

TESIS

ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP KINERJA SISTEM ENERGI TERMAL PADA PLTU TANJUNG ENIM 3X10 MW



**SEPTIANI WULANDARI
NIM. 03032622226001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

TESIS

ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP KINERJA SISTEM ENERGI TERMAL PADA PLTU TANJUNG ENIM 3X10 MW

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH
SEPTIANI WULANDARI
NIM. 03032622226001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP KINERJA SISTEM ENERGI TERMAL PADA PLTU TE 3X10 MW

TESIS

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

SEPTIANI WULANDARI
NIM. 03032622226001

Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001

Palembang, Juni 2023

Pembimbing II,



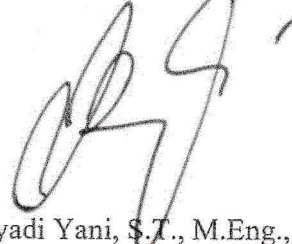
Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

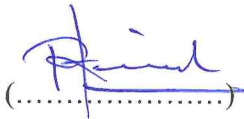
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP KINERJA SISTEM ENERGI TERMAL PADA PLTU TANJUNG ENIM 3×10 MW” telah dipertahankan di hadapan Tim Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada Tanggal 01 Juni 2023.

Palembang, 01 Juni 2023

Pembimbing

1. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001
2. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002



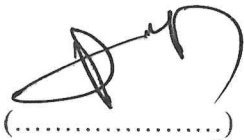
(.....)



(.....)

Tim Penguji

1. Dr. Ir. Darmawi Bayin, M.T., M.T.
NIP. 195806151987031002
2. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001




(.....)



(.....)

Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin



26/6/23

Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

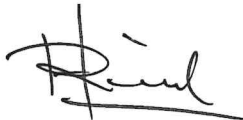
TESIS

NAMA : SEPTIANI WULANDARI
NIM : 03032622226001
JURUSAN : TEKNIK MESIN
BIDANG STUDI : KONVERSI ENERGI
JUDUL : ANALISIS PENGARUH PARAMETER
OPERASI TERHADAP KINERJA SISTEM
ENERGI TERMAL PADA PLTU
TANJUNG ENIM 3×10 MW
DIBUAT TANGGAL : 24 FEBRUARI 2023
SELESAI TANGGAL : 10 JUNI 2023

Palembang, Juni 2023

Menyetujui
Pembimbing I

Pembimbing II

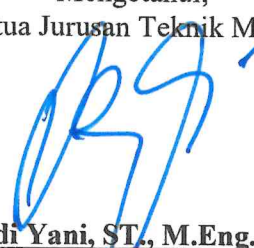


Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001



Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Septiani Wulandari

NIM : 03032622226001

Judul : Analisis Pengaruh Parameter Operasi Terhadap Kinerja
Sistem Energi Termal Pada PLTU Tanjung Enim 3×10 MW

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Juni 2023



Septiani Wulandari
NIM. 03032622226001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Septiani Wulandari

NIM : 03032622226001

Judul : Analisis Pengaruh Parameter Operasi Terhadap Kinerja
Sistem Energi Termal Pada PLTU Tanjung Enim 3×10 MW

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juni 2023



Septiani Wulandari

NIM. 03032622226001

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP KINERJA SISTEM ENERGI TERMAL PADA PLTU TANJUNG ENIM 3×10 MW

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 10 Juni 2023

Septiani wulandari; Dibimbing oleh Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc.,Ph.D¹⁾, dan Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T²⁾

The Analysis of Operating Parameters Effect on Thermal Energy System Performance in PLTU Tanjung Enim 3×10 MW

xviii + 196 Halaman, 21 Tabel, 32 Gambar, 4 Lampiran

RINGKASAN

Sektor pembangkit listrik di Indonesia didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar fosil batubara. Berdasarkan faktor tersebut pembangkit harus dilakukan peninjauan kembali melalui analisis kinerja sistem termal. Melalui analisis kinerja sistem energi termal pada pembangkit dapat diidentifikasi peluang untuk melakukan penggunaan dan penghematan energi yang lebih efisien. Pada penelitian didapatkan hasil nilai kalori batubara sebesar 4531 kcal/kg, 5986 kcal/kg dan 5707 kcal/kg dengan rata-rata efisiensi Boiler metode direct 90,8%, 81,7%, 84,1% dan metode indirect 62,3%, 71,0%, 69,7%. Efisiensi termal Turbin didapatkan hasil rata-rata 32,5% dan laju perpindahan panas secara keseluruhan pada Condenser yaitu 194,8 kW. Perhitungan analisis exergi pada setiap peralatan pembangkit meliputi Boiler, Turbin dan Condenser. Rata-rata perhitungan exergi pada Boiler 39,7%, Turbin Uap 87,2%, dan Condenser 54,6%. Perhitungan kinerja pembangkit yang meliputi efisiensi siklus termal, *plant heat rate*, rasio kerja dan *specific fuel consumption*. Rata-rata perhitungan efisiensi siklus termal 28,34%, *plant heat rate* 5105 kcal/kWh, rasio kerja 0,9992 dan *specific fuel consumption* 0,85. Pada penelitian ini diharapkan dapat mengoperasikan pembangkit sesuai dengan standar tata kelola operasi pembangkit. Mulai dari penggunaan nilai kalori batubara harus berada pada batasan *Manual Book Boiler* yaitu $4500 \leq \text{GHV} \leq 5000$ kcal/kg dan parameter kondisi operasi harus dijaga pada setiap peralatan pembangkit sesuai *Manual Book Operasi Pembangkit*.

Kata kunci : Analisis Energi dan Exergi, Kinerja Pembangkit, Nilai Kalori, Parameter Operasi, PLTU

SUMMARY

THE ANALYSIS OF OPERATING PARAMETERS EFFECT ON THERMAL ENERGY SYSTEM PERFORMANCE IN PLTU TANJUNG ENIM 3×10 MW

Scientific Paper in the form of Tesis 10th June 2023

Septiani Wulandari; Supervised by Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc.,Ph.D¹⁾ and Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T²⁾

Analisis Pengaruh Parameter Operasi Terhadap Kinerja Sistem Energi Termal pada PLTU Tanjung Enim 3×10 MW

xviii + 196 Pages, 21 Tables, 32 Pictures, 4 Attachments

SUMMARY

The power generation sector in Indonesia is dominated by fossil coal-fired steam power plant (PLTU). Based on these factors, the steam power plant must be reviewed through thermal energy system performance analysis. Through analyzing the performance of thermal energy system in steam power plant could be identified opportunities to make more efficient use and energy savings. In this research obtained the results of coal calorific value of 4531 kcal/kg, 5986 kcal/kg and 5707 kcal/kg with an average Boiler efficiency of direct method are 90.8%, 81.7%, 84.1% and Boiler efficiency of indirect method are 62.3%, 71.0%, 69.7%. The thermal efficiency of Turbine obtained an average result of 32.5% and the overall heat transfer rate in the Condenser is 194.8 kW. Calculation of exergy analysis on each generating equipment includes Boiler, Turbine and Condenser. The average exergy calculation in Boiler 39.7%, Steam Turbine 87.2%, and Condenser 54.6%. Calculation of plant performance which includes thermal cycle efficiency, plant heat rate, work ratio and specific fuel consumption. Average calculation of thermal cycle efficiency 28.34%, plant heat rate 5105 kcal/kWh, work ratio 0.9992 and specific fuel consumption 0.85. In this research, it is expected to operate the plant based on plant operation governance standards. Starting from using of coal calorific value must be within the limits of Boiler Manual Book, namely $4500 \leq \text{GHV} \leq 5000$ kcal/kg and parameter operating conditions must be maintained on each generating equipment according on Plant Operations Manual Book.

Keywords : Energy and Exergy Analysis, Plant Performance, Coal Caloric Value, Operating Parameters, Steam Power Plant.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala telah memberikan rahmat dan kebesaran-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tesis yang berjudul “Analisis Pengaruh Parameter Operasi Terhadap Kinerja Sistem Energi Termal Pada PLTU Tanjung Enim 3×10 MW”. Tesis ini dapat diselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan kontribusi dalam penyelesaian tesis ini.

Secara khusus penulis mengucapkan terimakasih atas bimbingan, arahan dan masukan dalam pembuatan tesis ini, kepada :

1. Orang tua yang saya cintai
2. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D. sebagai pembimbing I
3. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T. sebagai Pembimbing II
4. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin
5. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Koordinator Program Studi Magister Teknik Mesin
6. Dr. Ir. Darmawi Bayin, M.T., M.T dan Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T. sebagai Penguji Tesis
7. Dosen, Staff Administrasi, Mahasiswa dan Alumni Fakultas Teknik khususnya Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada penulisan tesis ini. Untuk itu, penulis mengharapkan saran, kritik, dan masukan yang membangun dari semua pihak. Semoga tesis ini bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang Teknik Mesin.

Palembang, Juni 2023



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	viii
RINGKASAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR SIMBOL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Analisis Termodinamika Pembangkit Listrik Tenaga Uap	4
2.1.1 Siklus Rankine	4
2.1.2 Evaluasi Kerja Utama dan Perpindahan Kalor.....	5
2.2 Proses Produksi PLTU Batubara.....	9
2.2.1 Proses Produksi Listrik Pembangkitan pada PLTU TE	9
2.2.2 Listrik Pemakaian Sendiri	12
2.3 Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	13
2.3.1 Efisiensi Termal	13
2.3.2 Efisiensi Boiler Metode Langsung.....	14
2.3.3 Efisiensi Boiler Metode Tidak Langsung	15
2.3.4 Teknik Pembakaran Bahan Bakar	15
2.3.5 Analisis Exergi	16
2.3.6 Efisiensi Isentropik Turbin.....	16
2.3.7 Sistem Perpindahan Panas Kondensor	17
2.3.8 Kinerja Pemanas Air Umpan	18
2.3.8.1 Pemanas Air-Pengisian Terbuka	18
2.3.8.2 Pemanas Air-Pengisian Tertutup.....	19
2.3.8.3 Pemanas Air-Pengisian Bertingkat.....	19
2.3.9 Analisis Perpindahan Panas	20
2.3.10 Kinerja Plant Heat Rate	20
2.3.11 Rasio Kerja Pembangkit	20
2.3.12 <i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC)	21

2.4 Langkah Perhitungan	22
2.4.1 Perhitungan Kinerja Sistem Energi Termal Boiler	22
2.4.1.1 Efisiensi Termal Boiler	22
2.4.1.2 Exergi Boiler	35
2.4.2 Perhitungan Kinerja Sistem Energi Turbin Uap	40
2.4.2.1 Efisiensi Termal Turbin Uap.....	40
2.4.2.2 Exergi Turbin Uap.....	41
2.4.3 Perhitungan Kinerja Sistem Energi Kondensor	42
2.4.3.1 Termal Kondensor.....	42
2.4.3.2 Exergi Kondensor.....	45
2.4.4 Perhitungan Kinerja Pembangkit	47
2.4.4.1 Analisis Siklus Termal Pembangkit.....	47
2.4.4.2 Analisis Kinerja Plant Heat Rate Pembangkit	48
2.4.4.3 Perhitungan Efisiensi PLTU	49
2.4.4.4 Rasio Kerja Sistem Pembangkit.....	49
2.4.4.5 <i>Specific Fuel Consumption</i>	49
2.5 <i>State of The Art</i>	50

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	57
3.2 Variabel Penelitian.....	57
3.2.1 Data Pengamatan Boiler.....	57
3.2.2 Data Pengamatan Turbin Uap.....	59
3.2.3 Data Pengamatan Kondensor	60
3.3 Prosedur Pengambilan Data	61
3.3.1 Pengambilan Data Operasi Pembangkit.....	61
3.3.2 Pengambilan Sampel Batubara	61
3.3.3 Pengambilan Sampel <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	61
3.3.4 Pengujian Laboratorium.....	62
3.4 Diagram Alir Penelitian	63
3.5 Metode Penelitian	64
3.6 Jadwal Penelitian	65

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Batubara	66
4.2 Data Hasil Pengujian Emisi	68
4.3 Data Hasil Pengujian Abu Pembakaran	68
4.4 Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Direct dan Indirect ..	70
4.5 Hubungan Efisiensi Termal Turbin dan Efisiensi Siklus Termal.	73
4.6 Analisis Exergi Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	74
4.6.1 Laju Penghancuran Exergi Terhadap Efisiensi Exergi Boiler.....	75
4.6.2 Hubungan Daya dihasilkan Terhadap Efisiensi Exergi Turbin.....	76
4.6.3 Pengaruh Temperatur Fluida Terhadap Efisiensi Exergi Kondensor	77
4.6.4 Hubungan Laju Perpindahan Panas dan Efisiensi Exergi Kondensor	78

4.7 Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap	79
4.7.1 Laju Alir Massa Batubara dan Daya dihasilkan Terhadap SFC	79
4.7.2 Pengaruh Nilai Kalori dan Daya dihasilkan Terhadap <i>Plant Heat Rate</i>	81
4.7.3 Rasio Kerja Pembangkit	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	91
Lampiran I (Pengambilan Data Penelitian).....	89
Lampiran II (Perhitungan Penelitian)	106
Lampiran III (Data Pengujian).....	177
Lampiran IV (Dokumentasi Penelitian).....	189

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2-1 Konstanta Kapasitas Panas Udara (Hougen A, 1943).	28
2-2 Konstanta Kapasitas Panas Udara Emisi Gas (Hougen A, 1943).....	31
2-3 Konstanta Kapasitas Panas Udara (Hougen A, 1943)	31
2-4 Nilai Energi dan <i>Heat Losses</i> pada Perhitungan Metode Indirect. ...	34
2-5 Nilai <i>Absolute Entrophy (s)</i> (Bejan A, 1996).	36
2-6 Nilai <i>Standard Molar Chemical Exergy (e^{ch})</i> (Bejan A, 1996).	36
2-7 Nilai <i>Entalphy & Entrophy</i> Komponen <i>Flue Gas</i> (Perry H, 1997)..	39
2-8 Perbandingan Penelitian Terdahulu	50
3-1 Data Komposisi Batubara	57
3-2 Data Komposisi Refuse	58
3-3 Data Kondisi Parameter Operasi Boiler.....	58
3-4 Data Komposisi Gas Emisi	59
3-5 Data Komposisi Parameter Operasi Turbin Uap	59
3-6 Data Kondisi Parameter Operasi Kondensor	60
3-7 Jadwal Penelitian Tesis.....	65
4-1 Data Komposisi Batubara <i>Air-Dried Basis</i>	66
4-2 Data Komposisi Batubara <i>Dry-Ash Free</i>	66
4-3 Data Komposisi Gas Emisi	68
4-4 Data Komposisi Abu Pembakaran.....	69
4-5 Nilai Kalori Batubara Terhadap SFC.....	80
4-6 Rata-rata Hasil Perhitungan <i>Plant Heat Rate</i>	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2-1 Skema dan Diagram T-s Siklus Rankine (Moran, 2014).....	4
2-2 Prinsip Kerja dan Perpindahan Kalor Subsistem A	6
2-3 Diagram Alir Proses Produksi Listrik PLTU TE 3×10 MW	11
2-4 Ruang Lingkup Daya Gross dan Daya Netto PLTU.....	12
2-5 Perbandingan Aktual dan Ekspansi Isentropik melalui Turbin	16
2-6 <i>Shell and Tube Exchanger Shell-Side Kondensor</i> (Kakac, 2012)	17
2-7 <i>Open Feedwater Heater</i> (Moran, 2014)	18
2-8 <i>Closed Feedwater Heater</i> (Moran, 2014).....	19
2-9 <i>Multiple Feedwater Heater</i> (Moran, 2014)	19
2-10 Keseimbangan Neraca Energi pada Boiler	26
2-11 Ruang Lingkup Exergi Boiler.....	35
2-12 Skema Turbin Uap.....	40
2-13 Ruang Lingkup Exergi Turbin Uap	41
2-14 Skema Kondensor	42
2-15 Ruang Lingkup Exergi Kondensor	45
2-16 Diagram Alir Siklus Termal Pembangkit Tenaga Uap.....	47
2-17 Ruang Lingkup Plant Heat Rate Pembangkit	48
3-1 Diagram Alir Penelitian	63
4-1 Grafik Nilai Kalori Batubara	67
4-2 Grafik Hubungan Nilai Kalori dan Efisiensi Boiler pada Penelitian I	70
4-3 Grafik Hubungan Nilai Kalori dan Efisiensi Boiler pada Penelitian II	71
4-4 Grafik Hubungan Nilai Kalori dan Efisiensi Boiler pada Penelitian III.....	72
4-5 Grafik Hubungan Efisiensi Termal Turbin dan Efisiensi Siklus Termal	73
4-6 Grafik Hubungan Efisiensi Exergi dan Laju Penghancuran Exergi Boiler.....	75
4-7 Grafik Hubungan Efisiensi Daya terhadap Efisiensi Exergi Turbin.	76
4-8 Efisiensi Exergi Turbin terhadap Laju Pemusnahan Exergi	77
4-9 Pengaruh Temperatur Fluida Terhadap Efisiensi Exergi Kondensor	78
4-10 Hubungan Laju Perpindahan Panas dan Exergi Exergi Kondensor .	79
4-11 Laju Alir Massa Batubara dan Daya dihasilkan Terhadap SFC	80
4-12 Nilai Kalori Batubara Terhadap SFC.....	81
4-13 Pengaruh Nilai Kalori Batubara dan Daya dihasilkan Terhadap <i>Plant Heat Rate</i>	82
4-14 Hubungan Rasio Kerja dan Efisiensi Siklus Termal Pembangkit	83

DAFTAR SIMBOL

Nomenclature

Simbol	Penjelasan Nama Simbol	Satuan
c_p	<i>specific heat at constant pressure</i>	<i>kcal/(kmol.K)</i>
c_v	<i>specific heat at constant volume</i>	<i>kcal/(kmol.K)</i>
F	<i>factor correction</i>	-
h	<i>specific enthalpy</i>	<i>kJ/(kg.K)</i>
h_f	<i>specific enthalpy of saturated liquid</i>	<i>kJ/(kg.K)</i>
h_g	<i>specific enthalpy of saturated vapor</i>	<i>kJ/(kg.K)</i>
GHV	<i>gross heating value</i>	<i>kcal/kg</i>
k	<i>thermal conductivity</i>	<i>W/(m.K)</i>
L	<i>long</i>	<i>m</i>
M	<i>molecular weight</i>	<i>kg/kmol</i>
P	<i>pressure</i>	<i>MPa</i>
P_r	<i>Prandtl number</i>	<i>$c_p\mu/k$</i>
Q	<i>total heat transfer</i>	<i>kcal, kJ</i>
\dot{Q}	<i>heat transfer rate</i>	<i>kW</i>
s	<i>specific entropy</i>	<i>kJ/(kg.K)</i>
s_f	<i>specific entropy of the saturated liquid</i>	<i>kJ/(kg.K)</i>
s_g	<i>specific entropy of the saturated vapor</i>	<i>kJ/(kg.K)</i>
SFC	<i>specific fuel consumption</i>	<i>kg/kWh</i>
THR	<i>turbine heat rate</i>	<i>kJ/kWh</i>
T	<i>temperature</i>	<i>°C, K</i>
T_{ref}	<i>temperature of reference</i>	<i>°C, K</i>
T_s	<i>temperature of surface</i>	<i>°C, K</i>
T_∞	<i>temperature of fluid</i>	<i>°C, K</i>
T_0	<i>temperature of environment</i>	<i>°C, K</i>
ΔT_{lm}	<i>long mean temperature difference</i>	<i>°C, K</i>

v	<i>specific volume</i>	m^3/kg
v_f	<i>specific volume of the saturated liquid</i>	m^3/kg
v_g	<i>specific volume of the saturated vapor</i>	m^3/kg
μ	<i>viscosity</i>	$Pa.s$
ρ	<i>density</i>	kg/m^3
η	<i>efficiency</i>	%
λ	<i>lambda</i>	$kcal/kmol$
\dot{m}	<i>mass flow rate</i>	T/hr
ΔH	<i>standard enthalpy of combustion</i>	$kcal/kmol$
σ	<i>surface tension (Stefan-Boltzmann constant)</i>	$W/(m^2.K^4)$
A	<i>Surface area</i>	m^2
β	<i>ideal gas</i>	$^{\circ}C^{-1}$
Δx	<i>wall thickness</i>	m
ΔP	<i>pressure drop</i>	Pa
e^{ch}	<i>standard molar chemical exergy</i>	$kJ/kmol$
e_f	<i>exergy</i>	$kcal$
W	<i>total work</i>	$kJ, kcal$
W_t	<i>work of turbine</i>	$kJ, kcal$
W_p	<i>work of pump</i>	$kJ, kcal$
\dot{W}	<i>power</i>	kW
Re	<i>reynolds number</i>	-
Gr	<i>grashof number</i>	-
Ra	<i>rayleigh number</i>	-
Nu	<i>nusselt number</i>	-

ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASI TERHADAP KINERJA SISTEM ENERGI TERMAL PADA PLTU TANJUNG ENIM 3×10 MW

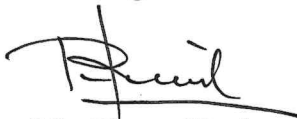
Septiani Wulandari¹, Riman Sipahutar,¹ Irwin Bizzy¹
¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

ABSTRAK

Sektor pembangkit listrik di Indonesia didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar fosil batubara. Berdasarkan faktor tersebut pembangkit harus dilakukan peninjauan kembali melalui analisis kinerja sistem termal. Melalui analisis kinerja sistem energi termal pada pembangkit dapat diidentifikasi peluang untuk melakukan penggunaan dan penghematan energi yang lebih efisien. Pada penelitian didapatkan hasil nilai kalori batubara sebesar 4531 kcal/kg, 5986 kcal/kg dan 5707 kcal/kg dengan rata-rata efisiensi Boiler metode direct 90,8%, 81,7%, 84,1% dan metode indirect 62,3%, 71,0%, 69,7%. Efisiensi termal Turbin Uap didapatkan hasil rata-rata 32,5% dan laju perpindahan panas secara keseluruhan pada Kondensor yaitu 194,8 kW. Perhitungan analisis exergi pada peralatan pembangkit meliputi Boiler, Turbin Uap dan Kondensor. Rata-rata perhitungan exergi Boiler sebesar 39,7%, Turbin Uap sebesar 87,2%, dan Kondensor sebesar 54,6%. Perhitungan kinerja pembangkit meliputi efisiensi siklus termal, *plant heat rate*, rasio kerja dan *specific fuel consumption*. Rata-rata perhitungan efisiensi siklus termal sebesar 28,34%, *plant heat rate* sebesar 5105 kcal/kWh, rasio kerja 0,9992 dan *specific fuel consumption* 0,85. Pada penelitian diharapkan dapat mengoperasikan pembangkit sesuai dengan standar tata kelola operasi pembangkit. Mulai dari penggunaan nilai kalori batubara harus berada pada batasan *Manual Book Boiler* yaitu $4500 \leq \text{GHV} \leq 5000$ kcal/kg dan parameter kondisi operasi pembangkit tenaga uap harus sesuai *Manual Book Operasi Pembangkit*.

Kata kunci : Analisis Energi dan Exergi, Kinerja Pembangkit, Nilai Kalori, Parameter Operasi, PLTU

Pembimbing I



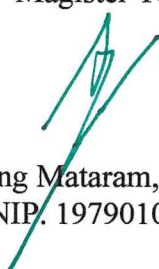
Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001

Pembimbing II



Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin


Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

**THE ANALYSIS OF OPERATING PARAMETERS EFFECT ON
THERMAL ENERGY SYSTEM PERFORMANCE
IN PLTU TANJUNG ENIM 3×10 MW**

Septiani Wulandari¹, Riman Sipahutar,¹ Irwin Bizzy¹

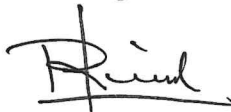
¹Mechanical Engineering Department, Engineering Faculty, Sriwijaya University,
Indralaya 30662, Ogan Ilir, South Sumatera, Indonesia.

ABSTRACT

The power generation sector in Indonesia is dominated by fossil coal-fired steam power plant. Based on these factors, the steam power plant must be reviewed through thermal energy system performance analysis. Through analyzing the performance of thermal energy system in steam power plant could be identified opportunities to make more efficient use and energy savings. In this research obtained the results of coal calorific value of 4531 kcal/kg, 5986 kcal/kg and 5707 kcal/kg with an average Boiler efficiency of direct method are 90.8%, 81.7%, 84.1% and Boiler efficiency of indirect method are 62.3%, 71.0%, 69.7%. The thermal efficiency of Steam Turbine obtained an average result of 32.5% and the overall heat transfer rate in the Condenser is 194.8 kW. Calculation of exergy analysis on each generating equipment includes Boiler, Steam Turbine and Condenser. The average exergy calculation in Boiler 39.7%, Steam Turbine 87.2%, and Condenser 54.6%. Calculation of plant performance which includes thermal cycle efficiency, plant heat rate, work ratio and specific fuel consumption. Average calculation of thermal cycle efficiency 28.34%, plant heat rate 5105 kcal/kWh, work ratio 0.9992 and specific fuel consumption 0.85. In this research, it is expected to operate the power plant based on plant operation governance standards. Starting from using of coal calorific value must be within the limits of Boiler Manual Book, namely $4500 \leq \text{GHV} \leq 5000$ kcal/kg and operating condition parameters must be in accordance based on Operation Manual Book.

Keywords : Energy and Exergy Analysis, Plant Performance, Coal Caloric Value, Operating Parameters, Steam Power Plant.

Pembimbing I




Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001

Pembimbing II



Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin

 20/6/22
Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pembangkitan listrik di Indonesia didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara. Penambahan kapasitas pembangkit selama 10 tahun mendatang (periode tahun 2018-2027) di Indonesia adalah 56 GW atau penambahan kapasitas rata-rata mencapai 5,6 GW per tahun. PLTU batubara akan mendominasi jenis pembangkit yang akan dibangun di Indonesia yaitu mencapai 26,8 GW atau 47,8% terdiri dari PLTU Mulut Tambang sebesar 6 GW dan PLTU Non-Mulut Tambang 20,8 MW. Penambahan kapasitas pembangkit tahun 2018-2027 dari sistem interkoneksi Sumatera 14,6 GW dan luar sistem interkoneksi Sumatera 1,3 GW. PLTU batubara akan mendominasi jenis pembangkit *thermal* yang akan dibangun yaitu sebesar 7,3 GW atau 45,9% (PT PLN Persero, 2018).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis teknologi konversi energi dari bahan bakar fosil menjadi energi termal di dalam ruang bakar dengan memanfaatkan energi termal uap yang dikonversikan menjadi energi mekanik di turbin uap dan dari energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik di generator. Peralatan utama dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap bahan bakar batubara yaitu Boiler, Turbin Uap, Generator, Kondensor dan Pompa.

Evaluasi pada pembangkit listrik tenaga uap telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Studi penelitian tentang “*Performance Analysis of Boiler in Thermal Power Plant*” yang dilakukan oleh Papireddy et al., (2018) menyimpulkan bahwa upaya untuk menganalisis kinerja dalam meningkatkan performansi kinerja sistem pembangkit salah satunya dengan menjaga udara yang masuk pada ruang pembakaran, pengendalian tekanan pada *steam*, serta tekanan pada vacuum condenser harus diturunkan.

Berdasarkan rekapitulasi pemakaian bahan bakar batubara terdapat kenaikan nilai kalori batubara pada tahun 2022 bahwa nilai tersebut berada pada batasan spesifikasi

nilai kalori batubara yakni, nilai kalori batubara aktual (4943 kCal/kg) > nilai kalori batubara spesifikasi (4888 kCal/kg). Oleh karena itu, pembangkit harus dilakukan peninjauan kembali melalui analisis kinerja sistem termal.

Melalui analisis kinerja sistem energi termal pembangkit dapat diidentifikasi peluang untuk melakukan penggunaan dan penghematan energi yang lebih efisien. Analisis kinerja sistem merupakan proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi perbaikan kinerja sistem pembangkit. Upaya dalam menganalisis kinerja sistem diperlukannya data parameter operasi pembangkit dan parameter analisa kandungan bahan bakar serta residu abu pembakaran.

1.2 Rumusan dan Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang akan dihubungkan dengan beberapa kaitan masalah yang akan menjadi acuan dalam penelitian. Adapun rumusan masalah yang dimaksud adalah nilai kalori batubara aktual > nilai kalori spesifikasi sehingga diperlukan analisis kinerja sistem energi termal dan seiring bertambahnya waktu operasi dapat menyebabkan penurunan performansi pada pembangkit. Penurunan kinerja pada pembangkit juga dapat disebabkan oleh perubahan kualitas bahan bakar batubara dan konsistensi parameter operasi sesuai spesifikasi parameter kondisi operasi.

Batasan masalah dalam penelitian adalah melakukan pengujian laboratorium, seperti uji nilai kalori batubara, uji analisis kandungan *ultimate* dan *proximate* batubara, uji kandungan emisi gas buang pada *chimney*, uji kandungan abu pembakaran (*fly ash* dan *bottom ash*) dan hasil record kondisi operasi pada ruang *distributed control system* (DCS). Tahapan ini dapat digunakan untuk menghitung energi sistem termal pada peralatan utama PLTU Tanjung Enim 3×10 MW.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian Tesis ini dilakukan pada sektor pembangkitan PLTU TE 3×10 MW berbahan bakar batubara dengan tujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis kinerja sistem pembangkit
2. Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sistem pembangkit
3. Menyusun rekomendasi untuk perbaikan kinerja sistem pembangkit

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat pada penelitian ini meliputi :

1. Dapat mengevaluasi kinerja sistem energi termal pada sektor pembangkitan PLTU TE 3×10 MW
2. Dapat digunakan sebagai referensi dalam mengidentifikasi setiap potensi perbaikan kinerja sistem pembangkit tenaga uap secara umum
3. Dapat digunakan sebagai acuan dalam menurunkan efek pencemaran lingkungan melalui upaya pengendalian kondisi operasi pembangkit

DAFTAR PUSTAKA

- Ariningtyas, N. (2014). Studi Numerik Pengaruh Konfigurasi Pengumpanan Dua Jenis Batubara Dengan Metode In-Furnace Blending Terhadap Proses Pembakaran Pada Boiler Tangensial. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- ASME PTC 4. (2013). Fired Steam Generators. An American National Standard. The American Society of Mechanical Engineers.
- Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. (1996). Thermal Design and Optimization. U.S.A: John Wiley and Sons Inc.
- Bhattarai D, Jha N, Budathoki P, Sedhai B. (2020). Performance Analysis and Optimization of Boiler Effect Efficiency by Reducing Moisture Content of Sugarcane Bagasse. International Journal of Advanced Engineering. Vol. 05, No. 02, March 2020. Institute of Engineering, Tribhuvan University.
- Cengel Y. (2007). Heat Transfer A Practical Approach 2nd Edition. NewYork: McGraw-Hill Education.
- Fauzi Zakaria M., Effendy M. (2018). Analisa Energi Dan Eksergi Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 2 Tanjung Awar-Awar. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Febriani S., Purwanto M. (2021). Analysis of Boiler Engine Efficiency Unit 2 PT. PJB UP Paiton. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing.
- Flynn A., Akashige T, Theodore L. (2019). Kern's Process Heat Transfer Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Gani F., Apridialianti A., Slameto. (2022). Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 Di Cirebon Power. Jurnal Energi. Jurusan Teknik Konversi Energi. Politeknik Negeri Bandung.
- Haldkar A., Kumar Sharma A., Ranjan R., Bajpai V. (2013). Parametric Analysis of Surface Condenser for Thermal Power Plant. Gyan Ganga Institute of Engg. & Tech., Jabalpur, M.P., India.
- Hasanudin L., Gunawan Y, Lolok A., et al. (2020). Heat Rate System Analysis In The Steam Power Plant In Niitanasa Using Environmentally Friendly Low-Calorie Fuels. Matter: International Journal of Science and Technology.

- Hougen A., Watson M., Ragatzm A. (1943). *Chemical Process Principles*. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc. Chapman and Hall Limited.
- Kakac S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. (2012). *Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Karakurt A., Gunes U. (2017). *Performance Analysis of A Steam Turbine Power Plant at Part Load Conditions*. *Journal of Thermal Engineering*. Yildiz Technical University Press, Istanbul, Turkey.
- Komarudin., Saputro A., Wahuningsih E. (2020). *Analisis Kenaikan Plant Heat Rate PLTU Sebelum Perbaikan Berkala Terhadap Kondisi Testing Komisioning*. Universitas Dian. Jakarta.
- Kumar R., Jagadish D., Mandula V. (2020). *Thermal Analysis of Steam Power Plant of High Capacity*. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*.
- Lin W, Chen L, Bing J, Yue G. (2020). *Design-Based Thermal Efficiency Correction Method for Hot Water Boiler*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Moran M., Shaphiro H., Boettner M., et al. (2014). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics Eight Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Nag, P. (2002). *Power Plant Engineering, 2nd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Nasruddin., Satrio P. (2015). *Analisa Energi, Exergi dan Optimasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Super Kritikal 660 MW*. Universitas Indonesia. Depok, Indonesia.
- Nuraini A., Salmi S., Aziz H. (2018). *Efficiency and Boiler Parameters Effects in Sub-critical Boiler with Different Types of Sub-bituminous Coal*. *Iranian Journal of Science and Technology-Transactions of Mechanical Engineering*. Shiraz University.
- Orjuela Abril, M.S., Rojas Suarez, J.P., Pabon Leon, J.A. (2020). *Analysis of The Energetic and Exergetic Performance in Condensers of Thermal Generation Plant*. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing.
- Papireddy., Ananth S., Kumar V. (2018). *Performance Analysis of Boiler in Thermal Power Plant*. Malla Reddy College of Engineering Maisammaguda. India

- Perry, H., Green, W., (1997). Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7th Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Purseth S., Dansena J. (2021). Performance Analysis and Efficiency Improvement of Boiler A Review. Jindal University Raigarh, Chhattisgarh India.
- PT. Pembangkitan Jawa Bali. (2013). Operation & Efficiency Management. Power Plant Academy.
- PT. PLN Persero. (2018). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2018-2027. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Rafianur Zulmi M., Suanggana D., Mungil Kurniawati, D. (2021). Analisis Efisiensi Energi, Efisiensi Eksergi, dan Laju Kerusakan Eksergi pada Komponen Mesin PLTU Muara Jawa dengan Variasi Pembebanan. Institut Teknologi Kalimantan. Kalimantan Timur.
- Rana A., Mehta J. (2013). Energy and Exergy Analysis of Fully Condensing Steam Turbine At Various Steam Load Condition. Mechanical Engineering Department, Faculty of Technology and Engineering. The M.S.Uniriversity of Baroda, Vadodara. India.
- Rashidi M., Aghagoli A., Ali M. (2014). Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters. Advances in Mechanical Engineering. Hindawi Publishing Corporation.
- Sahid., Prasetyo B. (2016). Heat Rate Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton Baru (Unit 9) Berdasarkan Performance Test Tiap Bulan dengan Beban 100%. Jurnal Teknik Energi Vol.12 No. 2. Politeknik Negeri Semarang. Semarang.
- Syahputera M., Kamal D., Ekayuliana A. (2018). Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Biaya Produksi Listrik. Seminar Nasional Teknik Mesin. Politeknik Negeri Jakarta. Jakarta.
- Setya D., Nugroho G. (2015). Analisis Perpindahan Panas di Final Superheater Pada Boiler PLTU Unit 3 PT PJB UP Gresik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.
- Tahdid., Ridwan K., Rezatantia, T., et al. (2022). Efisiensi Termal Dan Specific Fuel Consumption (SFC) Water Tube Boiler Berdasarkan Rasio Udara Bahan Bakar Diesel Dan LPG Untuk Memproduksi Saturated Dan Superheated Steam. Politeknik Negeri Sriwijaya
- Tirumala Srinivas G., Rajeev Kumar D. (2017). Efficiency of a Coal Fired Boiler in A Typical Thermal Power Plant. Koneru Lakshmaiah University. India.

Toding A, Triantoro A. (2019). Analisis Perbandingan Kualitas Batubara di Lokasi Penambangan dan Stockpile di PT Firman Ketaun Perkasa. Jurnal Himasapta. Vol. 4, No. 1, April : 1 – 10. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin. Kalimantan Selatan.

Yuliyani I., Maridjo., Abdul M. (2019). Analisis Sistem Ruang Bakar Boiler Jenis Fluidized Bed Combustion untuk PLTU Kapasitas 8 MW. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.

Zulfikar. (2009). Evaluasi Sistem Pembangkit Tenaga Uap Dengan Perangkat Lunak Cycle-Tempo. Universitas Malikussaleh. Aceh.