

SKRIPSI
ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
KEBAN AGUNG PT. PRIAMANAYA ENERGY
LAHAT SUMATERA SELATAN



OLEH:
ANDRE FRANKLIN C
03051281419065

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018

SKRIPSI
ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP
KEBAN AGUNG PT. PRIAMANAYA ENERGY
LAHAT SUMATERA SELATAN

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



OLEH:
ANDRE FRANKLIN C
03051281419065

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KEBAN AGUNG PT. PRIAMANAYA ENERGY LAHAT SUMATERA SELATAN

SKRIPSI

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

Oleh:

ANDRE FRANKLIN C
03051281419065

Indralaya, Februari 2018
Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi I,

Pembimbing Skripsi II,



Ir. Dyos Santoso, M.T.
NIP. 19601223 199102 1 001



Ir. H. Joni Yanto, M.T.
NIP. 19570522 198703 1 003



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP. 19711125 199702 1 001

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

SKRIPSI

NAMA : ANDRE FRANKLIN C

NIM : 03051281419065

**JUDUL : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik
Tenaga Uap Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat
Sumatera Selatan**

DIBERIKAN : November 2017

SELESAI : Februari 2018

Indralaya, Februari 2018
Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi I,

Pembimbing Skripsi II,



Ir. Dyos Santoso, M.T.
NIP. 19601223 199102 1 001

Ir. H. Joni Yanto, M.T.
NIP. 19570522 198703 1 003



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Ir. Syadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Februari 2018.

Indralaya, Februari 2018

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

Dr. Fajri Vidian, S.T., M.T.
NIP. 19720716 200604 1 002

(.....)

Anggota :

1. Ir. H. Zainal Abidin, M.T.
NIP. 19580910 198602 1 001

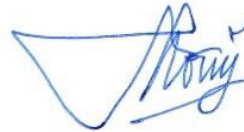
(.....)

2. Qomarul Hadi, S.T., M.T.
NIP. 19690213 199503 1 001

(.....)

Pembimbing Skripsi I,

Pembimbing Skripsi II,



Ir. Dyos Santoso, M.T.
NIP. 19601223 199102 1 001

Ir. H. Joni Yanto, M.T.
NIP. 19570522 198703 1 003



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP. 19711225 199702 1 001

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andre Franklin C

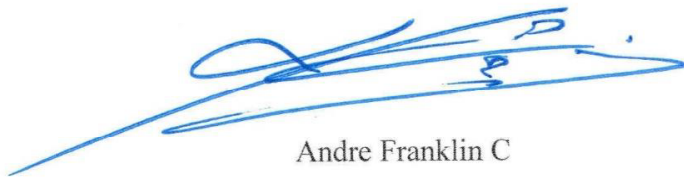
NIM : 03051281419065

Judul : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Uap
Keban Agung PT. Priamanaya Energy 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 ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Februari 2018



Andre Franklin C

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andre Franklin C

NIM : 03051281419065

Judul : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya 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 aturan yang berlaku.

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



Indralaya, Februari 2018



Andre Franklin C

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat mengikuti Seminar dan Sidang sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan”.

Pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu ada dalam perjalanan hidup penulis dengan segala karunia dan perlindungan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T. selaku dosen Pembimbing Skripsi I .
5. Bapak Ir. H. Joni Yanto, M.T. selaku dosen Pembimbing Skripsi II.
6. Ibu Ir. Hj. Marwani, M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik selama kuliah di Jurusan Teknik Mesin.
7. Ibunda tercinta dan keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama menggapai cita-cita di tanah rantau.
8. Christina Vivid Handayani yang selalu setia memberikan semangat, dorongan, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh staf pengajar Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, untuk semua ilmunya selama penulis menimba ilmu di Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

10. Para Karyawan dan staff Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Para analis dan rekan-rekan Laboratoirum Fisika Dasar LDB Unsri.
12. Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Mesin 2014.
13. Teman-teman seluruh angkatan Jurusan Teknik Mesin.
14. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penelitian ini menjadi lebih baik. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak yang berkepentingan.

Indralaya, Februari 2018

Penulis

RINGKASAN

ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KEBAN AGUNG PT. PRIAMANAYA ENERGY LAHAT, SUMATERA SELATAN.

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, Februari 2018

Andre Franklin C;

Dibimbing Oleh Ir. Dyos Santoso, M.T. dan Ir. H. Joni Yanto, M.T.

Exergy and Exergoeconomic Analysis of Keban Agung Coal-fired Steam Power Plant PT. Priamanaya Energy Lahat, South Sumatera.

xxvi + 103 halaman, 7 tabel, 40 gambar, 7 lampiran

Ringkasan

Dewasa ini, ketergantungan terhadap energi listrik semakin hari semakin meningkat. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan energi listrik, perlu dilakukan peningkatan kualitas agar energi yang tersedia benar-benar dapat dimanfaatkan secara maksimal. PLTU adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi berupa batubara. Analisis eksergi sangat diperlukan untuk mengevaluasi performansi sistem dan menentukan eksergi destruksi. Metode analisis eksergi lebih unggul dibandingkan dengan analisis energi, hal ini dikarenakan analisis eksergi tidak hanya menggunakan hukum pertama termodinamika, namun juga melibatkan hukum kedua termodinamika. Selain itu diperlukan analisis performansi dari segi ekonomi dengan menggunakan analisis eksergoekonomi yang dapat membantu untuk menganalisis besar kerugian biaya akibat eksergi destruksi. PLTU Keban Agung 2x135 MW PT. Priamanaya Energy berlokasi di desa Kebur Kec. Merapi Barat, Lahat. Pembangkit daya uap ini terdiri dari dua pembangkit dengan masing-masing bekerja dengan daya maksimum sebesar 150 MW, namun pada saat pengambilan data hanya unit 2 yang beroperasi dikarenakan unit 1 sedang *overhaul* sehingga tidak beroperasi. Penulis menggunakan referensi buku sebagai bahan acuan materi dasar, yaitu "*The Exergy Method of Thermal Plant*" karya T.J. Kotas dan "*Thermal Design and Optimation*" karya Bejan, dkk. Serta beberapa jurnal ilmiah mengenai analisis eksergi dan eksergoekonomi siklus daya uap sebagai konsep pemikiran dalam menganalisis sistem yang dikaji. Metode pengumpulan data yang digunakan penulis adalah dengan cara observasi langsung ke PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat, Sumatera Selatan. Dalam penelitian ini, analisis eksergi dan eksergoekonomi pada komponen-komponen unit 2 PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat yang dikaji meliputi boiler, turbin uap, kondensor, pompa kondensat, *deaerator*, *low pressure heater*, *high pressure heater*, dan *boiler feed pump* dengan kondisi operasi 135 MW dengan asumsi temperatur lingkungan sebesar 27°C. Sedangkan untuk biaya investasi, operasi, dan perawatan komponen-komponen tersebut menggunakan biaya yang terdapat pada literatur. Sebelum melakukan analisis eksergi pada setiap komponen sistem PLTU, terlebih dahulu mencari nilai laju aliran massa pada setiap *state* dengan menggunakan neraca massa. Dari hasil analisis eksergi terlihat pada tabel 5.4 dimana sistem yang memiliki efisiensi rasional terbesar adalah high pressure turbine (HPT) dengan nilai sebesar 96.902835%. Hal ini menunjukkan bahwa aliran eksergi bahan bakar yang masuk ke dalam sistem HPT mampu diubah secara signifikan menjadi eksergi produk berupa kerja yang dihasilkan oleh HPT, dimana kerja yang dihasilkan sebesar 59.176054 MW dengan nilai eksergi destruksi (ireversibilitas) sebesar 5.775836 MW. Nilai terendah performansi sistem terletak pada

boiler dengan efisiensi eksergi sebesar 60.448445%, sehingga sistem ini sangat perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai penyebab dari masalah tersebut. Hal ini berbanding lurus dengan besar eksergi destruksi (irreversibilitas) yang terjadi pada boiler yaitu sebesar 202.853270 MW. Dari hasil analisis eksergoekonomi dapat dilihat pada tabel 5.7 dimana kerugian ekonomi akibat kehilangan eksergi terbesar terdapat pada boiler dengan nilai 1884.190962 USD/h. Namun boiler memiliki faktor f terbesar dengan nilai 77.869526%. Hal ini menunjukkan bahwa boiler memiliki performansi terbaik dari segi biaya, karena faktor f itu sendiri merupakan suatu besaran yang menunjukkan seberapa efektif modal biaya operasi dan perawatan mesin yang terhadap total kerugian biaya akibat kehilangan eksergi. Selain itu, juga bisa kita dapatkan bahwa selama proses pembangkitan listrik dengan kondisi pembebanan 135 MW, total kerugian biaya akibat eksergi destruksi sebesar 4281.54369 USD/h dan hampir setengah dari total kerugian biaya tersebut terletak pada sistem boiler.

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

Kepustakaan: 19 (1985-2017)

SUMMARY

EXERGY AND EXERGEOECONOMIC ANALYSIS OF KEBAN AGUNG
COAL-FIRED STEAM POWER PLANT PT. PRIAMANAYA ENERGY
LAHAT, SOUTH SUMATERA.

Scientific papers in the form of a thesis, February 2018

Andre Franklin C;

Supervised by Ir. Dyos Santoso, M.T. and Ir. H. Joni Yanto, M.T.

Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Keban
Agung PT. Priamanaya Energy Lahat, Sumatera Selatan.

xxvi + 103 pages, 7 tables, 40 figures, 7 attachment

Summary

Nowadays, dependence on electrical energy is getting increased. With increase the needs of electrical energy, the quality of available energy need to be improved so it can really be used wisely. Steam power plant is the system of power plant that using coal as the energy sources. The exergy analysis is very needed to evaluate the system's performance and find the rate of exergy destruction. Exergy analysis method is better than energy analysis, because of the exergy analysis not only based on the first law of thermodynamics, but it's combining the first and the second law of thermodynamics. Beside that, performance analysis from economic factor using exergoeconomic analysis is needed to calculate the cost of exergy destruction. Keban Agung 2x135 MW coal-fired steam power plant PT. Priamanaya Energy located at Kebur, West Merapi, Lahat, South Sumatera. This power plant consist of two units of power plant and each of them has 150 MW maximum capacity, but when collecting data, only unit 2 that operate because unit 1 was overhauling so that is not operating. The reference book used by author as based on material is "The Exergy Method of Thermal Power Plant" created by T.J. Kotas and "Thermal Design and Optimization" created by Bejan, et, all. And also some journals about exergy and exergoeconomic analysis of steam power plant as the concept in analyzing the system that author analyzed. Data collection method that used by author is direct observation to Keban Agung coal-fired steam power plant PT. Priamanaya Energy Lahat, there are boiler, steam turbine, condenser, condensate pump, deaerator, low pressure heater, high pressure heater, and boiler feed pump with 135 MW operation condition and with assumption the environment temperature is 27°C. For the investment, operation and maintenance cost of the components based on the literature. Before analyze the exergy of each components, first find the flow rate of each state using mass balance. The result of exergy analysis that can be seen at table 5.4 has shown that the maximum rational efficiency was found at high pressure turbine which is about 96.902835%. It showed that the fuel exergy rate that enter the high pressure turbine's system can be converted significantly by to product exergy in the from of output work that produced by high pressure turbine is 59.176054 MW with the rate of exergy destruction (irreversibility) is about 5.775836 MW. The minimum rational efficiency was found at boiler which is about 60.448445%, so this system is quite needs further studies on the cause of the problem. This is directly proportional with The rate of exergy destruction (irreversibility) that occurs in boiler, which is about 202.853270 MW. The exergoeconomic analysis that can be seen at table 5.7 has shown that the maximum cost of exergy destruction was found at boiler which is about 1884.190962 USD/h. But, the f factor of boiler is 77.869526%. It showed that the maximum of economic

efficiency was found at boiler, because f factor is the scale which demonstrate how effective investment, operation, and maintenance cost of the machine with total cost of exergy destruction. Beside that, we also can found the that in the electrical generation process with 135 MW condition, the total cost of exergy destruction is about 4281.54369 USD/h and almost half of the total cost of exergy destruction found at boiler.

Key words : Steam power plant, energy, exergy, irreversibility, exergoeconomic, f factor

Literature : 19 (1985-2017)

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	iii
Halaman Pengesahan Agenda.....	v
Halaman Persetujuan.....	vii
Halaman Persetujuan Publikasi.....	ix
Halaman Pernyataan Integritas.....	xi
Kata Pengantar.....	xiii
Ringkasan.....	xv
Summary.....	xvii
Daftar Isi.....	xix
Daftar Gambar.....	xxiii
Daftar Tabel.....	xxiv
Daftar Lampiran.....	xxv
Daftar Simbol.....	xxvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Aplikasi Metode Analisis Eksergi.....	7
2.2 Konsep Eksergi.....	9
2.3 Keseimbangan Eksergi Volume Kendali.....	10
2.4 Efisiensi Eksergi.....	11
2.5 Analisis Eksergoekonomi.....	12
2.6 Siklus Sistem PLTU.....	13
2.6.1 Siklus Rankine Regeneratif.....	14
2.6.2 Siklus Rankine dengan Pemanasan Ulang (Reheat).....	15

2.7	Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Siklus Daya Uap.....	16
2.7.1	Boiler.....	16
2.7.2	High Pressure Turbine (HPT).....	17
2.7.3	Intermediate Pressure Turbine (IPT).....	17
2.7.4	Low Pressure Turbine (LPT).....	18
2.7.5	Kondensor.....	19
2.7.6	Pompa Kondensat (CEP).....	20
2.7.7	Low Pressure Heater 7 (LPH7).....	20
2.7.8	Low Pressure Heater 6 (LPH6).....	21
2.7.9	Low Pressure Heater 5 (LPH5).....	22
2.7.10	Low Pressure Heater 4 (LPH4).....	22
2.7.11	Deaerator.....	23
2.7.12	Boiler Feed Pump (BFP).....	24
2.7.13	High Pressure Heater 2 (HPH2).....	24
2.7.14	High Pressure Heater 1 (HPH1).....	25
BAB 3 DESKRIPSI SISTEM.....		27
3.1	Umum.....	27
3.2	Spesifikasi Komponen PLTU.....	28
BAB 4. METODOLOGI.....		33
4.1	Diagram Alir.....	33
4.2	Studi Kepustakaan.....	34
4.3	Pengumpulan Data.....	34
4.4	Analisis dan Pengolahan Data.....	35
4.5	Hasil dan Pembahasan.....	35
4.6	Kesimpulan dan Saran.....	36
BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		37
5.1	Data Operasi PLTU.....	37
5.2	Analisis Laju Aliran Massa.....	38
5.3	Analisis Eksergi.....	48
5.3.1	Boiler.....	49
5.3.2	High Pressure Turbine (HPT).....	51
5.3.3	Intermediate Pressure Turbine (IPT).....	52

5.3.4	Low Pressure Turbine (LPT).....	54
5.3.5	Kondensor.....	55
5.3.6	Pompa Kondensat (CEP).....	56
5.3.7	Low Pressure Heater 7 (LPH7).....	58
5.3.8	Low Pressure Heater 6 (LPH6).....	59
5.3.9	Low Pressure Heater 5 (LPH5).....	60
5.3.10	Low Pressure Heater 4 (LPH4).....	61
5.3.11	Deaerator.....	62
5.3.12	Boiler Feed Pump (BFP).....	63
5.3.13	High Pressure Heater 2 (HPH2).....	65
5.3.14	High Pressure Heater 1 (HPH1).....	66
5.3	Analisis Eksergoekonomi.....	67
5.4.1	High Pressure Turbine (HPT).....	68
5.4.2	Intermediate Pressure Turbine (IPT).....	69
5.4.3	Low Pressure Turbine (LPT).....	70
5.4.4	Kondensor.....	71
5.4.5	Pompa Kondensat (CEP).....	72
5.4.6	Low Pressure Heater 7 (LPH7).....	73
5.4.7	Low Pressure Heater 6 (LPH6).....	75
5.4.8	Low Pressure Heater 5 (LPH5).....	76
5.4.9	Low Pressure Heater 4 (LPH4).....	77
5.4.10	Deaerator.....	78
5.4.11	Boiler Feed Pump (BFP).....	80
5.4.12	High Pressure Heater 2 (HPH2).....	81
5.4.13	High Pressure Heater 1 (HPH1).....	82
5.4.14	Boiler.....	84
5.5	Hasil dan Pembahasan.....	86
5.5.1	Efisiensi Eksergi dan Irreversibilitas.....	87
5.5.2	Kerugian Biaya Setiap Komponen.....	90
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....		93
6.1	Kesimpulan.....	93
6.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA.....		95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan energi dan eksergi.....	9
Gambar 2.2	Analisis energi sistem terbuka.....	10
Gambar 2.3	Analisis Rankine Regeneratif dengan <i>Closed FWH</i>	14
Gambar 2.4	Siklus Rankine reheat.....	15
Gambar 2.5	Skema Boiler.....	16
Gambar 2.6	Skema High Pressure Turbine (HPT).....	17
Gambar 2.7	Skema Intermediate Pressure Turbine (IPT).....	18
Gambar 2.8	Skema Low Pressure Turbine (LPT).....	19
Gambar 2.9	Skema Kondensor.....	19
Gambar 2.10	Skema Pompa Kondensat (CEP).....	20
Gambar 2.11	Skema Low Pressure Heater 7 (LPH7).....	21
Gambar 2.12	Skema Low Pressure Heater 6 (LPH6).....	21
Gambar 2.13	Skema Low Pressure Heater 5 (LPH5).....	22
Gambar 2.14	Skema Low Pressure Heater 4 (LPH4).....	23
Gambar 2.15	Skema Deaerator.....	23
Gambar 2.16	Skema Boiler Feed Pump (BFP).....	24
Gambar 2.17	Skema High Pressure Heater 2 (HPH2).....	25
Gambar 2.18	Skema High Pressure Heater 1 (HPH1).....	25
Gambar 3.1	Skema PLTU Keban Agung 2x135 MW.....	28
Gambar 4.1	Diagram Alir Penelitian.....	33
Gambar 5.1	Diagram T-s Unit 2 PLTU Keban Agung.....	38
Gambar 5.2	Skema Boiler.....	49
Gambar 5.3	Skema High Pressure Turbine (HPT).....	51
Gambar 5.4	Skema Intermediate Pressure Turbine (IPT).....	53
Gambar 5.5	Skema Low Pressure Turbine (LPT).....	54
Gambar 5.6	Skema Kondensor.....	56
Gambar 5.7	Skema Pompa Kondensat (CEP).....	57
Gambar 5.8	Skema Low Pressure Heater 7 (LPH7).....	58
Gambar 5.9	Skema Low Pressure Heater 6 (LPH6).....	59

Gambar 5.10	Skema Low Pressure Heater 5 (LPH5).....	60
Gambar 5.11	Skema Low Pressure Heater 4 (LPH4).....	61
Gambar 5.12	Skema Deaerator.....	62
Gambar 5.13	Skema Boiler Feed Pump (BFP).....	64
Gambar 5.14	Skema High Pressure Heater 2 (HPH2).....	65
Gambar 5.15	Skema High Pressure Heater 1 (HPH1).....	66
Gambar 5.16	Grafik Efisiensi Rasional Setiap Komponen Sistem PLTU.....	87
Gambar 5.17	Grafik Irreversibilitas Setiap Komponen Sistem PLTU.....	88
Gambar 5.18	Grafik Presentase Rasio Irreversibilitas Setiap Komponen.....	89
Gambar 5.19	Grafik Harga Eksergi Destruksi Setiap Komponen Sistem PLTU	90
Gambar 5.20	Grafik Faktorf <i>f</i> Setiap Komponen PLTU.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Data Operasi Unit 2 PLTU Keban Agung.....	37
Tabel 5.2	Data Operasi Unit 2 PLTU Keban Agung.....	47
Tabel 5.3	Laju Eksergi Setiap Komponen Unit 2 PLTU Keban Agung.....	48
Tabel 5.4	Irreversibilitas dan Efisiensi Rasional Setiap Komponen.....	67
Tabel 5.5	Total Biaya Operasional, dan Perawatam Setiap Komponen.....	68
Tabel 5.6	Laju Aliran Massa, Laju Aliran Eksergi, dan Laju Aliran..... Biaya Setiap State	85
Tabel 5.7	Kerugian Biaya Akibat Kehilangan Eksergi dan Faktor f	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Tabel Saturated Water, Superheated Water dan.....	97
Compressed Liquid	
Lampiran A.2 Harga Acuan Batubara (HBA) untuk Bulan Desember 2017.....	103

DAFTAR SIMBOL

Lambang	Keterangan	Satuan
c	Laju aliran harga	USD/kWH
\dot{C}_d	Laju harga eksergi destruksi	USD/h
\dot{C}_f	Laju aliran harga bahan bakar	USD/h
\dot{C}_p	Laju aliran harga produk	USD/h
\dot{E}_f	Eksergi bahan bakar	kW
\dot{E}_p	Eksergi produk	kW
\dot{E}_x	Eksergi	MW
f	Faktor f	%
h	Entalpi	kJ/kg
\dot{I}	Eksergi destruksi (irreversibilitas)	MW
\dot{m}	Laju aliran massa	kg/s
P	Tekanan	MPa
t	Temperatur	°C
s	Entropi	kJ/kg. K
γ_D	Persentase rasio eksergi destruksi (irreversibilitas) terhadap bahan bakar	%
γ_I	Persentase rasio eksergi destruksi terhadap total eksergi destruksi sistem	%
\dot{Z}	Total biaya operasional, dan perawatan	USD/h
ψ	Efisiensi rasional	%
ϕ	Rasio eksergi kimia terhadap LHV batubara	-

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, ketergantungan terhadap energi listrik semakin hari semakin meningkat. Keberlangsungan berbagai macam bentuk aktivitas di masyarakat dan sektor industri nasional sangat bergantung pada tersedianya energi listrik. Oleh karena itu, sektor ketenagalistrikan mempunyai peran yang sangat penting dan strategis dalam menentukan dalam upaya menyejahterakan masyarakat dan mendorong berjalannya roda ekonomi nasional.

Karena peran strategisnya, diharapkan energi listrik tersedia dalam jumlah yang cukup dengan mutu dan tingkat keandalan yang baik. Akan tetapi, seiring pertambahan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, perkembangan dunia industri, kemajuan teknologi, dan meningkatnya standar kenyamanan hidup di masyarakat, maka permintaan akan energi listrik juga semakin hari akan semakin meningkat. Di sisi lain, pasca terjadinya krisis ekonomi yang melanda Indonesia beberapa tahun silam, pembangunan beberapa pembangkit yang semula telah direncanakan menjadi terkendala, baik yang akan dikembangkan oleh pihak swasta, maupun dari PLN sendiri. Disamping itu, alokasi dana pemerintah untuk berinvestasi dalam sektor ketenagalistrikan terutama pembangunan pembangkit baru juga terbatas. Investasi yang diharapkan dari pihak swasta terhambat karena dimintanya suatu prasyarat kondisi seperti jaminan kepada Pemerintah. Pada akhirnya, semua hal tersebut menyebabkan penambahan pasokan tenaga listrik tidak mampu mengimbangi pertumbuhan permintaan tenaga listrik yang ada, sehingga terjadinya kondisi kekurangan pasokan tenaga listrik di beberapa daerah tidak dapat dihindari.

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan energi listrik, maka perlu dilakukan peningkatan kualitas agar energi yang tersedia benar-benar dapat dimanfaatkan secara maksimal. Hal ini dapat diidentifikasi dengan menerapkan

analisis keseluruhan dari instalasi pembangkit pada setiap komponen-komponen/sub-sistem.

Efisiensi adalah suatu istilah yang sering digunakan dalam termodinamika dimana juga dapat mengindikasikan seberapa baik suatu proses konversi energi yang terjadi. Efisiensi juga merupakan salah satu istilah yang paling sering disalahgunakan dalam termodinamika, dan juga sering menjadi sumber kesalahpahaman. Hal ini dikarenakan efisiensi sering digunakan tanpa pendefinisian terlebih dahulu (Cengel & Boles, 2006). Efisiensi secara tradisional telah didefinisikan terutama berdasarkan hukum pertama dimana dalam hal ini menggunakan analisis energi. Namun, pada belakangan ini, analisis eksergi telah semakin diterima secara luas sebagai suatu analisa yang bermanfaat dalam desain, penilaian, optimasi, dan peningkatan sistem-sistem energi (Ganapathy, Alagumurthi, Gakkhar, & Murugesan, 2009). Penentuan efisiensi hukum kedua termodinamika untuk sistem keseluruhan dan komponen-komponen individual yang membentuk sistem merupakan bagian utama analisis hukum kedua termodinamika. Analisis yang komprehensif suatu sistem termodinamika agar dapat diperoleh gambaran kerja sistem secara keseluruhan.

Untuk membantu peningkatan efisiensi instalasi pembangkit listrik, karakteristik dan performansi termodinamika instalasi tersebut biasanya diteliti. Instalasi pembangkit tenaga listrik biasanya diuji dengan analisis energi, tetapi sebagaimana diungkapkan sebelumnya, pemahaman yang lebih baik dapat dicapai bila diambil tinjauan termodinamika yang lebih lengkap dengan menggunakan metode analisis eksergi. Metode analisis eksergi merupakan suatu metode analisis suatu sistem thermal yang mengkombinasikan antara hukum pertama dan kedua termodinamika. Dengan menggunakan metode ini, akan didapatkan gambaran yang sesungguhnya tentang besarnya kerugian dari suatu sistem, serta penyebab dan lokasinya, sehingga dapat melakukan peningkatan sistem secara keseluruhan ataupun hanya pada komponen-komponennya. Walaupun analisis eksergi secara umum dapat diterapkan pada sistem energi atau sistem lainnya, terlihat bahwa analisis eksergi akan menjadi alat yang lebih berguna daripada analisis energi khususnya untuk siklus-siklus tenaga karena fakta bahwa analisis eksergi dapat

membantu peningkatan sistem secara keseluruhan ataupun komponen-komponennya.

Metode analisis eksergi PLTU telah banyak dibahas, terbukti dari beberapa buku (Cengel & Boles, 2006; Kotas, 1995) maupun jurnal yang mudah ditemukan untuk dijadikan referensi. Analisis ini sangat berguna untuk mengevaluasi performansi sistem dan menentukan eksergi distraksi.

Karya ilmiah “Studi Pendahuluan untuk Analisis Energi – Eksergi Kota Jakarta” (Sugiyono, 2000) memberikan penjelasan tentang pengembangan analisis eksergi yang dapat membantu para pengambil keputusan maupun analisis kebijakan untuk dapat lebih memahami dampak dari perubahan peraturan maupun standar lingkungan terhadap sistem.

Kerugian-kerugian akibat kehilangan eksergi juga sangat memengaruhi performansi sistem dari sudut pandang biaya. Biaya operasional dan perawatan mesin harus dipergunakan secara optimal. Sehingga diperlukan metode analisis yang dapat mengevaluasi sistem dari permasalahan tersebut. Salah satu metode yang bisa dilakukan adalah dengan cara analisis eksergoekonomi.

Bejan dalam bukunya menjelaskan metode dengan menggabungkan analisis eksergi dan ekonomi diterapkan untuk mengoptimalkan desain dan operasi sistem termal (Bejan, Tsatsaronis, & Moran, 1995).

Analisis eksergoekonomi diaplikasikan untuk mengevaluasi sistem dari segi efektifitas biaya, karena kita tidak hanya menganalisis eksergi sistem saja, namun juga menerapkan prinsip-prinsip ekonomi yang dapat membantu untuk menganalisis besar kerugian biaya akibat kehilangan eksergi.

Metode kombinasi eksergi dan eksergoekonomi ini sudah sangat banyak dilakukan oleh para peneliti. Seperti yang dilakukan oleh Khanmohammadi dalam jurnalnya berjudul *Exergy and Exergo-Economic Evaluation of Isfahan Steam Power Plant*, jurnal tersebut mengkaji performansi eksergi dan biaya akibat kehilangan eksergi pada masing-masing komponen sistem pembangkit tenaga uap yang memiliki kapasitas daya sebesar 320 MW (Khanmohammadi, Azimian, & Khanmohammadi, 2013).

Pada umumnya, komponen-komponen yang terdapat dalam sistem pembangkit listrik dioperasikan pada kondisi yang berbeda-beda. Hal ini

disebabkan karena pembangkit listrik melayani kapasitas yang bervariasi, sedangkan komponen-komponen tersebut didesain pada kondisi tertentu saja. Jika komponen tersebut dioperasikan tidak pada kondisi desain, maka terjadi performansi komponen tersebut pun akan berbeda dibandingkan jika dioperasikan pada kondisi desain. Selain itu, faktor umur juga dapat mengakibatkan penurunan performansi suatu sistem. Oleh sebab itu diperlukan analisis untuk mengetahui performansi komponen-komponen tersebut baik itu analisis secara termodinamika maupun ekonomi.

Dengan mengidentifikasi performansi komponen sistem PLTU, penulis dapat membantu perusahaan dalam menentukan komponen sistem mana saja yang seharusnya ditingkatkan kinerjanya. Kombinasi analisis ini juga dapat mengevaluasi sistem agar pihak perusahaan dapat melakukan tindakan yang tepat dalam pemanfaatan potensi sumber energi tak terbarukan tersebut. Maka dengan alasan inilah penulis menggunakan kombinasi berupa analisis eksergi dan eksergoekonomi pada sistem pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara yang berlokasi di Desa Kebur Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat Sumatera Selatan dan dikelola oleh PT. Priamanaya Energy Lahat.

1.2 Rumusan Masalah

Komponen-komponen yang terdapat pada sistem PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan ini dioperasikan pada kondisi yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan PLTU ini melayani kapasitas yang bervariasi. Sehingga diperlukan analisis untuk mengetahui performansi dari komponen-komponen tersebut.

Analisis eksergi diperlukan untuk mengetahui besarnya nilai eksergi destruksi (irreversibilitas) pada proses pembangkitan listrik serta mengetahui efisiensi rasional dari setiap komponen PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan. Sedangkan analisis eksergoekonomi diperlukan untuk mengetahui harga dari eksergi yang dimusnahkan atau eksergi destruksi

(irreversibilitas) pada proses pembangkitan listrik pada PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, analisis eksergi dan eksergoekonomi pada komponen-komponen unit 2 PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat yang dikaji meliputi meliputi boiler, turbin uap, kondensor, pompa kondensat, *deaerator*, *low pressure heater*, *high pressure heater*, dan *boiler feed pump* dengan kondisi operasi 135 MW. Sedangkan untuk biaya investasi, operasi, dan perawatan komponen-komponen tersebut menggunakan biaya yang terdapat pada literatur.

1.4 Tujuan

Mengkaji performansi dari masing-masing komponen PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan dengan analisis eksergi untuk mendapatkan efisiensi rasional dan besarnya eksergi destruksi (irreversibilitas) dari setiap komponen PLTU. Selain itu, didapatkan pula besarnya harga dari eksergi destruksi dalam proses pembangkitan energi listrik pada setiap komponen PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat Sumatera Selatan dengan menggunakan analisis eksergoekonomi.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh nantinya adalah sebagai bahan referensi ilmiah di masa yang akan datang, serta dapat memberi saran ilmiah kepada manajemen PLTU Keban Agung PT. Priamanaya Energy Lahat terhadap hasil penelitian yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

- B, Ika Shanti, Gunawan Nugroho, dan Sarwono. 2012. "Analisa Termoekonomi Pada Sistem Kombinasi Turbin Gas – Uap PLTGU PT PJB Unit Pembangkitan Gresik". *Jurnal Teknik POMITS* 1(1): 1–6.
- Bejan, Andrian, George Tsatsaronis, dan Michael Moran. 1995. *Thermal Design and Optimization*.
- Brodyansky, V. M., M. V. Sorin, T. J. A. Le Goff, dan P. A. Pilavachi. 1994. *The efficiency of industrial processes: exergy analysis and optimization*.
- Cengel, Yunus A., dan Michael A. Boles. 2006. *Thermodynamics An Engineering Approach 5th Edition*.
- El-Wakil, M. M. 1985. *Powerplant Technology*.
- Feng, X., dan X. X. Zhu. 1997. "Combining pinch and exergy analysis for process modifications." *Applied Thermal Engineering* 17(3): 249–61.
- Ganapathy, T., N. Alagumurthi, R. P. Gakkhar, dan K. Murugesan. 2009. "Exergy analysis of operating lignite fired thermal power plant." *Journal of Engineering Science and Technology Review* 2(1): 123–30.
- Khanmohammadi, Shoaib, Ahmad Reza Azimian, dan Saber Khanmohammadi. 2013. "Exergy and exergo-economic evaluation of Isfahan steam power plant Shoaib Khanmohammadi * Ahmad Reza Azimian Saber Khanmohammadi." *Int. J. Exergy* 12(2): 249–72.
- Kotas, T J. 1995. *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*.
- Kwak, Ho-Young, D J Kim, dan J S Jeon. 2003. *Exergetic and thermo-economic analyses of power plants*.
- Mohammad Ameri, Pouria Ahmadi, dan Armita Hamidi. 2009. "Energy , exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant : A case study." *International Journal of energy Research* : 499–512.
- Moran, Michael J., dan Howard N. Shapiro. 2010. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*.
- Rashad, A, dan A El Maihy. 2009. "Energy and Exergy Analysis of a Steam Power Plant in Egypt." *Aerospace Sciences & Aviation Technology, ASAT-13*: 1–12.
- Ray, Tapan K, Ranjan Ganguly, dan Amitava Gupta. 2007. "Exergy Analysis for Performance Optimization of a Steam Turbine Cycle." *IEEE PES PowerAfrica 2007 Conference and Exposition* (July): 16–20.
- Santoso, Dyos, dan Hasan Basri. 2010. "Analisis Eksergi pada Siklus Turbin Gas Sederhana 14 MW Instalasi Pembangkit Tenaga Keramasan Palembang." *Digital Prosiding*: 13–15.
- Sciubba, Enrico, dan Göran Wall. 2007. "A brief commented history of exergy from the beginnings to 2004." *International Journal of Thermodynamics*.

- Sugiyono, Agus. 2000. "Studi Pendahuluan untuk Analisis Energi-Exergi Kota Jakarta Laporan Teknis Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi Deputi Bidang Teknologi Informasi , Energi , Material dan Lingkungan." *Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan BPPT*.
- Uysal, Cuneyt, Huseyin Kurt, dan Ho-young Kwak. 2017. "Exergetic and thermoeconomic analyses of a coal- fired power plant." *International Journal of Thermal Sciences* 117: 106–20.
- Woudstra, Nico. 2004. *Value Diagram and Exergy Efficiencies*.