

ANALISIS KINERJA TURBIN UAP BERDASARKAN *PERFORMANCE TEST*
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BARRU
2X50 MW



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Nursyam Jaya
442 16 008

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW** oleh Nursyam Jaya 44216008 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

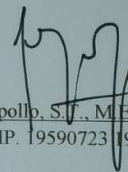
Makassar, 1 Oktober 2020

Pembimbing I



Ir. Chandra Bhuana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

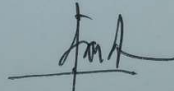
Pembimbing II



Apollo, S.T., M.Eng.
NIP. 19590723 199303 1 002

Mengetahui

Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi




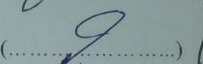
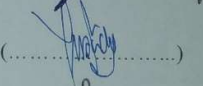
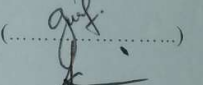
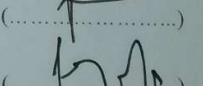
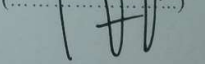
Ir. Chandra Bhuana, M.T.
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Selasa tanggal 1 Oktober 2020, tim penguji seminar skripsi telah menerima hasil seminar skripsi oleh mahasiswa: Nursyam Jaya NIM 44216008 dengan judul **Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW.**

Makassar, 1 Oktober 2020

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

| | | |
|-------------------------------------|---------------|---|
| 1. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd. | Ketua | () |
| 2. Sonong, S.T., M.T. | Sekretaris | () |
| 3. Muhammad Ruswandi D, S.ST., M.T. | Anggota | () |
| 4. Gusri Emiyati Ali, S.Pd., M.Pd. | Anggota | () |
| 5. Ir. Chandra Bhuana, M.T. | Pembimbing I | () |
| 6. Apollo, S.T., M.Eng. | Pembimbing II | () |

KATA PENGANTAR

Ucapan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW** dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terimah kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. Selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. sebagai Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang dan sebagai Pembimbing I.
4. Bapak Apollo, S.T., M.Eng. sebagai Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Jumadi Tangko, M.Pd. selaku Wali Kelas.

6. Orang Tua penulis yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, dan bantuan baik berupa materi maupun berupa doa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah membimbing penulis selama perkuliahan sejak semester 1 hingga semester akhir. Semoga Allah membalas semua kebaikan dan ketulusan kalian.
8. Sahabat-sahabat penulis yang banyak memberikan dorongan agar cepat selesai serta rekan-rekan lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu pada kesempatan ini.
9. Seluruh teman-teman kuliah Teknik Pembangkit Energi 2016.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca.

Makassar, 1 Oktober 2020

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------------|------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PENERIMAAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | x |
| DAFTAR SIMBOL | xi |
| SURAT PERNYATAAN | xii |
| RINGKASAN | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Ruang Lingkup Penelitian | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Sejarah Singkat PLTU Barru | 5 |
| 2.2 Siklus PLTU | 6 |
| 2.3 Siklus Rankine | 7 |
| 2.4 Turbin Uap | 8 |

| | |
|--|----|
| 2.6 Prinsip Kerja Turbin Uap | 9 |
| 2.7 Klasifikasi Turbin Uap | 10 |
| 2.8 Parameter Performa Turbin Uap..... | 13 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 19 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian..... | 19 |
| 3.2 Teknik Pengumpulan Data | 19 |
| 3.3 Teknik Analisis Data..... | 20 |
| 3.4 Diagram Alir..... | 21 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 23 |
| 4.1 Hasil Penelitian | 23 |
| 4.2 Pembahasan | 46 |
| BAB V PENUTUP | 48 |
| 5.1 Kesimpulan | 48 |
| 5.2 Saran..... | 49 |
| DAFTAR PUSTAKA | 50 |
| LAMPIRAN | 52 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4.1 Data Spesifikasi Turbin Unit 1 PLTU Barru | 23 |
| Tabel 4.2 Nilai Fraksi Uap turbin Unit 1 pada saat Komisioning | 31 |
| Tabel 4.3 Nilai Fraksi Uap Turbin Unit 1 pada saat Beroperasi 2019..... | 39 |
| Tabel 4.4 Performa Turbin Uap Unit 1 PLTU Barru..... | 42 |
| Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Performa Turbin Unit 1 PLTU Barru | 43 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Siklus perubahan energi..... | 6 |
| Gambar 2.2 Siklus Rankine dan diagram T-s untuk siklus Rankine ideal..... | 7 |
| Gambar 2.3 Turbin uap..... | 9 |
| Gambar 2.4 Heat balance turbin..... | 14 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir | 22 |
| Gambar 4.1 Diagram skematik PLTU Barru saat komisioning | 25 |
| Gambar 4.2 Diagram skematik PLTU Barru saat operasi | 33 |
| Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Isentropik Turbin..... | 44 |
| Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Mekanis Turbin..... | 45 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1 Data Operasi Turbin Unit 1 PLTU Barru..... | 53 |
| Lampiran 2 Hasil Analisis Data Turbin Unit 1 PLTU Barru | 55 |
| Lampiran 3 Nilai Entalpi Turbin Unit 1 PLTU Barru | 56 |



DAFTAR SIMBOL

| Simbol | Satuan | Keterangan |
|------------------|---------|--|
| T | °C | Temperatur |
| P | MPa | Tekanan |
| H | kJ/kg | Entalpi |
| \dot{m} | kg/s | Laju aliran massa fluida kerja |
| h_a | kJ/kg | Entalpi turbin keadaan actual |
| W_a | kJ/kg | Kerja turbin kondisi actual |
| h_s | kJ/kg | Entropi turbin keadaan isentropis |
| W_s | kJ/kg | Kerja turbin kondisi isentropis |
| X | | Fraksi uap |
| S | kJ/kg K | Entropi keluaran turbin kondisi aktual |
| S_f | kJ/kg K | Entropi cairan |
| S_g | kJ/kg K | Entropi uap |
| S_{fg} | kJ/kg K | Entropi perubahan cair ke uap |
| h_f | kJ/kg | Entalpi cairan |
| h_g | kJ/kg | Entalpi uap |
| h_{fg} | kJ/kg | Entalpi perubahan cair ke uap |
| W_T | kJ/s | Kerja yang dihasilkan turbin |
| SR | | Steam rate (kuantitas uap) |
| $P_{generator}$ | MW | Daya keluaran generator |
| η_s | % | Efisiensi isentropis turbin |
| $\eta_{mekanis}$ | % | Efisiensi mekanis turbin |

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nursyam Jaya

Nim : 44216008

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW” merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 1 Oktober 2020

Hormat kami,



Nursyam Jaya
NIM. 44216008

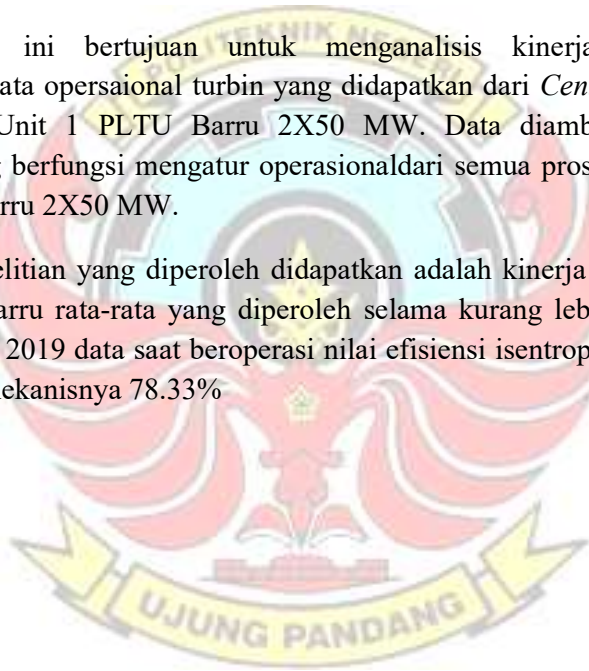
ANALISIS KINERJA TURBIN UAP BERDASARKAN *PERFORMANCE TEST* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BARRU 2X50 MW

RINGKASAN

Turbin uap merupakan salah satu komponen utama dari bagian Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berfungsi sebagai penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin yang menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik pada keluaran generator.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja turbin dengan pengambilan data operasional turbin yang didapatkan dari *Central Room Control* (CCR) pada Unit 1 PLTU Barru 2X50 MW. Data diambil langsung pada computer yang berfungsi mengatur operasional dari semua proses produksi listrik pada PLTU Barru 2X50 MW.

Hasil penelitian yang diperoleh didapatkan adalah kinerja turbin uap Unit 1 pada PLTU Barru rata-rata yang diperoleh selama kurang lebih 1 minggu pada bulan Februari 2019 data saat beroperasi nilai efisiensi isentropik sebesar 70.77% dan efisiensi mekanisnya 78.33%



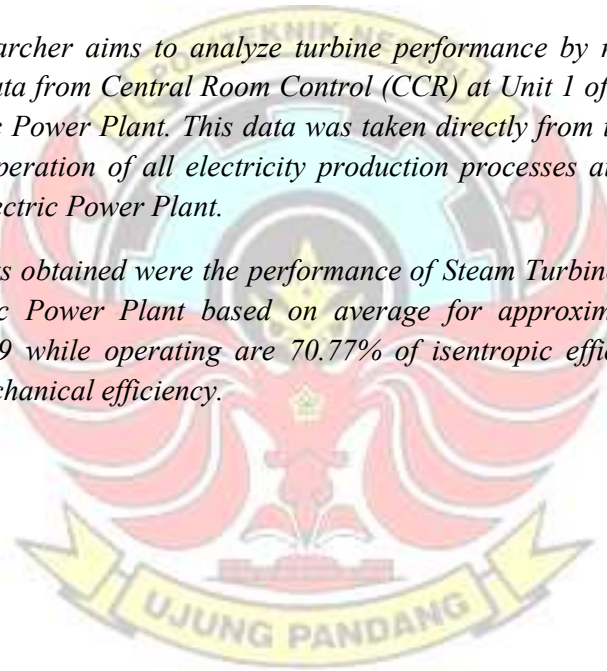
***ANALYSIS OF CURRENT STEAM TURBINE WORK BASED ON
PERFORMANCE TESTS AT THE BARRU 2X50 MW STEAM POWER
PLANT (PLTU)***

SUMMARY

Steam turbines are one of the main components of the Steam Electric Power Plant section that serves as the initial drive that converts potential energy into kinetic energy and then it is converted into mechanical energy in the form of turbine shaft rotation. It is drives the generator to produces electrical energy at the generator output.

This researcher aims to analyze turbine performance by retrieving turbine operational data from Central Room Control (CCR) at Unit 1 of Barru 2X50 MW Steam Electric Power Plant. This data was taken directly from the computer that manage the operation of all electricity production processes at the Barru 2X50 MW Steam Electric Power Plant.

The results obtained were the performance of Steam Turbine Unit 1 at Barru Steam Electric Power Plant based on average for approximately 1 week in February 2019 while operating are 70.77% of isentropic efficiency value and 78.33% of mechanical efficiency.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan paling pokok yang menunjang kehidupan manusia saat ini untuk kebutuhan sehari-hari. Secara umum manusia hampir tidak dapat melakukan pekerjaan yang ada dengan baik ataupun memenuhi kebutuhannya tanpa energi listrik. Banyak orang yang mengatakan bahwa untuk pertumbuhan ekonomi, diperlukan pertumbuhan kemampuan penyediaan tenaga listrik.

Mengingat kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi serta informasi. Untuk mencukupi kebutuhan listrik tersebut maka pemerintah membangun pembangkit-pembangkit listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan bahan bakar batu bara yang murah (Jamal dan Andi Tenri Ajeng, 2014). Seperti Unit Jasa Pembangkitan (UJP) PLTU Barru yang dibawah PT. Indonesia Power yang berlokasi di Dusun Bawasalo, Desa Lampoko, Kecamatan Balusu, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan. Saat ini UJP PLTU Barru menyediakan supply listrik sebesar 2X50 MW.

UJP PLTU Barru mulai beroperasi pada tahun 2012, tetapi selama hampir dua tahun UJP PLTU Barru banyak mengalami permasalahan, bahkan pada unit 1 UJP PLTU Barru pernah tidak beroperasi selama kurang lebih 3 bulan (Arham, M. Yusuf Septiawan, 2015).

PLTU mempunyai beberapa komponen utama salah satunya turbin uap. Turbin uap merupakan salah satu komponen utama dari bagian Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berfungsi sebagai penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin yang menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik pada keluaran generator. Sebagai pemasok daya utama, turbin uap sangat penting dijaga kinerjanya, karena kinerja yang menurun berpengaruh terhadap keandalan PLTU oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap kinerja turbin uap yang ada pada PLTU Baru 2X50 MW.

Kinerja turbin uap memiliki beberapa parameter yaitu efisiensi mekanis, efisiensi isentropik dan steam rate. Namun, seiring berjalan lamanya waktu pada saat operasi, kinerja turbin uap mengalami penurunan. Penurunan kinerja turbin uap akan mempengaruhi keandalan pembangkit dan daya keluaran pada generator.

Untuk mengetahui kinerja turbin uap dilakukan analisa pada kondisi komisioning dan pada saat beroperasi dengan menggunakan parameter-parameter yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan kinerja turbin uap. Hasil dari perhitungan yang dilakukan menunjukkan bahwa kinerja turbin uap pada kondisi komisioning sebesar 86% dan pada kondisi operasi sebesar 74%. Beberapa faktor yang menyebabkan menurunnya kinerja turbin uap adalah menurunnya temperatur dan tekanan uap, serta terjadinya kerusakan akibat lamanya pemeliharaan pada turbin uap (Yusuf M, 2020).

Apabila turbin digunakan secara terus menerus, perlu diperhatikan tekanan dan temperatur yang terjadi pada saat turbin bekerja yang dapat menurunkan efisiensi. Oleh karena itu, untuk melakukan analisis kinerja pada turbin uap dapat dilakukan dengan menghitung efisiensi turbin saat beroperasi dan dibandingkan dengan saat komisioning. Oleh karena itu, penulis mengambil kajian tentang “Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan penelitian dirumuskan yaitu, bagaimana kinerja turbin uap pada PLTU Barru 2X50 MW?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

1. Penelitian dilakukan di PLTU Barru 2X50 MW
2. Analisis hanya dilakukan pada turbin uap di PLTU Barru 2X50 MW

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui kinerja turbin uap pada PLTU Barru 2X50 MW.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai referensi bagi peneliti lain yang ingin melakukan penelitian di bidang yang sama.
2. Sebagai bahan masukan bagi perusahaan untuk meningkatkan keandalan pada PLTU Barru 2X50 MW.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Singkat PLTU Barru

Kebutuhan energi listrik yang ada di Indonesia, khususnya di wilayah Sulawesi Selatan dan sekitarnya semakin meningkat terutama untuk masyarakat setempat. Salah satu kebijakan yang diambil pemerintah untuk mengatasi masalah tersebut adalah program percepatan 10000 MW dengan membangun PLTU Barru (Sulawesi Selatan) 2X50 MW. Sementara itu ketersediaan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTD, PLTG/GU dan PLTA yang menyuplai kebutuhan listrik di wilayah Sulawesi Selatan, belum mampu memenuhi permintaan masyarakat yang semakin meningkat. Sehingga diharapkan dengan dibangunnya pembangkit ini, maka PLN akan mampu memenuhi kebutuhan listrik di wilayah Sulawesi Selatan dan sekitarnya.

Secara geografis PLTU Barru terletak S 4° 17' 872" dan E 119° 37' 753" atau tepatnya di dusun Bawasalo, desa Lampoko, kecamatan Balusu 2 km dari jalan utama trans Sulawesi Makassar-Parepare, kira-kira 15 km dari kota Barru dan 110 km dari kota Makassar, Sulawesi Selatan.

Desain gross output dari generator untuk masing-masing unit adalah 60 MW. Adapun owner untuk PLTU Barru adalah PT.PLN (Persero) dengan alamat di Jl.Trunujoyo Blok M I/135, kebayoran Baru, Jakarta 12160, Indonesia.

PLTU Barru yang dibangun menggunakan bahan bakar batubara berkalori rendah (LHV: 3800 - 4100 kcal/kg) memerlukan batubara per tahun sebesar 564.000 ton dan diangkut menggunakan barge/tongkang menuju ke PLTU melalui

jetty sebagai sarana pelabuhan khusus bongkar muat batubara dan energi listrik yang dihasilkan PLTU disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV ke Gardu Induk (GI) 150 kV Parepare sepanjang \pm 40 Km dan Gardu Induk 150 kV Pangkep sepanjang \pm 50 Km.

2.2 Siklus PLTU

Pada dasarnya pembangkit listrik merupakan sebuah proses perubahan bentuk dari sebuah energi ke bentuk energi lain dimana energi yang dihasilkan berupa energi listrik. PLTU merupakan pembangkit listrik yang mengubah energi dari bahan bakar batubara berupa energi kimia menjadi energi panas menuju ke air pengisi sehingga menjadi energi kinetik pada uap. Uap tersebut selanjutnya digunakan untuk memutar turbin, kemudian dari putaran poros turbin menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Adapun proses konversi energi pada PLTU dapat dilihat pada gambar 2.1 (Jamal dan Tenri Ajeng, 2014).



Gambar 2.1 Siklus perubahan energi

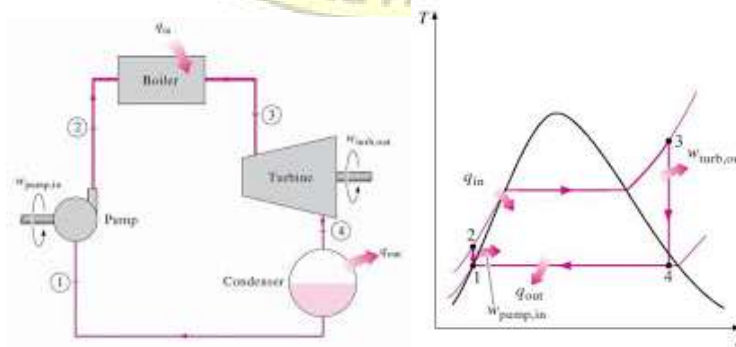
(Sumber: Apriandi, 2016)

Bentuk perubahan energi diatas adalah seperti berikut :

- Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
- Energi kalor (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
- Energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

2.3 Siklus Rankine

Siklus rankine merupakan rangkaian proses yang mana dimulai dari suatu proses tingkat kondisi yang akan kembali ke proses tingkat kondisi semula dan terulang terus menerus. Pada PLTU fluida yang mengalami proses pada siklus rankine yaitu air. Air pada siklus kerjanya mengalami beberapa proses yaitu pemanasan, penguapan, ekspansi, pendinginan dan kompresi. Sistem standar PLTU adalah siklus Rankine. Siklus renkine sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, boiler, turbin dan kondensor. Pada gambar 2.2 proses 1-2-3-4 merupakan proses siklus rankine ideal dengan pemanasan lanjut untuk mendapatkan uap kering (Yusuf. M dan Luthfi, 2018).



Gambar 2.2 Siklus Rankine dan Diagram T-s untuk siklus Rankine ideal

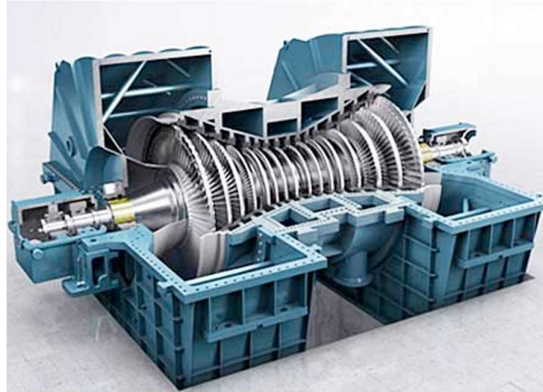
(Sumber: Puspawan, 2019)

Adapun penjelasan proses pada gambar diatas tersebut adalah sebagai berikut :

- 1 – 2 Fluida kerja air dipompa dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pada proses ini fluida kerja berupa fase cair sehingga dibutuhkan energi yang relatif rendah dalam proses pemompaan.
- 2 – 3 Air bertekanan tinggi memasuki boiler untuk dipanaskan. Disini air berubah fase menjadi uap jenuh. Proses ini berlangsung pada tekanan konstan.
- 3 – 4 Uap jenuh berekspansi pada turbin sehingga menghasilkan kerja berupa putaran turbin. Proses ini menyebabkan turunnya temperatur dan tekanan uap, sehingga suhu pada turbin tingkat akhir kondensasi titik air mulai terjadi.
- 4 – 1 Uap basa memasuki kondensor dan didinginkan sehingga semua uap berubah menjadi fase cair. Setelah proses ini air dipompakan kembali ke (Proses 1 – 2).

2.4 Turbin Uap

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah suatu energi dari panas uap menjadi energi mekanik atau gerak dalam bentuk putaran pada poros turbin. Biasanya poros turbin terkopel atau terhubung dengan poros generator sehingga generator berputar dan menghasilkan energi listrik. Turbin uap memiliki dua komponen utama yaitu rotor dan stator.



Gambar 2.3 Turbin Uap

(Sumber: Dzulqornain, 2015)

2.6 Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip kerja turbin uap yaitu uap kering pada keluaran nosel menuju ke sudu-sudu turbin dengan tekanan dan temperature tinggi sehingga sudu-sudu turbin terdorong dan bergerak yang menyebabkan turbin bergerak memutar. Adapun prinsip kerja turbin uap secara singkat yaitu sebagai berikut:

1. Uap panas dengan tekanan tinggi masuk kedalam turbin melalui nosel. Didalam nosel dimana energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Uap keluaran pada nosel memiliki tekanan lebih kecil daripada saat masuk ke dalam nosel, namun sebaliknya uap keluaran pada nosel memiliki kecepatan lebih besar daripada saat masuk ke dalam nosel. Uap keluaran dari nosel yang memancar mengarah ke sudu-sudu turbin dimana berbentuk lengkungan dan dipasang pada sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melewati celah-celah antara sudu turbin yang diarahkan ke lengkungan dari sudu turbin tersebut, perubahan kecepatan uap ini

menimbulkan gaya yang mendorong sudu turbin kemudian roda dan poros turbin bergerak memutar.

2. Namun jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin maka hanya sebagian energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang bergerak, agar energi kinetis yang tersisa pada keluaran sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum masuk ke baris kedua sudu gerak, maka antara baris pertama dan baris kedua pada sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap atau sudu diam (*guideblade*) yang berfungsi untuk mengubah arah kecepatan uap, agar uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang benar.
3. Kecepatan uap pada keluaran sudu gerak yang terakhir harus dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat digunakan sebanyak mungkin. Maka dari itu efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil. (Riyki dan Aqli, 2016)

2.7 Klasifikasi Turbin Uap

Adapun beberapa klasifikasi berbeda pada turbin uap tergantung pada konstruksinya antara lain sebagai berikut :

1. Menurut Jumlah Tingkat Tekanan
 - a. Turbin satu tingkat dengan satu atau lebih tingkat kecepatan yang biasanya berkapasitas kecil. Turbin ini biasanya dipakai untuk menggerakkan kompresor sentrifugal dan mesin-mesin lain yang serupa.

- b. Turbin impuls dan reaksi bertingkat yaitu turbin yang digunakan dalam jangka kapasitas luas mulai dari kecil hingga yang besar.

2. Menurut Arah Aliran Uap

- a. Turbin Aksial, yang mana uapnya mengalir dengan arah sejajar terhadap sumbu turbin.
- b. Turbin Radial, yang uapnya mengalir dengan arah tegak lurus terhadap sumbu turbin.

3. Menurut Posisi Silinder

- a. *Single silinder* (tunggal)
- b. *Tandem silinder*
- c. *Cross Cylinder*

4. Menurut Metode Pengaturan

- a. Turbin dengan pengaturan pencekikan (Throttling) yang mana uap panas lanjut dari ketel uap masuk dari melalui satu atau lebih katup pencekik yang dioperasikan serempak.
- b. Turbin dengan pengaturan nosel yaitu uap segar dari turbin ini masuk melalui dua atau lebih pengatur pembuka yang berurutan.
- c. Turbin dengan pengaturan pelangkauan

5. Menurut Prinsip Aksi Uap

- a. Turbin Impuls yaitu energi potensial uapnya diubah dalam bentuk energi kinetik didalam nosel yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan, didalam sudu-sudu gerak, energi kinetik uap ini diubah menjadi energi mekanis.

- b. Turbin Reaksi Aksial Ekspansi yaitu uap yang terjadi diantara laluan sudu-sudu baik sudu pengarah maupun pada sudu gerak.

6. Menurut Proses Penurunan Kalor

- a. Turbin Kondensasi (Condensing Turbine) yang mana uap dalam tekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer dan dialirkan ke kondensor. Selain itu uap juga dicerat dari tingkat menengahnya untuk memanaskan air pengisian ketel.
- b. Turbin Tekanan Lawan (Back Pressure Turbine) adalah turbin yang uap bekasnya tidak didinginkan di kondenser tetapi dipakai untuk keperluan industri dan pemanasan.
- c. Turbin Tumpang adalah jenis turbin tekanan lawan dengan perbedaan yaitu uap buang dari jenis turbin ini digunakan untuk turbin-turbin kondensasi dengan tekanan menengah dan rendah.

7. Menurut Kondisi Uap Masuk Turbin

- a. Turbin tekanan rendah yaitu turbin yang menggunakan uap pada tekanan 1,2 sampai 2 ata.
- b. Turbin tekanan menengah yaitu turbin yang menggunakan uap sampai pada tekanan 40 ata.
- c. Turbin tekanan tinggi yaitu turbin yang mana menggunakan uap pada tekanan di atas 40 ata.
- d. Turbin tekanan sangat tinggi yaitu turbin yang menggunakan uap pada tekanan 170 ata atau lebih dan temperatur diatas 550° C atau lebih.

e. Turbin tekanan superkritis yaitu turbin yang menggunakan uap pada tekanan 225 ata atau lebih.

8. Menurut Pemakaiannya di Bidang Industri

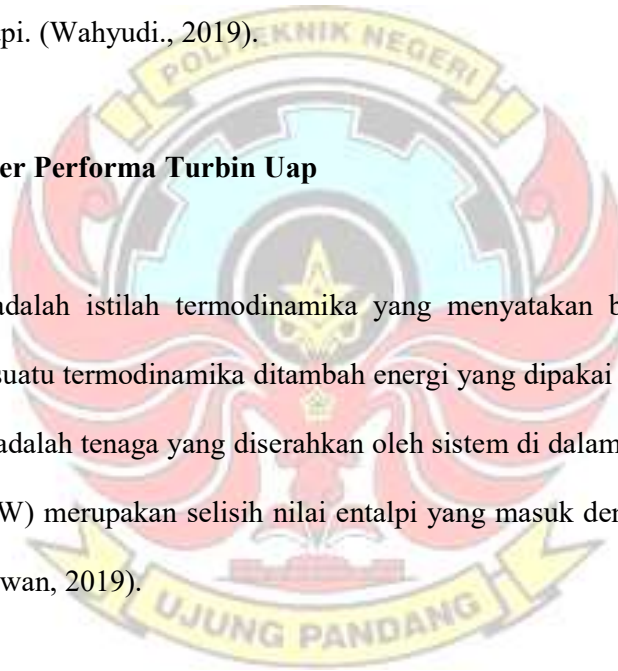
a. Turbin stasioner, turbin yang mempunyai kecepatan putar yang konstan dan biasanya dipakai untuk menggerakkan alternator pada pembangkit listrik..

b. Turbin yang tidak stasioner, turbin yang mempunyai kecepatan putar yang bervariasi dan biasanya dipakai pada kapal-kapal uap, kapal dan lokomotif kereta api. (Wahyudi., 2019).

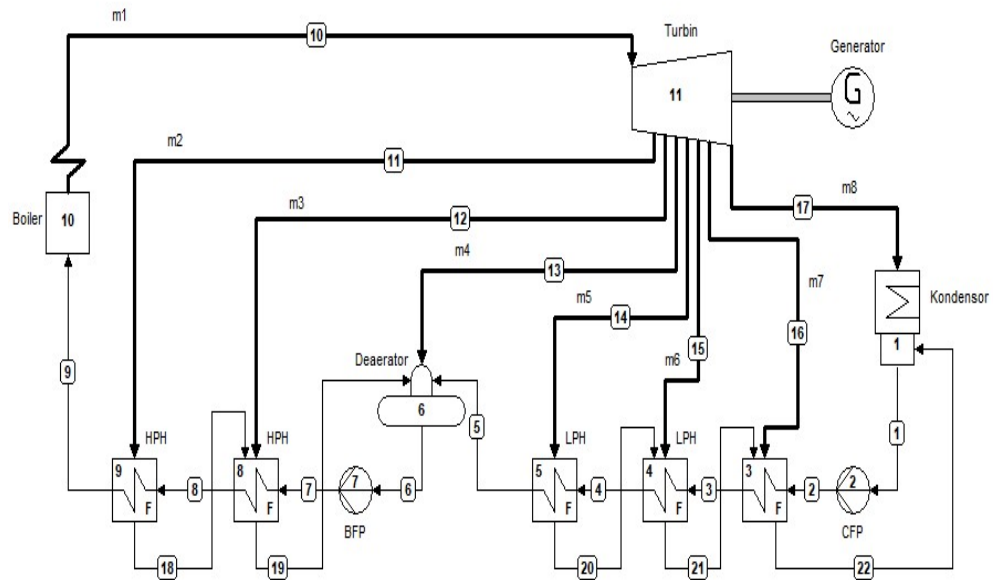
2.8 Parameter Performa Turbin Uap

2.8.1 Entalpi

Entalpi adalah istilah termodinamika yang menyatakan banyaknya energi internal dari suatu termodinamika ditambah energi yang dipakai untuk melakukan kerja. Usaha adalah tenaga yang diserahkan oleh sistem di dalam melakukan kerja (W). Usaha (W) merupakan selisih nilai entalpi yang masuk dengan entalpi yang keluar (Puspawan, 2019).



a. Kerja Turbin Kondisi Aktual (W_a)



Gambar 2.4 Diagram alir sistem PLTU Barru

$$W_a = (h_{10} - h_{11}) + (h_{11} - h_{12}) + (h_{12} - h_{13}) + (h_{13} - h_{14}) + (h_{14} - h_{15}) + (h_{15} - h_{16}) + (h_{16} - h_{17}) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- W_a = Kerja turbin secara aktual (kJ/kg)
- h_{10} = Entalpi aktual masuk turbin (kJ/kg)
- h_{11} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 1 (kJ/kg)
- h_{12} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 2 (kJ/kg)
- h_{13} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 3 (kJ/kg)
- h_{14} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 4 (kJ/kg)

- h_{15} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 5 (kJ/kg)
- h_{16} = Entalpi aktual keluaran ekstraksi 6 (kJ/kg)
- h_{17} = Entalpi aktual keluaran turbin ke kondensor (kJ/kg)

b. Kerja Turbin Kondisi Isentropik (W_s)

$$x = \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f}$$

$$h_s = h_f + x \cdot h_{fg}$$

$$W_s = (h_{10} - h_{11s}) + (h_{11s} - h_{12s}) + (h_{12s} - h_{13s}) + (h_{13s} - h_{14s}) + (h_{14s} - h_{15s}) + (h_{15s} - h_{16s}) + (h_{16s} - h_{17s}) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- W_s = Kerja turbin secara isentropik (kJ/kg)
- h_{10} = Entalpi aktual masuk turbin (kJ/kg)
- h_{11s} = Entalpi keluaran ekstraksi 1 isentropik (kJ/kg)
- h_{12s} = Entalpi keluaran ekstraksi 2 isentropik (kJ/kg)
- h_{13s} = Entalpi keluaran ekstraksi 3 isentropik (kJ/kg)
- h_{14s} = Entalpi keluaran ekstraksi 4 isentropik (kJ/kg)
- h_{15s} = Entalpi keluaran ekstraksi 5 isentropik (kJ/kg)
- h_{16s} = Entalpi keluaran ekstraksi 6 isentropik (kJ/kg)
- h_{17s} = Entalpi keluaran turbin ke kondensor isentropik (kJ/kg)

2.8.2 Fraksi Uap

Fraksi uap merupakan banyaknya cairan yang terdapat dalam uap keluar pada turbin. Nilai fraksi digunakan untuk menghitung entalpi keluar turbin. Entropi merupakan suatu perubahan pada sistem dalam keadaan setimbang. Ini memungkinkan bahwa setiap sistem entropinya selalu sama, jika sistem berada dalam keadaan keseimbangan tertentu (Puspawan, 2019).

$$x = \frac{S_2 - S_f}{S_g - S_f} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- x = Nilai fraksi uap
- S₂ = Entropi keluar turbin kondisi aktual (kJ/kg)
- S_f = Entropi kondisi campuran fluida gas (kJ/kg)
- S_g = Entropi uap/gas (kJ/kg)

2.8.3 Steam Rate (SR)

Steam rate merupakan kualitas uap yang diperlukan untuk membangkitkan setiap kilowatt jam (kWh) listrik dengan membandingkan rasio laju aliran uap terhadap daya output.

$$SR = \frac{\dot{m}}{P_{generator}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- SR = Steam Rate
- \dot{m} = Laju aliran massa uap
- P_{generator} = Daya generator (MW)

2.8.4 Efisiensi Isentropik Turbin (η_s)

Efisiensi isentropik merupakan perbandingan antara kinerja aktual pada suatu peralatan dengan kinerja yang dapat diperoleh dibawah keadaan ideal untuk keadaan masuk yang sama dan tekanan keluar yang sama (Puspawan, 2019).

$$\eta_s = \frac{W_a}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

η_s = Efisiensi isentropik (%)

W_a = Kerja turbin aktual (kJ/kg)

W_s = Kerja turbin isentropik (kJ/kg)

2.8.5 Efisiensi Mekanis Turbin Uap ($\eta_{mekanis}$)

Efisiensi merupakan istilah yang sering dipakai dalam sistem termodinamika dan membuktikan seberapa baik konversi energi atau performa yang dilakukan oleh peralatan (Anggraini, 2017).

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta_{mekanis} = \frac{P_{generator}}{W_T} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

$\eta_{mekanis}$ = Efisiensi Mekanis Turbin uap (%)

W_T = Kerja turbin (kJ/s)

$$\begin{aligned}
W_T = & \dot{m}_1 (h_{10} - h_{11s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) (h_{11s} - h_{12s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3) (h_{12s} - h_{13s}) + \\
& (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4) (h_{13s} - h_{14s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5) (h_{14s} - \\
& h_{15s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6) (h_{15s} - h_{16s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \\
& \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6 - \dot{m}_7) (h_{16s} - h_{17s})
\end{aligned}$$



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian **Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan *Performance Test* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW** yang berlokasi di Dusun Bawasalo, Desa Lampoko, Kecamatan Balusu, Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan. Waktu penelitian adalah Februari s.d September 2020 dengan waktu pengambilan data selama 2 hari.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Adapun teknik penumpulan data yang dilakukan dalam penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu

1. Studi Literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur berupa informasi buku dan referensi pada jurnal yang terkait dengan teori serta data-data yang dibutuhkan untuk analisis kinerja turbin uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW.

2. Observasi Lapangan

Penulis melakukan penelitian secara langsung terhadap objek penelitian untuk memperoleh data-data yang akan diperlukan dengan turun langsung ke lapangan dan memahami sistem yang ada di PLTU Barru 2X50 MW.

3. Wawancara

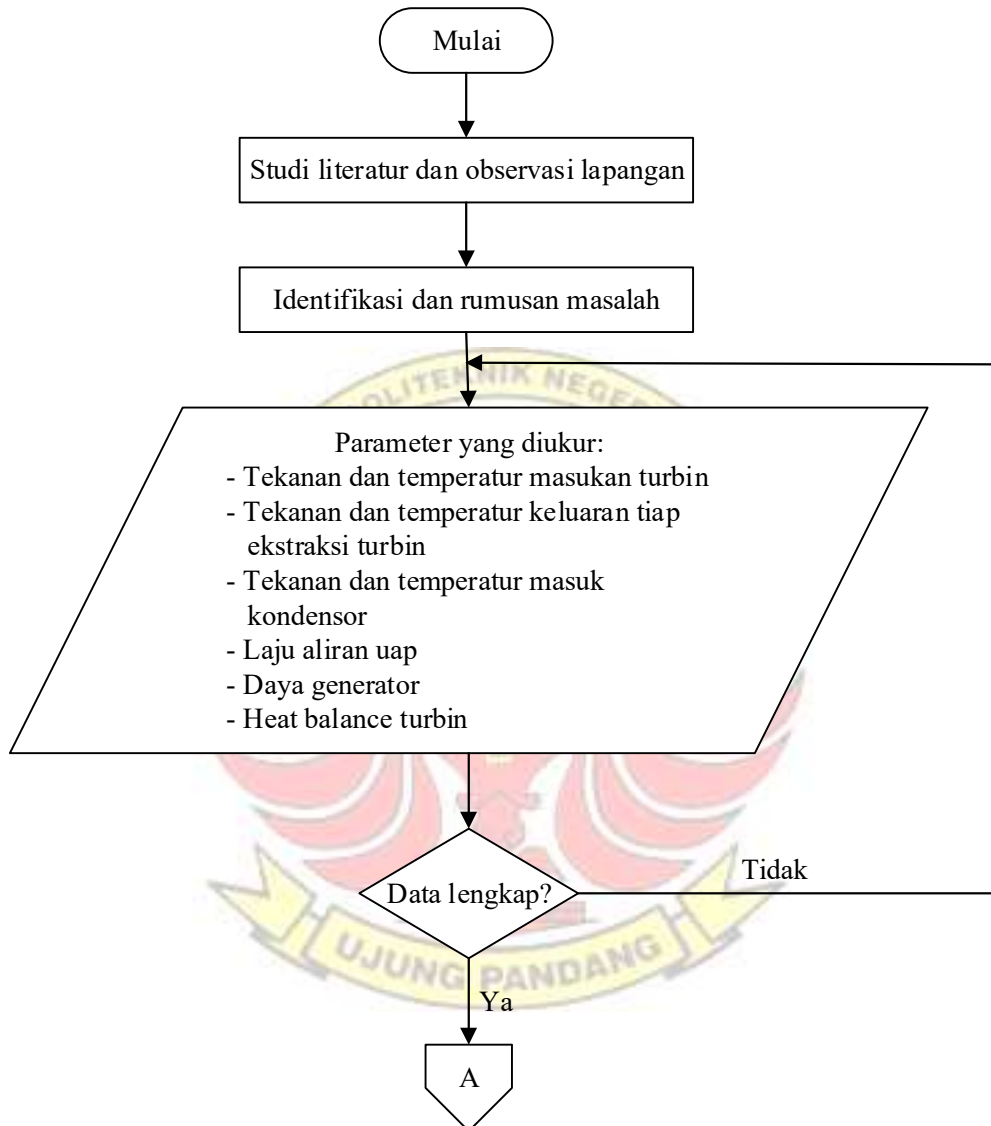
Pada penelitian ini dilakukan wawancara atau tanya jawab kepada pihak pekerja perusahaan untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

3.3 Teknik Analisis Data

Setelah melakukan pengambilan data-data yang diperlukan melalui *Central Control Room* (CCR) pada PLTU Barru 2X50 MW, maka dilakukan analisis data berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan dan dibuat sebelumnya. Olah data selanjutnya yaitu untuk mencari nilai-nilai yang diperlukan dalam penelitian ini seperti, kerja turbin aktual, kerja turbin isentropik, fraksi uap, *steam rate*, efisiensi isentropik dan efisiensi mekanis. Data-data yang diambil meliputi data temperatur, tekanan dan aliran uap yang telah tercatat berdasarkan waktu yang bervariasi dengan beban yang sama untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja turbin uap pada PLTU Barru 2X50 MW.



3.4 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram alir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1 Spesifikasi Turbin Uap PLTU Barru Unit 1

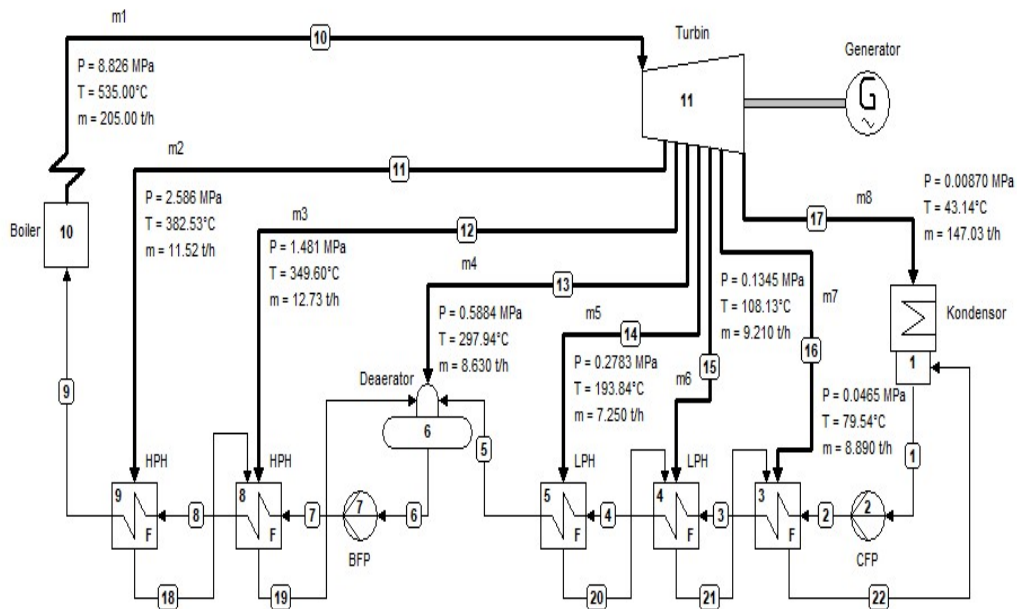
Table 4.1 Data Spesifikasi Turbin Unit 1 PLTU Barru

| Serial No | Name | Unit | Numerical Value | Remarks |
|------------------------------|---|---------|-----------------|--------------------------|
| Type : High Pressure Turbine | | | | |
| a. | Steam pressure before entering main steam valve | MPa | 8.83 | Rated |
| | | | 9.32 | Maksimum |
| | | | 8.34 | Minimum |
| b. | Temperature of steam before entering main steam valve | °C | 535 | Rated |
| | | | 540 | Maksimum |
| | | | 525 | Minimum |
| c. | Steam admission amount | t/h | 217 | Rated working condition |
| d. | Rated capacity of turbine | MW | 50 | Rated |
| e. | Seam exhaust pressure at rated working condition | kPa | 8.7 | |
| f. | Seam exhaust pressure at working condition in summe | kPa | 11.8 | |
| g. | Water feeding temperature | °C | 217.4 | Rated working condution |
| | | | 219.2 | Summer working condution |
| h. | Steam turbine steam consumption under TMCR (calculated value) | Kg/kW.h | 3.688 | |
| i. | Steam turbine heat consumption under TMCR (calculated value) | Kg/kW.h | 9274.3 | |
| j. | Steam turbine heat consumption under TMCR (guarantee value) | Kg/kW.h | 9328.2 | |

| | | | | |
|----|--|---|----------------|-----------------|
| k. | Cooling water temperature | °C | 30 | Rated |
| | | | 33 | Maksimum |
| l. | Steam turbine steering | Clockwise (from steam turbine head to tail) | | |
| M | Rated speed of steam turbine | r/min | 3000 | |
| n. | Critical speed of single rotor of steam turbine | r/min | 1562.3 | Elastic support |
| o. | Maximum vibration of bearing cover of steam turbine | Mm | 0.03 | |
| p. | Maximum vibration of bearing cover at critical speed | mm | 0.10 | |
| q. | Center height of steam turbine (to the operation platform) | mm | 800 | |
| r. | Total weight of steam turbine main body | t | 132 | |
| s. | Lifting weight of upper half cylinder | t | 25 | |
| t. | Lifting weight of lower half cylinder (outside clapboard) | t | 38 | |
| u. | Total weight of steam turbine rotor(including half of shaft joint) | t | 19.7 | |
| v. | Maximum diameter of rotor | mm | 2483 | |
| w. | Maximum static deflection of rotor | mm | 0.408 | |
| x. | The distance from rotor gravity center to centre line of front bearing | mm | 2925 | |
| y. | Final blade height | mm | 560 | |
| z. | Maximum size of steam turbine main body (length*width*height) | mm | 8451*7090*3260 | |

4.1.2 Analisis Data

4.1.2.1 Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 pada saat Komisioning Beban 50 MW



Gambar 4.1 Diagram skematik PLTU Barru saat komisioning

1. Kerja Turbin Kondisi Aktual (W_a)

Untuk memulai analisis, ditetapkan setiap lokasi keadaan pada gambar skematik diatas. Dimulai pada sisi masukan turbin uap pada $P_{10} = 8.826$ MPa dan $T_{10} = 535.00$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{10} = 3474.40$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 1 pada $P_{11} = 2.586$ MPa dan $T_{11} = 382.52$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{11} = 3200.1$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 2 pada $P_{12} = 1.481$ MPa dan $T_{12} = 349.60$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{12} = 3148.9$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 3 pada $P_{13} = 0.5884$ MPa dan $T_{13} = 297.94$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{13} = 3059.2$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 4 pada $P_{14} = 0.2783$ MPa dan $T_{14} = 193.84$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{14} = 2854.7$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 5 pada $P_{15} = 0.1345$ MPa dan $T_{15} = 108.13$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{15} = 2627.9$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 6 pada $P_{16} = 0.0465$ MPa dan $T_{16} = 79.54$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{16} = 2525.8$ kJ/kg

Sisi keluaran turbin menuju ke kondensor $P_{17} = 0.00870$ MPa dan $T_{17} = 43.14$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{17} = 2291.9$ kJ/kg

$$\begin{aligned}
 W_a &= (h_{10} - h_{11}) + (h_{11} - h_{12}) + (h_{12} - h_{13}) + (h_{13} - h_{14}) + (h_{14} - h_{15}) + (h_{15} - h_{16}) + (h_{16} - h_{17}) \\
 &= (3474.4 - 3200.1) + (3200.1 - 3148.9) + (3148.9 - 3059.2) + (3059.2 - 2854.7) + (2854.7 - 2627.9) + (2627.9 - 2525.8) + (2525.8 - 2291.9) \\
 &= (274.3 + 51.2 + 89.7 + 204.5 + 226.8 + 102.1 + 233.9) \\
 &= 1182.5 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

2. Kerja Turbin Kondisi Isentropik (W_s)

Untuk memulai analisis, ditetapkan setiap lokasi keadaan pada gambar skematik. Dimulai pada sisi masukan turbin uap pada $P_{10} = 8.826$ MPa dan $T_{10} = 535.00$ °C diperoleh $h_{10} = 3474.4$ kJ/kg dan $S_{10} = 6.78$ kJ/kg.K

Sisi ekstraksi 1 pada keadaan 11_s di tetapkan oleh $P_{11} = 2.586$ MPa dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 11_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{11} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 2.57}{6.24 - 2.57} \\ &= 1.15\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 11_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{11s} &= h_f + x_{11} \cdot h_{fg} \\ &= 970.39 + (1.15) (1832.01) \\ &= 3077.20 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 2 pada keadaan 12_s di tetapkan oleh $P_{12} = 1.481$ MPa dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 12_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{12} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 2.31}{6.45 - 2.31} \\ &= 1.08\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 12_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{12s} &= h_f + x_{12} \cdot h_{fg} \\ &= 842.00 + (1.08) (1948.63) \\ &= 2946.52 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 3 pada keadaan 13_s di tetapkan oleh $P_{13} = 0.5884$ MPa dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 13_s yaitu:

$$\begin{aligned} x_{13} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 1.92}{6.77 - 1.92} \\ &= 1.00 \end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 13_s menjadi :

$$\begin{aligned} h_{13s} &= h_f + x_{13} \cdot h_{fg} \\ &= 667.19 + (1.00) (2088.09) \\ &= 2755.28 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 4 pada keadaan 14_s di tetapkan oleh $P_{14} = 0.2783$ MPa dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 14_s yaitu:

$$\begin{aligned} x_{14} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 1.65}{7.02 - 1.65} \\ &= 0.95 \end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 14_s menjadi :

$$\begin{aligned} h_{14s} &= h_f + x_{14} \cdot h_{fg} \\ &= 550.59 + (0.95) (2170.85) \\ &= 2612.89 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 5 pada keadaan 15_s di tetapkan oleh $P_{15} = 0.1345$ MPa dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 15_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{15} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 1.40}{7.26 - 1.40} \\ &= 0.91\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 15_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{15s} &= h_f + x_{15} \cdot h_{fg} \\ &= 453.36 + (0.91) (2234.83) \\ &= 2487.05 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 6 pada keadaan 16_s di tetapkan oleh $P_{16} = 0.0465$ MPa dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 16_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{16} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 1.07}{7.62 - 1.07} \\ &= 0.87\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 16_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{16s} &= h_f + x_{16} \cdot h_{fg} \\ &= 332.93 + (0.87) (2309.06) \\ &= 2341.81 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi keluaran turbin yang langsung menuju ke kondensor pada keadaan 17_s di tetapkan oleh $P_{17} = 0.00870$ MPa dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 17_s yaitu:

$$\begin{aligned} x_{17} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 0.61}{8.20 - 0.61} \\ &= 0.81 \end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 17_s menjadi :

$$\begin{aligned} h_{17s} &= h_f + x_{17} \cdot h_{fg} \\ &= 180.54 + (0.81)(2398.55) \\ &= 2123.36 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_s &= (h_{10} - h_{11s}) + (h_{11s} - h_{12s}) + (h_{12s} - h_{13s}) + (h_{13s} - h_{14s}) + (h_{14s} - h_{15s}) + \\ &\quad (h_{15s} - h_{16s}) + (h_{16s} - h_{17s}) \\ &= (3474.40 - 3077.20) + (3077.20 - 2946.52) + (2946.52 - 2755.28) + \\ &\quad (2755.28 - 2612.89) + (2612.89 - 2487.05) + (2487.05 - 2341.81) + \\ &\quad (2341.81 - 2123.36) \\ &= (397.2 + 130.68 + 191.24 + 142.39 + 125.84 + 145.24 + 218.45) \\ &= 1351.04 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

3. Fraksi Uap

Tabel 4.2 Nilai Fraksi Uap turbin unit 1 pada saat komisioning

| Titik | Fraksi Uap |
|-------------|------------|
| Ekstraksi 1 | 1.15 |
| Ekstraksi 2 | 1.08 |
| Ekstraksi 3 | 1.00 |
| Ekstraksi 4 | 0.95 |
| Ekstraksi 5 | 0.91 |
| Ekstraksi 6 | 0.87 |
| Kondensor | 0.81 |

4. Steam Rate

$$\begin{aligned} SR &= \frac{\dot{m}}{P_{\text{generator}}} \\ &= \frac{205.00}{55.58} \\ &= 3.68 \end{aligned}$$

5. Efisiensi Isentropic Turbin (η_s)

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{W_a}{W_s} \times 100\% \\ &= \frac{1182.5}{1351.04} \times 100\% \\ &= 87.52\% \end{aligned}$$

6. Efisiensi Mekanis Turbin (η_{mekanis})

$$\eta_{\text{mekanis}} = \frac{P_{\text{generator}}}{W_T} \times 100\%$$

$$W_T = \dot{m}_1 (h_{10} - h_{11s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) (h_{11s} - h_{12s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3) (h_{12s} - h_{13s}) +$$

$$(\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4) (h_{13s} - h_{14s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5) (h_{14s} -$$

$$h_{15s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6) (h_{15s} - h_{16s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 -$$

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6 - \dot{m}_7) (h_{16s} - h_{17s})$$

$$W_T = (56.94) (3474.4 - 3077.20) + (56.94 - 3.2) (3077.20 - 2946.52) + (56.94 -$$

$$3.2 - 3.53) (2946.52 - 2755.28) + (56.94 - 3.2 - 3.53 - 2.39) (2755.28 -$$

$$2612.89) + (56.94 - 3.2 - 3.53 - 2.39 - 2.01) (2612.89 - 2487.05) +$$

$$(56.94 - 3.2 - 3.53 - 2.39 - 2.01 - 2.55) (2487.05 - 2341.81) + (56.94 -$$

$$3.2 - 3.53 - 2.39 - 2.01 - 2.55 - 2.46) (2341.81 - 2123.36)$$

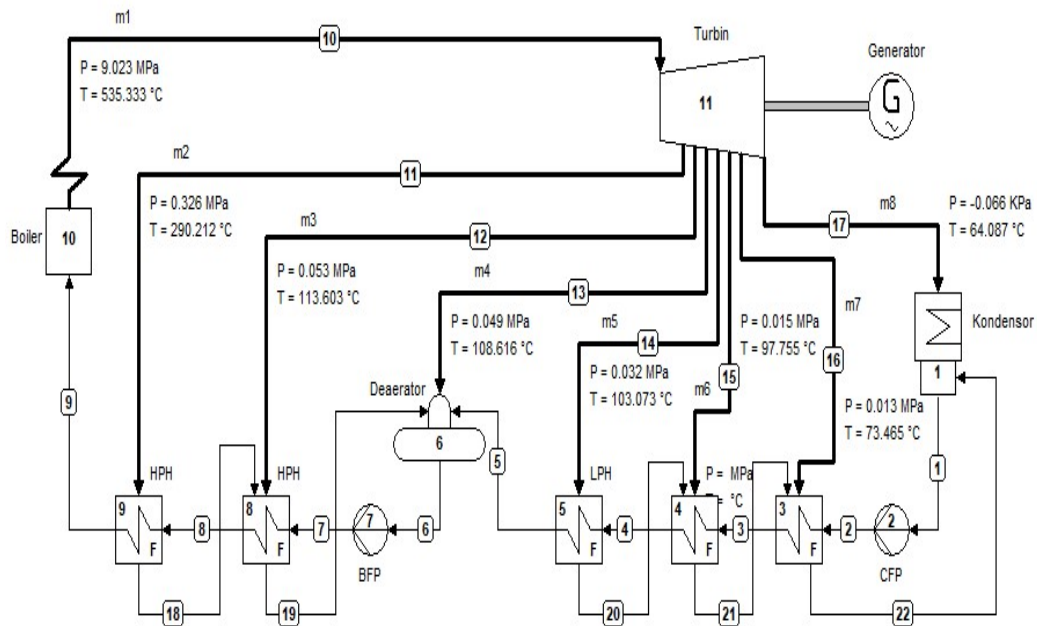
$$= (22616.56 + 7022.74 + 9602.16 + 6809.08 + 5764.73 + 6283.08 + 8912.76)$$

$$= 67011.11 \text{ kJ/s}$$

$$\eta_{\text{mekanis}} = \frac{55581.3}{67011.11} \times 100\%$$

$$= 82.94\%$$

4.1.2.2 Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 saat operasi dengan Beban 50 MW



Gambar 4.2 Diagram skematik PLTU Barru saat operasi

1. Kerja Turbin Kondisi Aktual (W_a)

Untuk memulai analisis, ditetapkan setiap lokasi keadaan pada gambar skematik. Dimulai pada sisi masukan turbin uap pada $P_{10} = 9.023$ MPa dan $T_{10} = 535.33$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{10} = 3475.07$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 1 pada $P_{11} = 0.326$ MPa dan $T_{11} = 290.212$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{11} = 3048.68$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 2 pada $P_{12} = 0.053$ MPa dan $T_{12} = 113.603$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{12} = 2708.52$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 3 pada $P_{13} = 0.049$ MPa dan $T_{13} = 108.616$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{13} = 2699.18$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 4 pada $P_{14} = 0.032$ MPa dan $T_{14} = 103.073$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{14} = 2690.36$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 5 pada $P_{15} = 0.015$ MPa dan $T_{15} = 97.755$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{15} = 2682.23$ kJ/kg

Sisi ekstraksi 6 pada $P_{16} = 0.013$ MPa dan $T_{16} = 73.465$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{16} = 2631.75$ kJ/kg

Sisi keluaran turbin menuju ke kondensor $P_{17} = -0.066$ MPa dan $T_{17} = 64.087$ °C dengan melakukan interpolasi data diperoleh $h_{17} = 2615.67$ kJ/kg

$$\begin{aligned} W_a &= (h_{10} - h_{11}) + (h_{11} - h_{12}) + (h_{12} - h_{13}) + (h_{13} - h_{14}) + (h_{14} - h_{15}) + (h_{15} - \\ &\quad h_{16}) + (h_{16} - h_{17}) \\ &= (3475.07 - 3048.68) + (3048.68 - 2708.52) + (2708.52 - 2699.18) + \\ &\quad (2699.18 - 2690.36) + (2690.36 - 2682.23) + (2682.23 - 2631.75) + \\ &\quad (2631.75 - 2615.67) \\ &= (426.39 + 340.16 + 9.34 + 8.82 + 8.13 + 50.48 + 16.08) \\ &= 859.39 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

2. Kerja Turbin Kondisi Isentropik (W_s)

Untuk memulai analisis, ditetapkan setiap lokasi keadaan pada gambar skematik. Dimulai pada sisi masukan turbin uap pada $P_{10} = 9.023$ MPa dan $T_{10} = 535.333$ °C diperoleh $h_{10} = 3475.07$ kJ/kg dan $S_{10} = 6.77$ kJ/kg.K

Sisi ekstraksi 1 pada keadaan 11_s di tetapkan oleh $T_{11} = 290.212$ °C dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 11_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{11} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\&= \frac{6.77 - 1.70}{6.96 - 1.70} \\&= 0.96\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 11_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{11s} &= h_f + x_{11} \cdot h_{fg} \\&= 573.69 + (0.96) (2155.02) \\&= 2649.34 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 2 pada keadaan 12_s di tetapkan oleh $T_{12} = 113.603$ °C dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 12_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{12} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\&= \frac{6.77 - 1.46}{7.20 - 1.46} \\&= 0.93\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 12_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{12s} &= h_f + x_{12} \cdot h_{fg} \\ &= 475.99 + (0.93) (2220.28) \\ &= 2530.17 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 3 pada keadaan 13_s di tetapkan oleh $T_{13} = 108.616 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 13_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{13} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.77 - 1.40}{7.26 - 1.40} \\ &= 0.92\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 13_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{13s} &= h_f + x_{13} \cdot h_{fg} \\ &= 454.87 + (0.92) (2233.86) \\ &= 2503.51 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 4 pada keadaan 14_s di tetapkan oleh $T_{14} = 103.073 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 14_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{14} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.77 - 1.34}{7.32 - 1.34}\end{aligned}$$

$$= 0.91$$

sehingga entalpi keadaan 14_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{14s} &= h_f + x_{14} \cdot h_{fg} \\ &= 431.44 + (0.91) (2248.72) \\ &= 2473.55 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 5 pada keadaan 15_s di tetapkan oleh $T_{15} = 97.755 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 15_s yaitu:

$$\begin{aligned}x_{15} &= \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f} \\ &= \frac{6.78 - 1.28}{7.38 - 1.28} \\ &= 0.90\end{aligned}$$

sehingga entalpi keadaan 15_s menjadi :

$$\begin{aligned}h_{15s} &= h_f + x_{15} \cdot h_{fg} \\ &= 409.00 + (0.90) (2262.78) \\ &= 2444.50 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Sisi ekstraksi 6 pada keadaan 16_s di tetapkan oleh $T_{16} = 73.465 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 16_s yaitu:

$$x_{16} = \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f}$$

$$= \frac{6.77 - 1.00}{7.71 - 1.00}$$

$$= 0.86$$

sehingga entalpi keadaan 16_s menjadi :

$$h_{16s} = h_f + x_{16} \cdot h_{fg}$$

$$= 306.91 + (0.86) (2324.84)$$

$$= 2307.66 \text{ kJ/kg}$$

Sisi keluaran turbin yang langsung menuju ke kondensor pada keadaan 17_s di tetapkan oleh $T_{17} = 64.087 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan asumsi bahwa entropi dalam keadaan konstan. Dengan menggunakan data cairan jenuh dan uap dari Tabel A-2, diperoleh kualitas uap pada keadaan 17_s yaitu:

$$x_{17} = \frac{S_{10} - S_f}{S_g - S_f}$$

$$= \frac{6.77 - 0.88}{7.85 - 0.88}$$

$$= 0.85$$

sehingga entalpi keadaan 17_s menjadi :

$$h_{17s} = h_f + x_{17} \cdot h_{fg}$$

$$= 267.63 + (0.85) (2348.05)$$

$$= 2252.95 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}
W_s &= (h_{10} - h_{11s}) + (h_{11s} - h_{12s}) + (h_{12s} - h_{13s}) + (h_{13s} - h_{14s}) + (h_{14s} - h_{15s}) + \\
&\quad (h_{15s} - h_{16s}) + (h_{16s} - h_{17s}) \\
&= (3475.07 - 2649.34) + (2649.34 - 2530.17) + (2530.17 - 2503.51) + \\
&\quad (2503.51 - 2473.55) + (2473.55 - 2444.50) + (2444.50 - 2307.66) + \\
&\quad (2307.66 - 2252.95) \\
&= (825.73 + 119.17 + 26.66 + 29.96 + 29.05 + 136.84 + 54.71) \\
&= 1222.12 \text{ kJ/kg}
\end{aligned}$$

3. Fraksi Uap

Tabel 4.3 Nilai Fraksi Uap turbin unit 1 pada saat beroperasi 2019

| Titik | Fraksi Uap |
|-------------|------------|
| Ekstraksi 1 | 0.96 |
| Ekstraksi 2 | 0.93 |
| Ekstraksi 3 | 0.92 |
| Ekstraksi 4 | 0.91 |
| Ekstraksi 5 | 0.90 |
| Ekstraksi 6 | 0.86 |
| Kondensor | 0.85 |

4. Steam Rate

$$\begin{aligned} \text{SR} &= \frac{\dot{m}}{P_{\text{generator}}} \\ &= \frac{197.839}{50.673} \\ &= 3.90 \end{aligned}$$

5. Efisiensi Isentropic Turbin (η_s)

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{W_a}{W_s} \times 100\% \\ &= \frac{859.39}{1222.12} \times 100\% \\ &= 70.32\% \end{aligned}$$

6. Efisiensi Mekanis Turbin (η_{mekanis})

$$\eta_{\text{mekanis}} = \frac{P_{\text{generator}}}{W_T} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} W_T &= \dot{m}_1 (h_{10} - h_{11s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) (h_{11s} - h_{12s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3) (h_{12s} - h_{13s}) + \\ &\quad (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4) (h_{13s} - h_{14s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5) (h_{14s} - \\ &\quad h_{15s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6) (h_{15s} - h_{16s}) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \\ &\quad \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6 - \dot{m}_7) (h_{16s} - h_{17s}) \end{aligned}$$

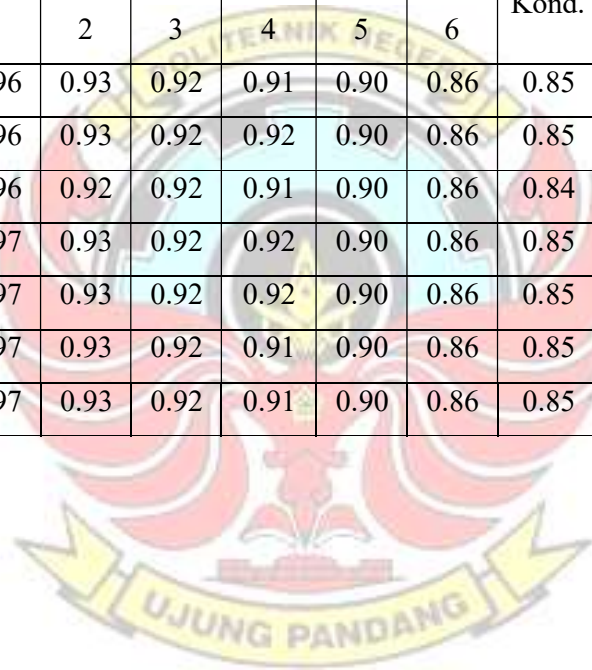
$$\begin{aligned}
W_T &= (54.95) (3475.07 - 2649.34) + (54.95 - 3.29) (2649.34 - 2530.17) + (54.95 \\
&\quad - 3.29 - 2.19) (2530.17 - 2503.51) + (54.95 - 3.29 - 2.19 - 2.19) (2503.51 \\
&\quad - 2473.55) + (54.95 - 3.29 - 2.19 - 2.19 - 1.65) (2473.55 - 2444.50) + \\
&\quad (54.95 - 3.29 - 2.19 - 2.19 - 1.65 - 2.19) (2444.50 - 2307.66) + (54.95 - \\
&\quad 3.29 - 2.19 - 2.19 - 1.65 - 2.19 - 2.19) (2307.66 - 2252.95) \\
&= (45373.86 + 6156.32 + 1318.87 + 1416.50 + 1325.55 + 5944.32 + 2256.78) \\
&= 65108.10 \text{ kJ/s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_{\text{mekanis}} &= \frac{50673}{65108.10} \times 100\% \\
&= 77.83\%
\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama pada saat menganalisis data operasi pada bulan Februari 2019 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Barru 2X50 MW, dan menggunakan aplikasi *Steam Table Excel* maka untuk hasil rata-rata data performa turbin Unit 1 pada PLTU Barru saat beroperasi dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Performa Turbin Uap Unit 1 PLTU Barru

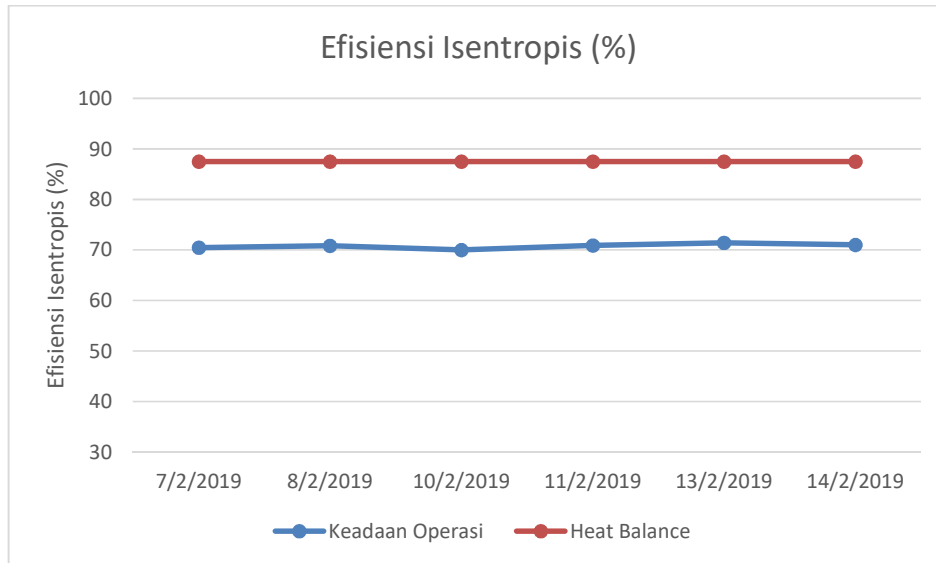
| Tanggal | W _{aktual} (kJ/kg) | W _{isentropic} (kJ/kg) | Fraksi Uap | | | | | | | Steam Rate | $\eta_{isentropic}$ (%) | $\eta_{mekanis}$ (%) |
|------------|--------------------------------|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------------|----------------------------|-------------------------|
| | | | Eks. 1 | Eks. 2 | Eks. 3 | Eks. 4 | Eks. 5 | Eks. 6 | Kond. | | | |
| 07/02/2019 | 858.21 | 1217.69 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.91 | 70.48 | 78.22 |
| 08/02/2019 | 866.85 | 1224.17 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.89 | 70.81 | 78.51 |
| 10/02/2019 | 869.40 | 1241.57 | 0.96 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.84 | 3.85 | 70.03 | 79.21 |
| 11/02/2019 | 863.40 | 1218.13 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.92 | 70.88 | 78.14 |
| 13/02/2019 | 864.28 | 1210.05 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.93 | 71.42 | 78.12 |
| 14/02/2019 | 853.33 | 1201.64 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.98 | 71.01 | 77.78 |
| Rata-rata | 862.57 | 1218.88 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.91 | 70.77 | 78.33 |



Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Performa Turbin Unit 1 PLTU Barru

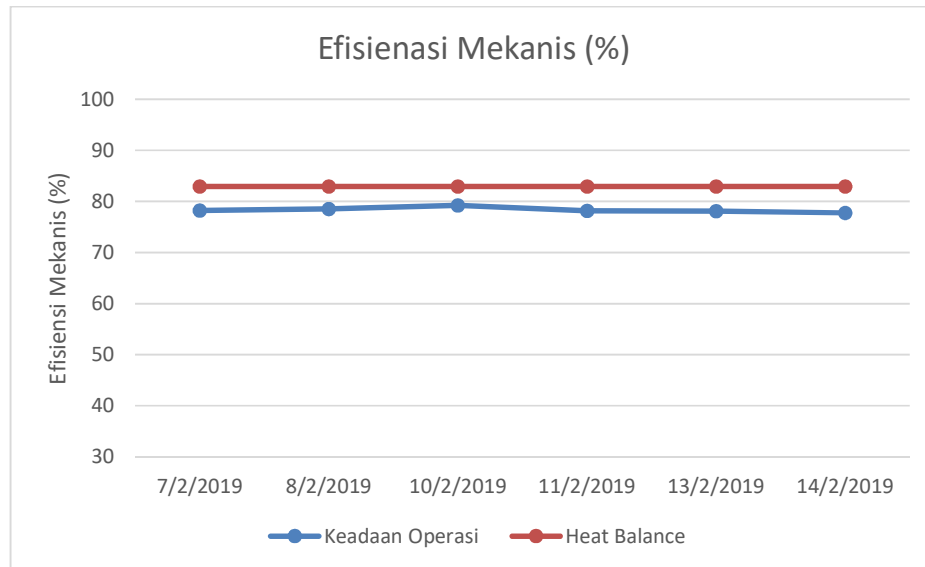
| Parameter Performa Turbin | | Heat Balance | Operasi Turbin Unit 1 Feb. 2019 |
|---------------------------------|-------------|--------------|------------------------------------|
| W_{aktual} (kJ/kg) | | 1182.5 | 862.57 |
| $W_{\text{isentropic}}$ (kJ/kg) | | 1351.04 | 1218.88 |
| Fraksi Uap | Ekstraksi 1 | 1.15 | 0.97 |
| | Ekstraksi 2 | 1.08 | 0.93 |
| | Ekstraksi 3 | 1.00 | 0.92 |
| | Ekstraksi 4 | 0.95 | 0.91 |
| | Ekstraksi 5 | 0.91 | 0.90 |
| | Ekstraksi 6 | 0.87 | 0.86 |
| | Kondensor | 0.81 | 0.85 |
| Steam Rate | | 3.68 | 3.91 |
| Efisiensi Isentropik (%) | | 87.52 | 70.77 |
| Efisiensi Mekanis (%) | | 82.94 | 78.33 |

4.1.2.3 Grafik



Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Isentropik Turbin

Pada Gambar 4.3 diatas merupakan gambar grafik efisiensi isentropik turbin pada bulan Februari. Grafik tersebut menunjukkan bahwa efisensi isentropik pada bulan Februari relatif konstan yaitu rata-rata nilai efisensi isentropik turbin adalah sebesar 70.77%. Walaupun pada tanggal 10 efisiensi isentropis terendah terjadi yaitu sebesar 70.03%. Walaupun demikian pada bulan Februari efisiensi isentropik turbin masih dalam keadaan stabil karena nilai tekanan dan temperature masukan turbin tetap dalam keadaan stabil. Dimana nilai tekanan terjaga sebesar 8.520-8.923 MPa, sedangkan temperatur berada pada range 530-538°C.



Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Mekanis Turbin

Pada Gambar 4.4 diatas merupakan gambar grafik efisiensi mekanis turbin pada bulan Februari. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa efisiensi mekanis pada turbin di bulan Februari 2019 dalam keadaan stabil yaitu rata-rata nilai efisiensi mekanis turbin adalah sebesar 78.33%. Untuk mengetahui baik atau tidaknya kinerja turbin berdasarkan efisiensi mekanis dapat diketahui dari berapa besar kerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik. Pada bulan Februari 2019 efisiensi mekanis turbin masih terbilang cukup baik karena kinerja turbin hanya berbeda sebesar 5% dari efisiensi mekanis turbin berdasarkan data *heat balance*.

4.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan yang telah dilakukan serta sesuai dengan tujuan penelitian, maka diperoleh hasil yang akan dibahas dan diuraikan dalam bagian pembahasan ini.

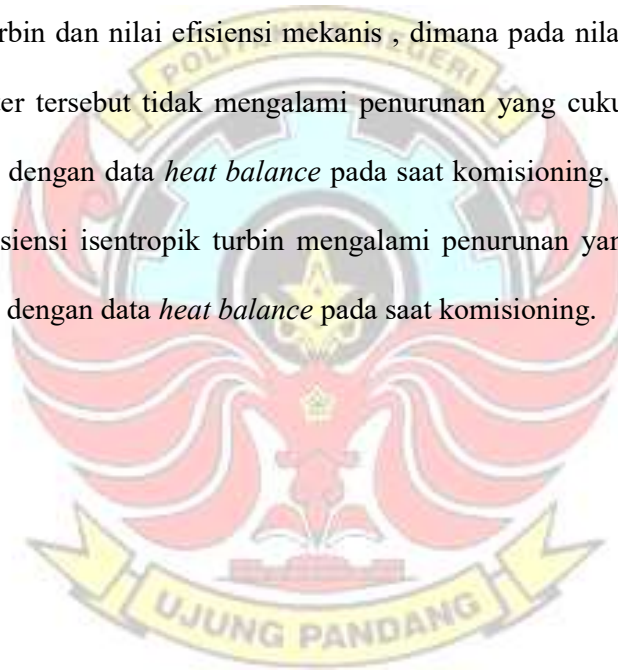
Pada tabel 4.4 untuk performa turbin Unit 1 dalam keadaan operasi pada bulan Februari 2019 diperoleh rata-rata nilai kinerja turbin yaitu kerja aktual 862.57 kJ/kg, kerja isentropik 1218.88 kJ/kg, dan nilai fraksi uap pada tiap titik ekstraksi yang berbeda. Dimana pada ekstraksi 1 fraksi uap sebesar 0.97, ekstraksi 2 sebesar 0.93, ekstraksi 3 sebesar 0.92, ekstraksi 4 sebesar 0.91, ekstraksi 5 sebesar 0.90, ekstraksi 6 sebesar 0.86 dan fraksi pada titik kondensor sebesar 0.85.

Berdasarkan pada gambar 4.3 untuk grafik efisiensi isentropik pada turbin Unit 1 dalam keadaan operasi pada bulan Februari 2019 nilai efisiensi isentropik masih dalam keadaan stabil jika diperhatikan dalam keadaan operasi selama 1 minggu pada bulan Februari. Dimana rata-rata nilai efisiensi isentropik untuk turbin Unit 1 sebesar 70.77%. Pada turbin Unit 1 ini nilai tekanan dan temperatur uap masukan turbin terjaga pada batas tertentu. Dimana pada nilai tekanannya sebesar 8.520-8.923 MPa, sedangkan pada nilai temperaturnya sebesar 530-538°C sehingga nilai efisiensi cenderung stabil.

Berdasarkan pada gambar 4.4 untuk grafik efisiensi mekanis pada turbin Unit 1 dalam keadaan operasi pada bulan Februari 2019 nilai efisiensi mekanis masih dalam keadaan stabil jika diperhatikan dalam keadaan operasi selama 1 minggu pada bulan Februari. Dimana rata-rata nilai efisiensi mekanis untuk turbin

Unit 1 adalah sebesar 78.33%. Hanya memiliki perbedaan efisiensi mekanis sebesar 5% jika dibandingkan dengan data *heat balance* pada saat *komisioning*.

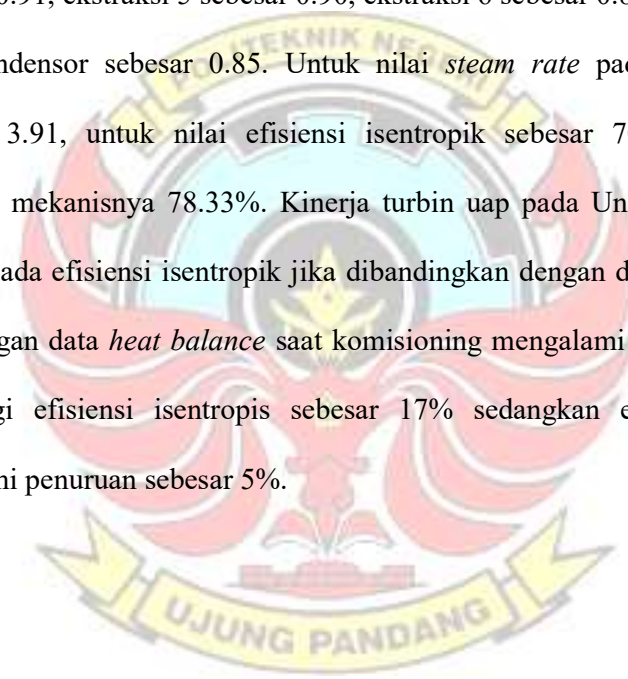
Setelah melakukan analisis data kinerja turbin uap di PLTU Barru maka diperoleh hasil yaitu bahwa kinerja turbin uap Unit 1 pada keadaan operasi ditahun 2019 dengan banyak pengambilan data yang diolah adalah 1 minggu pada bulan Februari jika dibandingkan dengan data *heat balance* dengan daya 50 MW masih mempunyai kinerja yang masih cukup baik jika dilihat dari segi fraksi uap, *steam rate* turbin dan nilai efisiensi mekanis , dimana pada nilai yang dihasilkan pada parameter tersebut tidak mengalami penurunan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan data *heat balance* pada saat komisioning. Sedangkan untuk parameter efisiensi isentropik turbin mengalami penurunan yang signifikan jika dibandingkan dengan data *heat balance* pada saat komisioning.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kinerja turbin Unit 1 pada PLTU Barru rata-rata yang diperoleh selama 1 minggu pada bulan Februari 2019 data diperoleh adalah: kerja aktual 862.57 kJ/kg, kerja isentropis 1218.88 kJ/kg dan nilai fraksi uap pada ekstraksi 1 sebesar 0.97, ekstraksi 2 sebesar 0.93, ekstraksi 3 sebesar 0.92, ekstraksi 4 sebesar 0.91, ekstraksi 5 sebesar 0.90, ekstraksi 6 sebesar 0.86 dan fraksi pada titik kondensor sebesar 0.85. Untuk nilai *steam rate* pada turbin Unit 1 sebesar 3.91, untuk nilai efisiensi isentropik sebesar 70.77% dan nilai efisiensi mekanisnya 78.33%. Kinerja turbin uap pada Unit 1 PLTU Barru dilihat pada efisiensi isentropik jika dibandingkan dengan data kinerja turbin uap dengan data *heat balance* saat komisioning mengalami penurunan kinerja dari segi efisiensi isentropis sebesar 17% sedangkan efisiensi mekanis mengalami penurunan sebesar 5%.



5.2 Saran

1. Penambahan sensor alat ukur pada beberapa komponen unit agar dalam pengambilan data bisa lebih akurat dan lengkap.
2. Dilakukan pengecekan pada aplikasi kontrol di CCR, karena terdapat beberapa variabel yang tidak menunjukkan nilai yang seharusnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Anggeraini, M dkk 2017. *Analisis Pengaruh Turbine Washing terhadap Performa Turbin Uap dan Daya Pembangkitan*. Jurnal Seminar Nasional Teknik Mesin. Depok: Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
- Angraini Tesa Mutia, dkk, 2018. *Perhitungan ASR & Efisiensi Internal Steam Turbine (Back Pressure)*. Jurnal Chemurgy. Bontang: Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman.
- Apriandi, Riyki dan Aqli Mursadin, 2016. *Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU PT. Indocement P-12 Tarjun*. Jurnal Teknik Mesin. Kalimantan Selatan: Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
- Arham, Arsyil dan Muh. Yusuf Septiawan. 2015. *Evaluasi Kinerja Boiler Combustion Fluidized Bed (CFB) di PT. PLN (Persero) Unit PLTU Barru*.
- Cahyadi, Dwi dan Hermawan. 2015. *Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20b Unit 10 dan 20 PT. PJB Ujoh PLTU Rembang*. UNDIP. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Djiteng M. 2005. *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Ismalia, Dwi dan Nursyamsi Liku Tondok., 2016. *Kalkulasi Efisiensi Turbin Uap dengan Beban yang Bervariasi pada PLTU Jeneponto 2x150 MW*. Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Jamal, M.F., dan A. T. Ajeng, 2014. *Unjuk Kerja Turbin Uap Unit 1 PLTU Barru 2x50 MW Terhadap Perubahan Beban*. Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Jamaludin, Iwan Kurniawan, 2016. *Analisis Perhitungan Daya Turbin yang Dihasilkan dan Efisiensi Turbin Uap pada Unit 1 dan Unit 2 Di PT. Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar*. Jurnal Teknik Mesin. Tangerang: Program Studi Teknik mesin, Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang.
- M. Yusuf, dkk, 2018. *Analisa Performa Steam Turbine ITEM 61-101-JT pada Bagian Ammonia-II Di PT Pupuk Iskandar Muda*. Jurnal Mesin sains Terapan. Buketrata: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.

- Mustofa Bachrudin Azis, dkk, 2014. *Analisis Heat Rate pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3*. Jurnal Teknik Energi. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.
- Puspawan, Angky. 2019. *Steam Turbine Isentropic Efficiency of Tc 663 My 140 Type-Unit 4 Steam Power Plant Case Study in PT. PLN (Persero), Bukit Asam Sector, Tanjung Enim Regency, South Sumatera Province*. Jurnal Rekayasa Mekanik. Bengkulu: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.
- Wahyudi, Banu. 2019. *Analisis Efisiensi Turbin Uap Terhadap Kapasitas Listrik Pembangkit*. Tugas Akhir. Medan: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Wakil, El. M.M 1992. *Instalasi Pembangkit Daya*. Jakarta: Erlangga.
- Yohanaa, Elita dan Revki Romadhon, 2017. *Analisa Efisiensi Isentropik dan Exergy Destruction Pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap*. Jurnal Teknik Mesin. Semarang: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.



L

A

M

P

I

R

A

N



Lampiran 1 Data Operasi Turbin Unit 1 PLTU Barru

| Tanggal | Jam | INLET | | | | EKST. 1 | | | EKST. 2 | | | EKST. 3 | | |
|------------|-------|-------|---------|---------|--------|---------|---------|-------|---------|---------|------|---------|---------|------|
| | | Tek. | Temp. | Flow | Daya | Tek. | Temp. | Flow | Tek. | Temp. | Flow | Tek. | Temp. | Flow |
| | | MPa | °C | t/h | MW | MPa | °C | t/h | MPa | °C | t/h | MPa | °C | t/h |
| 07/02/2019 | 0:00 | 9.023 | 535.333 | 197.839 | 50.673 | 0.326 | 290.212 | 11.87 | 0.053 | 113.603 | 7.91 | 0.049 | 108.616 | 7.91 |
| 07/02/2019 | 5:00 | 8.882 | 536.504 | 195.172 | 49.998 | 0.329 | 291.654 | 11.71 | 0.053 | 112.628 | 7.81 | 0.047 | 109.193 | 7.81 |
| 07/02/2019 | 10:00 | 8.940 | 531.465 | 196.589 | 50.206 | 0.325 | 287.526 | 11.80 | 0.053 | 112.629 | 7.86 | 0.046 | 110.074 | 7.86 |
| 07/02/2019 | 15:00 | 8.683 | 537.588 | 196.349 | 50.019 | 0.323 | 294.062 | 11.78 | 0.055 | 115.400 | 7.85 | 0.045 | 110.073 | 7.85 |
| 07/02/2019 | 20:00 | 8.799 | 530.878 | 200.544 | 51.288 | 0.327 | 288.841 | 12.03 | 0.057 | 114.973 | 8.02 | 0.046 | 110.195 | 8.02 |
| 08/02/2019 | 0:00 | 8.943 | 540.637 | 192.297 | 49.492 | 0.296 | 291.373 | 11.54 | 0.046 | 112.567 | 7.69 | 0.049 | 107.979 | 7.69 |
| 08/02/2019 | 5:00 | 8.795 | 536.270 | 193.297 | 49.692 | 0.326 | 291.094 | 11.60 | 0.054 | 110.590 | 7.73 | 0.047 | 109.892 | 7.73 |
| 08/02/2019 | 10:00 | 9.017 | 539.727 | 197.288 | 50.856 | 0.308 | 292.913 | 11.84 | 0.047 | 111.442 | 7.89 | 0.047 | 108.373 | 7.89 |
| 08/02/2019 | 15:00 | 8.711 | 535.244 | 198.499 | 50.756 | 0.324 | 294.063 | 11.91 | 0.054 | 113.571 | 7.94 | 0.047 | 109.862 | 7.94 |
| 08/02/2019 | 20:00 | 8.631 | 534.775 | 196.100 | 50.281 | 0.307 | 292.521 | 11.77 | 0.050 | 112.568 | 7.84 | 0.047 | 109.103 | 7.84 |
| 10/02/2019 | 0:00 | 8.859 | 534.599 | 190.815 | 49.645 | 0.300 | 288.407 | 11.45 | 0.046 | 98.379 | 7.63 | 0.050 | 107.858 | 7.63 |
| 10/02/2019 | 5:00 | 8.924 | 533.634 | 193.824 | 50.999 | 0.292 | 289.345 | 11.63 | 0.048 | 109.072 | 7.75 | 0.049 | 108.313 | 7.75 |
| 10/02/2019 | 10:00 | 8.773 | 537.530 | 189.465 | 49.461 | 0.266 | 290.492 | 11.37 | 0.047 | 111.472 | 7.58 | 0.050 | 107.493 | 7.58 |
| 10/02/2019 | 15:00 | 8.893 | 536.857 | 191.388 | 49.066 | 0.317 | 288.840 | 11.48 | 0.050 | 112.537 | 7.66 | 0.049 | 109.102 | 7.66 |
| 10/02/2019 | 20:00 | 8.704 | 538.233 | 199.536 | 51.635 | 0.312 | 296.207 | 11.97 | 0.051 | 113.816 | 7.98 | 0.048 | 108.738 | 7.98 |
| 11/02/2019 | 0:00 | 8.518 | 535.772 | 195.748 | 50.352 | 0.310 | 294.945 | 11.74 | 0.049 | 112.749 | 7.83 | 0.049 | 108.525 | 7.83 |
| 11/02/2019 | 5:00 | 8.553 | 538.791 | 194.243 | 50.469 | 0.327 | 296.208 | 11.65 | 0.051 | 112.354 | 7.77 | 0.049 | 109.162 | 7.77 |
| 11/02/2019 | 10:00 | 8.760 | 536.006 | 200.146 | 51.484 | 0.336 | 293.894 | 12.01 | 0.057 | 113.877 | 8.01 | 0.048 | 109.982 | 8.01 |
| 11/02/2019 | 15:00 | 8.810 | 536.387 | 200.778 | 50.160 | 0.338 | 293.235 | 12.05 | 0.056 | 114.424 | 8.03 | 0.046 | 109.588 | 8.03 |
| 11/02/2019 | 20:00 | 8.882 | 531.845 | 201.329 | 50.856 | 0.330 | 290.058 | 12.08 | 0.057 | 114.120 | 8.05 | 0.047 | 109.648 | 8.05 |
| 13/02/2019 | 0:00 | 8.521 | 539.962 | 193.377 | 49.621 | 0.310 | 295.996 | 11.60 | 0.051 | 112.719 | 7.74 | 0.048 | 109.497 | 7.74 |
| 13/02/2019 | 5:00 | 8.540 | 534.570 | 194.343 | 49.626 | 0.324 | 294.175 | 11.66 | 0.054 | 112.841 | 7.77 | 0.047 | 109.922 | 7.77 |
| 13/02/2019 | 10:00 | 8.709 | 537.764 | 199.281 | 50.849 | 0.331 | 294.945 | 11.96 | 0.056 | 113.663 | 7.97 | 0.046 | 109.801 | 7.97 |
| 13/02/2019 | 15:00 | 8.687 | 537.325 | 198.643 | 50.106 | 0.317 | 294.833 | 11.92 | 0.052 | 115.583 | 7.95 | 0.046 | 109.284 | 7.95 |
| 13/02/2019 | 20:00 | 8.673 | 534.483 | 198.587 | 49.996 | 0.342 | 293.081 | 11.92 | 0.053 | 115.278 | 7.94 | 0.046 | 109.315 | 7.94 |
| 14/02/2019 | 0:00 | 8.557 | 528.184 | 196.394 | 49.271 | 0.320 | 288.351 | 11.78 | 0.051 | 113.572 | 7.86 | 0.047 | 109.376 | 7.86 |
| 14/02/2019 | 5:00 | 8.665 | 529.355 | 199.844 | 49.687 | 0.338 | 289.065 | 11.99 | 0.050 | 112.294 | 7.99 | 0.047 | 109.042 | 7.99 |
| 14/02/2019 | 10:00 | 8.725 | 531.524 | 199.603 | 50.331 | 0.321 | 290.058 | 11.98 | 0.050 | 113.115 | 7.98 | 0.047 | 109.041 | 7.98 |
| 14/02/2019 | 15:00 | 8.589 | 537.061 | 195.459 | 49.168 | 0.329 | 294.510 | 11.73 | 0.052 | 115.003 | 7.82 | 0.046 | 109.679 | 7.82 |
| 14/02/2019 | 20:00 | 8.632 | 537.471 | 197.302 | 49.962 | 0.333 | 294.889 | 11.84 | 0.055 | 114.089 | 7.89 | 0.048 | 110.013 | 7.89 |

| EKST. 4 | | | EKST. 5 | | | EKST. 6 | | | KONDENSOR | | |
|---------|---------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|-----------|--------|--------|
| Tek. | Temp. | Flow | Tek. | Temp. | Flow | Tek. | Temp. | Flow | Tek. | Temp. | Flow |
| MPa | °C | t/h | MPa | °C | t/h | MPa | °C | t/h | MPa | °C | t/h |
| 0.032 | 103.073 | 5.94 | 0.015 | 97.755 | 7.91 | 0.013 | 73.465 | 7.91 | -0.066 | 64.087 | 142.44 |
| 0.032 | 106.638 | 5.86 | 0.012 | 97.587 | 7.81 | 0.013 | 73.073 | 7.81 | -0.065 | 63.394 | 140.52 |
| 0.033 | 102.571 | 5.90 | 0.018 | 96.969 | 7.86 | 0.013 | 73.638 | 7.86 | -0.067 | 64.508 | 141.54 |
| 0.032 | 108.395 | 5.89 | 0.014 | 97.075 | 7.85 | 0.013 | 72.571 | 7.85 | -0.066 | 65.231 | 141.37 |
| 0.033 | 102.928 | 6.02 | 0.016 | 97.285 | 8.02 | 0.012 | 72.395 | 8.02 | -0.065 | 64.388 | 144.39 |
| 0.032 | 104.657 | 5.77 | 0.013 | 94.849 | 7.69 | 0.013 | 73.928 | 7.69 | -0.068 | 63.153 | 138.45 |
| 0.033 | 105.740 | 5.80 | 0.014 | 95.929 | 7.73 | 0.013 | 73.657 | 7.73 | -0.062 | 63.605 | 139.17 |
| 0.032 | 106.299 | 5.92 | 0.014 | 95.533 | 7.89 | 0.013 | 71.740 | 7.89 | -0.061 | 63.846 | 142.05 |
| 0.033 | 108.289 | 5.95 | 0.019 | 96.719 | 7.94 | 0.012 | 73.299 | 7.94 | -0.060 | 64.960 | 142.92 |
| 0.033 | 106.414 | 5.88 | 0.012 | 95.664 | 7.84 | 0.013 | 73.289 | 7.84 | -0.066 | 63.786 | 141.19 |
| 0.033 | 100.409 | 5.72 | 0.004 | 93.796 | 7.63 | 0.013 | 72.414 | 7.63 | -0.071 | 58.691 | 137.39 |
| 0.033 | 102.109 | 5.81 | 0.007 | 93.072 | 7.75 | 0.013 | 72.409 | 7.75 | -0.070 | 58.720 | 139.55 |
| 0.034 | 102.518 | 5.68 | 0.003 | 92.098 | 7.58 | 0.013 | 72.109 | 7.58 | -0.069 | 59.717 | 136.41 |
| 0.033 | 101.490 | 5.74 | 0.011 | 94.914 | 7.66 | 0.013 | 72.518 | 7.66 | -0.067 | 62.822 | 137.80 |
| 0.032 | 109.520 | 5.99 | 0.014 | 95.178 | 7.98 | 0.013 | 72.490 | 7.98 | -0.069 | 63.424 | 143.67 |
| 0.032 | 108.317 | 5.87 | 0.012 | 94.902 | 7.83 | 0.013 | 72.520 | 7.83 | -0.069 | 62.972 | 140.94 |
| 0.033 | 109.573 | 5.83 | 0.015 | 95.585 | 7.77 | 0.013 | 73.317 | 7.77 | -0.069 | 63.123 | 139.85 |
| 0.033 | 108.487 | 6.00 | 0.017 | 96.561 | 8.01 | 0.011 | 72.573 | 8.01 | -0.066 | 64.178 | 144.11 |
| 0.033 | 108.289 | 6.02 | 0.020 | 97.232 | 8.03 | 0.008 | 72.487 | 8.03 | -0.059 | 66.436 | 144.56 |
| 0.033 | 103.166 | 6.04 | 0.017 | 96.535 | 8.05 | 0.013 | 73.289 | 8.05 | -0.068 | 64.809 | 144.96 |
| 0.033 | 108.699 | 5.80 | 0.011 | 95.125 | 7.74 | 0.013 | 73.166 | 7.74 | -0.066 | 64.659 | 139.23 |
| 0.033 | 108.858 | 5.83 | 0.016 | 96.099 | 7.77 | 0.013 | 73.699 | 7.77 | -0.068 | 65.563 | 139.93 |
| 0.033 | 108.474 | 5.98 | 0.018 | 96.337 | 7.97 | 0.013 | 73.858 | 7.97 | -0.068 | 65.201 | 143.48 |
| 0.033 | 108.937 | 5.96 | 0.017 | 96.441 | 7.95 | 0.013 | 73.474 | 7.95 | -0.064 | 66.856 | 143.02 |
| 0.033 | 108.012 | 5.96 | 0.021 | 97.615 | 7.94 | 0.008 | 72.937 | 7.94 | -0.064 | 66.646 | 142.98 |
| 0.032 | 102.704 | 5.89 | 0.017 | 96.390 | 7.86 | 0.012 | 73.012 | 7.86 | -0.065 | 65.983 | 141.40 |
| 0.033 | 103.600 | 6.00 | 0.021 | 97.377 | 7.99 | 0.008 | 73.704 | 7.99 | -0.065 | 66.074 | 143.89 |
| 0.033 | 103.086 | 5.99 | 0.020 | 96.718 | 7.98 | 0.011 | 73.600 | 7.98 | -0.066 | 65.653 | 143.71 |
| 0.032 | 108.527 | 5.86 | 0.018 | 97.100 | 7.82 | 0.010 | 73.086 | 7.82 | -0.061 | 67.248 | 140.73 |
| 0.033 | 108.885 | 5.92 | 0.019 | 96.640 | 7.89 | 0.011 | 73.527 | 7.89 | -0.063 | 66.195 | 142.06 |

Lampiran 2 Hasil Analisis Data Turbin Unit 1 PLTU Barru

| Tanggal | W _{aktual} | W _{isentropis} | Fraksi Uap | | | | | | | Steam Rate | $\eta_{isentropis}$ (%) | $\eta_{mekanis}$ (%) |
|------------|---------------------|-------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------------|-------------------------|----------------------|
| | | | Eks. 1 | Eks. 2 | Eks. 3 | Eks. 4 | Eks. 5 | Eks. 6 | Kond. | | | |
| 07/02/2019 | 859.39 | 1222.12 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.90 | 70.32 | 77.83 |
| 07/02/2019 | 864.97 | 1226.46 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.90 | 70.53 | 78.15 |
| 07/02/2019 | 849.95 | 1213.22 | 0.96 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.92 | 70.06 | 78.92 |
| 07/02/2019 | 866.54 | 1215.05 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.93 | 71.32 | 77.74 |
| 07/02/2019 | 850.21 | 1211.62 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.91 | 70.17 | 78.47 |
| 08/02/2019 | 874.96 | 1234.49 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.89 | 70.88 | 77.51 |
| 08/02/2019 | 864.93 | 1223.96 | 0.97 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.89 | 70.67 | 79.41 |
| 08/02/2019 | 870.75 | 1229.83 | 0.96 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.88 | 70.80 | 78.36 |
| 08/02/2019 | 860.94 | 1213.59 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.91 | 70.94 | 78.65 |
| 08/02/2019 | 862.65 | 1218.98 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.90 | 70.77 | 78.60 |
| 10/02/2019 | 868.67 | 1251.39 | 0.96 | 0.90 | 0.92 | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.84 | 3.84 | 69.42 | 82.06 |
| 10/02/2019 | 865.55 | 1250.46 | 0.96 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.84 | 3.80 | 69.22 | 79.70 |
| 10/02/2019 | 875.02 | 1248.65 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.84 | 3.83 | 70.08 | 78.04 |
| 10/02/2019 | 866.71 | 1230.46 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.90 | 70.44 | 77.87 |
| 10/02/2019 | 871.03 | 1226.89 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.86 | 70.99 | 78.36 |
| 11/02/2019 | 867.69 | 1224.00 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.89 | 70.89 | 78.36 |
| 11/02/2019 | 874.48 | 1227.83 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.93 | 0.90 | 0.87 | 0.85 | 3.85 | 71.22 | 79.29 |
| 11/02/2019 | 863.65 | 1219.82 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.89 | 70.80 | 78.74 |
| 11/02/2019 | 860.18 | 1207.60 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 4.00 | 71.23 | 76.77 |
| 11/02/2019 | 850.99 | 1211.40 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.96 | 70.25 | 77.56 |
| 13/02/2019 | 875.03 | 1220.04 | 0.97 | 0.93 | 0.93 | 0.92 | 0.90 | 0.87 | 0.85 | 3.90 | 71.72 | 78.62 |
| 13/02/2019 | 860.03 | 1207.19 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.87 | 0.85 | 3.92 | 71.24 | 79.17 |
| 13/02/2019 | 866.75 | 1215.76 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.87 | 0.85 | 3.92 | 71.29 | 78.29 |
| 13/02/2019 | 863.05 | 1205.13 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.96 | 71.61 | 77.15 |
| 13/02/2019 | 856.55 | 1202.15 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.97 | 71.25 | 77.37 |
| 14/02/2019 | 843.39 | 1195.80 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.99 | 70.53 | 78.00 |
| 14/02/2019 | 844.97 | 1198.11 | 0.97 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 4.02 | 70.53 | 77.49 |
| 14/02/2019 | 850.41 | 1204.33 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.91 | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 3.97 | 70.61 | 77.91 |
| 14/02/2019 | 862.74 | 1201.36 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.86 | 0.86 | 3.98 | 71.81 | 77.48 |
| 14/02/2019 | 865.12 | 1208.63 | 0.97 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.90 | 0.87 | 0.85 | 3.95 | 71.58 | 78.02 |

Lampiran 3 Nilai Entalpi Turbin Unit 1 PLTU Barru

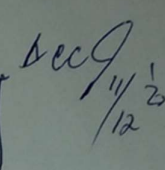
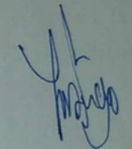
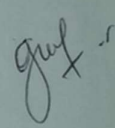
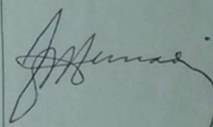
| Tanggal | Aktual | | | | | | | |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | h ₁₀ | h ₁₁ | h ₁₂ | h ₁₃ | h ₁₄ | h ₁₅ | h ₁₆ | h ₁₇ |
| 07/02/2019 | 3475.07 | 3048.68 | 2708.52 | 2699.18 | 2690.36 | 2682.23 | 2631.75 | 2615.67 |
| 07/02/2019 | 3479.44 | 2697.28 | 2706.61 | 2700.54 | 2697.28 | 2682.29 | 2631.08 | 2614.48 |
| 07/02/2019 | 3466.36 | 2689.27 | 2706.61 | 2702.37 | 2689.27 | 2680.34 | 2632.04 | 2616.40 |
| 07/02/2019 | 3484.19 | 2700.68 | 2711.84 | 2702.49 | 2700.68 | 2681.06 | 2630.23 | 2617.65 |
| 07/02/2019 | 3466.40 | 2689.96 | 2710.79 | 2702.61 | 2689.96 | 2681.20 | 2629.93 | 2616.19 |
| 08/02/2019 | 3489.02 | 2693.43 | 2707.25 | 2697.93 | 2693.43 | 2676.93 | 2632.53 | 2614.06 |
| 08/02/2019 | 3479.77 | 2695.42 | 2702.49 | 2701.91 | 2695.42 | 2678.87 | 2632.07 | 2614.84 |
| 08/02/2019 | 3486.01 | 2696.62 | 2704.94 | 2698.93 | 2696.62 | 2678.11 | 2628.81 | 2615.26 |
| 08/02/2019 | 3478.12 | 2700.36 | 2708.35 | 2701.85 | 2700.36 | 2679.73 | 2631.46 | 2617.18 |
| 08/02/2019 | 3477.80 | 2696.73 | 2706.82 | 2700.36 | 2696.73 | 2678.62 | 2631.45 | 2615.15 |
| 10/02/2019 | 3474.97 | 2685.07 | 2679.43 | 2697.57 | 2685.07 | 2676.13 | 2629.96 | 2606.30 |
| 10/02/2019 | 3471.90 | 2688.37 | 2700.19 | 2698.58 | 2688.37 | 2674.35 | 2629.95 | 2606.35 |
| 10/02/2019 | 3483.11 | 2689.04 | 2705.00 | 2696.86 | 2689.04 | 2673.05 | 2629.44 | 2608.09 |
| 10/02/2019 | 3480.20 | 2687.17 | 2706.76 | 2700.13 | 2687.17 | 2677.32 | 2630.14 | 2613.49 |
| 10/02/2019 | 3485.56 | 2702.86 | 2709.16 | 2699.53 | 2702.86 | 2677.43 | 2630.09 | 2614.53 |
| 11/02/2019 | 3481.44 | 2700.53 | 2707.28 | 2699.00 | 2700.53 | 2677.17 | 2630.14 | 2613.75 |
| 11/02/2019 | 3488.49 | 2702.85 | 2706.29 | 2700.25 | 2702.85 | 2678.08 | 2631.50 | 2614.01 |
| 11/02/2019 | 3479.49 | 2700.75 | 2708.63 | 2701.97 | 2700.75 | 2679.68 | 2630.23 | 2615.83 |
| 11/02/2019 | 3479.90 | 2700.36 | 2709.82 | 2701.42 | 2700.36 | 2680.58 | 2630.08 | 2619.73 |
| 11/02/2019 | 3467.92 | 2690.42 | 2709.11 | 2701.43 | 2690.42 | 2679.63 | 2631.45 | 2616.92 |
| 13/02/2019 | 3491.69 | 2701.16 | 2707.01 | 2701.02 | 2701.16 | 2677.72 | 2631.24 | 2616.66 |
| 13/02/2019 | 3478.25 | 2701.47 | 2706.92 | 2701.96 | 2701.47 | 2678.93 | 2632.14 | 2618.22 |
| 13/02/2019 | 3484.35 | 2700.72 | 2708.32 | 2701.84 | 2700.72 | 2679.12 | 2632.41 | 2617.60 |
| 13/02/2019 | 3483.50 | 2701.62 | 2712.52 | 2700.83 | 2701.62 | 2679.45 | 2631.76 | 2620.45 |
| 13/02/2019 | 3476.64 | 2699.83 | 2711.81 | 2700.89 | 2699.83 | 2681.19 | 2630.85 | 2620.09 |
| 14/02/2019 | 3462.34 | 2689.65 | 2708.68 | 2700.90 | 2689.65 | 2679.36 | 2630.98 | 2618.95 |
| 14/02/2019 | 3464.07 | 2691.26 | 2706.28 | 2700.24 | 2691.26 | 2680.73 | 2632.15 | 2619.10 |
| 14/02/2019 | 3468.79 | 2690.27 | 2707.89 | 2700.24 | 2690.27 | 2679.59 | 2631.98 | 2618.38 |
| 14/02/2019 | 3483.87 | 2700.94 | 2711.38 | 2701.60 | 2700.94 | 2680.59 | 2631.10 | 2621.12 |
| 14/02/2019 | 3484.43 | 2701.52 | 2709.26 | 2702.03 | 2701.52 | 2679.57 | 2631.85 | 2619.31 |

| Isentropis | | | | | | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| h_{11s} | h_{12s} | h_{13s} | h_{14s} | h_{15s} | h_{16s} | h_{17s} |
| 2649.34 | 2530.17 | 2503.51 | 2473.55 | 2444.50 | 2307.66 | 2252.95 |
| 2655.97 | 2529.70 | 2511.29 | 2497.51 | 2448.11 | 2309.63 | 2252.99 |
| 2646.02 | 2522.36 | 2508.73 | 2468.27 | 2437.66 | 2306.30 | 2253.14 |
| 2659.15 | 2550.57 | 2522.03 | 2512.98 | 2451.11 | 2312.15 | 2269.14 |
| 2649.94 | 2537.51 | 2512.04 | 2472.83 | 2441.98 | 2301.53 | 2254.78 |
| 2641.01 | 2532.78 | 2508.11 | 2490.11 | 2436.24 | 2317.65 | 2254.53 |
| 2656.27 | 2520.59 | 2516.84 | 2494.42 | 2440.70 | 2314.64 | 2255.81 |
| 2645.00 | 2523.95 | 2507.46 | 2496.26 | 2437.35 | 2302.43 | 2256.18 |
| 2656.06 | 2537.37 | 2517.49 | 2509.02 | 2445.85 | 2313.30 | 2264.53 |
| 2648.05 | 2533.40 | 2514.79 | 2500.26 | 2441.35 | 2314.50 | 2258.82 |
| 2637.98 | 2450.84 | 2502.42 | 2461.97 | 2425.54 | 2304.29 | 2223.59 |
| 2630.44 | 2506.29 | 2502.21 | 2468.64 | 2418.96 | 2301.85 | 2221.44 |
| 2622.90 | 2527.32 | 2505.89 | 2478.85 | 2421.33 | 2307.46 | 2234.46 |
| 2649.59 | 2529.37 | 2510.95 | 2469.67 | 2433.50 | 2306.55 | 2249.74 |
| 2653.30 | 2542.36 | 2515.08 | 2519.30 | 2440.83 | 2311.90 | 2258.67 |
| 2653.93 | 2538.32 | 2515.58 | 2514.45 | 2440.89 | 2313.57 | 2257.44 |
| 2666.20 | 2538.87 | 2521.66 | 2523.88 | 2447.23 | 2320.60 | 2260.66 |
| 2662.18 | 2538.71 | 2517.85 | 2509.80 | 2444.70 | 2308.83 | 2259.66 |
| 2662.43 | 2540.87 | 2514.98 | 2507.99 | 2447.68 | 2307.66 | 2272.31 |
| 2650.65 | 2532.13 | 2508.27 | 2473.30 | 2437.04 | 2305.94 | 2256.52 |
| 2659.03 | 2542.98 | 2525.61 | 2521.29 | 2446.73 | 2321.65 | 2271.66 |
| 2659.66 | 2536.86 | 2521.18 | 2515.44 | 2445.67 | 2318.67 | 2271.06 |
| 2663.03 | 2540.87 | 2520.15 | 2512.99 | 2446.62 | 2319.25 | 2268.59 |
| 2655.41 | 2551.13 | 2517.38 | 2515.51 | 2447.21 | 2317.04 | 2278.36 |
| 2665.66 | 2546.49 | 2514.58 | 2507.55 | 2450.82 | 2311.23 | 2274.49 |
| 2649.02 | 2532.79 | 2510.34 | 2474.26 | 2439.65 | 2307.54 | 2266.54 |
| 2657.32 | 2524.71 | 2507.29 | 2477.89 | 2443.87 | 2310.40 | 2265.96 |
| 2649.40 | 2530.19 | 2508.39 | 2476.18 | 2441.31 | 2310.80 | 2264.46 |
| 2664.19 | 2550.14 | 2521.57 | 2515.35 | 2452.85 | 2316.65 | 2282.50 |
| 2665.73 | 2544.68 | 2522.81 | 2516.72 | 2449.76 | 2318.70 | 2275.80 |

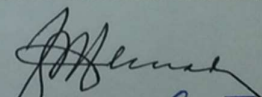
LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI

Nama : Nur Syam Jaya
 NIM : 94216008

Catatan Daftar Revisi Penguji :

| No | Nama | Uraian | Tanda Tangan |
|----|--------------|---|--|
| 1 | Bu Guron | <ul style="list-style-type: none"> - Ringkasan, Citra belakang, hal 2 - Bab 3, Teknik analisis data, Diagram alir - Bab 4, Bab 5 kesimpulan - penulisan nya |  11/12 |
| 2 | Dr. Rulwandi | <ul style="list-style-type: none"> • Bab 1 per sebaran - Bab 2. - HAAl dan pembalasan • Cek ke software plagiaris 1.5 manfaat Penelitian • Profil PLTU Barro • Standar Operasi PLTU Barro |  |
| 3 | Souong | <ul style="list-style-type: none"> - Tuliskan gambar data dan flow charge |  |
| 4 | P. Junadi | <ul style="list-style-type: none"> - Rumus masalah - Simbol 2 dan huruf |  |

Makassar, 01 oktober 2020
 Ketua / Sekretaris Panitia Ujian Sidang,


Dr. Junadi T., M. Pd
 NIP. 195806061990031002

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.