

SKRIPSI

**ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI
PADA SIKLUS PLTU BANJARSARI 135 MW
LAHAT SUMATERA SELATAN**



ARIA TRISKI PRATAMA

03051181924023

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

SKRIPSI

**ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI
PADA SIKLUS PLTU BANJARSARI 135 MW
LAHAT SUMATERA SELATAN**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik**



OLEH :

ARIA TRISKI PRATAMA

03051181924023

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN


JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : 020/TH/A/2023
Diterima Tanggal : 24-07-2023
Paraf : 

SKRIPSI

NAMA : ARIA TRISKI PRATAMA
NIM : 03051181924023
JURUSAN : Teknik Mesin
JUDUL SKRIPSI : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pada Siklus Ptu Banjarsari 135 Mw Lahat Sumatera Selatan
DIBUAT TANGGAL : 11 Oktober 2022
SELESAI TANGGAL : 16 Juni 2023

Palembang, Juli 2023

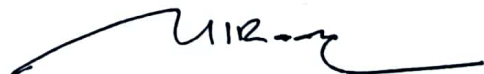
Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001



M. Ihsan Riady, S.T, M.T
NIP. 1671051310870001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin


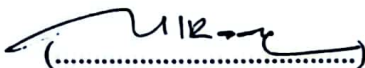



Irsyad Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
NIP. 1971112251997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pada Siklus PLTU Banjarsari 135 MW Lahat Sumatera Selatan” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal

Palembang, Juli 2023
Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ketua : Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc, Ph.D. (.....)
NIP. 195606041986021001
2. Sekretaris : M. Ihsan Riady, S.T., M.T (.....)
NIP. 1671051310870001
3. Anggota : Dr. Fajri Vidian, S.T., M.T (.....)
NIP. 197207162006041002

Palembang, Juli 2023
Memeriksa dan Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II




Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001



M. Ihsan Riady, S.T, M.T
NIP. 1671051310870001

Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Mesin


Irsyadi Yanti, S.T., M.Eng., Ph.D. IPM
NIP. 197112251997021001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Eksergi Dan Eksergoekonomi Pada Siklus PLTU Banjarsari 135 MW Lahat Sumatera Selatan”.

skripsi ini penulis buat sebagai salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan mata kuliah yang ditempuh. Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan, saran, dan pandangan yang cukup untuk bisa memberikan hasil yang lebih baik.

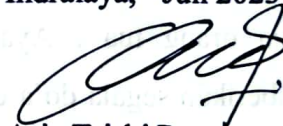
Penulis juga menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua , Ayah Heri Siswandi dan Ibu Mulyani yang telah memberikan segala do'a dan dukungan baik moril maupun material selama penulis menyelesaikan masa studi.
2. Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
3. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
4. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T dan bapak M. Ihsan Riady, S.T, M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberi tambahan pengetahuan dan saran masukan dalam penyusunan skripsi
5. Bapak Aneka Firdaus, S.T, M.T selaku dosen pembimbing akademik.
6. Bapak Gunawan, S.T, M.T Ph.D selaku pembina mahasiswa jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
7. Bapak Aldi selaku Manajer Pemeliharaan dan Bapak Sitepu selaku EPT. PJBS unit pembangkitan Banjarsari sekaligus pembimbing lapangan yang telah mengizinkan penulis untuk dapat melakukan penelitian di PLTU Banjarsari.
8. Bapak Een Jauhardi beserta Staf karyawan PT. PJBS unit pembangkitan Banjarsari dalam membimbing dan membantu penulis dalam proses pengambilan data lapangan.

9. Mbak Aan, mbak Eva, kak Kus , dan mas Arif yang telah memberikan saran nasihat serta masukan selama proses penulisan skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman yang selalu mensupport, membantu dan mendoakan penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari adanya keterbatasan dalam wawasan dan ilmu yang penulis miliki, oleh karena itu penulis menyampaikan permohonan maaf atas kekurangan dan membuka diri terhadap saran dan masukan yang bersifat membangun, agar dalam penulisan laporan selanjutnya dapat lebih baik lagi. Akhir kata, penulis mengharapkan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Indralaya, Juli 2023



Aria Triski Pratama

03051181924023

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aria Triski Pratama

NIM : 03051181924023

Judul : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pada Siklus PLTU Banjarsari
135 MW Lahat Sumatera Selatan

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 saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, Juli 2023



Aria Triski Pratama

NIM. 03051181924023

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aria Triski Pratama

NIM : 03051181924023

Judul : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pada Siklus PLTU Banjarsari
135 MW Lahat Sumatera Selatan

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

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, Juli 2023



Aria Triski Pratama
NIM. 03051181924023

RINGKASAN

ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI PADA SIKLUS PLTU BANJARSARI 135 MW LAHAT SUMATERA SELATAN.

Karya Tulis ilmiah berupa skripsi, Juni 2023

Aria Triski Pratama;

Dibimbing Oleh Ir. Dyos Santoso, M.T. dan M. Ihsan Riady, S.T, M.T.

Exergy and exergoeconomic analysis of banjarsari coal-fired steam power plant cycle 135 MW Lahat, South Sumatera.

xxxi + 126 halaman, 29 gambar, 12 Tabel , 5 Lampiran

Indonesia memiliki potensi sumber daya alam mineral dalam bentuk batubara yang melimpah. Batubara banyak digunakan kebutuhan domestik dalam negeri sebagai sumber energi utama di sektor ketenagalistrikan. Konsumsi listrik yang terus menerus meningkat telah mendorong meningkatnya pertumbuhan ekonomi, namun hal itu perlu sekiranya diiringi dengan pasokan energi yang memadai dan tetap memperhatikan dampaknya terhadap lingkungan. Penggunaan energi fosil yang dilakukan secara massif seperti batubara ini memiliki beberapa dampak negatif diantaranya semakin menipisnya pasokan sumber daya alam yang terbatas serta dampak terhadap lingkungan yang bisa menyebabkan terjadinya krisis iklim. Meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem PLTU dengan bahan bakar batubara dapat membantu mengurangi dampak-dampak negatif dari penggunaan energi fosil tersebut. Analisis eksergi merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi penyebab inefisiensi siklus dan membantu meningkatkan kualitas sistem pembangkit dengan mengetahui besaran destruksi eksergi pada setiap komponen. Selain itu, analisis performansi dari sudut pandang ekonomi dengan menggunakan analisis eksergoekonomi dapat membantu menganalisis besaran kerugian biaya yang diakibatkan destruksi eksergi. PLTU Banjarsari 2 x 135 MW berlokasi di Desa Sirah Pulau-Gunung Kembang, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Penulis menggunakan referensi buku sebagai acuan materi dasar, yaitu "*The Exergy Methode Of Thermal Power Plant*" karya T.J Kotas dan "*Thermal Design and Optimation*" karya bejan, dkk. Serta beberapa jurnal ilmiah lainnya sebagai penunjang dalam melakukan analisis eksergi dan eksergoekonomi ini. Metode pengumpulan data yang digunakan penulis adalah dengan melakukan observasi lapangan ke PLTU Banjarsari. Adapun unit komponen yang dianalisis dikaji meliputi boiler, turbin uap, *low pressure heater*, pompa kondensat, *drain pump*, *high pressure heater*, *boiler feed water pump*, *mixing unit*, dan deaerator. Penelitian ini dilakukan pada unit 1 PLTU Banjarsari dengan beban 125 MW dengan asumsi temperatur lingkungan sebesar 20°C, 25°C, 30°C. Sedangkan untuk biaya investasi, operasi dan perawatan komponen-komponen tersebut menggunakan biaya yang terdapat pada literatur.

Langkah awal dalam melakukan analisis ini adalah dengan melakukan analisis energi pada setiap komponen guna mencari entalpi, entropi dan laju aliran massa di setiap titiknya dengan menggunakan neraca massa dan neraca energi pada komponen. Dari hasil analisis eksergi pada tabel 5.5 dan 5.6 didapatkan bahwa nilai laju destruksi eksergi terbesar terjadi di boiler dengan nilai sebesar 339,8638 MW. Kemudian diikuti dengan nilai destruksi eksergi pada komponen *intermediate pressure turbine* dengan nilai 9,1918 MW pada temperatur lingkungan 30°C. Efisiensi eksergi terendah juga terjadi di boiler dengan nilai 32,701%, yang mana semua dalam kondisi temperatur lingkungan 30°C. Hal tersebut menunjukkan bahwasannya sistem ini sangat perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai penyebab dari masalah tersebut. Sedangkan sistem dengan efisiensi eksergi terbesar terdapat pada komponen deaerator dengan efisiensi sebesar 98,076% pada temperatur lingkungan 20°C. Dari hasil analisis eksergoekonomi, dapat dilihat pada tabel 5.9 dan 5.10 menunjukkan bahwasannya sistem dengan besaran laju biaya destruksi eksergi terbesar terjadi pada boiler dengan nilai 5987,4475 USD/h pada temperatur lingkungan 30°C, dimana ini sebanding lurus dengan besarnya destruksi eksergi yang terjadi di dalam boiler. Sedangkan dari sisi efektifitas modal biaya investasi, operasi, dan perawatan mesin atau disebut sebagai faktor f , menunjukkan bahwasannya nilai faktor f terendah juga berada pada komponen boiler dengan nilai 7,768%, kemudian diikuti dengan dengan LPH 5 dengan nilai 9,615%, yang mana kedua nilai ini ditinjau pada variasi temperatur lingkungan 30°C. Hal ini menunjukkan bahwasannya nilai biaya yang diakibatkan oleh destruksi eksergi dalam komponen lebih besar jika dibandingkan dengan nilai biaya total investasi, operasi dan perawatan dari komponen tersebut. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan eksergi dengan variasi temperatur lingkungan yang berbeda-beda, dimana hasilnya menunjukkan bahwasannya nilai temperatur lingkungan akan berbanding terbalik dengan nilai efisiensi eksergi dan faktor f , namun berbanding lurus dengan laju destruksi eksergi dan biaya kerugian destruksi eksergi.

Kata Kunci : PLTU, energi, eksergi, destruksi eksergi, eksergoekonomi,
faktor f

Kepustakaan : 20 (1985-2022)

SUMMARY

ANALYSIS OF EXERGY AND EXERGOCOECONOMICS IN THE
BANJARSARI 135 MW LAHAT SOUTH SUMATRA POWER PLANT
Scientific Writing in the form of a Thesis, Juni 2023

Aria Triski Pratama ;

Supervised by Ir. Dyos Santoso, M.T. dan M. Ihsan Riady, S.T, M.T.

Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pada Siklus PLTU Banjarsari 135 MW
Lahat Sumatera Selatan

xxxi + 126 pages, 29 figures, 12 Tables , 5 attachments

Indonesia has abundant natural resources in the form of coal. Coal is widely used for domestic energy needs, particularly as the main energy source in the electricity sector. The continuously increasing electricity consumption has driven economic growth. However, it is necessary to ensure an adequate energy supply while considering its impact on the environment. The massive use of fossil energy such as coal has several negative impacts, including the depletion of limited natural resources and environmental effects that can lead to a climate crisis. Improving the efficiency and performance of coal-fired power plants (PLTU) can help reduce the negative impacts of fossil energy use. Exergy analysis is a method that can be used to identify the causes of cycle inefficiency and improve the quality of the power generation system by determining the exergy destruction in each component. Additionally, from an economic perspective, exergoeconomic analysis can help analyze the cost implications of exergy destruction. The study focuses on PLTU Banjarsari, a 2 x 135 MW power plant located in Desa Sirah Pulau-Gunung Kembang, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, South Sumatra, Indonesia. The author uses reference books such as "The Exergy Method of Thermal Power Plant" by T.J Kotas and "Thermal Design and Optimization" by Bejan et al., as well as other scientific journals to support the exergy and exergoeconomic analysis. The data collection method employed by the author involves field observations at the Banjarsari power plant. The analyzed components include the boiler, steam turbine, low-pressure heater, condensate pump, drain pump, high-pressure heater, boiler feed water pump, mixing unit, and deaerator. The research focuses on Unit 1 of PLTU Banjarsari, with a load of 125 MW and assuming ambient temperatures of 20°C, 25°C, and 30°C. The energy analysis of each component is conducted to determine the enthalpy, entropy, and mass flow rate at each point, using mass and energy balances. From the exergy analysis results in tables 5.5 and 5.6, it is found that the highest exergy destruction rate occurs in the boiler with a value of 339.8638 MW. This is followed by the intermediate pressure turbine with an exergy destruction value of 9.1918 MW at an ambient temperature of 30°C. The lowest exergy efficiency also occurs in the boiler with a value of 32.701%, all at

an ambient temperature of 30°C. These findings indicate the need for further investigation into the causes of these issues. The component with the highest exergy efficiency is the deaerator with an efficiency of 98.076% at an ambient temperature of 20°C. The exergoeconomic analysis results, shown in tables 5.9 and 5.10, reveal that the system incurs the highest exergy destruction cost rate in the boiler, amounting to 5987.4475 USD/h at an ambient temperature of 30°C. This cost is directly proportional to the magnitude of exergy destruction within the boiler. From the perspective of the effectiveness of capital investment, operation, and maintenance costs, represented by the factor f , the lowest f is also found in the boiler with a value of 7.768% , followed by LPH 5 with a value of 9.615%. Both values are assessed at an ambient temperature of 30°C. This indicates that the cost resulting from exergy destruction in the components is higher than the total investment, operation, and maintenance costs of the components. The study also includes exergy calculations with varying ambient temperatures. The results show that ambient temperature is inversely proportional to exergy efficiency

Keywords : steam power plant, energy, exergy, exergy destruction, exergoeconomic, f factor

Citation : 20 (1985-2022)

DAFTAR ISI

SKRIPSI	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
SKRIPSI	vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxix
NOMENKLATUR.....	xxxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Aplikasi Metode Analisis Eksergi & Eksergoekonomi.....	7
2.2 Konsep Eksergi	11
2.3 Analisis Eksergi	12
2.3.1 Persamaan Kesetimbangan Pada Volume Atur	13
2.3.2 <i>Dead State</i>	16
2.3.3 Efisiensi Eksergi.....	16
2.4 Analisis Eksergoekonomi	18
2.5 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap	19
2.5.1 Siklus ideal Rankine dengan pemanasan ulang (<i>reheater</i>).....	20

2.5.2	<i>Siklus Regenerative Closed Feedwater Heaters</i>	21
2.6	Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi PLTU	23
2.6.1	Boiler	23
2.6.2	<i>High Pressure Turbine (HPT)</i>	23
2.6.3	<i>Intermediate Pressure Turbine (IPT)</i>	24
2.6.4	<i>Low Pressure Turbine (LPT)</i>	24
2.6.5	Kondensor.....	25
2.6.6	Pompa Ekstraksi Kondensat (CEP)	25
2.6.7	<i>Low Pressure Heater 7 (LPH 7)</i>	26
2.6.8	<i>Low Pressure Heater 6</i>	26
2.6.9	<i>Drain Pump</i>	27
2.6.10	<i>Mixing Unit</i>	27
2.6.11	<i>Low Pressure Heater 5 (LPH 5)</i>	27
2.6.12	<i>Low Pressure Heater 4</i>	28
2.6.13	Deaerator	28
2.6.14	<i>Boiler Feed Water Pump (BFWP)</i>	29
2.6.15	<i>High Pressure Heater 2 (HPH 2)</i>	29
2.6.16	<i>High Pressure Heater 1 (HPH 1)</i>	30
BAB III DESKRIPSI SISTEM.....		31
3.1	Gambaran Umum.....	31
3.2	Spesifikasi Komponen dan Paramater <i>State</i> Siklus PLTU.....	34
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		41
4.1	Tahapan-Tahapan Penelitian	41
4.2	Studi Literatur.....	42
4.3	Pengumpulan Data	42
4.4	Analisis dan Pengolahan Data	43
4.5	Hasil dan Pembahasan.....	43
4.6	Kesimpulan dan Saran.....	44
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		45
5.1	Data Operasi PLTU Banjarsari.....	45
5.2	Analisis Energi.....	46
5.2.1	Analisis Energi Pada HPH 1.....	46
5.2.2	Analisis Energi Pada HPT	47
5.2.3	Analisis Energi Pada HPH 2.....	47
5.2.4	Analisis Energi Pada boiler	48
5.2.5	Analisis Energi Pada deaerator.....	49

5.2.6	Analisis Energi Pada LPH 4	49
5.2.7	Analisis Energi Pada LPH 5	50
5.2.8	Analisis Energi Pada Turbin IP	50
5.2.9	Analisis Energi Pada LPH 6	51
5.2.10	Analisis Energi Pada LPH 7	52
5.2.11	Analisis Energi Pada Turbin LP	52
5.3	Analisis Eksergi Pada Pada Setiap <i>State</i>	54
5.3.1	Laju aliran eksergi	54
5.3.2	Destruksi eksergi dan Efisiensi Eksergetik	63
5.4	Analisis Eksergoekonomi	83
5.4.1	<i>High Pressure Turbine</i>	84
5.4.2	<i>Intermediate Pressure Turbine</i>	85
5.4.3	<i>Low Pressure Turbine</i>	86
5.4.4	Kondensor	87
5.4.5	Pompa Kondensat	88
5.4.6	<i>Low Pressure Heater 7</i>	89
5.4.7	<i>Low Pressure Heater 6</i>	90
5.4.8	<i>Drain Pump</i>	91
5.4.9	<i>Mixing Unit</i>	92
5.4.10	<i>Low Pressure Heater 5</i>	93
5.4.11	<i>Low Pressure Heater 4</i>	94
5.4.12	Deaerator	95
5.4.13	<i>Boiler Feed Water Pump</i>	97
5.4.14	<i>High Pressure Heater 2</i>	98
5.4.15	<i>High Pressure Heater 1</i>	99
5.4.16	Boiler	100
5.5	Hasil dan Pembahasan	104
5.5.1	Destruksi eksergi	105
5.5.2	Efisiensi Eksergi	107
5.5.3	Kerugian Biaya dan faktor F Setiap Komponen	109
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	113
6.1	Kesimpulan	113
6.2	Saran	114
DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem dan lingkungan untuk menganalisis eksergi	12
Gambar 2.2	Analisis eksergi sistem terbuka (Cengel dan Boles, 2006)	14
Gambar 2.3	Efisiensi eksergi masing-masing komponen	17
Gambar 2.4	Siklus rankine sederhana (Borgnakke dan Sonntag, 2013)	20
Gambar 2.5	Siklus rankine reheat (Borgnakke dan Sonntag, 2013)	21
Gambar 2.6	Siklus regenartive closed feed water heater	22
Gambar 3.1	Flowsheet PLTU Banjarsari	33
Gambar 4.1	Diagram alir penelitian	41
Gambar 5.1	T-S diagram PLTU banjarsari.....	45
Gambar 5.2	Diagram alir boiler	63
Gambar 5.3	Diagram alir HPT	65
Gambar 5.4	Diagram alir IPT	66
Gambar 5.5	Diagram alir LPT	68
Gambar 5.6	Diagram alir kondensor	69
Gambar 5.7	Diagram alir CEP	70
Gambar 5.8	Diagram alir LPH 7	71
Gambar 5.9	Diagram alir LPH 6	72
Gambar 5.10	Diagram alir <i>drain pump</i>	73
Gambar 5.11	Diagram alir <i>mixing unit</i>	74
Gambar 5.12	Diagram alir LPH 5	75
Gambar 5.13	Diagram alir LPH 4	76
Gambar 5.14	Diagram alir deaerator	77
Gambar 5.15	Diagram alir BFWP	77
Gambar 5.16	Diagram alir HPH 2	78
Gambar 5.17	Diagram alir HPH 1	79
Gambar 5.18	Diagram Grassman Siklus PLTU Banjarsari.....	82
Gambar 5.19	Destruksi eksergi komponen PLTU banjarsari	105
Gambar 5.20	Efisiensi eksergi komponen PLTU banjarsari	108
Gambar 5.21	Biaya destruksi eksergi komponen	111

Gambar 5.22 Faktor f komponen PLTU banjarsari 112

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Parameter setiap titik siklus PLTU banjarsari.....	39
Tabel 5.1	Data Operasi PLTU Banjarsari.....	53
Tabel 5.2	Laju aliran eksergi pada $T_0 = 20^\circ\text{C}$	60
Tabel 5.3	Laju aliran eksergi pada $T_0 = 25^\circ\text{C}$	61
Tabel 5.4	Laju aliran eksergi pada $T_0 = 30^\circ\text{C}$	62
Tabel 5.5	Laju destruksi eksergi komponen.....	80
Tabel 5.6	Efisiensi eksergi komponen.....	81
Tabel 5.7	Data biaya investasi, operasi, dan perawatan komponen.....	83
Tabel 5.8	Laju biaya aliran eksergi.....	102
Tabel 5.9	Laju biaya destruksi eksergi komponen.....	103
Tabel 5.10	Faktor f komponen.....	104

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel B.1.1 saturated water	117
Lampiran 2 Tabel superheated water B.1.3	121
Lampiran 3 Tabel B.1.4 compressed liquid water	123
Lampiran 4 Nilai biaya investasi, operasi dan perawatan dari literatur	125
Lampiran 5 Surat izin pengambilan data.....	126

NOMENKLATUR

Lambang	Keterangan
\dot{m}	Laju aliran massa
$\dot{E}x$	Laju eksergi
ex	Eksergi spesifik
T	Temperatur
P	Tekanan
h	Entalpi spesifik
s	Entropi spesifik
\dot{W}	Laju kerja
\dot{Q}	Laju kalor
\dot{C}	Laju aliran biaya
f	Biaya investasi operasi dan perawatan per biaya total destruksi eksergi
\dot{Z}	Total biaya investasi operasional dan perawatan
ψ	Efisiensi eksergi
φ	Rasio eksergi kima batubara terhadap LHV
c	Biaya aliran rata-rata per satuan eksergi

Daftar Singkatan

LHV	Low heating value
HPT	High Pressure Turbine
IPT	Intermediate Pressure Turbine
LPT	Low Pressure Turbine
LPH	Low Pressure Heater
HPH	High Pressure Heater
CEP	Condensate Extraction Pump
BFWP	Boiler Feed Water Pump

Subskrip

i	Inlet
e	Exit
o	Parameter nilai lingkungan
ph	fisik
f	fuel
p	produk
D	destruksi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya alam mineral berlimpah di setiap daerahnya. Dengan kekayaan alam yang dimiliki pada saat ini, bukan suatu hal yang mengherankan bahwasannya Indonesia telah bertransformasi sebagai salah satu lumbung energi dunia secara global. Ada berbagai macam sumber daya alam mineral yang dapat dimanfaatkan keberadaannya, baik itu digunakan untuk kebutuhan domestik dalam negeri demi mencapai kemandirian pengelolaan energi, ataupun sebagai devisa negara melalui kegiatan ekspor ke dalam negara lain. Salah satu yang sangat dominan kegunaannya adalah sumber daya alam jenis batubara.

Batubara menjadi sumber utama untuk memenuhi kebutuhan energi nasional yang mana tingkat kemanfaatannya telah terbagi ke dalam beberapa sektor yaitu pada sektor ketenagalistrikan serta berbagai industri seperti industri semen, pupuk, briket, *pulp and papper*, tekstil, metalurgi, dan lain-lain. Ketenagalistrikan menjadi sektor dengan porsi penggunaan batubara terbesar dibandingkan dengan sektor yang lainnya. Pada tahun 2020, tercatat lebih dari 85 % dari hasil produksi batubara yang diarahkan kepada kebutuhan domestik dalam negeri hanya digunakan untuk memenuhi sektor kelistrikan saja. Dapat diartikan bahwasannya konsumsi energi fosil di Indonesia dengan jenis batubara untuk dapat menghasilkan energi listrik masih sangat besar, dimana energi listrik telah menjadi suatu urgensi dalam memenuhi berbagai bentuk aktivitas masyarakat pada saat ini baik dalam kesehariannya maupun dalam skala industri nasional (Cahyono Adi Lasnawatin, 2021).

Energi listrik yang kita rasakan manfaatnya dewasa ini berasal dari berbagai pembangkit listrik yang telah beroperasi dan menyalurkan hasil produksi listriknya di seluruh pelosok negeri yang dikelola oleh salah satu badan

usaha milik negara yaitu PLN. Melalui Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT Perusahaan Listrik Negara untuk periode 2021-2030 yang disahkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) menyatakan bahwa pembangkit listrik tenaga uap dengan basis bahan bakar batubara hingga masa sekarang masih mendominasi komposisi energi mix pembangkitan tenaga listrik Indonesia setidaknya hingga 10 tahun yang akan datang. Sumber daya yang melimpah, harga beli yang relatif terjangkau yang dapat membuat biaya pokok penyediaan tenaga listrik (BPP) dapat diminimalisir, serta dapat menghasilkan efisiensi sistem pembangkit yang tinggi sehingga dapat beroperasi selama 24 jam secara penuh untuk menjadikannya sebagai pembangkit listrik penyuplai beban dasar, sehingga membuat batubara menjadi prioritas utama sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik di Indonesia

Padatnya aktivitas masyarakat maupun industri, serta meningkatnya laju pertumbuhan penduduk pasca pandemi covid-19 lalu telah membuat terjadinya peningkatan permintaan dan konsumsi listrik nasional. Hal ini memiliki dampak positif karena mampu menggerakkan roda perekonomian nasional dan secara perlahan menciptakan pembangunan ekonomi yang inklusif. Tetapi, tentu saja peningkatan konsumsi listrik ini perlu diiringi dengan selalu terjaganya pasokan energi serta keterjangkauan dan kemudahan masyarakat dalam mendapatkan akses energi listrik dengan tetap tidak mengabaikan aspek lingkungan hidup. memperoleh Hal yang patut dihindari dari semua ini adalah terjadinya suatu ancaman berbentuk krisis energi. Krisis energi dapat terjadi karena tingginya tingkat konsumsi energi di tambah dengan pasokan sumber daya yang semakin menipis dan berkurang. Indonesia sendiri masih menjadikan sumber energi fosil seperti batubara sebagai sumber energi utama untuk bahan bakar pembangkit listrik. Disamping memang potensi dan cadangan sumber daya yang melimpah, perlu diingat bahwasannya hakikat energi fosil yang mana akan mencapai kata habis suatu saat nanti karena tergolong ke dalam sumber energi tak terbarukan. Selain dari pada krisis energi, krisis iklim juga perlu diperhatikan dalam membangun suatu peradaban yang maju. Terlihat bahwasannya dunia pada saat ini telah memberikan perhatian yang sangat lebih terkait isu lingkungan hidup. Salah satu yang menyebabkan terjadinya krisis iklim ini merupakan sektor

energi. Konsumsi energi fosil batubara yang masif memiliki dampak tertentu terhadap lingkungan, dimana hasil pembakarannya dapat menghasilkan nilai emisi karbon yang cukup tinggi dan berdampak kepada hadirnya efek gas rumah kaca sehingga memicu kenaikan suhu temperatur dunia yang mana hal ini bisa mempengaruhi kesehatan fisik masyarakat serta perekonomian suatu negara. Namun, terdapat satu langkah upaya untuk dapat meminimalisir dampak negatif dari pemanfaatan sumber energi fosil ini, yaitu dengan meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem pembangkit listrik berbahan bakar batubara atau PLTU.

Secara umum, efisiensi energi merujuk kepada suatu langkah kebijakan dalam penggunaan energi yang lebih sedikit untuk menghasilkan keluaran berguna yang lebih banyak. Keluaran yang diharapkan ditinjau dari aspek ketahanan energi secara termodinamika serta komersial dan daya saing industri dengan harga pasar pada saat ini secara ekonomis. Analisis termodinamika konvensional pada dasarnya disandarkan pada hukum pertama termodinamika, dimana hukum ini menyatakan prinsip kekekalan energi atau biasa disebut sebagai analisis energi. Namun, seiring kemajuan zaman dan berkembangnya pemikiran-pemikiran tentang energi, memberikan pandangan lain mengenai analisis energi, dimana analisis ini saja dinilai belum mencukupi untuk merancang sistem yang lebih efisien dan optimal. Analisis menggunakan hukum termodinamika pertama ini seringkali menghadirkan kekeliruan dalam hasil akhirnya, karena tidak selalu memberikan ukuran seberapa dekat kinerja dari suatu sistem mendekati ukuran idealitasnya dan hanya memperhitungkan kuantitas saja. Untuk itu perlu adanya suatu metode perhitungan baru dalam mencari tingkat efisiensi sistem pembangkit listrik, dan itu merujuk kepada metode analisis eksergi (Moran, 2014).

Secara umum, metode analisis eksergi diartikan sebagai Metode yang didasarkan pada asas-asas hukum kedua termodinamika yang digabungkan dengan hukum pertama termodinamika, sehingga dapat memberikan gambaran seberapa besar nilai potensi kerja maksimum yang dapat dimanfaatkan oleh suatu sistem pembangkit dengan setiap komponen-komponen yang ada dalam seluruh prosesnya. Selain itu metode ini juga berfungsi untuk mengidentifikasi penyebab, lokasi, serta besarnya nilai penghancuran kualitas energi atau

inefisiensi pada komponen-komponen instalasi pembangkit listrik, sehingga dapat dilakukan optimalisasi perangkat yang telah teridentifikasi untuk meningkatkan efisiensi sistem pembangkit. Secara tidak langsung dapat dikatakan bahwasannya dalam menganalisis siklus tenaga analisis eksergi memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode lainnya karena dapat memberikan informasi tentang seberapa besar komponen-komponen pembangkit yang mengalami penurunan kualitas dan eksergi yang terdestruksi sehingga dapat dilakukan langkah perbaikan untuk meningkatkan kualitas sistem kerja siklus pembangkit. Kehilangan kualitas energi pada berbagai komponen juga akan berdampak pada efisiensi sistem yang dipandang dari sisi ekonomi. Faktor ekonomi dapat menentukan pendapatan atau laba rugi suatu perusahaan, yang akhirnya akan mempengaruhi keandalan suatu pembangkit listrik. Eksergi juga dapat dikombinasikan dengan ilmu ekonomi untuk mencapai alokasi sumber daya ekonomi yang tepat untuk mengoptimalkan desain atau pengoperasian sistem serta memberikan kelayakan ekonomi dan profitabilitas suatu sistem. Ilmu yang menggabungkan antara analisis eksergi dan ilmu ekonomi ini disebut sebagai eksergoekonomi (Dincer dan Ozturk, 2021).

Ada berbagai faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya penurunan performansi suatu sistem pembangkit, diantaranya adalah karena faktor usia dari pembangkit yang terus beroperasi secara kontinu. Selain itu, idealnya suatu pembangkit adalah beroperasi pada kondisi beban penuh, namun adanya faktor permintaan pengoperasian pada beban yang bervariasi untuk memenuhi target produksi listrik, mengakibatkan pembangkit listrik dan komponen-komponen di dalamnya menjadi bekerja tidak sesuai dalam kondisi idealnya secara umum. Lebih daripada itu, secara analisis eksergi yang erat kaitannya dengan pengaruh lingkungan, kondisi parameter lingkungan di area operasi memiliki dampak tertentu terhadap kinerja pembangkit. Maka dari itu, perlu dilakukannya analisis termodinamika dan ekonomi untuk mengetahui tingkat performansi komponen-komponen tersebut.

Demi menciptakan tujuan terjaganya ketahanan pasokan listrik nasional yang ekonomis dengan tetap memperhatikan aspek lingkungan hidup, kehandalan komponen sistem PLTU dalam hal efisiensi dan kinerja sistem pun

perlu untuk diidentifikasi dan ditingkatkan, dengan harapan agar dapat memberikan pandangan kepada perusahaan untuk mengevaluasi sistem dan meningkatkan kualitas pemanfaatan sumber daya energi yang tersedia sehingga dapat digunakan dengan semaksimal mungkin. Oleh karena itu penggabungan metode analisis eksergi dan eksergoekonomi penulis terapkan dalam melakukan penilaian pada sistem siklus PLTU Banjarsari berbahan bakar batubara berkapasitas 2 x 135 MW berlokasi di Desa Sirah Pulau-Gunung Kembang, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagai upaya untuk memberikan suatu langkah dalam mempertahankan performansi dan efisiensi kinerja sistem demi terjaganya keberlangsungan manajemen konsumsi energi yang baik, dibutuhkan adanya suatu analisis perhitungan yang tepat dan dapat diterapkan untuk bisa mendapatkan nilai kinerja dari suatu pembangkit.

Analisis Eksergi digunakan untuk dapat memberikan informasi dan gambaran mengenai besaran potensi kerja maksimum yang dapat dilakukan oleh komponen-komponen PLTU Banjarsari, efisiensi komponen, serta mengidentifikasi besaran laju destruksi eksergi siklus pembangkitan listrik. Sedangkan analisis eksergoekonomi digunakan untuk dapat mengetahui kerugian harga akibat adanya destruksi eksergi pada siklus pembangkitan listrik di PLTU Banjarsari.

1.3 Batasan Masalah

Pada pelaksanaannya, penulis membatasi ruang lingkup penelitian berfokus kepada komponen-komponen di PLTU Banjarsari unit 1 yang meliputi *steam*

generator, boiler feed water pump, drain pump, mixing unit steam turbine, kondensor, pompa kondensat, deaerator, low pressure heater (LPH), dan high pressure heater (HPH) pada kondisi pembebanan penuh 125 MW. Penulis juga menambahkan variasi pengaruh temperatur lingkungan (20°C, 25°C, 30°C) terhadap kondisi operasi pembangkit tersebut dengan parameter nilai operasi pada pembebanan penuh. Sedangkan biaya investasi, perawatan, dan operasi komponenen didapatkan dari nilai biaya dalam literatur sebagai bentuk acuan dalam menentukan analisis eksergoekonomi

1.4 Tujuan Penelitian

Merujuk pada perumusan masalah yang telah disampaikan sebelumnya, penulis menetapkan tujuan daripada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mencari besaran nilai destruksi eksergi dan efisiensi eksergetik pada setiap komponen
2. Mencari besaran nilai biaya yang diakibatkan karena adanya destruksi eksergi dan faktor f pada setiap komponen
3. Mengkaji pengaruh variasi temperatur lingkungan terhadap besaran nilai efisiensi eksergetik pada setiap komponen

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukan penelitian ini, manfaat yang diharapkan dapat hadir yaitu bisa digunakan sebagai referensi keilmiahan pada masa mendatang dan bisa digunakan oleh *stakeholder* perusahaan yang mengelola PLTU Banjarsari Lahat Sumatera Selatan dalam bentuk saran ilmiah atas hasil penelitian yang telah di dapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameri, M., Ahmadi, P. dan Hamidi, A. (2009) "Energy, exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant A case study," -.
- Anozie, A. N. dan Odejobi, O. J. (2013) "Influence of reference temperature on exergy and exergoeconomic performance of a natural gas fired thermal power plant," *International Journal of Exergy*, 13(1), hal. 102–123. doi: 10.1504/IJEX.2013.055780.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. dan Moran, M. (1996) *Thermal design and optimization*, Energy. doi: 10.1016/s0360-5442(96)90000-6.
- Bolatturk, A., Coskun, A. dan Geredelioglu, C. (2015) "Thermodynamic and exergoeconomic analysis of Çayirhan thermal power plant," *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 101, hal. 371–378. doi: 10.1016/j.enconman.2015.05.072.
- Borgnakke, C. dan Sonntag, R. E. (2013) *Fundamental of Thermodynamics 8th*. 8th ed. Diedit oleh L. Ratts. Don Fowley.
- Cahyono Adi Lasnawatin. (2021) "Handbook energy and economic statistic indonesia" Ministry of energy and mineral resources republic of indonesia, ISSN 2538-3464.
- Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. (2006) *Thermodynamics An Engineering Approach*. Fift. Mc Graw Hill.
- Çetin, B. dan Ozen, E. (2018) "Comparative energy and exergy analysis of a power plant with super-critical and sub-critical," *Journal of Thermal Engineering*, 4(6), hal. 2423–2431. doi: 10.18186/thermal.465644.
- Dehghanipour, A. dan Ajam, H. (2012) "Exergoeconomic analysis of a steam power plant in Iran," *Applied Mechanics and Materials*, 110–116, hal. 3465–3470. doi: 10.4028/www.scientific.net/Amm.110-116.3465.
- Dincer, I. dan Ozturk, M. (2021) *Energy, environment, and sustainable development, Geothermal Energy Systems*. doi: 10.1016/b978-0-12-820775-8.00005-2.
- Khaleel, O. J., Ibrahim, T. K., Ismail, F. B., Al-Sammarraie, A. T. dan Hassan, S. H. bin A. (2022) "Modeling and analysis of optimal performance of a coal-fired power plant based on exergy evaluation," *Energy Reports*. Elsevier Ltd, 8, hal. 2179–2199. doi: 10.1016/j.egyr.2022.01.072.

- Koroglu, T. dan Sogut, O. S. (2018) "Conventional and advanced exergy analyses of a marine steam power plant," *Energy*. Elsevier B.V., 163, hal. 392–403. doi: 10.1016/j.energy.2018.08.119.
- Kotas, T. . (1995) "The exergy method of thermal plant analysis," *Journal of Mechanical Working Technology*, 16(1), hal. 282. doi: 10.1016/0378-3804(88)90147-7.
- Kumar, S., Kumar, D., Memon, R. A., Wassan, M. A. dan Mir, S. A. (2018) "Energy and Exergy Analysis of a Coal Fired Power Plant," *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 37(4), hal. 611–624. doi: 10.22581/muet1982.1804.13.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D. dan Bailey, M. B. (2014b) *Fundamentals of thermodynamics 8th*, Don Fowley. doi: 10.1007/978-94-009-9929-9_3.
- Muhammad Penta Helios, Achmad Maswan, Riki Jaka Komara, Himawan Sutriyanto, Bhakti Nuryadin dan Ade Andini (2022) "Energy, Exergy, and Externalities Cost Rate Analysis of 300 MW Coal-Fired Power Plant: A Case Study," *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 16(3), hal. 103–113. doi: 10.29122/mipi.v16i3.5405.
- Patel, D. S. S. L. (2021) "Investigating the Effects of Parametric Variation over Performance of Boiler-Turbine Cycle," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(8), hal. 2620–2628. doi: 10.22214/ijraset.2021.37819.
- Rajeev, V. dan Daniel, J. (2020) "6. Energy And Exergy Analysis Of A 3x500 Mw Coal Fired Thermal Power Plant Using Cycle-Tempo.Pdf."
- Richard E Sonntag. (2013). "Fundamentals of Thermodynamics, 8 edition" University of Michigan, ISBN 978-1-118-13199-2
- Regulagadda, P., Dincer, I. dan Naterer, G. F. (2010) "Exergy analysis of a thermal power plant with measured boiler and turbine losses," *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 30(8–9), hal. 970–976. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2010.01.008.
- Shamet, O., Ahmed, R. dan Nasreldin, K. (2021) "energy and exergy analysis of a steam power plant in sudan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, hal. 454–463. doi: 10.1016/j.rser.2015.11.074.
- Uysal, C., Kurt, H. dan Kwak, H. Y. (2017) "Exergetic and thermoeconomic analyses of a coal-fired power plant," *International Journal of Thermal Sciences*. Elsevier Masson SAS, 117, hal. 106–120. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.03.010.