

NASKAH PUBLIKASI (*MANUSCRIPT*)

**ANALISA EFEK PENURUNAN TEKANAN UAP TERHADAP
EFISIENSI TURBIN UAP PLTU TANJUNG BARA**

***ANALYSIS THE EFFECT OF STEAM PRESSURE
REDUCTION ON THE EFFICIENCY STEAM TURBINE OF
THE TANJUNG BARA POWER PLANTS***

Marwansyah¹, Khanif Setiyawan²



**MARWANSYAH
NIM. 2011102442102**

**DOSEN PEMBIMBING
KHANIF SETIYAWAN, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH KALIMANTAN TIMUR
SAMARINDA
2022**

Naskah Publikasi (*Manuscript*)

**Analisa Efek Penurunan Tekanan Uap terhadap
Efisiensi Turbin Uap PLTU Tanjung Bara**

***Analysis the Effect of Steam Pressure Reduction on the Efficiency
Steam Turbine of the Tanjung Bara Power Plants***

Marwansyah¹, Khanif Setiyawan²



**Marwansyah
NIM. 2011102442092**

**Dosen Pembimbing
Khanif Setiyawan, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH KALIMANTAN TIMUR
SAMARINDA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

**Analisa Efek Penurunan Tekanan Uap Terhadap Efisiensi Turbin
Uap Pltu Tanjung Bara**

NASKAH PUBLIKASI

Disusun oleh:

Marwansyah
2011102442102

Disetujui oleh:

Pada Tanggal 7 Juli 2022

Penguji I



Andi Nugroho, S. T., M. T
NIDN.1129089001

Penguji II



Binyamin, S. T., M. T
NIDN.1121108801

Mengetahui,
Ketua Prodi S1 Teknik Mesin



Ir. Anis Siti Nurrohkayati, S. T., M. T
NIDN.1114019202

Analisa Efek Penurunan Tekanan Uap Terhadap Efisiensi Turbin Uap PLTU Tanjung Bara

Marwansyah¹, Khanif Setiyawan², Andi Nugroho³, Binyamin⁴

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Indonesia
Jl.Ir. H. Juanda No.15, Sidodadi, Kec. Samarinda Ulu, Samarinda 75243
Email korespondensi: 2011102442102@umkt.ac.id

Abstrak

PLTU Tanjung Bara kapasitas 3 X 18MW merupakan PLTU berbahan bakar batubara untuk membantu dalam penyediaan kebutuhan energi listrik didalam industri PT. KPC. Salah satu peralatan penting pada siklus PLTU adalah turbin uap yang berfungsi untuk merubah energi uap menjadi energi mekanik gerak putar yang selanjutnya digunakan memutar generator listrik. Dalam observasi penelitian, proses operasi saat ini tekanan uap masuk turbin lebih rendah dari data komisioning. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penurunan tekanan uap masuk turbin terhadap efisiensi turbin uap. Efisiensi turbin uap pada PLTU akan mempengaruhi efisiensi termal siklus dari kinerja pembangkit listrik tenaga uap. Terdapat beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi turbin uap diantaranya dengan cara menaikkan tekanan uap, temperatur uap dan menurunkan tekanan kondenser. Dalam penelitian ini penulis hanya melakukan pengujian dengan menaikkan tekanan uap masuk turbin ke 8,3 MPa dan 8,5 MPa pada beban \pm 18 MW. Metode penelitian yang dilakukan penulis diatas dapat menaikkan unjuk kerja turbin sebesar 46 kJ/kg (2,18 %) dan menaikkan efisiensi termal rata rata sebesar 0,89 % dari data efisiensi operasional harian. Hasil penelitian yang dilakukan penulis dengan teori dan literatur yang ada menunjukkan hasil yang positif.

Kata kunci: Efisiensi termal, pembangkit listrik, tekanan, siklus rankine, suhu.

Abstract

Tanjung Bara coal fire steam power plant with a capacity of 3 x 18 MW is a coal-fired power plant to assist in the supply of electrical energy needs in the industry PT. KPC. The steam turbine is important equipment that serves to convert steam energy into rotated energy which and then used to rotating electric generator. In the research observations, the current operating process of the steam pressure entering the steam turbine is lower than compare commissioning data. This research was conducted to find how much influence the decrease in steam pressure enters to the steam turbine on the efficiency of the steam turbine. The efficiency of steam turbines at the steam power plant will be affect the cycle thermal efficiency of the performance at steam power plant. There are several methods to improve the efficiency of the steam turbine by increasing the steam pressure, increase steam temperature and reducing condenser pressure. In this study the author only test by increasing the steam pressure to 8.3 MPa and 8.5 MPa at load of \pm 18 MW. The research method conducted can to increase turbine performance at 46 kJ/kg (2,18 %) and increase thermal efficiency at 0.89% from observation data. The results of this study are in accordance with the existing theories and literature.

Keywords: Thermal efficiency, Power generation, Pressure, Rankine cycle, Temperature.

1. Pendahuluan

Teknologi pembangkit listrik tenaga uap saat ini sudah berkembang sangat pesat. Untuk merancang pembangkit listrik tenaga uap melibatkan beberapa disiplin ilmu pengetahuan diantaranya material, sipil, elektrik, instrumentasi dan masih banyak disiplin ilmu lainnya. Dari perkembangan teknologi tersebut diharapkan pembangkit listrik tenaga uap dapat beroperasi dengan andal, aman dan efisien. Dalam upaya meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga uap diantaranya dengan menaikkan tekanan dan temperatur uapnya, dari perkembangannya muncullah teknologi pembangkit listrik tenaga uap *subcritical super critical* ultra-*super critical* boiler.

PLTU Tanjung Bara 3 x 18 MW termasuk pembangkit listrik tenaga uap *subcritical* dan mulai beroperasi secara komersil pada tahun 2017, seiring dengan berjalannya waktu tentu peralatan utama akan mengalami penurunan unjuk kerja secara alamiah. Untuk mencegah lebih cepat terjadinya penurunan unjuk kerja peralatan, setiap tahun dilakukan pemeliharaan dan pergantian spare part dan penyetulan ulang. Penurunan unjuk kerja mesin bukan hanya dipengaruhi oleh suatu umur mesin, namun juga sangat dipengaruhi oleh manusia bagaimana cara memperlakukan atau mengoperasikan mesin itu.

Dalam operasional harian PLTU Tanjung Bara 3 x 18 MW saat ini dioperasikan dengan tekanan uap

lebih rendah dari data komisioning tahun 2017. Kondisi operasional seperti tersebut diperkirakan akan membuat unjuk kerja mesin akan menurun. Hal inilah yang memicu penulis untuk melakukan penelitian guna membuktikan secara teoritis yang berdasar pada data operasi yang akan dihitung dengan merujuk referensi yang ada.

Data operasional harian tersebut sebagai dasar peneliti untuk melakukan pengujian dengan menaikkan tekanan uap masuk turbin. Dari data pengujian tersebut untuk meyakinkan peneliti, apakah dengan dinaikkan tekanan uap masuk turbin akan membuat unjuk kerja turbin lebih baik atau sebaliknya.

Kajian Pustaka

Konsumsi energi diberbagai instalasi industri dibanyak negara termasuk di Indonesia sudah demikian tinggi, dan dari tahun ke tahun terus meningkat. Sumber energi bahan bakar yang biasa dipergunakan di industri adalah bahan bakar minyak, gas alam, batubara, dan energi listrik. Bagian terbesar dari energi bahan bakar yang dipergunakan diberbagai instalasi, seperti di industri penyulingan minyak dan gas bumi, pabrik kertas, industri kimia dasar, industri energi, dan lain-lain, kemudian diproses dan ditransfer didalam berbagai jenis mesin konversi energi diantaranya adalah turbin uap.

Agar penggunaan energi bahan bakar seefisien mungkin, diperlukan mesin yang efisien secara desain dan pola pengopearsian yang benar. "Semakin tinggi tekanan masuk turbin dengan beban tetap maka efisiensi sudu turbin akan semakin baik. Efisiensi sudu terbaik adalah 42,9% pada beban 1000 Watt dan tekanan masuk turbin 8 bar". Studi eksperimen yang dilakukan oleh Dwi Dharma Risqiawan dan Ary Bachtiar Khrisna Putra, "Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan Inlet Turbin Dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik Turbin Pada Organic Rankine Cycle" JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 3, (2013) ISSN: 2337-3539 (23019271Print).

"Untuk meningkatkan efisiensi dan daya efektif turbin yaitu dengan cara menaikkan tekanan dan temperatur masuk serta menurunkan tekanan dan temperatur keluar turbin". Analisa yang dilakukan oleh Najamudin, "Pengaruh Tekanan Masuk Dan Tekanan Keluar Turbin Terhadap Daya Penggerak Generator" JURNAL TEKNIK MESIN UBL, Vol. 6 No. 2 Tahun 2019.

Usaha-usaha selalu dilakukan agar kuantitas dan kualitas energi yang dihasilkan dari mesin konversi energi lebih efisien sehingga dapat mengurangi biaya

pokok produksi minimal mempertahankan. Dengan kondisi kebutuhan energi saat ini yang selalu meningkat, semua pelaku penyedia energi harus melakukan hemat energi dimulai dari lingkungan terdekat.

Turbin uap adalah salah satu mesin konversi energi yang banyak digunakan pada pembangkit listrik karena mempunyai efisiensi lebih baik dari mesin konversi energi lainnya. Jenis bahan bakar yang digunakan pada PLTU sangat bervariasi sesuai dengan tempat PLTU dibangun, dengan harapan biaya pokok produksi dapat ditekan serendah rendahnya

2. Metode

Aktivitas penelitian dimulai dengan mengumpulkan data parameter operasi yang dibutuhkan dalam penelitian, yang dilanjutkan dengan mencatat dan mentabulasikan data *log sheet* parameter operasi meliputi temperatur, tekanan dan parameter-parameter lainnya pada saat turbin beroperasi pada pembebanan penuh.

Metode Penelitian

Metode yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung pada obyek yang diteliti pada saat turbin beroperasi pada beban penuh, dengan cara mencatat data parameter operasi selama 24 jam dalam sehari. Dengan Peralatan dan instrument yang sudah terpasang pada obyek penelitian, data yang diperlukan diperoleh dari ruang *Distribution Control Sistem* (DCS) dicatat setiap jam dalam *Log Sheet Report*, kemudian untuk dasar penelitian ini, data tersebut dikumpulkan dan diolah.

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah pengujian experiment pada skala industri yaitu monitoring performa turbin dengan menggunakan peralatan alat ukur skala industri yang sudah terpasang secara permanen pada titik yang sesuai dengan teori uji selama mesin beroperasi dengan beban penuh.

Variabel Penelitian

Variabel terikat pada penelitian ini adalah efisiensi turbin uap yang terpengaruh oleh variabel bebas yaitu tekanan uap masuk turbin.

Teknik Pengumpulan Data

Dalam menyusun tugas akhir ini penulis menggunakan metodologi deskriptif dan kuantitatif dengan aktivitas sebagai berikut:

Observasi

Peneliti melakukan pengamatan langsung di *central control room* (CCR) dan lapangan pada saat

turbin pada beban penuh ± 18 MW terkait dengan parameter uji dan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian yang dilakukan pada bulan Januari - Mei 2022.

Pengujian Langsung (Experiment)

Peneliti bersama bidang pengendali operasi dan operator melakukan pengujian dengan menaikkan tekanan uap masuk turbin sesuai dengan rencana yang dibuat oleh peneliti pada saat turbin uap berbeban penuh. Data operasi pada kondisi ini dicatat secara otomatis oleh *log sheet soft file performance test* di *distribution control system* (DCS). Berikut contoh log sheet parameter uji.

Wawancara

Metode pengumpulan data dengan cara mengadakan tanya jawab secara langsung dengan operator yang terkait dengan pola operasi turbin,

sehingga bisa mengetahui perubahan parameter lainnya yang terkait.

Kepustakaan

Yaitu metode pengumpulan data dengan cara studi literature, seperti dokumen-dokumen komisioning dan manual book yang bertujuan untuk mengambil data-data yang diperlukan untuk kepentingan perhitungan analisis efisiensi turbin.

Pengambilan Data Log Sheet

Yaitu proses pengambilan data operasional turbin yang dibutuhkan untuk kepentingan analisis dengan memperhatikan tekanan uap masuk turbin.

Metode Perhitungan

Yaitu metode dengan mengkalkulasi hasil data operasional yang diperoleh dengan mengacu pada rumus yang relevan untuk memperoleh angka atau hasil perhitungan analisis yang ingin diketahui.

Tabel 2. 1 Contoh Log Sheet Parameter Uji

No	Date Time	GEN Pwr	MS P	MS T	HPH P	HPH T	LPH P	LPH T	Cond. Vac. P	LPT Exh. T
		MW	MPa	°C	MPa	°C	MPa	°C	kPa	°C
1	15/01/22, 07.00	18	8,5	510	2,0	322,7	0,18	117	-88,25	47,3
2										
3										
4	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst

Keterangan :

- GEN. Pwr : Generator Power
- MSP : Main Stream Pressure
- MST : Main Stream Temperature
- HPH P : High Pressure Heater Pressure
- HPH T : High Pressure Heater Temperature
- LPH P : Low Pressure Heater Pressure
- LPH T : Low Pressure Heater Temperature
- Cond. Vac. P: Condenser Vacuum Pressure
- LPT Exh. T : Low Pressure Turbine Exhaust

Pengolahan Data

Data parameter uji yang diperoleh dari hasil pengujian diolah dengan menggunakan formulasi dan simulasi numeric menggunakan *tools Software thermo tables.xlam for excel* yang diperoleh dari internet dan buku-buku referensi dan sumber lain yang relevan dengan penelitian ini, sehingga didapatkan nilai tertentu dan dituangkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Berikut contoh tabel formulanya terdapat pada halaman 32.

Keterangan :

H : Entalpi;

SV : Entropi Vapour;

HV : Entalpi Vapour;

x : Fraksi cair;

HL : Entalpi Liquid;

v : Volume

S : Entropi

Gambar 2. 2 Contoh Tabel Perhitungan

No	Date Time	Main Steam		HPH steam		LPH steam		LPT Exhaust						
		H, kJ/Kg	S, kJ/Kg °C	H, kJ/Kg	S, kJ/Kg °C	H, kJ/Kg	S, kJ/Kg °C	HV, kJ/Kg	SV, kJ/Kg °C	HL, kJ/Kg	SL, kJ/Kg °C	x cair	v, m ³ /kg	H, exh. kJ/kg
1	15/01/22, 19.00	3415	6,497	3093	6,616	3537	7,269	2586	8,131	196	0,662	0,12	0,00147	2310
2														
3														
4														
5	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst

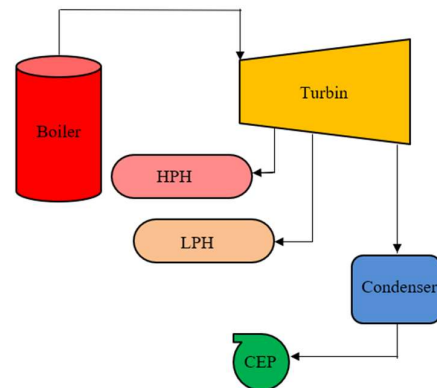
Tabel 2. 3 Contoh Tabel Data Hasil Pengujian

No.	Date Time	W _{turbin}	W _{pump}	H ₆	Q _{boiler}	η _{termal}
		kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	%
1	05 Jan 22, 19.15	1270.845	8.616405	212.0398	3207.541	39.35%
2						
3						
4						
5	dst	dst	dst	dst	dst	dst

3. Hasil dan Pembahasan

Data Hasil Penelitian

Data hasil pengujian yang penulis tampilan adalah data hasil pengujian dari dari hasil uji pada beban ±18MW dibagi menjadi tiga tahapan uji yaitu observasi (operasi harian), menaikkan tekanan uap masuk tahap satu dan tahap kedua. Data pengujian di ambil dalam jangka waktu satu jam dengan mencatat parameter setiap menit sekali. Data yang penulis akan tampilkan adalah data yang akan dipergunakan didalam perhitungan dan analisa. Berikut ini gambaran titik pengambilan parameter siklus uap air PLTU Tanjung Bara dan disajikan dalam tabel data parameter hasil pengujian pada tabel 3.1.



Gambar 3. 1 Titik Pengambilan Paramter Uji

Tabel 3. 1 Data Parameter Pengujian Observasi

No.	Date Time	GEN. Pwr	MS P	MS T	HPH P	HPH T	LPH P	LPH T	Cond. Vac. P	LP Exh. T
		MW	MPa	°C	MPa	°C	MPa	°C	kPa	°C
1	05 Jan 22, 19.15	17,9	8.39	510	2.713	322.7	0.17	118	-88.49	47,7
2	05 Jan 22, 19.30	18	8.34	507	2.723	322.9	0.18	118	-88.54	47,7
3	08 Jan 22, 18.15	17,9	8.32	507	2.726	322.1	0.18	118	-87.91	48,3
4	08 Jan 22, 19.15	17,8	8.33	503	2.726	322.7	0.18	118	-87.91	48,3
5	09 Jan 22, 19.45	17,8	8.32	508	2.729	322.2	0.18	118	-88.08	48,1
6	10 Jan 22, 18.30	17,8	8.33	510	2.715	322.2	0.17	118	-87.80	48,6
7	12 Jan 22, 19.00	17,8	8.33	509	2.714	322.1	0.17	118	-88.00	48,2
8	12 Jan 22, 19.15	18	8.34	506	2.754	322.9	0.18	118	-88.00	48,2
9	12 Jan 22, 19.30	17,9	8.34	503	2.744	322.7	0.18	118	-87.95	48,2
10	15 Jan 22, 19.15	18	8.34	509	2.726	322.1	0.18	118	-88.02	47,8
11	16 Jan 22, 18.45	17,8	8.31	507	2.735	322.4	0.18	118	-88.19	48,2
12	16 Jan 22, 19.30	17,8	8.31	507	2.725	322.4	0.18	118	-88.36	47,8
13	16 Jan 22, 19.45	17,8	8.30	508	2.725	322.4	0.18	118	-88.30	47,8
14	25 Jan 22, 19.00	17,9	8.32	508	2.721	322.2	0.18	118	-88.03	48,0
15	25 Jan 22, 19.15	18	8.33	508	2.741	322.1	0.18	118	-88.08	48,0

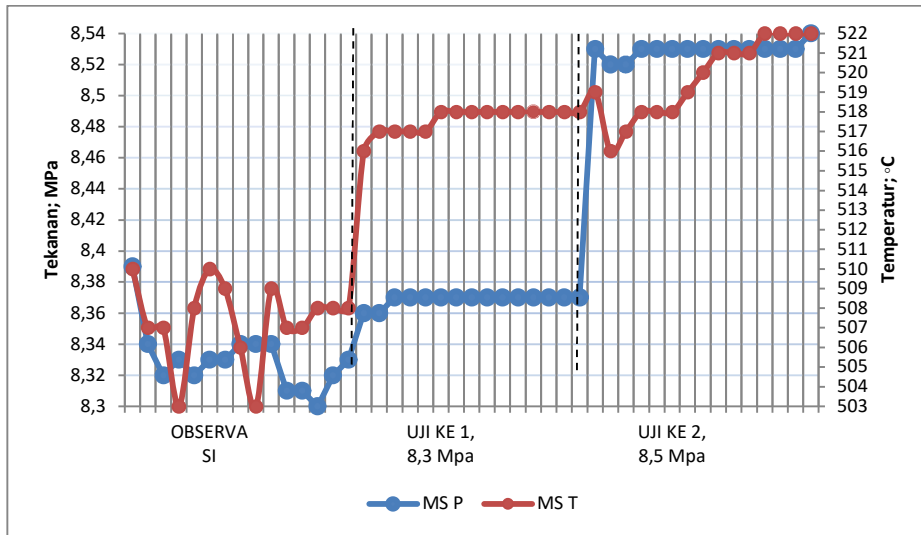
Tabel 3. 2 Data Parameter Pengujian ke-1

No.	Date Time	GEN. Pwr	MS P	MS T	HPH P	HPH T	LPH P	LPH T	Cond. Vac. P	LP Exh. T
		MW	MPa	°C	MPa	°C	MPa	°C	kPa	°C
1	30 Mei 22, 09.59	18,1	8.36	516	2.69	323.7	0.17	118	-90.22	47,3
2	30 Mei 22, 10.03	18,2	8.36	517	2.69	324.7	0.17	118	-90.22	47,3
3	30 Mei 22, 10.07	18,2	8.37	517	2.70	324.7	0.17	118	-90.22	47,3
4	30 Mei 22, 10.08	18,3	8.37	517	2.70	324.7	0.17	118	-90.22	47,3
5	30 Mei 22, 10.09	18,3	8.37	517	2.70	324.7	0.17	118	-90.22	47,3
6	30 Mei 22, 10.10	18,3	8.37	518	2.71	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
7	30 Mei 22, 10.11	18,3	8.37	518	2.71	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
8	30 Mei 22, 10.12	18,3	8.37	518	2.71	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
9	30 Mei 22, 10.13	18,4	8.37	518	2.71	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
10	30 Mei 22, 10.14	18,3	8.37	518	2.71	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
11	30 Mei 22, 10.15	18,3	8.37	518	2.71	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
12	30 Mei 22, 10.16	18,3	8.37	518	2.71	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
13	30 Mei 22, 10.17	18,4	8.37	518	2.72	325.7	0.17	118	-90.22	47,3
14	30 Mei 22, 10.18	18,4	8.37	518	2.72	325.7	0.17	118	-90.12	47,3
15	30 Mei 22, 10.19	18,4	8.37	518	2.72	325.7	0.17	118	-90.12	47,3

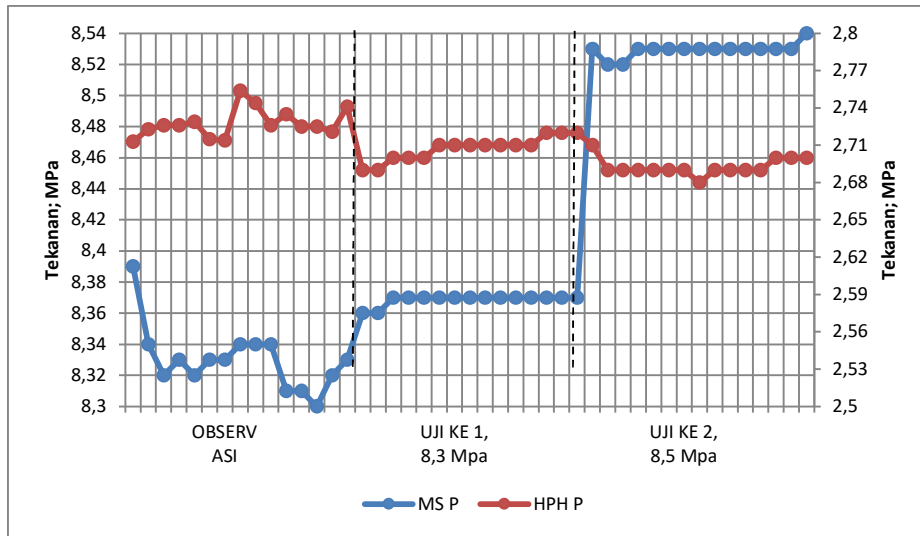
Tabel 3. 3 Data Paramter Pengujian ke-2

No.	Date Time	GEN. Pwr	MS P	MS T	HPH P	HPH T	LPH P	LPH T	Cond. Vac. P	LP Exh. T
		MW	MPa	°C	MPa	°C	MPa	°C	kPa	°C
1	30 Mei 22, 10.58	18,3	8.53	519	2.71	325.7	0.17	118	-91.11	47,0
2	30 Mei 22, 11.13	17,9	8.52	516	2.69	321.7	0.17	118	-91.01	47,5
3	30 Mei 22, 11.14	18	8.52	517	2.69	322.7	0.17	118	-91.01	47,5
4	30 Mei 22, 11.15	18	8.53	518	2.69	322.7	0.17	118	-91.01	47,5
5	30 Mei 22, 11.16	18	8.53	518	2.69	322.7	0.17	118	-91.01	47,5
6	30 Mei 22, 11.17	18	8.53	518	2.69	323.7	0.17	118	-91.01	47,5
7	30 Mei 22, 11.18	18	8.53	519	2.69	323.7	0.17	118	-91.01	47,5
8	30 Mei 22, 11.22	18	8.53	520	2.68	324.7	0.17	118	-90.90	47,5
9	30 Mei 22, 11.34	18,1	8.53	521	2.69	325.7	0.17	118	-90.90	47,5
10	30 Mei 22, 11.36	18,1	8.53	521	2.69	326.7	0.17	118	-90.90	47,5
11	30 Mei 22, 11.37	18,2	8.53	521	2.69	326.7	0.17	118	-90.90	47,5
12	30 Mei 22, 11.38	18,2	8.53	522	2.69	326.7	0.17	118	-90.90	47,5
13	30 Mei 22, 11.40	18,2	8.53	522	2.70	326.7	0.17	118	-90.90	47,5
14	30 Mei 22, 11.41	18,3	8.53	522	2.70	326.7	0.17	118	-90.90	47,5
15	30 Mei 22, 11.44	18,4	8.54	522	2.70	327.7	0.17	118	-90.80	47,5

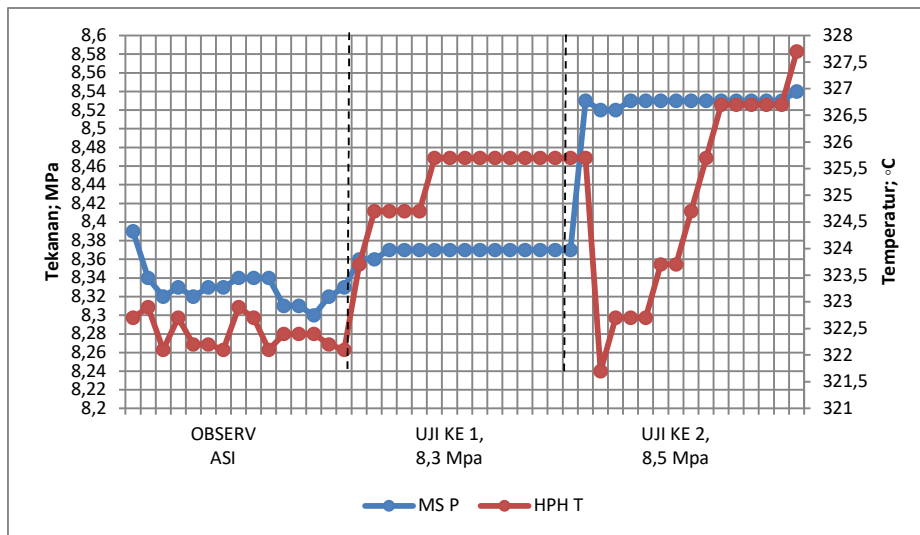
Data parameter uji akan di trending dalam bentuk grafik agar lebih mudah untuk mengetahui perubahan parameter uji dan juga memudahkan dalam analisa data.



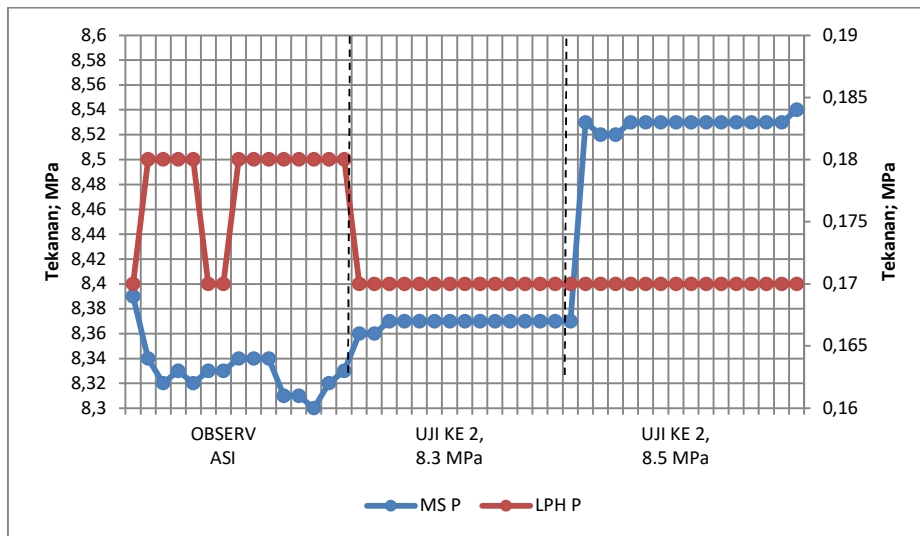
Gambar 3. 2 Tekanan dan Temperatur Uap



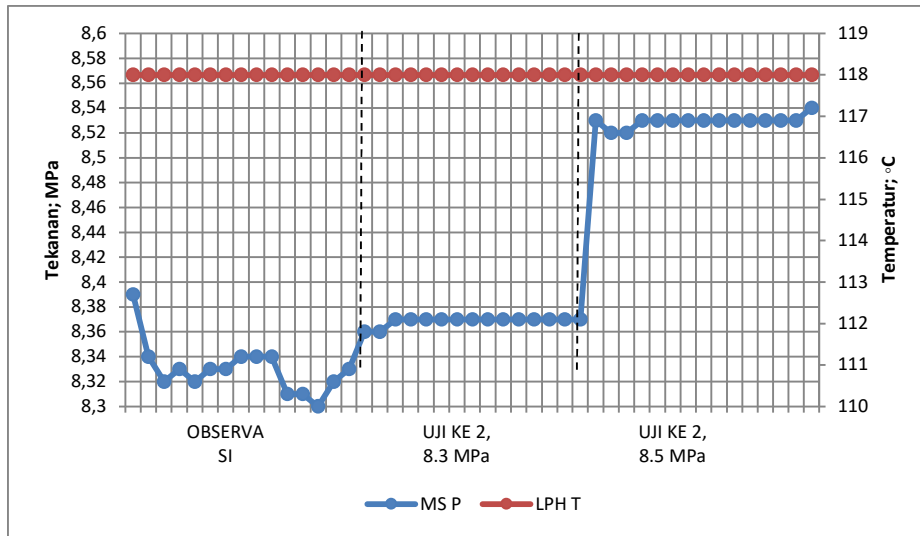
Gambar 3.3 Tekanan Uap Masuk dan Tekanan Uap Keluar Turbin HPH



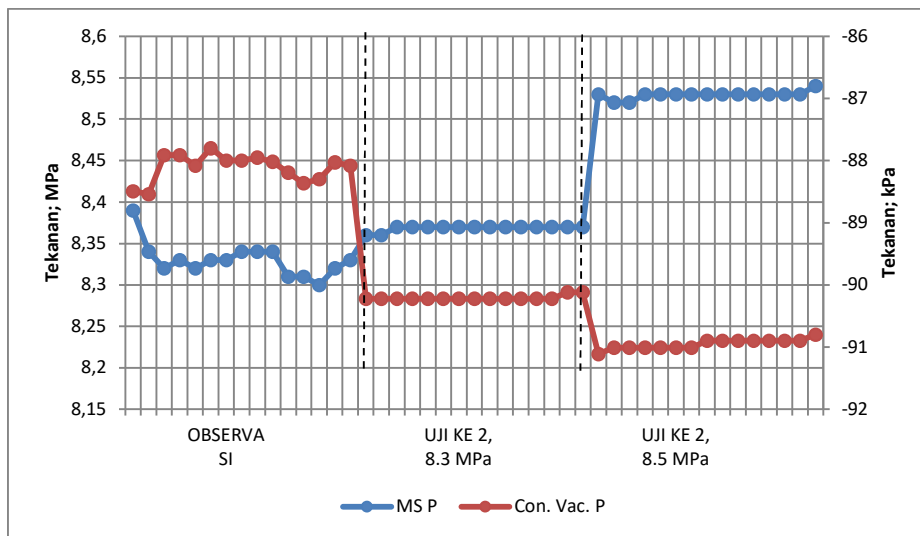
Gambar 3.4 Tekanan uap masuk turbin dan Temperatur uap keluar turbin HPH



Gambar 3.5 Tekanan uap masuk turbin dan Tekanan uap keluar turbin LPH



Gambar 3. 6 Tekanan uap masuk turbin dan Temperatur uap keluar turbin LPH



Gambar 3. 7 Tekanan uap masuk turbin dan Tekanan uap keluar turbin cond. vac.

Pembahasan Data Pengujian

Setelah dilakukan pengujian dan mendapat data parameter uji akan dilanjutkan perhitungan parameter uji yang dibutuhkan dan di olah untuk menghitung kerja dari turbin, pompa dan boiler sesuai dengan landasan teori yang sudah ditentukan pada bab II.7 yang di formulasikan ke dalam program Excel dan dilakukan dengan tiga titik pengujian pada beban penuh ±18MW. Berikut ini akan dilakukan salah satu perhitungan dari titik pengujian dan selanjutnya akan di formulasikan didalam excel.

Salah satu titik penelitian sebagai contoh perhitungan tercatat nilai parameter pengujian 1 sebagai berikut:

Tekanan uap masuk turbin : 8,36 MPa
 Temperatur uap masuk turbin : 516 °C

Tekanan uap keluar turbin HPH : 2,69 MPa
 Temperatur uap keluar turbin HPH : 323,7 °C
 Tekanan uap keluar turbin LPH : 0,17 MPa
 Temperatur uap keluar turbin LPH : 118 °C
 Tekanan uap kondensor : -90,22 kPa = (9,78 kPa abs)
 Tekanan air masuk boiler : 8,53 MPa
 Temperatur air masuk boiler : 210,1 °C

Sebelum dilakukan perhitungan terlebih dahulu harus mencari nilai entalpi dan entropi Pada tabel uap manual keluar turbin pada fluida kerja pada titik pengujian yang dibutuhkan dengan mencontohkan menggunakan tabel manual dan perhitungan selanjutnya akan menggunakan *software*.

Mencari nilai entalpi uap masuk Turbin (H₂)

Uap masuk turbin dengan tekanan 8,36 MPa dengan temperatur 516°C. Dari data parameter tersebut tidak ditemukan tekanan dan temperatur uap masuk turbin yang sesuai dengan tabel uap manual sehingga perlu dilakukan interpolasi dengan persamaan (2.4) adalah sebagai berikut:

Pada tabel uap manual dengan P= 8 MPa dan T= 500°C diketahui H= 3399,5 kJ/kg.

$$H, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$3399,5 + \frac{(516 - 500)}{(520 - 500)} \times (3448,7 - 3399,5)$$

$$H, y = 3438,8 \text{ kJ/kg}$$

Pada tabel uap manual dengan P= 9 MPa dan T= 520°C diketahui H= 3437,6 kJ/kg.

$$H, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$3387,4 + \frac{(516 - 500)}{(520 - 500)} \times (3437,6 - 3387,4)$$

$$H, y = 3427,5 \text{ kJ/kg}$$

Setelah nilai interpolasi entalpi Pada tabel uap manual dengan P= 8 MPa dan T= 500°C dan P= 9 MPa dan T= 520°C, maka dilanjutkan mencari nilai entalpi pada P= 8,36 MPa dan T= 516°C. Berikut perhitungan entalpi dengan P sebagai fungsi x:

$$H_2, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$3424,1 + \frac{(8,36 - 8)}{(9 - 8)} \times (3412,5 - 3424,1)$$

$$H_2, y = 3419,9 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai entropi uap masuk Turbin (S2)

Uap masuk turbin dengan tekanan 8,36 MPa dengan temperatur 516°C. Dari data parameter tersebut tidak ditemukan tekanan dan temperatur uap masuk turbin yang sesuai dengan tabel uap manual sehingga perlu dilakukan interpolasi dengan persamaan (2.4) adalah sebagai berikut:

Pada tabel uap dengan P= 8 MPa dan T= 500°C diketahui S= 6,7266 kJ/kg°C.

$$S, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$6,7266 + \frac{(516 - 500)}{(520 - 500)} \times (6,7895 - 6,7266)$$

$$S, y = 6,7769 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Pada tabel uap dengan P= 9 MPa dan T= 520°C diketahui S= 6,7244 kJ/kg°C.

$$S, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$6,6603 + \frac{(516 - 500)}{(520 - 500)} \times (6,7244 - 6,6603)$$

$$S, y = 6,7115 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Setelah nilai interpolasi entalpi dan entropi Pada tabel uap dengan P= 8 MPa dan T= 500°C dan P= 9 MPa dan T= 520°C, maka dilanjutkan mencari nilai entropi pada P= 8,36MPa dan T= 516°C. Berikut perhitungannya dengan P sebagai fungsi x :

$$S_2, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$6,7580 + \frac{(8,36 - 8)}{(9 - 8)} \times (6,6923 - 6,7580)$$

$$S, y = 6,6923 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Mencari nilai entalpi uap keluar Turbin HPH (H3)

Uap keluar turbin HPH dengan tekanan 2,69 MPa dengan temperatur 323,7°C. Dari data parameter tersebut tidak ditemukan tekanan dan temperatur uap keluar turbin HPH yang sesuai dengan tabel uap manual sehingga perlu dilakukan interpolasi dengan persamaan (2.4) adalah sebagai berikut:

Pada tabel uap dengan P= 2,5 MPa dan T= 320°C diketahui H= 3057,4 kJ/kg.

$$H, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$3057,4 + \frac{(323,7 - 320)}{(330 - 320)} \times (3080,8 - 3057,4)$$

$$H, y = 3066,0 \text{ kJ/kg}$$

Pada tabel uap dengan P= 3,0 MPa dan T= 330 °C diketahui H= 3068,4 kJ/kg.

$$H, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$3044,2 + \frac{(323,7 - 320)}{(330 - 320)} \times (3068,4 - 3044,2)$$

$$H, y = 3053,1 \text{ kJ/kg}$$

Setelah nilai interpolasi entalpi Pada tabel uap manual dengan P= 2,5 MPa dan T= 330°C dan P= 3,0 MPa dan T= 340°C, maka dilanjutkan mencari nilai entalpi pada P= 2,69MPa dan T= 323,7°C. Berikut perhitungan entalpi dengan P sebagai fungsi x :

$$H_3, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$3063,7 + \frac{(2,69 - 2,5)}{(3,0 - 2,5)} \times (3050,7 - 3063,7)$$

$$H, y = 3058,7 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai entropi uap keluar Turbin HPH (S3)

Uap keluar turbin HPH dengan tekanan 2,69 MPa dengan temperatur 323,7°C. Dari data parameter tersebut tidak ditemukan tekanan dan temperatur uap keluar turbin HPH yang sesuai dengan table uap manual sehingga perlu dilakukan interpolasi dengan persamaan (2.4) adalah sebagai berikut:

Pada tabel uap dengan P= 2,5MPa dan T= 320°C diketahui S= 6,7278 kJ/kg°C

$$S, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$6,7278 + \frac{(323,7 - 320)}{(330 - 320)} \times (6,7670 - 6,7278)$$
$$S, y = 6,7423 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Pada tabel uap dengan P= 3,0 MPa dan T= 330 °C diketahui S= 6,6672 kJ/kg°C

$$S, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$6,6266 + \frac{(323,7 - 320)}{(330 - 320)} \times (6,6672 - 6,6266)$$
$$S, y = 6,6566 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Setelah nilai interpolasi entropi Pada tabel uap manual

dengan P= 2,5 MPa dan T= 320°C dan P= 3,0 MPa dan T= 330°C, maka dilanjutkan mencari nilai entropi pada P= 2,69 MPa dan T= 323,7°C. Berikut perhitungannya dengan P sebagai fungsi x , s hasil interpolasi :

$$S_{3, y} = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$6,7383 + \frac{(2,69 - 2,5)}{(3,0 - 2,5)} \times (6,6375 - 6,7383)$$
$$S_{3, y} = 6,6999 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Mencari nilai entalpi uap keluar Turbin LPH (H4)

Uap keluar turbin LPH dengan tekanan 0,17 MPa dan temperatur 118°C. Dari data parameter tersebut tidak ditemukan nilai yang sesuai dengan tabel uap manual sehingga perlu dilakukan interpolasi dengan persamaan (2.4) adalah sebagai berikut:

Pada tabel uap dengan P= 0,16 MPa dan T= 115°C diketahui H= 2699,7 kJ/kg.

$$H, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$2699,7 + \frac{(118 - 115)}{(120 - 115)} \times (2710,3 - 2699,7)$$
$$H, y = 2706,0 \text{ kJ/kg}$$

Pada tabel uap dengan P= 0,18 MPa dan T= 120°C diketahui H= 2708,0 kJ/kg.

$$H, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$482,6 + \frac{(118 - 115)}{(120 - 115)} \times (2708,0 - 482,6)$$
$$H, y = 2708 \text{ kJ/kg}$$

Setelah nilai interpolasi entalpi Pada tabel uap manual dengan P= 0,16MPa dan T= 115°C dan P= 0,18MPa dan T= 120°C, maka dilanjutkan mencari nilai entalpi pada P= 0,17MPa dan T= 118°C. Berikut perhitungan entalpi dengan P sebagai fungsi x:

$$H, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$2706 + \frac{(0,17 - 0,16)}{(0,18 - 0,16)} \times (2708 - 2706)$$
$$H, y = 2707 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai entropi uap keluar turbin LPH (S4)

Uap keluar turbin LPH dengan tekanan 0,17 MPa dengan temperatur 118°C. Dari data parameter tersebut tidak ditemukan tekanan dan temperatur uap keluar turbin LPH yang sesuai dengan tabel uap manual sehingga perlu dilakukan interpolasi dengan persamaan (2.4) adalah sebagai berikut:

Pada tabel uap dengan P= 0,16 MPa dan T= 115 °C diketahui S= 7,2108 kJ/kg°C.

$$S, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$7,2108 + \frac{(118 - 115)}{(120 - 115)} \times (7,2379 - 7,2108)$$
$$S, y = 7,2270 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Pada tabel uap dengan P= 0,18MPa dan T= 120°C diketahui S= 7,1790kJ/kg°C.

$$S, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$1,4737 + \frac{(118 - 115)}{(120 - 115)} \times (7,1790 - 1,4737)$$
$$S, y = 4,8968 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Setelah nilai interpolasi entropi Pada tabel uap manual P= 0,16MPa dengan T= 115°C dan juga P= 0,18 MPa dengan T= 120°C, maka dilanjutkan mencari nilai entropi pada P= 0,17 MPa dan T= 118°C. Berikut perhitungan entropi dengan tekanan (P) sebagai fungsi x:

$$S_{4, y} = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$
$$7,2270 + \frac{(0,17 - 0,16)}{(0,18 - 0,16)} \times (4,8968 - 7,2270)$$
$$S_{4, y} = 6,0619 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Mencari entalpi uap keluar Turbin LP (H_{Exh})

Dari data pengujian tercatat tekanan uap keluar turbin LP = -90,22 kPa.G. atau 100 - 90,22 = 9,78

kPa.abs. karena tabel uap menggunakan satuan MPa maka, $(9,78 / 1000) = 0,0097$ MPa. Dari tabel uap saturation ditemukan:

$P = 0,0095$ MPa dengan properties sebagai berikut:

$$H_{5L} = 187,63 \text{ kJ/kg} \quad S_{5L} = 0,6360 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$H_{5V} = 2582,1 \text{ kJ/kg} \quad S_{5V} = 8,1668 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$P = 0,010$ MPa dengan properties sebagai berikut:

$$H_{5L} = 191,81 \text{ kJ/kg} \quad S_{5L} = 0,6492 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$H_{5V} = 2583,9 \text{ kJ/kg} \quad S_{5V} = 8,1488 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Dari data data diatas kita akan mencari nilai entalpi dan entropi pada tekanan 0.0097 MPa dengan intepolasi sebagai berikut:

Mencari nilai entalpi Liquid (H_{5L})

$$H_{5L}, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$187,63 + \frac{(0,0097 - 0,0095)}{(0,010 - 0,0095)} \times (191,81 - 187,63)$$

$$HL, y = 189,3 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai entalpi Vapour (H_{5V})

$$H_{5V}, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$2582,1 + \frac{(0,0097 - 0,0095)}{(0,010 - 0,0095)} \times (2583,9 - 2582,1)$$

$$H_{5V}, y = 2582,8 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai entropi Liquid (S_{5L})

$$S_{5L}, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$0,6360 + \frac{(0,0097 - 0,0095)}{(0,010 - 0,0095)} \times (0,6492 - 0,6360)$$

$$S_{5L}, y = 0,6412 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai entropi Vapour (S_{5V})

$$S_{5V}, y = y_1 + \frac{(x_2 - x_1)}{(x_3 - x_1)} \times (y_3 - y_1); \Rightarrow$$

$$8,1668 + \frac{(0,0097 - 0,0095)}{(0,010 - 0,0095)} \times (8,1488 - 8,1668)$$

$$S_{5V}, y = 8,1596 \text{ kJ/kg}$$

Mencari nilai fraksi uap (x)

$$x = \frac{S-SL}{SLV} = \frac{6,6923 - 0,6412}{7,5184} = 0,8048 \Rightarrow \text{(Expansi isentropi) persamaan (2.5)}$$

Artinya kadar uap yang keluar dari turbin menuju kondensor adalah 0,8048 atau 80,48 %, fluida yang keluar dari turbin 80,48% uap 19,52% cair. Bagian yang tidak perlu lagi diembunkan, tetapi 80,48% uap ini yang harus dibuang kalornya supaya fasenya berubah menjadi cair. Maka energi total yang terkandung didalam 80,48% uap dapat dihitung.

Setelah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai entalpi dan entropi dengan kondisi Liquid dan Vapour dan juga presentase uap keluar turbin yang sudah menjadi cair (x), maka kita lanjutkan mencari nilai entalpi uap yang masih berguna dengan menggunakan persamaan (2.6).

$$x = \frac{H_{ex} - HL}{HLV} = 0,8048 = \frac{H_{exh} - 189,3}{2393,5} \Rightarrow$$

persamaan (2.6)

$$H_5 = H_{ex} = (0,8048 \times 2393,5) + 189,3$$

$$H_5 = 2115,5 \text{ kJ/kg}$$

Dari banyaknya rincian perhitungan diatas yang baru terselesaikan hanya satu titik pengujian dari 15 sampling pengujian dalam satu tahap. Untuk mempercepat proses perhitungan untuk selanjutnya akan di gunakan sebuah aplikasi didalam excel. Rincian data dapat ditulis seperti halaman berikut, yang mana sebagai contoh perhitungan tahap selanjutnya:

- Enthalpi uap masuk turbin : 3419,9 kJ/kg (H₂)
- Entropi uap masuk turbin : 6,6923 kJ/kg^{°C} (S₂)
- Enthalpi uap keluar turbin : 3058,7 kJ/kg HPH (H₃)
- Entropi uap keluar turbin : 6,6566 kJ/kg^{°C} HPH (S₃)
- Enthalpi uap keluar turbin : 2707 kJ/kg LPH (H₄)
- Entropi uap keluar turbin : 6,0619 kJ/kg^{°C} LPH (S₄)
- Enthalpi uap keluar ke kondensor (H₅) : 2115,5 kJ/kg
- Enthalpi uap keluar ke kondensor (H_{5L}) : 189,3 kJ/kg
- Entropi uap keluar ke kondensor (S_{5L}) : 0,6412 kJ/kg^{°C}
- Enthalpi uap keluar ke kondensor (H_{5V}) : 2582,8 kJ/kg
- Entropi uap keluar ke kondensor (S_{5V}) : 8,1596 kJ/kg^{°C}
- x fraksi uap keluar ke kondensor : 0,8048

Untuk selanjutnya perhitungan hasil pengujian dapat disajikan secara lengkap pertahapan pengujian dalam tabel 4.4,4,5 dan 4.6.

Tabel 3. 4 Data Perhitungan Observasi

No.	Date Time	Main Steam		HPH steam		LPH steam		LPT Exhaust						
		H ₂ , kJ/kg	S ₂ , kJ/kg ⁰ C	H ₃ , kJ/kg	S ₃ , kJ/kg ⁰ C	H ₄ , kJ/kg	S ₄ , kJ/kg ⁰ C	H ₅ V, kJ/Kg	S ₅ V, kJ/kg ⁰ C	H ₅ L, kJ/kg	S ₅ L, kJ/kg ⁰ C	x, cair	v m ³ /kg	H ₅ kJ/kg
1	05 Jan 22, 19.15	3419.5	6.7317	3058.2	6.6938	2704.9	7.1967	2588.8	8.0995	203.4	0.6854	0.82	0.001011	2148.7
2	05 Jan 22, 19.30	3412.7	6.7255	3058.4	6.6925	2703.7	7.1680	2588.6	8.1011	203.0	0.6843	0.81	0.001011	2146.2
3	08 Jan 22, 18.15	3412.9	6.7269	3056.5	6.6887	2703.7	7.1680	2590.5	8.0823	207.5	0.6982	0.82	0.001012	2153.1
4	08 Jan 22, 19.15	3402.8	6.7134	3057.9	6.6911	2703.7	7.1680	2590.5	8.0823	207.5	0.6982	0.81	0.001012	2148.7
5	09 Jan 22, 19.45	3415.4	6.7300	3056.6	6.6885	2703.7	7.1680	2590.0	8.0873	206.3	0.6945	0.82	0.001012	2152.4
6	10 Jan 22, 18.30	3420.2	6.7357	3057.0	6.6914	2704.9	7.1967	2590.8	8.0792	208.2	0.7005	0.82	0.001012	2157.0
7	12 Jan 22, 19.00	3417.7	6.7325	3056.8	6.6912	2704.9	7.1967	2590.2	8.0849	206.9	0.6962	0.82	0.001012	2154.0
8	12 Jan 22, 19.15	3410.2	6.7223	3057.6	6.6863	2703.7	7.1680	2590.2	8.0849	206.9	0.6962	0.82	0.001012	2150.7
9	12 Jan 22, 19.30	3402.7	6.7127	3057.4	6.6875	2703.7	7.1680	2590.4	8.0835	207.2	0.6973	0.81	0.001012	2148.1
10	15 Jan 22, 19.15	3417.6	6.7319	3056.5	6.6887	2703.7	7.1680	2590.2	8.0855	206.7	0.6958	0.82	0.001012	2153.6
11	16 Jan 22, 18.45	3413.0	6.7275	3056.9	6.6881	2703.7	7.1680	2589.7	8.0905	205.5	0.6921	0.82	0.001012	2150.4
12	16 Jan 22, 19.30	3413.0	6.7275	3057.2	6.6901	2703.7	7.1680	2589.2	8.0956	204.3	0.6883	0.82	0.001012	2148.7
13	16 Jan 22, 19.45	3415.6	6.7314	3057.2	6.6901	2703.7	7.1680	2589.3	8.0938	204.7	0.6897	0.82	0.001012	2150.6
14	25 Jan 22, 19.00	3415.4	6.7300	3056.8	6.6901	2703.7	7.1680	2590.1	8.0858	206.7	0.6956	0.82	0.001012	2152.9
15	25 Jan 22, 19.15	3415.3	6.7294	3056.1	6.6857	2703.7	7.1680	2590.0	8.0873	206.3	0.6945	0.82	0.001012	2152.2

Tabel 3. 5 Data Perhitungan Pengujian ke-1

No.	Date Time	Main Steam		HPH steam		LPH steam		LPT Exhaust						
		H ₂ , kJ/kg	S ₂ , kJ/kg ⁰ C	H ₃ , kJ/kg	S ₃ , kJ/kg ⁰ C	H ₄ , kJ/kg	S ₄ , kJ/kg ⁰ C	H ₅ V, kJ/Kg	S ₅ V, kJ/kg ⁰ C	H ₅ L, kJ/kg	S ₅ L, kJ/kg ⁰ C	x, cair	v m ³ /kg	H ₅ kJ/kg
1	30 Mei 22, 09.59	3434.7	6.7526	3061.2	6.7025	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3434.7
2	30 Mei 22, 10.03	3437.2	6.7557	3063.6	6.7064	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3437.2
3	30 Mei 22, 10.07	3437.1	6.7551	3063.3	6.7044	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3437.1
4	30 Mei 22, 10.08	3437.1	6.7551	3063.3	6.7044	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3437.1
5	30 Mei 22, 10.09	3437.1	6.7551	3063.3	6.7044	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3437.1
6	30 Mei 22, 10.10	3439.6	6.7582	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
7	30 Mei 22, 10.11	3439.6	6.7582	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
8	30 Mei 22, 10.12	3439.6	6.7582	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
9	30 Mei 22, 10.13	3439.6	6.7582	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
10	30 Mei 22, 10.14	3439.6	6.7582	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
11	30 Mei 22, 10.15	3439.6	6.7582	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
12	30 Mei 22, 10.16	3439.6	6.7582	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
13	30 Mei 22, 10.17	3439.6	6.7582	3065.2	6.7043	2704.9	7.1967	2583.1	8.1567	189.9	0.6435	0.81	0.00101	3439.6
14	30 Mei 22, 10.18	3439.6	6.7582	3065.2	6.7043	2704.9	7.1967	2583.4	8.1531	190.8	0.6461	0.81	0.00101	3439.6
15	30 Mei 22, 10.19	3439.6	6.7582	3065.2	6.7043	2704.9	7.1967	2583.4	8.1531	190.8	0.6461	0.81	0.00101	3439.6

Tabel 3. 6 Data Perhitungan Pengujian ke-2

No.	Date Time	Main Steam		HPH steam		LPH steam		LPT Exhaust						
		H ₂ , kJ/kg	S ₂ , kJ/kg ⁰ C	H ₃ , kJ/kg	S ₃ , kJ/kg ⁰ C	H ₄ , kJ/kg	S ₄ , kJ/kg ⁰ C	H ₅ V, kJ/Kg	S ₅ V, kJ/kg ⁰ C	H ₅ L, kJ/kg	S ₅ L, kJ/kg ⁰ C	x, cair	v m ³ /kg	H ₅ kJ/kg
1	30 Mei 22, 10.58	3440.3	6.7509	3065.4	6.7063	2704.9	7.1967	2579.8	8.1902	182.2	0.6192	0.81	0.001009	2124.0
2	30 Mei 22, 11.13	3432.9	6.7421	3056.4	6.6945	2704.9	7.1967	2580.2	8.1863	183.1	0.6220	0.81	0.001009	2122.5
3	30 Mei 22, 11.14	3435.4	6.7453	3058.8	6.6985	2704.9	7.1967	2580.2	8.1863	183.1	0.6220	0.81	0.001009	2123.5
4	30 Mei 22, 11.15	3437.8	6.7477	3058.8	6.6985	2704.9	7.1967	2580.2	8.1863	183.1	0.6220	0.81	0.001009	2124.3
5	30 Mei 22, 11.16	3437.8	6.7477	3058.8	6.6985	2704.9	7.1967	2580.2	8.1863	183.1	0.6220	0.81	0.001009	2124.3
6	30 Mei 22, 11.17	3437.8	6.7477	3061.2	6.7025	2704.9	7.1967	2580.2	8.1863	183.1	0.6220	0.81	0.001009	2124.3
7	30 Mei 22, 11.18	3440.3	6.7509	3061.2	6.7025	2704.9	7.1967	2580.2	8.1863	183.1	0.6220	0.81	0.001009	2125.3
8	30 Mei 22, 11.22	3442.7	6.7540	3063.8	6.7085	2704.9	7.1967	2580.6	8.1820	184.1	0.6251	0.81	0.001009	2127.7
9	30 Mei 22, 11.34	3445.2	6.7571	3065.9	6.7104	2704.9	7.1967	2580.6	8.1820	184.1	0.6251	0.81	0.001009	2128.7
10	30 Mei 22, 11.36	3445.2	6.7571	3068.3	6.7144	2704.9	7.1967	2580.6	8.1820	184.1	0.6251	0.81	0.001009	2128.7
11	30 Mei 22, 11.37	3445.2	6.7571	3068.3	6.7144	2704.9	7.1967	2580.6	8.1820	184.1	0.6251	0.81	0.001009	2128.7
12	30 Mei 22, 11.38	3447.7	6.7602	3068.3	6.7144	2704.9	7.1967	2580.6	8.1820	184.1	0.6251	0.81	0.001009	2129.7
13	30 Mei 22, 11.40	3447.7	6.7602	3068.1	6.7123	2704.9	7.1967	2580.6	8.1820	184.1	0.6251	0.81	0.001009	2129.7
14	30 Mei 22, 11.41	3447.7	6.7602	3068.1	6.7123	2704.9	7.1967	2580.6	8.1820	184.1	0.6251	0.81	0.001009	2129.7
15	30 Mei 22, 11.44	3447.6	6.7596	3070.4	6.7163	2704.9	7.1967	2581.0	8.1781	185.0	0.6279	0.81	0.00101	2130.8

Dari perhitungan tersebut akan dilanjutkan pembahasan dari salah satu titik uji untuk menghitung kerja turbin, pompa dan energi masuk boiler dan juga efisiensi termal siklus. Data perhitungan pada titik lainnya akan di sajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Kerja Turbin

Untuk menghitung kerja turbin akan menggunakan persamaan (2.8) pada Bab II. Pada parameter titik uji pertama tercatat sebagai berikut:

1) Kerja Turbin

$$\begin{aligned} \text{Dimana: } W_{\text{turbin}} &= H_2 - H_5 \text{ (kJ/kg)} \quad (2.8) \\ &= 3434,8 - 2135,9 \\ &= 1298,9 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

2) Kerja Pompa

Dalam menghitung energi yang digunakan menggerakkan pompa di pengaruhi oleh tekanan kerja dari boiler dan tekanan kondensor. Perbedaan tekanan yang semakin tinggi akan membutuhkan energi yang banyak pula. Persamaan yang dipakai untuk menghitung kerja pompa adalah persamaan (2.9).

$$W_{\text{pump}} = v * (\text{Pin} - \text{Pout})$$

Pout = Tekanan aliran keluar pompa akan masuk boiler; kPa

Pin = Tekanan aliran masuk pompa dari kondensor; kPa

v1 = v2 = 1,008.10³ m³/kg (dari thermo tables.xlam)

Dimana: volume spesifik air dianggap konstan

$$\begin{aligned} W_{\text{pump}} &= v * (P_2 - P_5) \text{ kJ/kg} \\ &= 0,001 * ((8,53 * 1000) - (-90,22 + 100)) \\ &= 0,001 * (8530) - (9,78) \\ &= 0,001 * 8520,22 \end{aligned}$$

$$W_{\text{pump}} = 8,52 \text{ kJ/kg}$$

3) Kerja Boiler

Boiler adalah peralatan yang memproduksi uap dengan dengan cara memanaskan air sampai menjadi uap kering sesuai kebutuhan turbin baik jumlah maupun kualitas. Jumlah energi yang masuk ke boiler dapat di hitung dengan perbedaan entalpi uap keluar turbin dengan entalpi air sebelum masuk boiler dengan menggunakan persamaan (2.11).

$$\text{Maka } H_6 = H_{51} + W_{\text{pump}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 190 + 8,52 \\
 &= 198,52 \text{ kJ/kg} \\
 Q_{\text{boiler}} &= H_2 - H_6 \\
 &= 3434,8 - 198,52 \\
 &= 3236,28 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\eta_{\text{termal}} = 39,8 \%$$

Seperti contoh pembahasan hasil uji di atas, kemudian dimasukkan ke dalam tabel tabulasi pada setiap titik pengujian yang selanjutnya akan dianalisa dalam bentuk grafik.

4) Efisiensi Termal Siklus

Setelah dilakukan perhitungan dan tabulasi energi selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi termal siklus dengan menggunakan persamaan (2.12).

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{termal}} &= \frac{W_{\text{Turbine}} - W_{\text{Pompa}}}{Q_{\text{boiler}}} \times 100\% \\
 \eta_{\text{termal}} &= \frac{1298,9 - 8,52}{3236,28} \times 100\%
 \end{aligned}$$

Tabel 3. 7 Data Hasil Observasi

No.	Date Time	W_{turbine}	W_{pompa}	H_6	Q_{boiler}	η_{termal}
		kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	%
1	05 Jan 22, 19.15	1270.845	8.616405	212.0398	3207.541	39.35%
2	05 Jan 22, 19.30	1266.497	8.616121	211.6769	3201.036	39.30%
3	08 Jan 22, 18.15	1259.835	8.61964	216.1575	3196.789	39.14%
4	08 Jan 22, 19.15	1254.115	8.61964	216.1575	3186.729	39.08%
5	09 Jan 22, 19.45	1263.006	8.618702	214.9686	3200.46	39.19%
6	10 Jan 22, 18.30	1263.205	8.620242	216.9193	3203.353	39.16%
7	12 Jan 22, 19.00	1263.753	8.619144	215.5299	3202.263	39.20%
8	12 Jan 22, 19.15	1259.481	8.619144	215.5299	3194.699	39.15%
9	12 Jan 22, 19.30	1254.613	8.61942	215.8791	3186.888	39.10%
10	15 Jan 22, 19.15	1264.054	8.619034	215.3899	3202.287	39.20%
11	16 Jan 22, 18.45	1262.572	8.618091	214.1914	3198.872	39.20%
12	16 Jan 22, 19.30	1264.323	8.617139	212.9782	3200.085	39.24%
13	16 Jan 22, 19.45	1265.06	8.617476	213.4081	3202.253	39.24%
14	25 Jan 22, 19.00	1262.5	8.618979	215.3198	3200.109	39.18%
15	25 Jan 22, 19.15	1263.106	8.618702	214.9686	3200.344	39.20%

Tabel 3. 8 Data Hasil Pengujian ke-1

No.	Date Time	W_{turbine}	W_{pompa}	H_6	Q_{boiler}	η_{termal}
		kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	%
1	30 Mei 22, 09.59	1298.888	8.606095	198.6027	3236.182	39.87%
2	30 Mei 22, 10.03	1300.363	8.606095	198.6027	3238.654	39.89%
3	30 Mei 22, 10.07	1300.461	8.606095	198.6027	3238.542	39.89%
4	30 Mei 22, 10.08	1300.461	8.606095	198.6027	3238.542	39.89%
5	30 Mei 22, 10.09	1300.461	8.606095	198.6027	3238.542	39.89%
6	30 Mei 22, 10.10	1301.937	8.606095	198.6027	3241.013	39.91%

7	30 Mei 22, 10.11	1301.937	8.606095	198.6027	3241.013	39.91%
8	30 Mei 22, 10.12	1301.937	8.606095	198.6027	3241.013	39.91%
9	30 Mei 22, 10.13	1301.937	8.606095	198.6027	3241.013	39.91%
10	30 Mei 22, 10.14	1301.937	8.606095	198.6027	3241.013	39.91%
11	30 Mei 22, 10.15	1301.937	8.606095	198.6027	3241.013	39.91%
12	30 Mei 22, 10.16	1301.937	8.606095	198.6027	3241.013	39.91%
13	30 Mei 22, 10.17	1301.937	8.606095	198.6033	3241.012	39.91%
14	30 Mei 22, 10.18	1300.723	8.606721	199.4329	3240.183	39.88%
15	30 Mei 22, 10.19	1300.723	8.606721	190.8262	3248.79	39.77%

Tabel 3. 9 Data Hasil Pengujian ke-2

No.	Date Time	W_{turbine}	W_{pomp}	H_6	Q_{boiler}	η_{termal}
		kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	kJ/Kg	%
1	30 Mei 22, 10.58	1316.274	8.600351	190.8731	3249.432	40.24%
2	30 Mei 22, 11.13	1310.404	8.601013	191.7739	3241.209	40.16%
3	30 Mei 22, 11.14	1311.889	8.601013	191.7739	3243.688	40.18%
4	30 Mei 22, 11.15	1313.468	8.601013	191.7739	3246.054	40.20%
5	30 Mei 22, 11.16	1313.468	8.601013	191.7739	3246.054	40.20%
6	30 Mei 22, 11.17	1313.468	8.601013	191.7739	3246.054	40.20%
7	30 Mei 22, 11.18	1314.953	8.601013	191.7739	3248.531	40.21%
8	30 Mei 22, 11.22	1315.001	8.601737	192.755	3250.026	40.20%
9	30 Mei 22, 11.34	1316.487	8.601737	192.755	3252.501	40.21%
10	30 Mei 22, 11.36	1316.487	8.601737	192.755	3252.501	40.21%
11	30 Mei 22, 11.37	1316.487	8.601737	192.755	3252.501	40.21%
12	30 Mei 22, 11.38	1317.973	8.601737	192.755	3254.974	40.23%
13	30 Mei 22, 11.40	1317.973	8.601737	192.755	3254.974	40.23%
14	30 Mei 22, 11.41	1317.973	8.601737	192.755	3254.974	40.23%
15	30 Mei 22, 11.44	1316.773	8.60239	193.638	3253.981	40.20%

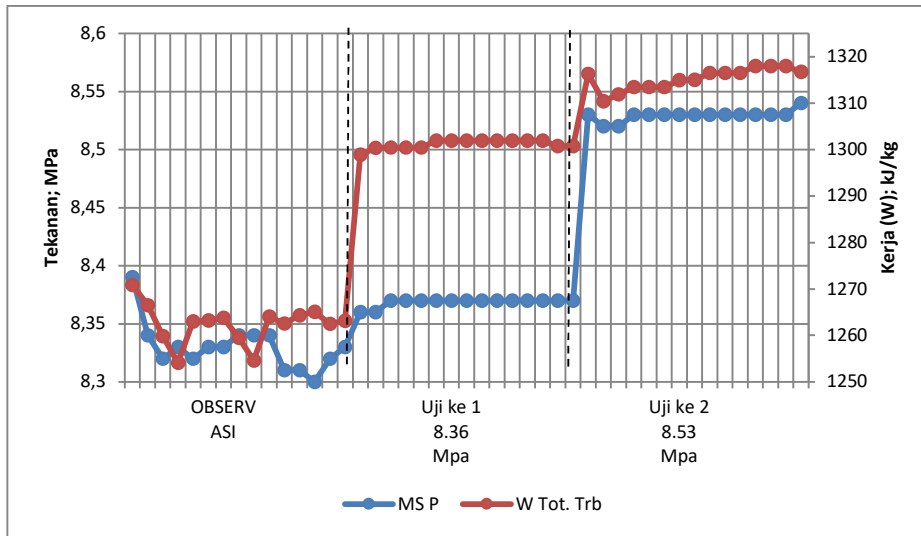
Analisa Data Pengujian

Merujuk data hasil perhitungan dan pembahasan yang dituangkan dalam bentuk tabel 4.7, 4.8, 4.9 dan untuk mempermudah analisa data hasil pengujian, akan disajikan dalam bentuk grafik. Analisa dalam bentuk grafik akan mempermudah melihat perubahan yang terjadi pada masing masing titik pengujian. Namun pengujian dan pengambilan parameter yang dibutuhkan sesuai dengan kondisi lingkungan saat uji. Kondisi lingkungan akan sangat mempengaruhi hasil

uji terutama pada temperatur pendingin kondensor yang akan berakibat langsung pada perubahan tekanan kondensor.

Perbandingan Tekanan Uap Masuk Turbin Terhadap Kerja Turbin

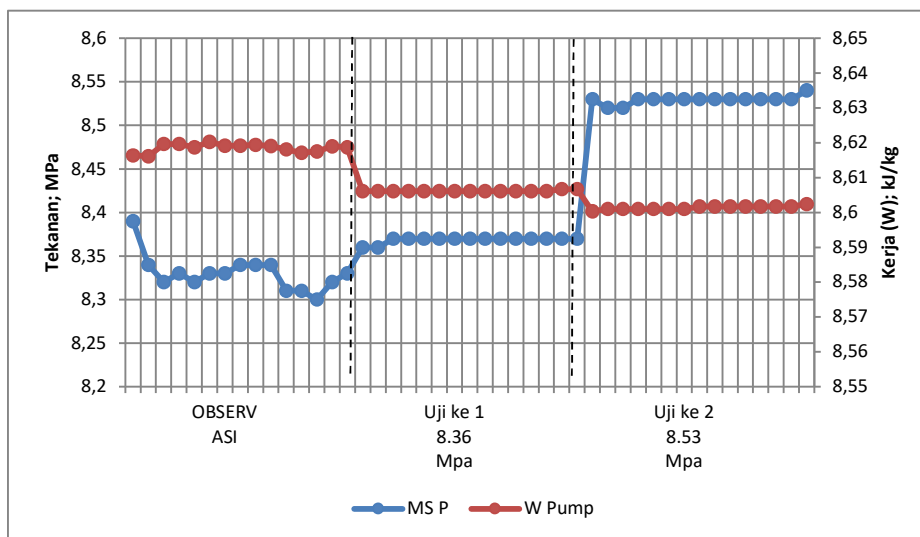
Dari grafik perbandingan tekanan uap masuk turbin terhadap kerja turbin terlihat ada kenaikan kerja turbin total dari uji observasi ke uji tahap kesatu $1298.88 - 1270.84 =$ sebesar 28,04 kJ/kg, dan kenaikan kerja turbin total dari uji observasi ke uji tahap kedua $1316.27 - 1270.84 =$ sebesar 45,43 kJ/kg.



Gambar 3. 8 Pengaruh Tekanan Uap Masuk Turbin Terhadap Kerja Turbin

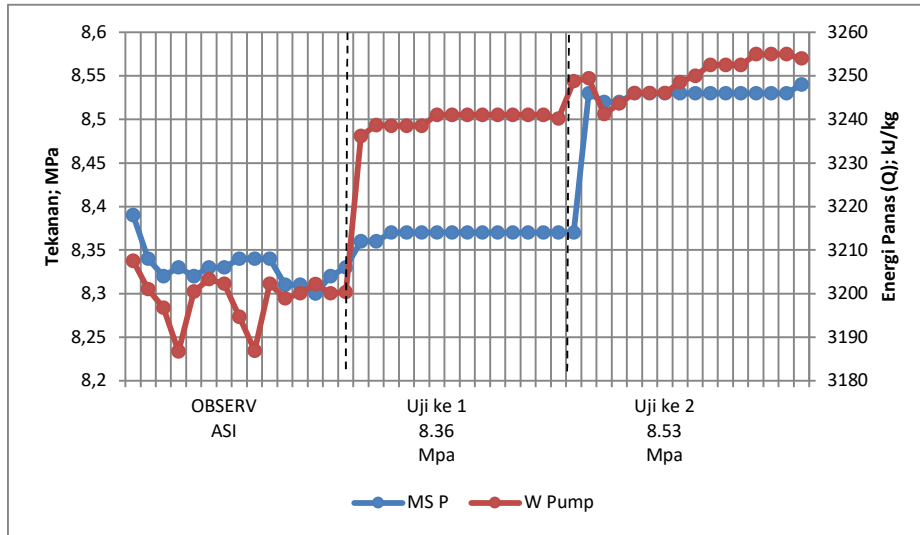
Perbandingan Tekanan Uap Masuk Turbin Terhadap Kerja Pompa

Secara logaritmik data hasil uji menunjukkan penurunan kerja pompa walaupun nilainya sangat kecil tidak lebih dari 2 %.



Gambar 3. 9 Pengaruh Tekanan Uap Masuk Turbin Terhadap Kerja Pompa

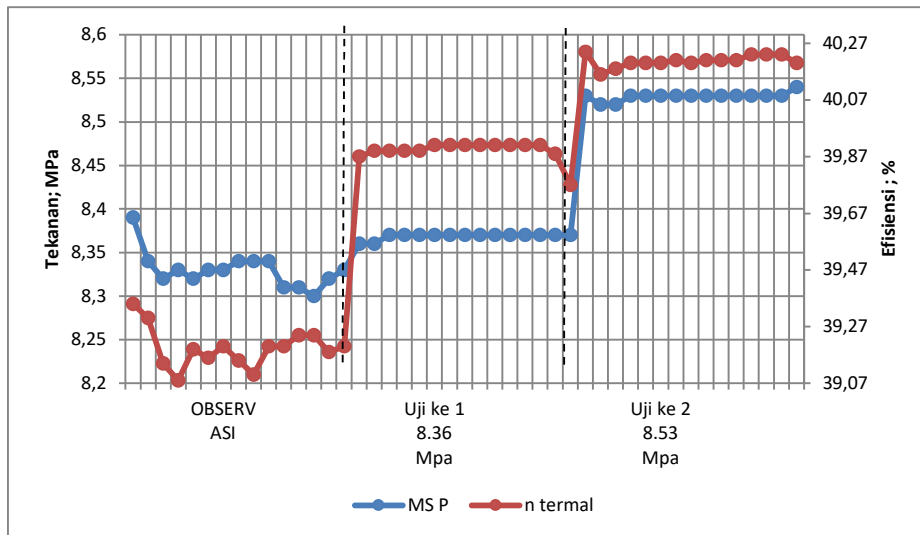
Perbandingan Tekanan Uap Masuk Turbin Terhadap Energi Masuk Boiler



Gambar 3. 10 Pengaruh Tekanan Uap Masuk Turbin Terhadap Energi masuk Boiler.

Dari grafik perbandingan tekanan uap masuk turbin terhadap energi masuk boiler terlihat ada kenaikan energi masuk boiler dari uji observasi ke uji kesatu sebesar 28,64 kJ/kg, dan kenaikan energi masuk boiler dari uji observasi ke uji tahap kedua sebesar 41,89 kJ/kg. Hal tersebut disebabkan energi panas bahan bakar beralih untuk menaikkan temperatur air dan mengurangi panas laten untuk evaporasi.

Perbandingan Tekanan Uap Masuk Turbin Terhadap Efisiensi Termal



Gambar 3. 11 Pengaruh Tekanan Uap Masuk Turbin HP Terhadap Efisiensi Termal

Dari grafik perbandingan tekanan uap masuk turbin terhadap efisiensi termal terlihat ada kenaikan efisiensi termal dari uji observasi ke uji kesatu sebesar 0,52%, dan kenaikan efisiensi termal dari uji observasi ke uji kedua sebesar 0,89%.

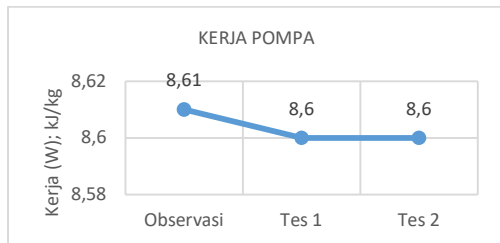
Dalam tabel berikut akan ditampilkan perbandingan hasil uji pada masing masing titik dengan mengambil parameter terbaik sesuai kebutuhan perhitungan dalam masing masing tahapan pengujian.

Tabel 3. 10 Perbandingan Untuk Kerja

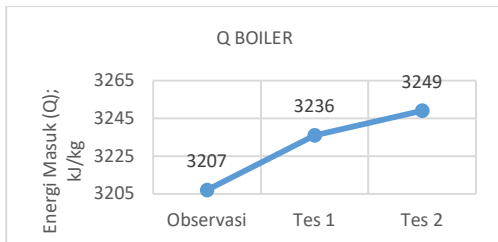
	SATUAN	OBSERVASI	TES 1	TES 2
KERJA TURBIN	kJ/kg	1270	1298	1316
KERJA POMPA	kJ/kg	8.61	8.60	8.60
KERJA BOILER	kJ/kg	3207	3236	3249
EF. TERMAL	%	39.5	39.87	40.24



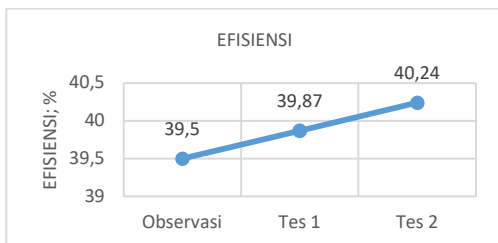
Gambar 3. 12 Untuk Kerja Turbin



Gambar 3. 13 Untuk Kerja Pompa



Gambar 3. 14 Untuk Kerja Boiler



Gambar 3. 15 Untuk Kerja Turbin

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari data pengujian dan hasil analisa yang telah dijelaskan pada bagian pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah terjadi penurunan kerja turbin yang disebabkan beberapa faktor diantaranya, penurunan tekanan uap masuk turbin dari 8.53 ke

8.36 MPa terjadi peurunan 0.17 MPa yang menyebabkan penurunan kerja turbin sebesar 46 kJ/kg. Kenaikan tekanan kondenser dari -91.11 ke -88.49 terjadi kenaikan sebesar 2,62 kPa condenser.

2. Dari data hasil pengujian diketahui penurunan efisiensi termal pada tekanan uap masuk turbin 8.36 MPa dan pada tekanan 8.53 MPa menyebabkan penurunan efisiensi termal sebesar 0.89 %.

Saran

Dari kesimpulan diatas dapat dilakukan usaha perbaikan efisiensi turbin dan termal PLTU Tanjung Bara sebagai berikut:

1. Menjaga tekanan dan temperatur uap masuk turbin sesuai dengan data komisioning dan pengoperasian PLTU dengan mode operasi auto minimal pada steam control valve dan de-super heater spray water.
2. Melakukan rutin pengoperasian ball cleaning di kondensor secara konsisten untuk menjaga kebersihan pipa kondensor tetap bersih sehingga heat transfer dapat terjadi dengan baik dan tekanan kondensor dapat terjaga serendah mungkin.
3. Membuat aplikasi monitoring performa PLTU secara real time untuk memberikan *feedback* kepada operator agar segera melakukan koreksi operasi jika terjadi penurunan performa PLTU.
4. Melakukan kontrol yang ketat terhadap kualitas pelaksanaan pemeliharaan terutama pemeliharaan turbin.

Daftar Pustaka

- Najamudin. (2019). Pengaruh Tekanan Masuk dan Tekanan Keluar Turbin Terhadap Daya Penggerak Generator. Jurnal Teknik Mesin UBL, VI.
- Risqiwani, D. D., & Putra, A. B. (2013). Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan Inlet Turbin dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik Turbin Pada Organic Rankine Cycle. Jurnal Teknik Pomits, II(3). Retrieved from <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik>

Naspub: Analisa Efek
Penurunan Tekanan Uap
Terhadap Efisiensi Turbin
Uap
PLTU Tanjung Bara
by Marwansyah
Marwansyah

Submission date: 11-Oct-2022 10:45AM (UTC+0800)

Submission ID: 1922183250

File name: Naskah_Publikasi_Marwansyah.docx (337.62K)

Word count: 6534

Character count: 35563

Naspub: Analisa Efek Penurunan Tekanan Uap Terhadap Efisiensi Turbin Uap PLTU Tanjung Bara

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



jurnal.bkstm.org

Internet Source

2%



pt.scribd.com

Internet Source

1%



eprints.undip.ac.id

Internet Source

1%



repository.usd.ac.id

Internet Source

1%



djukarna.wordpress.com

Internet Source

<1%



Submitted to University of Strathclyde

Student Paper

<1%



jurnal.ubl.ac.id

Internet Source

<1%



ejournal.its.ac.id

Internet Source

<1%



vdocuments.site

Internet Source

<1%

