

SKRIPSI

**ANALISIS EKSERGOEKONOMI PADA
PEMANFAATAN LIMBAH PANAS PLTP UNTUK
SIKLUS KALINA KCS-11**



**MUHAMMAD REZA RIZKY SINATRIA
03051281924075**

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

SKRIPSI

ANALISIS EKSERGOEKONOMI PADA PEMANFAATAN LIMBAH PANAS PLTP UNTUK SIKLUS KALINA KCS-11

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



**OLEH:
MUHAMMAD REZA RIZKY SINATRIA
03051281924075**

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

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS EKSERGOEKONOMI PADA
PEMANFAATAN LIMBAH PANAS PLTP UNTUK
SIKLUS KALINA KCS-11**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Oleh:

MUHAMMAD REZA RIZKY SINATRIA
030545281924075

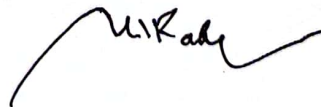
Indaralaya, Januari 2024
Diperiksa dan Disetujui Oleh:

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,



Ir. Dyos Santoso, M.T.
NIP. 196012231991021001



M. Ihsan Riady, S.T, M.T.
NIP. 16710545310870001

Mengetahui:
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Irsyadi Vanus, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
NIP. 19741122545997021001

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.
Diterima Tanggal
Paraf

: 0701TM/AV/2024
: 26-01-2024



SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD REZA RIZKY SINATRIA
NIM : 03051281924075
JURUSAN : Teknik Mesin
JUDUL SKRIPSI : Analisis Eksergoekonomi Pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11
DIBUAT TANGGAL : 11 Januari 2023
SELESAI TANGGAL : 25 November 2023

Palembang, Januari 2024

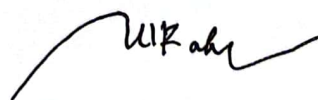
Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001

Pembimbing II



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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM,
NIP. 197412261997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Desember 2023.

Palembang, Desember 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua Penguji :

1. Dr. Dewi Puspitasari, S.T, M.T.


NIP. 19700115 199412 2 001


(.....)

Sekretaris Penguji :

2. Ellyanie, S.T, M.T.

NIP. 19690501 199412 2 001


(.....)

Penguji :

3. Prof. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.

NIP. 19600528 198903 1 002


(.....)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

NIP. 19711225 199702 1 001

Palembang, Desember 2023

Diperiksa dan disetujui oleh,

Pembimbing Skripsi



Ir. Dyos Santoso, M.T.

NIP. 19601223 199102 1 001

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 Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11”.

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 Thamusfa Yanto dan Ibu Saftiana Fitry 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., PhD 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 Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. selaku dosen pembimbing akademik.
6. Bapak Gunawan, S.T, M.T PhD selaku pembina mahasiswa jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
7. Seluruh keluarga serta 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, Januari 2024



Muhamamad Reza Rizky

Sinatria

03051281924075

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Reza Rizky Sinatria

NIM : 03051281924075

Judul : Analisis Eksergoekonomi Pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP
untuk Siklus Kalina KCS-11

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, Januari 2024



Muhammad Reza Rizky Sinatria
NIM. 03051281924075

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Reza Rizky Sinatria

NIM : 03051281924075

Judul : Analisis Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP
untuk Siklus Kalina KCS-11

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, Januari 2024



Muhammad Reza Rizky
Sinatria
NIM. 03051281924075

RINGKASAN

ANALISIS EKSERGOEKONOMI PADA PEMANFAATAN LIMBAH PANAS PLTP UNTUK SIKLUS KALINA KCS-11.

Karya Tulis ilmiah berupa skripsi, Desember 2023

Muhammad Reza Rizky Sinatria;

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

Exergoeconomic analysis on utilization of geothermal power plant heat waste for kalina cycle KCS-11.

xxxi + 95 halaman, 29 gambar, 9 Tabel, 3 Lampiran

Listrik menjadi kebutuhan utama manusia dalam berbagai kegiatan, seperti perkantoran, ekonomi, perindustrian, dan kegiatan sehari-hari termasuk belajar. Pembangkit listrik mengubah energi kinetik menjadi energi listrik, memerlukan sumber energi yang bisa bersumber dari terbarukan maupun tidak terbarukan. Mayoritas energi listrik saat ini berasal dari sumber tidak terbarukan, terutama batu bara. Penggunaan energi fosil, khususnya dalam PLTU masih dominan di Indonesia, mencapai 87.4% atau 55,216 MW. Penggunaan pembangkit listrik yang masih memakai energi fosil ini menjadi perhatian pemerintah, dikarenakan ketersediaan akan sumber daya ini yang semakin lama menipis serta hasil pembakaran yang mencemari lingkungan. Oleh karena itu, pemerintahan Indonesia saat ini sedang menggiatkan untuk beralih menggunakan sumber energi yang terbarukan seperti tenaga surya dan energi panas bumi. Dalam pemanfaatan energi panas bumi ini, tentu akan ada limbah panas yang tersisa dari pembangkit. Limbah panas geothermal ini memiliki macam bentuk, yaitu berbentuk *brine water* dan *sludge*. Pada *brine water*, limbah panas ini memiliki suhu yang masih terbilang tinggi sebelum diinjeksikan kembali ke dalam bumi. Limbah panas ini tentu masih bisa kita manfaatkan untuk membangkitkan tenaga kembali, menggunakan siklus kalina. 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. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Lumut Balai 1 x 55W merupakan salah satu proyek kelistrikan yang berlokasi di Desa Panindaya, Kecamatan Semendo Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan, atau sekitar 108 km dari kota Baturaja. 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. Adapun unit komponen yang dianalisis dikaji meliputi *heat exchanger*, turbin uap, *high*

temperature recuperator, low temperature recuperator, pompa kondensat, drain tank, condensor. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi temperatur lingkungan sebesar, 30°C, 85% konsentrasi ammonia, dan tekanan 35 bar. Sedangkan untuk biaya investasi, operasi dan perawatan komponen-komponen tersebut menggunakan biaya yang terdapat pada literatur. Langkah awal dalam melakukan analisis desain sistem siklus kalina KCS-11 dengan melakukan analisis energi untuk mencari laju aliran massa menggunakan neraca massa dan neraca energi pada komponen serta mencari nilai entalpi dan entropi menggunakan grafik yang didapat dari literatur. Dari hasil analisis eksergi pada tabel 4.4 didapatkan bahwa nilai laju destruksi eksergi terbesar terjadi di kondensor dan *heat exchanger 1* dengan nilai sebesar 26831,34 kW dan 23160,79 kW pada temperatur lingkungan 30°C. Efisiensi eksergi terendah juga terjadi di kondensor dan *heat exchanger 1* dengan nilai 1,90% dan 28,43%, 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 *drum tank* dengan efisiensi sebesar 80,05% pada temperatur lingkungan 30°C. Dari hasil analisis eksergoekonomi, dapat dilihat pada tabel 4.8 dan 4.9 menunjukkan bahwasannya sistem dengan besaran laju biaya destruksi eksergi terbesar terjadi pada kondensor dengan nilai 2223,762 USD/h pada temperatur lingkungan 30°C, dimana ini sebanding lurus dengan besarnya destruksi eksergi yang terjadi di dalam kondensor. Sedangkan dari sisi efektifitas modal biaya investasi, operasi, dan perawatan mesin atau disebut sebagai faktor f , menunjukkan bahwasannya nilai faktor f terendah berada pada komponen LT Recuperator dan kondensor dengan nilai 1,78% dan 5,52, kemudian diikuti dengan dengan HE 2 dengan nilai 1,49%. 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 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 : siklus kalina, energi, eksergi, destruksi eksergi, eksergoekonomi, faktor f

Kepustakaan : 25 (1985-2023)

SUMMARY

EXERGOCOECONOMIC ANALYSIS ON UTILIZATION OF GEOTHERMAL POWER PLANT WASTE HEAT FOR KALINA CYCLE KCS-11.

Scientific Writing in the form of a Thesis, Desember 2023

Muhammad Reza Rizky Sinatria;

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

Analisis exergoekonomi pada pemanfaatan limbah panas PLTP untuk siklus kalina kcs-11.

xxxii + 95 pages, 29 figures, 9 Tabela, 3 Attachments

Electricity has become a primary human need in various activities, including offices, the economy, industries, and daily tasks such as learning. Power plants convert kinetic energy into electrical energy, requiring sources that can be renewable or non-renewable. Currently, the majority of electricity comes from non-renewable sources, especially coal. Fossil fuel usage, particularly in thermal power plants (PLTU), remains dominant in Indonesia, reaching 87.4% or 55,216 MW. The government is concerned about the continued use of fossil fuel-based power plants due to the depleting resources and environmental pollution from combustion. Therefore, Indonesia is actively promoting a shift towards renewable energy sources like solar and geothermal. In utilizing geothermal energy, there will be residual heat waste from the power plant, in the form of brine water and sludge. Brine water, with a relatively high temperature, can still be harnessed for power generation using the Kalina cycle. Exergy analysis is a method used to identify cycle inefficiencies and enhance system quality by understanding exergy destruction in each component. Additionally, economic performance analysis, through exergoeconomic analysis, helps analyze cost losses caused by exergy destruction. The Geothermal Power Plant (PLTP) Lumut Balai 1 x 55W is located in Panindaya Village, Semendo District, Muara Enim Regency, South Sumatra, approximately 108 km from Baturaja city. The components analyzed include heat exchanger, steam turbine, high-temperature recuperator, low-temperature recuperator, condensate pump, drain tank, and condenser. Assumptions for the study include environmental temperature of 30°C, 85% ammonia concentration, and 35 bar pressure. Investment, operation, and maintenance costs for the components are derived from literature. Initial steps involve energy analysis to determine mass flow rates through mass and energy balances, and finding enthalpy and entropy values from literature graphs. Exergy analysis results reveal the highest exergy destruction rates occurring in the condenser and heat exchanger 1, reaching 26,831.34 kW and 23,160.79 kW, respectively, at an ambient temperature of 30°C. The lowest exergy efficiency also occurs in the condenser and heat exchanger 1, with values of 1.90% and 28.43%, respectively, all under a 30°C ambient

temperature. This suggests the need for further investigation into the root causes of these issues. The component with the highest exergy efficiency is the drain tank, at 80.05%, under a 30°C ambient temperature. Exergoeconomic analysis results indicate that the condenser incurs the highest exergy destruction cost rate, reaching 2,223.762 USD/h at an ambient temperature of 30°C, aligning with the substantial exergy destruction occurring in the condenser. From the effective capital cost factor (f) perspective, the lowest f values are found in the LT Recuperator and condenser, with values of 1.78% and 5.52%, respectively, followed by HE 2 with a value of 1.49%. This indicates that the cost resulting from exergy destruction in these components is greater compared to the total investment, operation, and maintenance costs of the components. The study also considers exergy calculations at varying ambient temperatures, revealing an inverse relationship between ambient temperature and exergy efficiency and f factor values. However, there is a direct relationship with the exergy destruction rate and the cost of exergy destruction losses.

i.

Keywords : siklus kalina, energi, eksergi, destruksi eksergi, eksergoekonomi,
faktor f

Citation : 24 (1985-2023)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	v
SKRIPSI	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xiii
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvii
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
DAFTAR SIMBOL	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Energi Panas Bumi.....	7
2.2 Limbah Kalor PLTP.....	7
2.2.1 Limbah Cair PLTP	8
2.2.2 Limbah Padat PLTP	8
2.3 Siklus Kalina.....	8
2.3.1 Siklus Kalina KCS-11.....	10
2.4 Properti Fluida pada Ammonia-Water.....	11
2.5 Analisis Eksergi	12
2.5.1 Persamaan Kesetimbangan Pada Volume Atur	13
2.5.2 Efisiensi Eksergi	16
2.5.3 Dead State	17

2.6	Analisis Eksergoekonomi	17
2.7	Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Siklus KCS-11	18
2.7.1	Heat Exchangers 1	19
2.7.2	Turbin.....	19
2.7.3	Kondensor	20
2.7.4	HT Recuperator.....	20
2.7.5	LT Recuperator	20
2.7.6	Pompa	21
2.7.7	Heat Exchanger 2.....	21
2.8	Sistem Pembangkit Tenaga Panas Bumi.....	22
2.8.1	<i>Single Flash Geothermal Power Plant</i>	23
2.8.2	<i>Double Flash Geothermal Power Plant</i>	24
2.8.3	<i>Binary Power Plant</i>	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Tahapan-Tahapan Penelitian.....	27
3.2	Studi Literatur	28
3.3	Pengumpulan Data	28
3.4	Pembuatan Flowsheet	28
3.5	Analisis dan Pengolahan Data	30
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Sistem Siklus Kalina KCS-11	31
4.2	Parameter Desain Siklus Kalina KCS-11.....	31
4.2.1	Asumsi pada Desain Siklus Kalina KCS-11	32
4.3	Analisis Eksergi pada Setiap State.....	34
4.3.1	Laju Aliran Eksergi.....	35
4.4	Analisis Eksergi pada Apparatus	38
4.4.1	Heat Exchangers 1	39
4.4.2	Turbin.....	40
4.4.3	HT Recuperator.....	41
4.4.4	LT Recuperator	42
4.4.5	Kondensor	43
4.4.6	Pompa	44
4.4.7	Heat Exchangers 2	45
4.5	Analisis Eksergoekonomi	47
4.5.1	Turbin.....	48

4.5.2	Drum Tank	49
4.5.3	Kondensor	50
4.5.4	Pompa	51
4.5.5	LT Recuperator	52
4.5.6	HT Recuperator.....	54
4.5.7	Heat Exchanger 2.....	55
4.6	Hasil dan Pembahasan	58
4.6.1	Destruksi Eksergi	59
4.6.2	Efisiensi Eksergi	60
4.6.3	Kerugian Biaya dan Faktor F.....	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Macam-Macam Siklus Kalina	9
Gambar 2. 2 Gambar Siklus Kalina (Nasruddin, dkk. 2015)	10
Gambar 2. 3 Analisis Eksergi Sistem Terbuka (Cengel dan Boles, 2006).....	12
Gambar 2. 4 <i>Single Flash System</i> (El Haj Assad, dkk,2017)	22
Gambar 2. 5 <i>Double Flash Geothermal</i> (El Haj Assad, dkk, 2017)	24
Gambar 2. 6 <i>Binary System</i> (El Haj Assad, dkk, 2017)	25
Gambar 3. 1 Tahapan-tahapan Penelitian.....	25
Gambar 4. 1 Grafik Entalphy-Ammonia Concetration	29
Gambar 4. 2 Grafik Entrophy-Ammonia Concetration.....	30
Gambar 4. 3 Nilai Dekstruksi Eksergi.....	53
Gambar 4. 4 Nilai Effisiensi Eksergetik	54
Gambar 4. 5 Biaya Destruksi Eksergi	55
Gambar 4. 6 Faktor f	56

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Operasi Sistem Siklus Kalina KCS-11	34
Tabel 4. 2 Nilai Laju Eksergi	38
Tabel 4. 3 Nilai Destruksi Eksergi	46
Tabel 4. 4 Efisiensi Eksergetik.....	47
Tabel 4. 5 Data Biaya Investasi, Operasi, dan Perawatan Komponen	48
Tabel 4. 6 Laju Biaya Aliran Eksergi.....	56
Tabel 4. 7 Laju Biaya Destruksi Eksergi.....	57
Tabel 4. 8 Nilai Faktor f	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Hasil Pengukuran Entalpi-Ammonia Concentration	69
Lampiran 2 Grafik Hasil Pengukuran Entropi-Ammonia Concentration	70
Lampiran 3 Tabel Saturated Water	71

DAFTAR SIMBOL

Nomenklatur

Lambang	Keterangan	Satuan
\dot{m}	Laju aliran massa	kg/s
$\dot{E}x$	Laju eksergi	MW
ex	Eksergi spesifik	kJ/kg
T	Temperatur	°C
P	Tekanan	MPa
h	Entalpi	kJ/kg
s	entropi	kJ/Kg K
\dot{W}	Laju kerja	MW
\dot{Q}	Laju kalor	MW
\dot{C}	Laju aliran biaya	USD/kWh
f	Biaya investasi operasi dan perawatan per biaya total eksergi destruksi	%
\dot{Z}	Total biaya investasi operasional dan perawatan	USD/h
ψ	Efisiensi eksergi	%
φ	Rasio eksergi kima batubara terhadap LHV	-
LHV	<i>Low Heating Value</i>	MJ/kg
c	Biaya aliran rata-rata per satuan eksergi	USD/kWh

Subskrip

i	Inlet
e	Exit
o	Parameter nilai lingkungan
ph	fisik
ch	kimia
f	fuel
p	produk

D	destruksi
gen	<i>generation</i>
dry	Kering
w	Kerja
q	Kalor

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik telah menjadi kebutuhan utama manusia, hampir segala kegiatan yang dilakukan oleh manusia membutuhkan yang namanya listrik. Kegiatan perkantoran, ekonomi, perindustrian serta kegiatan sehari-hari seperti belajar membutuhkan listrik. Listrik dihasilkan oleh pembangkit yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik, tentu untuk mengubah energi dari satu bentuk menjadi bentuk lain memerlukan yang namanya sumber energi. Sumber energi tersebut bisa didapatkan dari sumber energi yang terbarukan maupun energi tidak terbarukan.

Saat ini, hampir mayoritas sumber energi yang dipakai untuk membangkitkan energi listrik merupakan sumber energi yang tidak terbarukan seperti batu bara. penggunaan energi fosil sebagai sumber daya utama PLTU tentu masih banyak digunakan, penggunaan yang mudah serta efisien masih membuat energi fosil menjadi pilihan utama sebagai sumber daya pembangkit. Indonesia sendiri masih menggunakan energi fosil sebagai sumber daya PLTU, bahkan subtotal penggunaan energi fosil sebagai energi utama pembangkit listrik mencapai 87.4% atau 55,216 MW (Humas EBTKE, 2020).

Penggunaan pembangkit listrik yang masih memakai energi fosil ini menjadi perhatian pemerintah, dikarenakan ketersediaan akan sumber daya ini yang semakin lama menipis serta hasil pembakaran yang mencemari lingkungan. Oleh karena itu, pemerintahan indonesia saat ini sedang menggiatkan untuk beralih menggunakan sumber energi yang terbarukan seperti tenaga surya dan energi panas bumi.

Energi panas bumi adalah energi yang terkandung sebagai panas di interior bumi. hal ini menggambarkan struktur internal Bumi bersama dengan

mekanisme perpindahan panas di dalamnya mantel dan kerak. Itu juga menunjukkan lokasi ladang panas bumi di area tertentu di Bumi. Aliran panas bumi dan gradien panas bumi ditentukan, serta jenis panas bumi lapangan, lingkungan geologi energi panas bumi, dan metode eksplorasi untuk sumber daya panas bumi termasuk pengeboran dan penilaian sumber daya (Barbier, 2002).

Energi panas bumi pun dianggap sumber energi terbarukan yang disimpan sebagai panas di kedalaman bumi. Sumber energi ini berasal dari fitur struktural internal bumi. Salah satu batasan utama terhadap pemanfaatan energi panas bumi adalah aksesibilitas ke sumber daya termal ini. Karena sejumlah besar energi ini disimpan di bagian yang lebih dalam karena keterbatasan penggalian. Namun, di wilayah dunia yang dapat diakses di mana pengeboran dimungkinkan, bentuk energi ini dapat digunakan secara industri. Untuk memanfaatkan energi panas bumi, diperlukan pembawa perpindahan panas untuk mentransfer energi panas ini dari lapisan yang lebih dalam ke permukaan tanah (Ghazvini dkk., 2019).

Dalam pemanfaatan energi panas bumi ini, tentu akan ada limbah panas yang tersisa dari pembangkit. Limbah panas geothermal ini memiliki macam bentuk, yaitu berbentuk *brine water* dan *sludge*. Pada *brine water*, limbah panas ini memiliki suhu yang masih terbilang tinggi sebelum diinjeksikan kembali ke dalam bumi. Walaupun tidak setinggi saat uap panas masuk dari inti bumi menuju pembangkit, limbah panas ini tentu masih bisa kita manfaatkan untuk membangkitkan tenaga kembali, menggunakan siklus kalina KCS-11 (Pramuda, dkk, 2020).

Teknologi pembangkit tenaga listrik dengan sumber panas bertemperatur rendah dapat menggunakan siklus Kalina. Siklus Kalina ditemukan oleh Dr. Alexdaner Kalina dengan memanfaatkan campuran amonia-air sebagai fluida kerja. Campuran ammonia-air digunakan sebagai fluida kerja karena memiliki titik didih yang rendah sehingga dengan temperatur sumber panas yang rendah, fluida kerja sudah dapat menguap. Campuran ammonia-air akan membentuk campuran non-azeotropik. Pada campuran azeotropik, fasa cair dan uap pada

kondisi setimbang memiliki komposisi dan temperatur yang sama sehingga sifatnya sama seperti fluida murni. Pada campuran non-azeotropik, temperatur dan komposisi dari campuran terus berubah selama proses pendidihan. Ketika campuran mulai mendidih, maka akan terbentuk uap dari komponen campuran yang mudah menguap (Wang dan Yu, 2016).

Siklus Kalina sederhana terdiri dari evaporator, separator, turbin, condenser, dan regenerator. Campuran amonia-air akan dididihkan di evaporator dengan memanfaatkan panas dari sumber air panas. Kemudian campuran tersebut masuk ke separator kemudian dipisahkan menjadi dua aliran yaitu, aliran dengan konsentrasi amonia dalam bentuk uap yang kemudian diekspansi di turbin dan aliran dengan konsentrasi amonia yang rendah dalam fasa cair yang kemudian dilalirkan ke recuperator. Kedua aliran tersebut kemudian menyatu di kondensor dimana campuran tersebut akan dikondensasikan dengan memanfaatkan sumber air dingin. Campuran yang sudah berada dalam fasa cair kemudian dipompa ke regenerator dan siklus akan berulang (Long dkk., 2019).

Demi menciptakan tujuan untuk memanfaatkan sumber daya alam yang terbarukan serta mencapai target *net zero* emmision dengan disuntik matinya PLTU di Indonesia tahun 2060. Pemanfaatan limbah panas dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi dengan menggunakan Siklus Kalina sebagai siklus pembangkit listrik diperkirakan dapat untuk menambah pasokan listrik dengan menggunakan sumber yang *sustainable*. Maka dengan alasan inilah penulis menggunakan kombinasi berupa analisis eksergi dan eksergoekonomi pada sistem siklus kalina untuk pembangkit panas bumi di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Kalor buang pada sistem Single Flasher yang ada di PLTP Lumut Balai masih sangat tinggi
2. Potensi kalor buang yang masih sangat tinggi masih bisa dimanfaatkan salah satunya dengan menambahkan sistem siklus kalina.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem siklus kalina yang digunakan pada studi ini adalah KCS-11
2. Analisis yang dilakukan adalah analisis energi, eksergi dan eksergoekonomi
3. Analisis ini menggunakan fraksi massa Ammonia-Air dengan kadar 85%.

1.4 Tujuan Penelitian

Merujuk pada perumusan masalah yang telah disampaikan sebelumnya, tujuan dari penelitian yang akan dilakukan ini adalah :

1. Menganalisis besaran peningkatan sistem termal pada PLTP dengan adanya tambahan Siklus Kalina KCS-11
2. Mencari besaran nilai destruksi dan efisiensi eksergi pada setiap komponen pembangkit dalam perhitungan eksergoekonomi
3. Mencari besaran nilai biaya yang diakibatkan karena adanya destruksi eksergi dan faktor f pada setiap komponen.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diharapkan atas penelitian ini adalah bisa digunakan sebagai referensi keilmiahan pada waktu yang akan datang, dan juga dapat digunakan oleh *stakeholder* perusahaan yang mengelola PLTP di Indonesia dalam bentuk saran ilmiah atas hasil penelitian yang telah di dapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, A. dkk. (2020) 'applications of geothermal organic rankine cycle for electricity production', journal of cleaner production. elsevier ltd. available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122950>.
- Ahmadi, G.R. dan Toghraie, D. (2016) 'energy dan exergy analysis of montazeri steam power plant in iran', renewable dan sustainable energy reviews, 56, pp. 454–463. available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.074>.
- Barbier, E. (2002) geothermal energy technology dan current status: an overview, renewable dan sustainable energy reviews. available at: www.elsevier.com/locate/rser.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. dan Moran, M. (1996) thermal design dan optimization, energy. available at: [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(96\)90000-6](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(96)90000-6).
- Cengel, Y.A. dan Boles, M.A. (2006) thermodynamics an engineering approach. fifth. mc graw hill.
- Ganesh, N.S. dan Srinivas, T. (2017) 'development of thermo-physical properties of aqua ammonia for kalina cycle system', international journal of materials dan product technology, 55(1–3), pp. 113–141. available at: <https://doi.org/10.1504/ijmpt.2017.084955>.
- Ghazvini, M. dkk. (2019) 'geothermal energy use in hydrogen production: a review', international journal of energy research. john wiley dan sons ltd, pp. 7823–7851. available at: <https://doi.org/10.1002/er.4778>.
- Gondal, I.A., Masood, S.A. dan Amjad, M. (2017) 'review of geothermal energy development efforts in pakistan dan way forward', renewable dan sustainable energy reviews. elsevier ltd, pp. 687–696. available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.097>.
- El Haj Assad, dkk. (2017) 'performance of geothermal power plants (single, dual, dan binary) to compensate for lh-cern power consumption: comparative study', geothermal energy, 5(1). available at: <https://doi.org/10.1186/s40517-017-0074-z>.
- Humas EBTKE (2020) menteri arifin: transisi energi mutlak diperlukan, ebtke.esdm.go.id. available at: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/10/22/2667/menteri.arifin.transisi.energi.mutlak.diperlukan?lang=en> (accessed: 20 february 2023).
- Kotas, T.. (1995) 'the exergy method of thermal plant analysis', journal of

mechanical working technology, 16(1), p. 282. available at: [https://doi.org/10.1016/0378-3804\(88\)90147-7](https://doi.org/10.1016/0378-3804(88)90147-7).

- Long, R. dkk. (2019) 'exergy analysis dan performance optimization of kalina cycle system 11 (kcs-11) for low grade waste heat recovery', in energy procedia. elsevier ltd, pp. 1354–1359. available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.333>.
- Moran, M.J. dkk. (2014) fundamentals of thermodynamics 8th, don fowley. available at: https://doi.org/10.1007/978-94-009-9929-9_3.
- Mulyana, C. dkk. (2016) 'the thermodynamic cycle models for geothermal power plants by considering the working fluid characteristic', aip conference proceedings, 1712. available at: <https://doi.org/10.1063/1.4941863>.
- Nasruddin, N. dkk. (2015) 'energy dan exergy analysis of kalina cycle for the utilization of waste heat in brine water for indonesian geothermal field', makara journal of technology, 19(1), p. 38. available at: <https://doi.org/10.7454/mst.v19i1.3032>.
- Nise, N.S. (2011) control systems engineering, cas 2007 - cern accelerator school: digital signal processing, proceedings.
- Nurkholis Meiyati, dkk. (2015) pemanfaatan lumpur geothermal (geothermal sludge) untuk pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan mortar sebagai suplemen bahan ajar mata kuliah teknologi beton program studi pendidikan teknik bangunan uns.
- Pramuda, M., dkk. (2020) 'optimasi siklus kalina kcs34 pada pemanfaatan sumber air panas (natural hot spring) sebagai pembangkit listrik', jurnal rekayasa hijau [preprint], (1).
- Rachman, A. dan Arianto, B. (2020) 'exergy study of steam flash cycle & kalina cycle at waste heat recovery power generation operation system', jurnal teknik mesin, 10(1), pp. 16–32. available at: <https://doi.org/10.21063/jtm.2020.v10.i1.16-32>.
- Regulagadda, P, dkk. (2010) 'exergy analysis of a thermal power plant with measured boiler dan turbine losses', applied thermal engineering, 30(8–9), pp. 970–976. available at: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.01.008>.
- Santoso, D. dan Yusuf, R.M. (2012) 'analisis eksergi pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi (pltp) ubp kamojang unit pltp darajat jawa barat', seminar nasional avoer ke-4, (november), pp. 134–139. available at: <https://repository.unsri.ac.id/7352/>.
- Suparyanto dan Rosad, (2020) 'pengertian siklus kalina dan perbedaannya dengan orc', suparyanto dan rosad (2015, 5(3), pp. 248–253.

- Wang, E. dan Yu, Z. (2016) 'a numerical analysis of a composition-adjustable kalina cycle power plant for power generation from low-temperature geothermal sources', *applied energy*, 180, pp. 834–848. available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.032>.
- Yose, O. dan Farasi, A. (2015) xviii thermodynamics analysis of kalina cycle system (kcs) 11 for jailolo geothermal field-halmahera. available at: <http://etd.repository.ugm.ac.id/>.