta dan alat	
5.	selasa 23/12-25	Acc seminar proposal	
6	Kamis 25/6-26	Perbaiki pendahuluan dan grafik hasil data.	
7.	Rabu 8/7-26.	Acc seminar hasil	
8.	Selasa 4/8-26	Acc Sidang Sarjana	

Lampiran 1. Hasil Penelitian



OPERASIONAL TURBINE

Hari/Tanggal : Minggu, 26 · 10 · 25

Turbine No : II

JAM	RH	TURBIN						GEAR BOX			VOLTAGE	COS Q	LOAD AMPERE			KW	Hz (F)	HM	KWH	CAPASITOR BANK			LOAD AMP III													
		PRESSURE INLET	PRESSURE OUT	PRESSURE NOZZLE	LOAD LIMIT	BPV	RPM	PRESSURE OIL	TEMP OIL	PRESSURE FILTER			R	S	T					1 - 8	9 - 16	17 - 24	Office & Lobi	Workshop	Boiler St	Teaching St	Clasification St	Camp Lighting Employee	Water Treatment	Pressing Line	Hot Kernel St	Loading Ramp & Sterilizer	EFB Shredder St	
07.00																																			
08.00																																			
09.00																																			
10.00																																			
11.00																																			
12.00																																			
13.00																																			
14.00																																			
15.00																																			
16.00		18	9	1·2	4.6	2.4	4563	1·2	38	1·2	384	0.88	880	880	880	440	50.4	3460,1		94001.3			19	16	548			74	143						
17.00		20.1	9.5	1·4	5.7	1.6	4560	1·2	44	1·2	384	0.88	1000	1000	1000	500	50.4	3460,8		94001.7			18	14	453			78	145						
18.00		19.6	15.4	2.6	7.2	2.6	4541	1·2	50	1·2	384	0.88	1900	1900	1900	950	50.3	3461.8		94003.0			18	12	407	224		97	86	351	273	18	28
19.00		19.8	16	2.6	7.1	2.7	4546	1·2	51	1·2	384	0.80	1930	1930	1930	960	50.4	3462.8		94004.4			16	13	404	231	67	101	143	344	269	21	26
20.00		19.5	16.3	1.8	6.8	2.4	4550	1·2	51	1·2	384	0.82	2000	2000	2000	1000	50.4	3463.8		94006.3			16	11	396	233	72	98	148	347	294	19	31
21.00		19.4	15.9	2.2	7	2.6	4544	1·2	51	1·2	384	0.82	1960	1960	1960	980	50.3	3464.8		94007.8			17	12	401	229	71	95	84	343	301	17	34
22.00		19.5	16	2.4	7.1	2.7	4546	1·2	51	1·2	384	0.82	2000	2000	2000	1000	50.3	3465.8		94009.4			15	7	404	233	76	92	116	344	303	22	31
23.00		19.5	16.4	2.4	6.8	2.9	4550	1·2	50	1·2	384	0.82	2000	2000	2000	1000	50.3	3466.8		94011.0			13	6	444	235	78	84	143	347	304	21	28
24.00		19.6	16.2	2.2	6.9	2.7	4548	1·8	50	1·2	384	0.82	1960	1960	1960	980	50.3	3467.8		94012.9			13	7	406	231	76	79	146	338	296	18	31
01.00		19.6	15.7	2.3	6.7	2.8	4554	1.2	50	1.2	384	0.82	2000	2000	2000	1000	50.5	3468.8		94014.7			15	4	537	210	78	79	87	337	300	22	27
02.00		19.6	15.8	2.5	6.7	2.8	4550	1·2	50	1·2	384	0.82	2000	2000	2000	1000	50.6	3469.8		94016.2			14	4	544	217	75	80	86	330	301	20	33
03.00		19.4	15.8	2.7	7	3	4541	1·2	50	1·2	384	0.82	2020	2020	2020	1010	50.4	3470.8		94018.0			14	4	538	220	75	80	88	336	302	20	30
04.00		19.5	15.5	2.7	6.6	3	4554	1·2	50	1·2	384	0.82	1960	1960	1960	980	50.5	3471.8		94019.9			14	4	541	206	76	78	101	318	300	18	32
05.00		19.6	15.6	2.7	6.6	3	4555	1·2	50	1·2	384	0.82	1970	1970	1970	985	50.5	3472.8		94021.4			15	4	540	210	75	78	141	322	300	21	31
06.00		19.5	16.8	2.7	7.1	3.2	4539	1.2	49	1.2	384	0.83	2050	2050	2050	1025	50.4	3473.8		94023.0			16	5	536	218	75	86	143	352	302	20	32
07.00		19.5	13.7	1.4	6.3	1.8	4563	1.2	49	1.2	384	0.82	1830	1830	1830	915	50.6	3474.8		94024.7			16	5	561	171	78	88	73	280	289	15	26

KWH Awal : 94001.3
KWH Akhir : 94024.7
Total : 23.4

HM Awal : 3460.1
HM Akhir : 3474.8
Total : 14,7

Diperiksa oleh :

Kepala Listrik

Diketahui oleh :

Engineer

Dibuat oleh :

Operator

Agus.P

Operator

Operator

16 30 Start.

Lampiran 2. SK Pembimbing

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
https://fatek.umsu.ac.id fatek@umsu.ac.id umsumedan umsumedan umsumedan umsumedan

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 2550/II.3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 16 Desember 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama	: SANDI PRATAMA BUTAR - BUTAR
Npm	: 2207230030
Program Studi	: TEKNIK MESIN
Semester	: 7 (TUJUH)
Judul Tugas Akhir	: ANALISIS SPECIFIC STEAM COMSUMPTION PADA TURBIN UAP KAPASITAS 1300 KW DI PT ADIBRATA UNGGUL JAYA
Pembimbing	: Dr MUNAWAR A SIREGAR ST.MT .

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN .
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 25 Jumadil Akhir 1447 H
16 Desember 2025 M

Dekan

Ir. Ade Faisal, ST., M.Sc., Ph.D
NIDN: 0123097203

Lampiran 3. Daftar Evaluasi Seminar

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama	:	Sandi Pratama Butarbutar
NPM	:	2207230030
Judul Tugas Akhir	:	Analisis Specific Steam Consumtion Pada Turbin Uap Kapasitas 1300 KW Di PT Adibrata Unggul Jaya
Dosen Pembimbing - I	:	Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembanding - I	:	Dr. Sudirman Lubis, ST, MT
Dosen Pembanding - II	:	Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

[ ] 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)

[✓] 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan

[ ] 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

- Disesuaikan dgn prodi
- Pada pem pembahasan buat narasi solusi yg di tabel

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 14 Juli 2026
Dosen Pembanding - I

Dr. Sudirman Lubis, ST, MT

Lampiran 4. Daftar Hadir Seminar

DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2025-2026

Nama : Sandi Pratama Butarbutar
NPM : 2207230030
Judul Tugas Akhir : Analisis Specific Steam Consumtion Pada Turbin Uap Kapasitas 1300 KW Di PT Adibrata Unggul Jaya

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:
Pembimbing - I : Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. : .....
Pembanding - I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT : .....
Pembanding - II : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T. : .....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2207230053	Dwi Ricki ARDIANA	1. .....
2	2207230136	AHLAD MAHDAWY MB	2. .....
3	2207210090	Rayatta Haikal Pandhan	3. .....
4	2207230021	Syahrul Prayoga	4. .....
5	2207230004	Eko Irfansyah	5. .....
6	2207230032	Kevin Yudha Pratama	6. .....
7	2207230003	Ezra Tri wira Pranata	7. .....
8	2207230016	Muhammad Arif Sutan	8. .....
9	2207230013	Muhammad Ferdyansyah-S	9. .....
10	2307230026	Ardiansyah Malik	10. .....

Medan, 14 Juli 2026
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Lampiran 5. Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama	: Sandi Pratama Butar-Butar
Jenis kelamin	: Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir	: Tebing Tinggi, 29 Desember 2003
Alamat	: Sidodadi, Dusun 4 Desa Perkebunan Teluk Panji. Kec. Kampung Rakyat-Labuhan Batu Selatan.
Agama	: Islam
Email	: Adedillay81@gmail.com
No. HP	: 0822 4694 4213

B.RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD N 116253 Sidodadi (2010-2016)
2. SMP N 2 Kampung Rakyat (2016-2019)
3. SMK S T. Amir Hamzah Indrapura (2019-2022)