

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

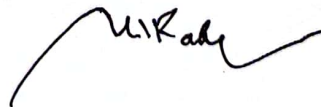
Indaralaya, Januari 2024
Diperiksa dan Disetujui Oleh:

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 Van Ruspriyanti, 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

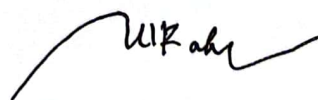
Diperiksa dan disetujui oleh:

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 keilmiah 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.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Panas Bumi

Energi panas bumi merupakan sumber energi bersih yang telah terbukti karena tidak bergantung pada kondisi cuaca. Energi ini terutama dihasilkan dan disimpan di bagian dalam bumi. Energi ini merupakan sumber daya yang ramah lingkungan dan permintaannya di masa depan untuk pembangkit listrik terus meningkat dengan cepat. Kekurangan dari jenis energi ini sangat tergantung pada lokasi situs, spesifikasi situs dan suhu sumber. Selain itu, keterbatasan lain dalam menggunakan energi panas bumi adalah teknologi yang tersedia dan keuntungan finansial (Ahmadi dkk., 2020).

Untuk memanfaatkan energi panas bumi, diperlukan pembawa perpindahan panas untuk memindahkan energi panas ini dari lapisan yang lebih dalam ke permukaan tanah. Secara umum, proses ini dilakukan dalam dua tahap, dan melibatkan dua mekanisme perpindahan panas. Panas ditransfer melalui perpindahan panas konduksi antara batuan panas, dan kemudian melalui perpindahan panas konvektif, air panas dialirkan ke permukaan (Ghazvini dkk., 2019).

2.2 Limbah Kalor PLTP

Untuk memanfaatkan energi panas bumi, diperlukan pembawa perpindahan panas untuk memindahkan energi panas ini dari lapisan yang lebih dalam ke permukaan tanah. Secara umum, proses ini dilakukan dalam dua tahap, dan melibatkan dua mekanisme perpindahan panas. Panas ditransfer melalui perpindahan panas konduksi antara batuan panas, dan kemudian melalui

perpindahan panas konvektif, air panas dialirkan ke permukaan.(Ghazvini dkk, 2019)

2.2.1 Limbah Cair PLTP

Limbah cair merupakan air hasil kondensasi dari sistem PLTP dan brine yang tidak diinjeksikan kembali ke dalam reservoir, maka air hasil kondensasi dan brine tersebut menjadi limbah cair. Pada prinsipnya proses produksi *brine water* hampir mirip air terproduksi pada produksi minyak dan gas bumi. Limbah cair dari industri PLTP umumnya mengandung berbagai jenis mineral tersuspensi maupun terlarut dengan total *dissolved* solid cukup tinggi (Wahyu, dkk,2019).

2.2.2 Limbah Padat PLTP

Limbah padat yang dihasilkan dari kegiatan industri PLTP berupa lumpur *geothermal*, Lumpur *geothermal* merupakan serbuk yang berasal dari limbah padat geothermal yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP). Limbah padat *geothermal* mengandung unsur logam yang beberapa diantaranya logam berat, antara lain Si, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe, Cd, As, Sb, Au, Ag, Hg, dan Se (Nurkholis Meiyati, dkk, 2015).

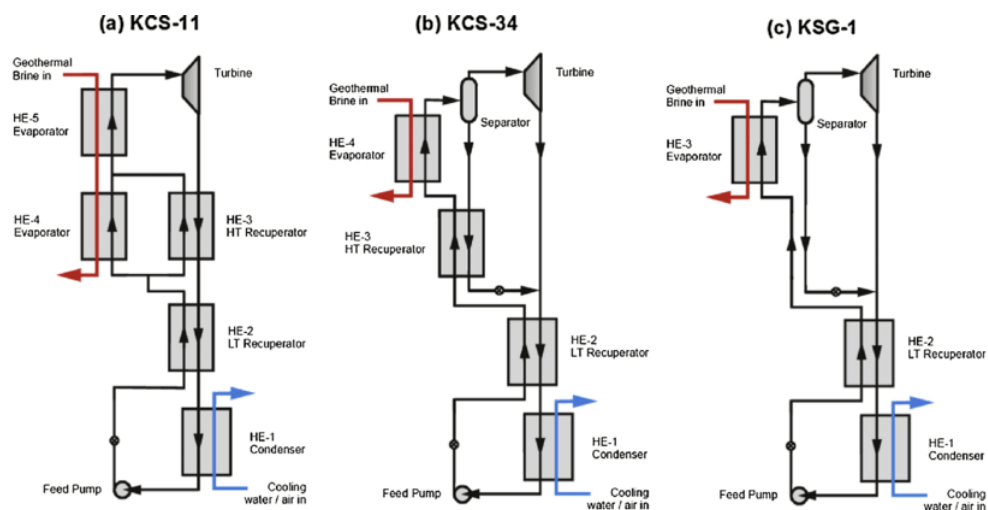
2.3 Siklus Kalina

Siklus Kalina diciptakan oleh seorang sarjana Rusia, Dr. Alexdaner Kalina pada tahun 1984. Siklus Kalina ini menggunakan campuran biner sebagai fluida kerja untuk membangkitkan daya dari sumber panas yang memiliki temperature rendah. Siklus Kalina pada dasarnya merupakan pengembangan dari siklus Rankine. Perbedaannya adalah terletak pada fluida kerjanya, yang

mana siklus Kalina menggunakan campuran dua fluida sedangkan siklus Rankine hanya menggunakan satu jenis fluida murni (Suparyanto dan Rosad, 2015).

Siklus Kalina sederhana terdiri dari evaporator, separator, turbin, kondenser, 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 alam 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 (Pramuda, dkk, 2020).

Macam-macam siklus kalina terdiri dari Siklus Kalina KCS-11, KCS-34, dan KSG-1. Perbedaan dari ketiga jenis siklus kalina tersebut berada pada penggunaan evaporator, separator, dan recuperator. ketiga jenis itu diperlihatkan pada Gambar 2.1 (Wang dan Yu, 2016).

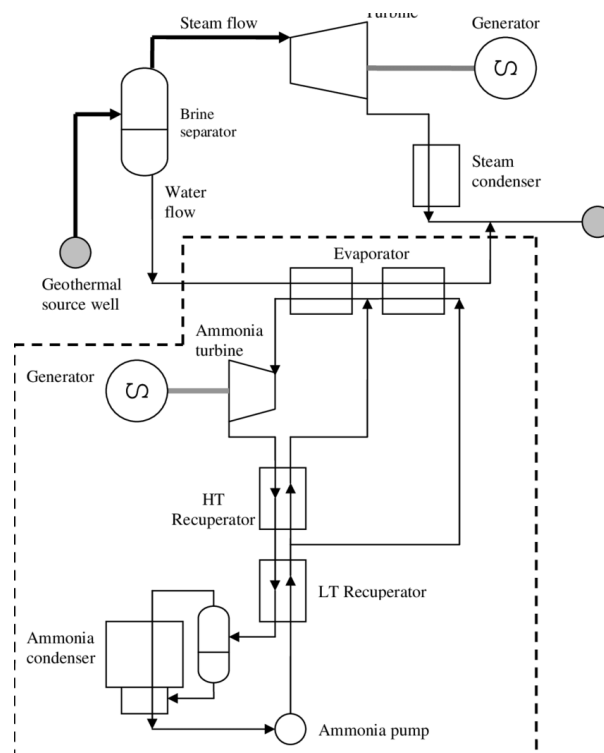


Gambar 2. 1 Macam-Macam Siklus Kalina

2.3.1 Siklus Kalina KCS-11

Sistem siklus Kalina KCS 11 merupakan salah satu siklus biner yang merupakan siklus tenaga listrik yang memanfaatkan sifat termodinamika dari ammonia dan air atau dapat pula disebut campuran amoniak-air. Siklus ini secara komersial pertama kali di dunia pada tahun 2000 di Isldania dan telah membuktikan keberhasilan dalam operasional dan mendapatkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan pembangkit listrik lainnya yang beroperasi pada temperatur rendah (Yose dan Farasi, 2015.).

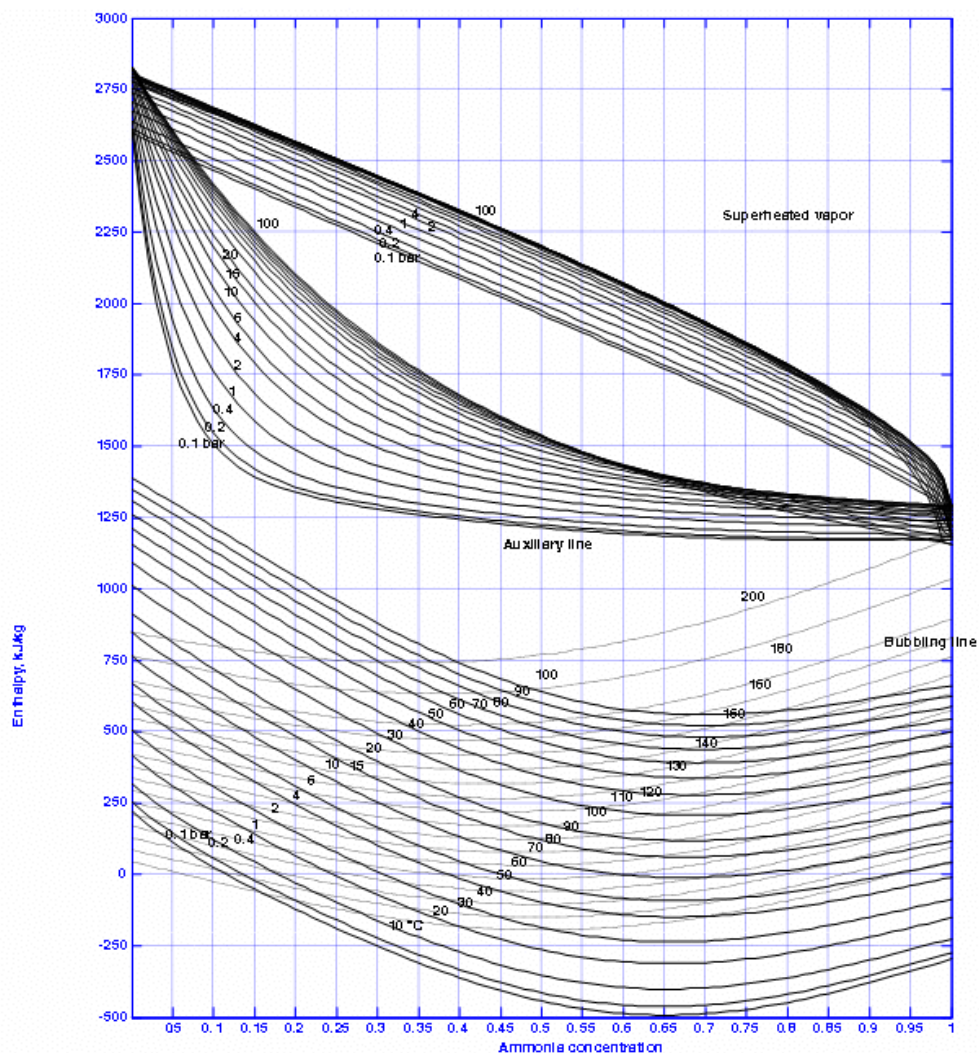
Siklus Kalina KCS-11 adalah salah satu varian dari siklus Kalina yang dipatenkan oleh Alexdaner Kalina, penemunya. Pada penyelidikan awal ditemukan bahwa KCS-11 adalah siklus yang paling cocok untuk diterapkan pada kondisi situs panas bumi di Indonesia (Nasruddin, dkk, 2015)



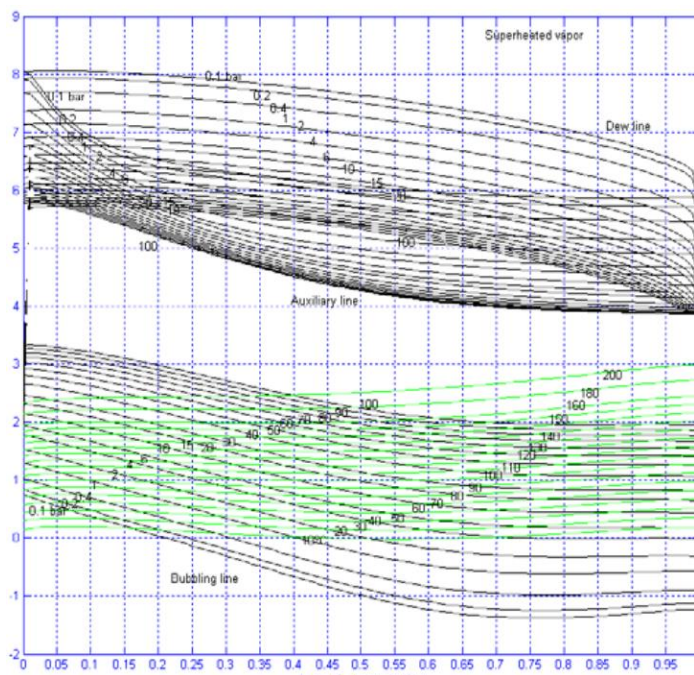
Gambar 2. 2 Gambar Siklus Kalina (Nasruddin, dkk. 2015)

2.4 Properti Fluida pada Ammonia-Water

Nilai properti pada ammonia-water diperlukan dalam perhitungan analisis energi, eksergi, dan eksergoekonomi. Mencari nilai properti fluida *ammonia-water* dapat menggunakan grafik entalpi, entropi, temperatur terhadap konsentrasi dari ammonia. Adapun grafik yang digunakan didapat berdasarkan pada literatur jurnal yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 (Ganesh dan Srinivas, 2017):



Gambar 4. 1 Grafik Enthalpy-Ammonia Concentration



Gambar 2. 3 Diagram Entropi-Konsentrasi Ammonia

2.5 Analisis Eksergi

Sebuah sistem menyediakan kerja maksimum yang mungkin sebagaimana proses reversibel dari keadaan mula khusus ke keadaan dari lingkungannya. Hal ini menggambarkan potensial kerja yang berguna dari sebuah keadaan sistem dan disebut dengan Eksergi. Eksergi menggambarkan batas atas sejumlah usaha dari sebuah alat yang bisa dihasilkan tanpa melanggar hukum termodinamika. Maka dari itu selalu ada perbedaan, kecil maupun besar, diantara eksergi maupun usaha aktual yang dihasilkan. Eksergi sebuah sistem pada sebuah keadaan bergantung pada kondisi lingkungan sebagaimana ciri-ciri dari sistem. Sehingga ciri-ciri dari eksergi adalah kombinasi dari sistem dan lingkungan, bukan hanya terbatas pada sistem saja (Cengel dan Boles, 2006).

Metode analisis eksergi merupakan metode analisis sistem termal yang mengkombinasikan antara hukum pertama dan kedua termodinamika. Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan gambaran yang sesungguhnya tentang

besarnya kerugian dari suatu sistem, penyebabnya dan lokasinya, sehingga dapat melakukan peningkatan sistem secara keseluruhan ataupun hanya pada komponen-komponennya (Santoso dan Yusuf, 2012).

Analisis eksergi menjadi solusi atas kekurangan dari perhitungan analisis hukum konservasi energi. Satu hal yang dipertimbangkan dalam analisis eksergi namun tidak pada analisis energi yaitu mengaitkan tentang kondisi lingkungan di saat perhitungannya dilakukan. Analisis eksergi menyatakan bahwa, meskipun energi sejatinya tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat kualitasnya dapat menurun, yang pada akhirnya akan mencapai keadaan yang setimbang dengan kondisi lingkungan sekitarnya dan tidak digunakan lebih lanjut untuk melakukan sebuah kerja (Ahmadi dan Toghraie, 2016).

Analisis eksergi dapat menunjukkan lokasi daripada degradasi energi atau eksergi destruksi dalam suatu proses serta besaran nilainya. Eksergi destruksi akan sama dengan entropi yang dibangkitkan. Nilai eksergi akan selalu berkurang dalam setiap irreversible proses. Pada akhirnya, eksergi destruksi atau entropi yang dibangkitkan ini lah yang akan besar pengaruhnya kepada efisiensi sistem atau proses yang kurang ideal (Regulagadda, dkk, 2010).

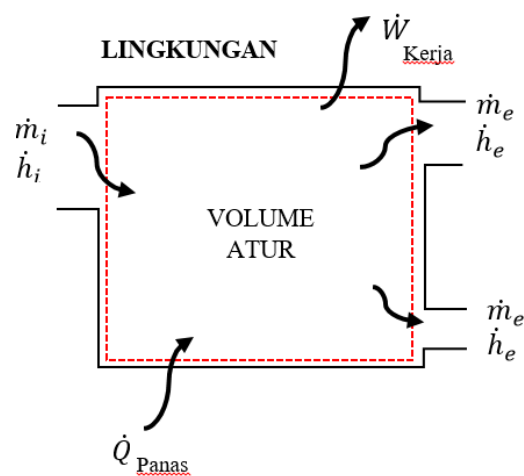
Pada prosesnya, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan untuk perhitungan menggunakan metode analisis eksergi.

2.5.1 Persamaan Keseimbangan Pada Volume Atur

Dalam menganalisis eksergi suatu siklus atau komponen, diperlukan adanya pertimbangan volume atur. Volume atur atau sistem termodinamika terbuka merupakan sistem termodinamika dimana selama berlangsungnya perpindahan energi dalam bentuk kerja dan panas, terdapat juga adanya perpindahan massa aliran fluida yang melewati batas sistem (Nise, 2011).

Sistem pada termodinamika merupakan segala sesuatu yang menjadi objek penelitian dan diamati sifat termodinamikanya. Ada berbagai macam jenis sistem, diantaranya adalah sistem tertutup, sistem terisolasi dan sistem terbuka. Sistem tertutup merupakan sistem termodinamika yang hanya memungkinkan suatu sistem untuk bertukar energi dengan lingkungannya, dimana panas dan bentuk

energi lainnya dapat masuk dan keluar sistem tetapi materi atau benda tidak dapat masuk dan keluar dari sistem. Sistem terisolasi merupakan sistem termodinamika dimana energi dan materi tidak dapat masuk maupun keluar daripada sistem, yang berarti materi dan energi panas dalam sistem akan tetap sama tanpa ada pertukaran dengan lingkungannya. Dalam menganalisis eksergi suatu siklus atau komponen, diperlukan adanya pertimbangan volume atur atau sistem terbuka.



Gambar 2. 4 Analisis Eksergi Sistem Terbuka (Cengel dan Boles, 2006)

Selain dari kontrol volume, asumsi kondisi tunak juga perlu dipertimbangkan dalam analisis. persamaan laju kesetimbangan yang digunakan adalah kesetimbangan massa, energi, entropi dan eksergi. Persamaan umum dinyatakan sebagai berikut :

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (2.1)$$

$$\sum \dot{E}_i + \dot{Q} = \sum \dot{E}_e + \dot{W} \quad (2.2)$$

$$\sum \dot{E}x_i + \dot{E}x_Q = \sum \dot{E}x_e + \dot{W} + \dot{E}x_D \quad (2.3)$$

Dengan mengabaikan energi kinetik dan potensial dalam persamaan energi karena berada dalam kondisi tunak, maka persamaan energi 2.2 menjadi:

$$\sum \dot{m}_i h_i + \dot{Q} = \sum \dot{m}_e h_e + \dot{W} \quad (2.4)$$

Untuk persamaan eksergi, perpindahan eksergi dari yang masuk dan keluar pada sistem kontrol volume terbuka setiap komponen berupa dalam bentuk massa, kerja, dan kalor.

Dengan besaran eksergi yang masuk dan keluar adalah

$$\sum \dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_0}{T_i}\right) \dot{Q}_i \quad (2.5)$$

$$\sum \dot{E}x = \dot{m} (ex) = \dot{m}(ex_{ph} + ex_{ch}) \quad (2.6)$$

$$ex_{ph} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (2.7)$$

$$\dot{E}x_{Work} = \dot{W}_{useful} \quad (2.8)$$

$$\dot{E}x_D = T_0 \dot{S}_{gen} \quad (2.9)$$

Merujuk pada persamaan 2.9, besarnya nilai eksergi destruksi atau irreversibilitas menggambarkan pengahancuran nilai potensi maksimum yang bisa dimanfaatkan menjadi kerja. Irreversibilitas yang dapat terjadi karena adanya berbagai faktor, diantaranya adalah gesekan, reaksi pembakaran atau kimia dan perpindahan panas dengan perbedaan suhu yang terbatas akan selalu membangkitkan entropi. Semakin besar nilai pembangkitan entropi yang dihasilkan sistem maka eksergi yang dihancurkan juga akan semakin besar (Moran dkk., 2014).

Nilai Eksergi bergantung pada dua komponen yang sangat penting dalam analisisnya, yaitu eksergi fisik dan eksergi kimia. Eksergi fisik merupakan eksergi yang berhubungan dengan perubahan tekanan dan temperatur dalam aliran, dimana ini ditunjukkan pada persamaan 2.7. Eksergi kimia merupakan eksergi yang berhubungan dengan perubahan senyawa kimia. Eksergi ini sangat erat kaitannya dengan jenis bahan bakar yang digunakan dalam proses serta kondisi lingkungan sekitarnya. Untuk mencari besarnya nilai eksergi bahan bakar yang digunakan adalah persamaan rasio antara eksergi kimia bahan bakar dengan nilai kalor bersih dari bahan bakar yang digunakan. Persamaan nya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{\dot{e}x_f}{LHV} \quad (2.10)$$

$$\dot{E}x_f = \dot{m}\varphi(LHV) \quad (2.11)$$

Untuk mendapatkan nilai φ pada kasus bahan bakar padat seperti batubara, maka diperlukan nilai kandungan fraksi masa dari unsur karbon (C), hidrogen

(H), Oksigen (O) , Nitrogen (N) sulfur (S), serta kelembaban (w) yang terdapat dalam bahan bakar padat, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varphi_{dry} = 1.0437 + 0.1882 \frac{h}{c} + 0.0610 \frac{o}{c} + 0,0404 \frac{n}{c} \quad (2.12)$$

$$\dot{E}x_f = [LHV + 2442w]\varphi_{dry} + 9417s \quad (2.13)$$

Merujuk pada persamaan 2.11 tentang nilai laju eksergi yang bisa di dapatkan dari bahan bakar adalah bergantung pada seberapa besar nilai pembakaran atau *heating value*, yang merupakan jumlah panas atau jumlah energi yang dikeluarkan untuk setiap satu satuan massa bahan bakar. Semakin besar nilai kalori pembakarannya, maka eksergi yang didapatkan dari bahan bakar tersebut juga akan semakin besar (Kotas, 1995).

2.5.2 Efisiensi Eksergi

Efisiensi suatu sistem akan memberikan gambaran tentang seberapa baik sistem tersebut dalam menghasilkan kerja dari sumber yang tersedia. Untuk efisiensi eksergi sendiri, dinyatakan sebagai rasio perbandingan antara total laju eksergi yang keluar dibagi dengan total laju eksergi yang masuk.

Efisiensi eksergetik (efisiensi hukum kedua, efektifitas, atau efisiensi rasional) memberikan ukuran sebenarnya dari kinerja sistem energi dari sudut pandang termodinamika.:

$$\psi = \frac{\sum \dot{E}x_e}{\sum \dot{E}x_i} \quad (2.14)$$

Dari kesetimbangan eksergi, efisiensi eksergi dapat juga ditulis sebagai:

$$\psi = 1 - \frac{\dot{E}x_D}{\sum \dot{E}x_i} \quad (2.15)$$

Efisiensi lainnya adalah nilai perbandingan antara produk eksergi yang dihasilkan ($\dot{E}x_{product}$) dengan sumber eksergi yang dimasukkan dalam sistem ($\dot{E}x_{fuel}$). (Bejan, Tsatsaronis dan Moran, 1996)

Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\psi = \frac{\sum \dot{E}x_{product}}{\sum \dot{E}x_{fuel}} \quad (2.16)$$

2.5.3 Dead State

Dead State atau keadaan mati merupakan suatu kondisi dimana keadaan sistem yang kita tinjau memiliki nilai karakteristik termodinamika seperti temperatur dan tekanan yang sama nilainya dengan lingkungannya. Dalam kondisi yang sama dengan lingkungannya, sistem tidak memiliki kesempatan untuk membangkitkan kerja atau dalam kata lain suatu sistem akan memiliki nilai eksergi nol pada kondisi *dead state*. Selain itu, sistem memiliki kecepatan dan elevasi dengan nilai nol ketika relatif terhadap lingkungan sehingga tidak memungkinkan untuk terjadinya perubahan secara spontan antara sistem dan lingkungan (Kotas, 1995).

2.6 Analisis Eksergoekonomi

Untuk mencapai desain sistem thermal yang lebih baik, selain mempertimbangkan dari sisi teknis, faktor performansi secara ekonomi harus ikut dimasukkan. Dalam kaitannya dengan eksergi yang memperhitungkan kehilangan potensi kerja atau energi maksimum yang bisa dicapai oleh suatu sistem, eksergoekonomi menjadi metode yang tepat untuk mencapai tujuan kinerja sistem yang lebih baik. Biaya berbasis eksergi ini nantinya bertujuan untuk menentukan biaya produk dan penghancuran eksergi atau irrevesibilitas selama berlangsungnya suatu proses.

Kesetimbangan biaya untuk seluruh sistem diperlukan dalam hal analisis eksergoekonomi ini, dimana laju biaya berkaitan dengan aliran keluar dari sistem sama dengan total laju biaya aliran masuk ditambah dengan laju biaya yang berkaitan dengan biaya modal investasi, operasi dan perawatan. Dalam kondisi keadaan tunak, secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$\dot{C}_{e,tot} + \dot{C}_w = \dot{C}_{i,tot} + \dot{C}_q + \dot{Z}_{tot} \quad (2.17)$$

Untuk biaya eksergi sistem yang beroperasi dalam keadaan tunak, akan ada perpindahan panas, kerja, dan aliran massa melewati batas sistem. Oleh

karena itu, persamaan eksergi dengan menghubungkannya terhadap faktor biaya adalah sebagai berikut:

$$\dot{C}_i = c_i \dot{E}x_i \quad (2.18)$$

$$\dot{C}_e = c_e \dot{E}x_e \quad (2.19)$$

$$\dot{C}_w = c_w \dot{W} \quad (2.20)$$

$$\dot{C}_q = c_q \dot{E}x_q \quad (2.21)$$

Pada persamaan tersebut, variabel c melambangkan biaya spesifik atau jumlah rata-rata biaya per komponen dari nilai eksergi dalam satuan US Dollar per kWh (USD/kWh).

Untuk mendapatkan biaya semua aliran unit eksergi, evaluasi eksergoekonomi bisa menggunakan variabel biaya unit bahan bakar (c_F), biaya unit produk (c_P), laju biaya eksergi destruksi (\dot{C}_D), dan juga faktor termoekonomi (f). Dengan persamaan matematisnya sebagai berikut :

$$c_F = \frac{\dot{C}_F}{\dot{E}x_F} \quad (2.22)$$

$$c_P = \frac{\dot{C}_P}{\dot{E}x_P} \quad (2.23)$$

$$\dot{C}_D = c_F \dot{E}x_D \quad (2.24)$$

$$\dot{C}_D = c_P \dot{E}x_D \quad (2.25)$$

$$f = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + \dot{C}_D} \quad (2.26)$$

Dalam mencari biaya yang dikeluarkan dari eksergi destruksi adalah bergantung kepada apakah aliran-aliran pada komponen yang diteliti memiliki eksergi produk yang tetap atau eksergi bahan bakarnya tetap.

2.7 Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Siklus KCS-11

Untuk dapat menganalisis besaran eksergi dan eksergoekonomi siklus kalina KCS-11, maka diperlukan adanya neraca kesetimbangan baik itu neraca massa, energi, eksergi maupun neraca biaya. Maka untuk persamaan umum dari neraca massa, energi, eksergi dan biaya ditunjukkan pada persamaan-

persamaan dibawah ini. adapunkKomponen-komponen yang akan diteliti meliputi *heat exchanger 1, turbine, high temperature recuperator, low temperature recuperator, drum tank, condensor, pump, heat exchanger 2.*

2.7.1 Heat Exchangers 1

Kesetimbangan neraca massa , energi, eksergi dan biaya pada komponen heat exchanger 1 dinyatakan pada persamaan berikut :

Neraca massa

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_{13} = \dot{m}_{12} + \dot{m}_{11} \quad (2.27)$$

Neraca energi

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_{13} h_{13} = \dot{m}_{12} h_{12} + \dot{m}_{11} h_{11} \quad (2.28)$$

Neraca eksergi

$$\dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{11} = \dot{E}x_1 + \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_D \quad (2.29)$$

Neraca biaya

$$c_{12}\dot{E}x_{12} + c_{11}\dot{E}x_{11} + \dot{Z}_{he} = c_1\dot{E}x_1 + c_{13}\dot{E}x_{13} \quad (2.30)$$

2.7.2 Turbin

Kesetimbangan neraca massa , energi, eksergi dan biaya pada komponen turbin dinyatakan pada persamaan berikut :

Neraca massa

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (2.31)$$

Neraca energi

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{W}_{tur} \quad (2.32)$$

Neraca eksergi

$$\dot{E}x_1 = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_D + \dot{W}_{tur} \quad (2.33)$$

Neraca biaya

$$c_1\dot{E}x_1 + \dot{Z}_{tur} = c_2\dot{E}x_2 + c_w\dot{W}_{tur} \quad (2.34)$$

2.7.3 Kondensator

Kesetimbangan neraca massa , energi, eksergi dan biaya pada komponen kondensator dinyatakan pada persamaan berikut :

Neraca massa

$$\dot{m}_5 + \dot{m}_6 + \dot{m}_{15} = \dot{m}_7 + \dot{m}_{16} \quad (2.35)$$

Neraca energi

$$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_{15} h_{15} = \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_{16} h_{16} \quad (2.36)$$

Neraca eksergi

$$\dot{E}x_5 + \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{15} = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{16} + \dot{E}x_D \quad (2.37)$$

Neraca biaya

$$c_5 \dot{E}x_5 + c_6 \dot{E}x_6 + c_{15} \dot{E}x_{15} + \dot{Z}_k = c_7 \dot{E}x_7 + c_{16} \dot{E}x_{16} \quad (2.38)$$

2.7.4 HT Recuperator

Kesetimbangan neraca massa , energi, eksergi dan biaya pada komponen *high temperature recuperator* dinyatakan pada persamaan berikut :

Neraca massa

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_9 = \dot{m}_3 + \dot{m}_{10} \quad (2.39)$$

Neraca energi

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_9 h_9 = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_{10} h_{10} \quad (2.40)$$

Neraca eksergi

$$\dot{E}x_2 + \dot{E}x_9 = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_D \quad (2.41)$$

Neraca biaya

$$c_2 \dot{E}x_2 + c_9 \dot{E}x_9 + \dot{Z}_{HTR} = c_3 \dot{E}x_3 + c_{10} \dot{E}x_{10} \quad (2.42)$$

2.7.5 LT Recuperator

Kesetimbangan neraca massa , energi, eksergi dan biaya pada komponen *low temperature recuperator* dinyatakan pada persamaan berikut :

Neraca massa

$$\dot{m}_3 + \dot{m}_8 = \dot{m}_9 + \dot{m}_4 \quad (2.43)$$

Neraca energi

$$\dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_8 h_8 = \dot{m}_9 h_9 + \dot{m}_4 h_4 \quad (2.44)$$

Neraca eksergi

$$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_8 = \dot{E}x_9 + \dot{E}x_4 + \dot{E}x_D \quad (2.45)$$

Neraca biaya

$$c_3 \dot{E}x_3 + c_8 \dot{E}x_8 + \dot{Z}_{LTR} = c_9 \dot{E}x_9 + c_4 \dot{E}x_4 \quad (2.46)$$

2.7.6 Pompa

Kesetimbangan neraca massa , energi, eksergi dan biaya pada komponen *drain pump* dinyatakan pada persamaan berikut :

Neraca massa

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (2.47)$$

Neraca energi

$$\dot{m}_7 h_7 + \dot{W}_{WCEP} = \dot{m}_8 h_8 \quad (2.48)$$

Neraca eksergi

$$\dot{E}x_7 + \dot{E}x_{W,CEP} = \dot{E}x_8 + \dot{E}x_D \quad (2.49)$$

Neraca biaya

$$c_7 \dot{E}x_7 + c_w \dot{E}x_{W,CEP} + \dot{Z}_{bfwp} = c_8 \dot{E}x_8 \quad (2.50)$$

2.7.7 Heat Exchanger 2

Kesetimbangan neraca massa , energi, eksergi dan biaya pada komponen *Heat Exchanger 2* dinyatakan pada persamaan berikut :

Neraca massa

$$\dot{m}_{13} + \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} + \dot{m}_{14} \quad (2.52)$$

Neraca energi

$$\dot{m}_{13} h_{13} + \dot{m}_{10} h_{10} = \dot{m}_{11} h_{11} + \dot{m}_{14} h_{14} \quad (2.53)$$

Neraca eksergi

$$\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{10} = \dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{14} + \dot{E}x_D \quad (2.54)$$

Neraca biaya

$$c_{13}\dot{E}x_{13} + c_{10}\dot{E}x_{10} + \dot{Z}_{lph5} = c_{11}\dot{E}x_{11} + c_{14}\dot{E}x_{14} \quad (2.55)$$

2.8 Sistem Pembangkit Tenaga Panas Bumi

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa energi panas bumi di Indonesia pada umumnya dikategorikan sebagai sistem dengan temperatur tinggi (>225 °C), namun beberapa juga dikategorikan ke dalam sistem dengan temperature menengah (125-225 °C). Kedua kategori ini memiliki potensi untuk dijadikan sumber energi pada pembangkitan listrik hanya saja metode yang digunakan berbeda. Untuk panas bumi dengan kategori temperatur tinggi, metode pembangkitan yang digunakan adalah dengan single/double flash sementara untuk panas bumi dengan kategori menengah digunakan metode pembangkitan siklus biner. Secara umum, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memiliki prinsip yang sama dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Hanya saja, pada PLTU uap dihasilkan di atas permukaan bumi dan berasal dari proses pada boiler, sementara pada PLTP uap berasal dari perut bumi. Jika fluida yang keluar dari reservoir panas bumi berupa uap, maka uap langsung dialirkan ke turbin untuk menghasilkan listrik (Rachman dan Arianto, 2020).

Apabila fluida yang keluar dari reservoir berupa fluida dengan dua fasa (brine dan steam) maka terlebih dahulu fluida harus dikondisikan melalui proses separasi untuk memperoleh uap kering dari fluida tersebut dan kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin (Gondal, dkk, 2017).

Dari hasil pengamatan terhadap karakteristik fluida kerja untuk berbagai pembangkit listrik di lokasi yang berbeda, fluida kerja dibagi menjadi yang didominasi oleh air dan yang didominasi oleh uap. Berdasarkan suhunya, fluida geotermal diklasifikasikan menjadi tiga jenis. Yang pertama adalah suhu tinggi

(> 220°C), yaitu uap jenuh dan didominasi oleh uap. Yang kedua adalah suhu menengah antara 100°C - 220°C, yaitu didominasi oleh air. Yang ketiga adalah suhu rendah antara 30°C - 150°C, juga didominasi oleh air (Mulyana dkk, 2016).

Berdasarkan pemanfaatannya, fluida kerja geotermal di bawah 125°C digunakan untuk berbagai kegiatan seperti pengeringan, pendinginan, evaporasi, rumah kaca, dan lainnya. Sementara itu, untuk pembangkit listrik, fluida kerja geotermal harus memiliki suhu yang lebih tinggi dari 125°C.

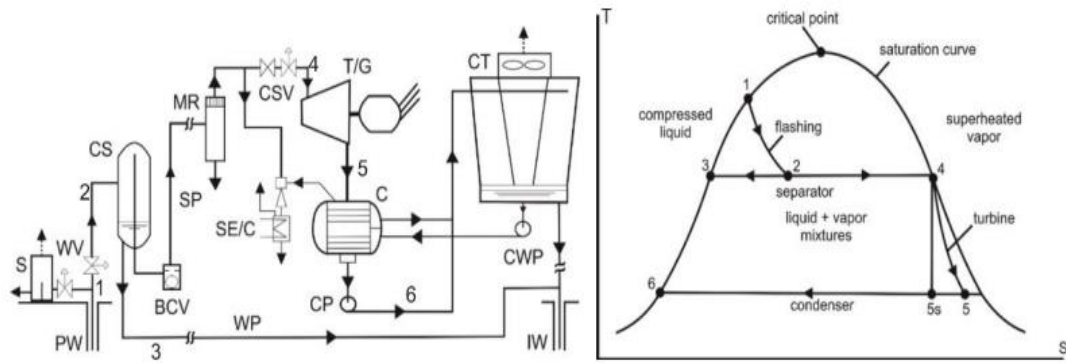
Efisiensi berkisar antara 30-35% untuk satu tahap penguapan (flash), dan 35-45% untuk dua tahap penguapan (double flash). Semakin tinggi suhu fluida geotermal, semakin banyak tahapan penguapan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi termodinamika keseluruhan pembangkit listrik. Namun, kompleksitas sistem, operasional, dan pemeliharaan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah tahap penguapan, oleh karena itu, double-flash umumnya digunakan untuk sumber daya dengan suhu tinggi (> 250 °C)

Fluida geotermal pada suhu yang relatif rendah, <150°C, tidak dapat digunakan sebagai pembangkit listrik geotermal. Namun, energi panas yang terkandung dalam fluida geotermal dapat digunakan sebagai pemanas untuk menguapkan fluida kerja lain yang titik didihnya kurang dari 150°C.

Adapun macam-macam dari Sistem Pembangkit Tenaga Panas Bumi adalah:

2.8.1 *Single Flash Geothermal Power Plant*

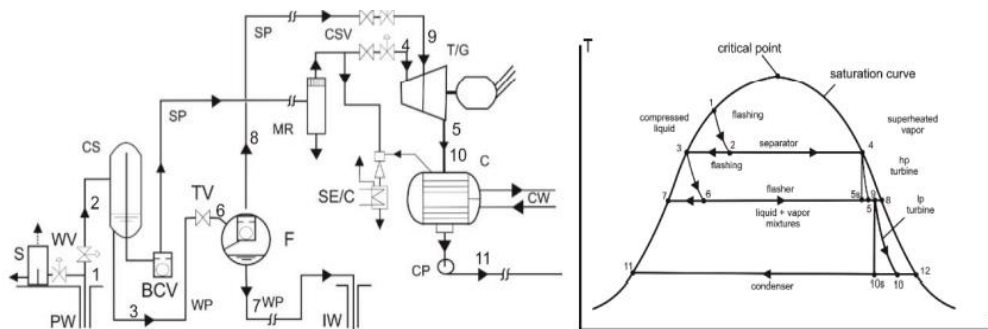
Single Flast Geothermal Power Plant biasanya dianggap sebagai alternatif yang paling ekonomis untuk sumber daya panas bumi yang tersedia dengan suhu di atas 190 °C. Sumber daya bersuhu lebih tinggi akan menghasilkan lebih banyak cairan dan uap untuk kondisi tekanan. Untuk sumber daya bersuhu tinggi yang didominasi oleh dua fase panas bumi dipindahkan ke permukaan lubang bor sebagai campuran uap dan cairan (air garam). Proses pemisahan uap dari *Brine* terjadi baik dalam pemisah horizontal di bawah pengaruh gravitasi atau dalam *Separator* (El Haj Assad, Bani-Hani dan Khalil, 2017).



Gambar 2. 5 *Single Flash System* (Mulyana dkk, 2016)

2.8.2 Double Flash Geothermal Power Plant

Pembangkit listrik *Double Flash System* lebih dipakai daripada *Single Flash System* tergantung pada kondisi sumber daya. Bahkan, ini mirip dengan pembangkit listrik *Single Flash* tetapi, *Double Flash* menghasilkan lebih banyak uap karena penggunaan dua Separator. Pembangkit listrik tenaga uap ganda mampu menghasilkan hingga 15-25% lebih besar dari pembangkit listrik tenaga uap tunggal karena kapasitas produksi listriknya berkisar antara 4,7 MW-110 MW. Dalam pembangkit listrik *Double Flash System*, cairan jenuh meninggalkan separator pertama diarahkan ke separator kedua pada tekanan yang lebih rendah, menghasilkan lebih banyak produksi uap (El Haj Assad, Bani-Hani dan Khalil, 2017).

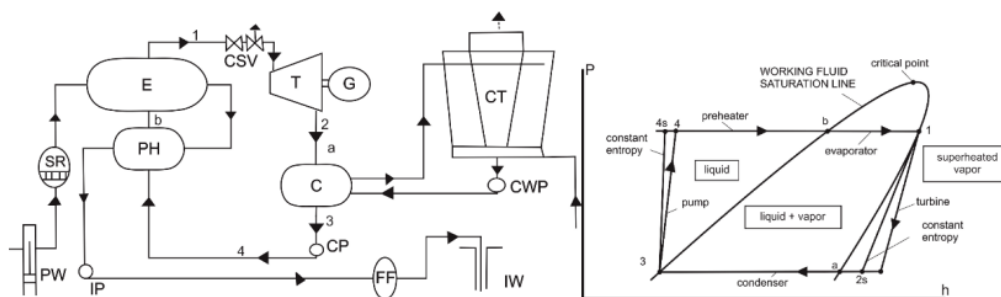


Gambar 2. 6 *Double Flash Geothermal* (Mulyana dkk, 2016)

2.8.3 Binary Power Plant

Pembangkit *Binary System*, fluida panas bumi disirkulasikan dalam alat penguap dan dikirim kembali ke sumur injeksi. Fluida sekunder dipanaskan dan diuapkan dalam alat penguap oleh pertukaran panas antara fluida panas bumi dan fluida sekunder. Uap yang dihasilkan dari fluida sekunder diarahkan ke turbin untuk produksi listrik. Uap yang meninggalkan turbin melewati regenerator di mana uap super panas digunakan untuk memanaskan fluida yang terkondensasi meninggalkan kondensor sebelum memasuki alat penguap (El Haj Assad, Bani-Hani dan Khalil, 2017)

Fluida geotermal pada suhu yang cukup rendah, kurang dari 150°C , tidak dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik geotermal. Meskipun demikian, panas yang terkandung dalam fluida geotermal pada suhu tersebut dapat digunakan sebagai sumber panas untuk menguapkan fluida kerja lain seperti siklus kalina atau fluida organik lainnya yang memiliki titik didih di bawah 150°C .



Gambar 2. 7 Binary System (Mulyana dkk., 2016)

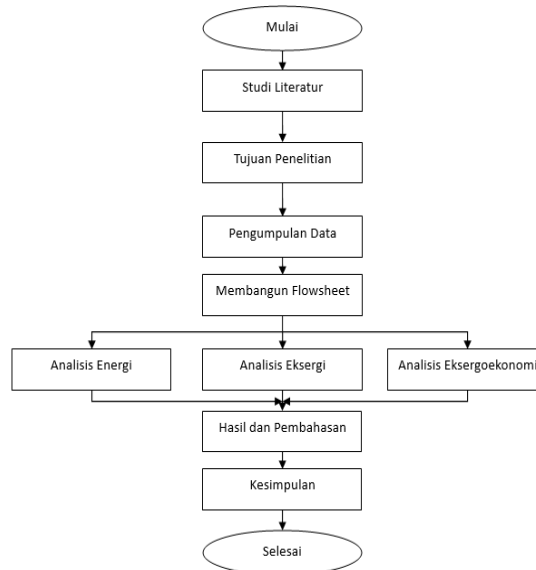
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan-Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan Langkah-langkah yang dilakukan secara terstruktur serta runut dalam melakukan suatu penelitian. Penelitian ini bersifat penelitian kuantitatif, metode penelitian menggunakan angka dan statistik dalam pengumpulan serta analisis data yang dapat diukur, yang mana terdapat beberapa tahapan yang akan dilakukan untuk mendapatkan informasi beserta data-data yang diperlukan.

Tahapan-tahapan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah:



Gambar 3. 1 Tahapan-tahapan Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur atau studi pustaka merupakan landasan teori yang didapat dari buku-buku yang berhubungan dengan proses perhitungan. Serta langkah-langkah penyelesaian masalah dengan menggunakan pendekatan simulasi, dan juga penelitian sebelumnya tentang proses pemuatan dengan menggunakan pendekatan simulasi.

3.3 Pengumpulan Data

Untuk pengambilan data dilakukan pada Siklus Kalina KCS-11. Adapun Data-data yang diperlukan untuk kegunaan penelitian adalah sebagai berikut:

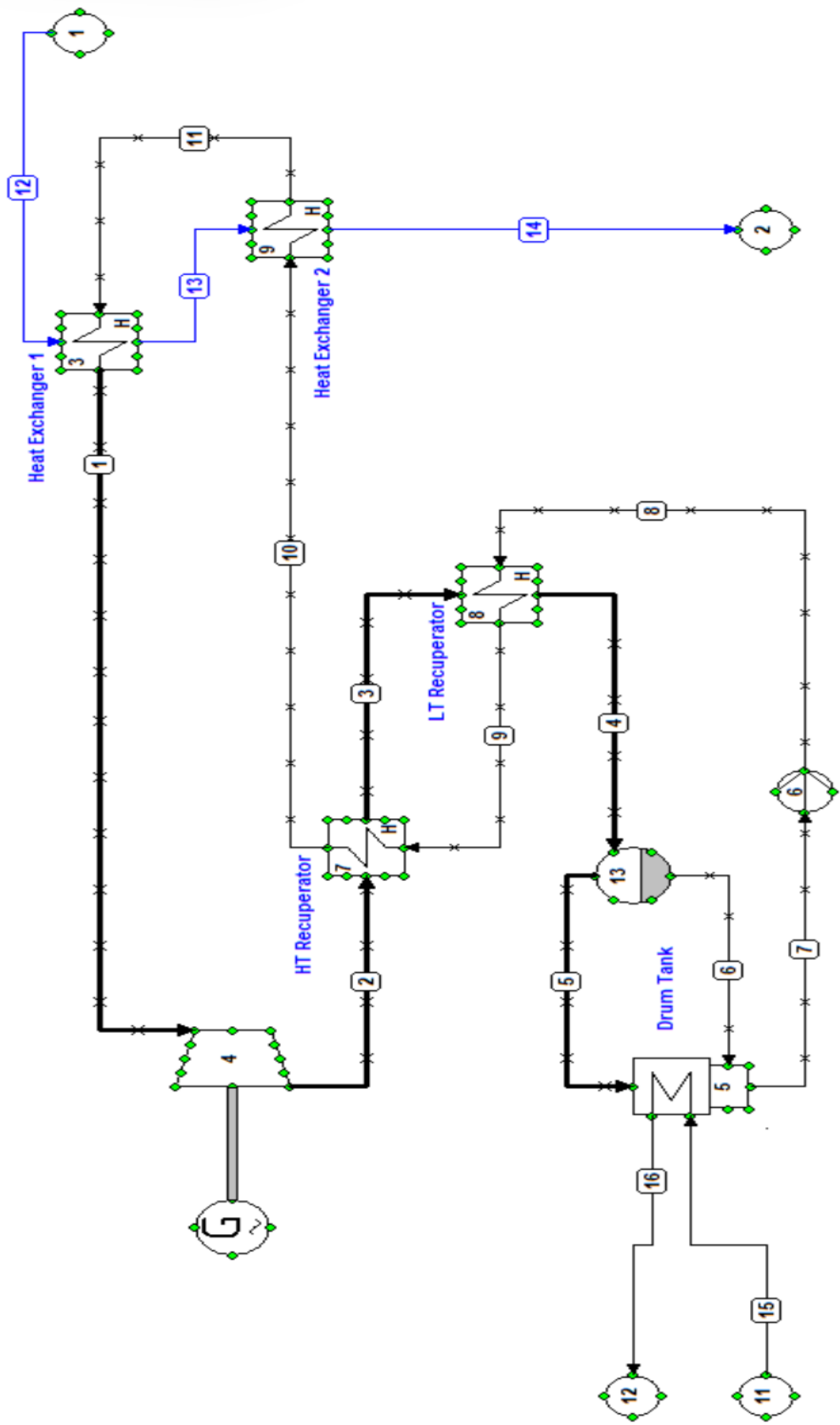
1. Data teknis operasi PLTP Lumut Balai yang meliputi laju aliran massa, temperatur, tekanan.
2. Data properti fluida dari Ammonia-Water yang meliputi entalpi, entropi, temperature dan konsentrasi dari property fluida.

3.4 Pembuatan Flowsheet

Dalam pembuatan model dari Siklus Kalina KCS-11 ini menggunakan perangkat lunak Cycle Tempo 5.0 yang berasal dari TU Delft. Pemodelan sistem Siklus Kalina KCS 11 ini disesuaikan dengan skema tipikal pada sistem Kalina KCS 11, serta menyesuaikan dengan hasil studi berdasarkan literatur yang sudah dipelajari. Adanya penambahan drain tank pada sisi masuk kondenser bertujuan untuk membantu proses kondensasi dengan adanya absorpsi ammonia.

Skema sistem pada studi kali ini dibuat menggunakan aplikasi *Cycle Tempo 5.0* yang dapat dilihat pada gambar 4.1 :

SYSTEM KALINA KCS-11



Gambar 3. 2 Flowsheet Siklus Kalina KCS 11

3.5 Analisis dan Pengolahan Data

Data yang telah diambil kemudian dihitung dan diolah menggunakan bantuan software *Microsoft excel* untuk melakukan tahap analisis performansi sistem pembangkit listrik. Dalam pelaksanaan analisis nya, dilakukan beberapa asumsi umum yang digunakan, yaitu sebagai berikut :

1. Setiap komponen/subsistem diasumsikan pada *steady state*.
2. Tidak ada *pressure drop*
3. Eksergi kinetik, eksergi potensial, dan eksergi kimia aliran diabaikan.
4. Tekanan lingkungan diasumsikan sama dengan tekanan atmosfer standar.

Sedangkan untuk tahapan-tahapan perhitungan dengan menggunakan satuan internasional (SI) dalam analisis eksergi dan eksergoekonomi adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan laju aliran massa
2. Melakukan perhitungan laju aliran energi
3. Melakukan perhitungan laju aliran eksergi
4. Melakukan perhitungan besarnya laju destruksi eksergi
5. Melakukan perhitungan efisiensi eksergetik
6. Melakukan perhitungan besarnya laju biaya destruksi eksergi
7. Melakukan perhitungan faktor f masing-masing komponen instalasi pembangkit.

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Siklus Kalina KCS-11

Pada studi ini pemanfaatan energi dari *brine water* yang keluar dari *brine separator* PLTP Lumut Balai dengan *mass flow* 545 kg/s, dan temperatur 157°C. Pemanfaatan *brine water* dari sistem PLTP digunakan untuk menghasilkan daya menggunakan sistem siklus kalina KCS-11 dikarenakan *range* temperatur 121°C-204°C.

Pemanfaatan siklus kalina bertujuan untuk meningkatkan efisiensi total PLTP dengan cara membangkitkan sejumlah tenaga dari *brine water* sebelum diinjeksikan kembali ke dalam bumi.

4.2 Parameter Desain Siklus Kalina KCS-11

Berikut merupakan data desain didapatkan dari pengukuran grafik T-h,s konsentrasi ammonia yang didapat dari jurnal properti fluida ammonia-water. Data ini merupakan data yang digunakan sebagai bahan untuk melakukan penilaian terhadap destruksi eksergi yang terjadi pada setiap komponen siklus kalina KCS-11.

Dari hasil pengukuran grafik yang terlampir pada lampiran 1 dan 2 pada proses perhitungan data desain, didapatkan nilai entalpi dan entropi di setiap titik nya, dan laju aliran massa pada beberapa titik. Untuk mencari nilai dari laju aliran massa di titik lainnya dapat menggunakan persamaan kesetimbangan laju aliran massa dan energi sebagai berikut, dimana laju aliran massa yang masuk ke dalam komponen sama dengan laju aliran massa yang keluar daripada komponen.

4.2.1 Asumsi pada Desain Siklus Kalina KCS-11

Analisis energi diterapkan pada asumsi masing-masing komponen kerja untuk melengkapi nilai laju aliran massa yang belum diketahui.

Nilai laju aliran massa di titik 1 dan 11 dapat dicari dengan menganalisis komponen HE 1 menggunakan neraca energi pada Persamaan berikut ini:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_{13} h_{13} = \dot{m}_{12} h_{12} + \dot{m}_{11} h_{11}$$

$$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{13} = 545 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{11}$$

nilai entalpi

$$h_1 = 1702,76 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{11} = 1302 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{12} = 662,81 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{13} = 419,75 \text{ kJ/kg}$$

maka, nilai laju aliran massa di titik 25 dan 2 yaitu

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{m}_{12}(h_{12} - h_{13})}{(h_1 - h_{11})}$$

$$\dot{m}_1 = \frac{545 (662,81 - 419,75)}{(1702,76 - 1302)}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{23,4,7,8,9,10,11} = 467,1 \text{ kg/s}$$

Untuk nilai pada separator menggunakan asumsi 75% uap dan 15% cairan Ammonia-Water, maka didapatkan nilai berikut ini:

$$\dot{m}_5 = 0,75 \times \dot{m}_1 = 0,75 \times 467,1 = 350,35 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_1 - \dot{m}_5 = 116,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Maka nilai laju aliran massa dalam Siklus Kalina KCS-11 memiliki nilai 467,1 kg/s serta pada separator 350,35 kg/s dan 116,75 kg/s. Seluruh nilai laju aliran massa dalam sistem akan selalu sama dengan asumsi keadaan dalam proses isentropik.

Untuk nilai laju aliran massa pada kondensor didapatkan melalui persamaan berikut ini :

$$\dot{m}_{15} = \frac{\dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_5 h_5}{(h_{15} - h_{16})}$$

$$\dot{m}_{15} = \frac{350,35 * 1253,80 - 467,1 * (-15)}{(98,61 - 136,14)}$$

$$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{23,4,7,8,9,10,11} = 11891,16 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Untuk Tekanan dan Temperatur didapatkan dengan menggunakan tekanan dan temperatur dibawah ini:

$$P_1 = 35 \text{ bar}$$

$$T_1 = 152 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_2 = 9 \text{ bar}$$

$$T_2 = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

Untuk perubahan temperatur pada *heat exchanger* dan *Recuperator* menggunakan $\Delta T_{\text{min}} = 5^\circ\text{C}$. Nilai Hasil perhitungan yang dilakukan dapat di lihat pada Tabel 4.2

$$T_3 = 68^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 63^\circ\text{C}$$

$$T_9 = 60^\circ\text{C}$$

$$T_{10} = 90^\circ\text{C}$$

$$T_{11} = 95^\circ\text{C}$$

Pada nilai $T_{3,4,9,10,11}$ terjadi perubahan temperatur dalam recuperator dan heat exchanger yaitu $\Delta T_{\text{min}} = +/- 5^\circ\text{C}$

Untuk Penentuan konsenstrasi *Ammonia-Water* dilakukan dengan asumsi mengikuti literatur yang telah di lihat yaitu 85% kadar ammonia pada tiap titik terkecuali pada separator yaitu 65% pada fasa cair dan 99% pada fasa uap. Hal itu terjadi dikarenakan perbedaan fasa pada ammonia yang membuat kadar ammonia itu berubah.

Hasil analisis energi yang telah dilakukan menghasilkan nilai laju aliran massa, entalpi, dan entropi dair setiap titik pada siklus pembangkit, yang ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 1 Parameter Desain Sistem Siklus Kalina KCS-11

Titik	\dot{m} (kg/s)	T (°C)	P (Bar)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
1	467,1	152	35	1702,75	5,18
2	467,1	110	10	1694,14	5,2
3	467,1	68	9,5	1306,95	4,31
4	467,1	63	9	1291,75	3,77
5	350,35	50	9	1253,80	3,6
6	116,75	53	9	77,015	0,515
7	467,1	20	9,2	-15	0,264
8	467,1	20	35	-13	0,274
9	467,1	60	35	182,32	0,58
10	467,1	90	35	392,9	0,995
11	467,1	95	35	1302	3,923
12	545	157	5,5	662,81	1,9122
13	545	100	5,5	419,75	1,3063
14	545	80	5,5	335,64	1,0748
15	11891,16	23	2	98,61	0,3386
16	11891,16	32	1,5	136,14	0,4636

4.3 Analisis Eksergi pada Setiap State

Analisis eksergi dilakukan untuk dapat menilai seberapa besar potensi kinerja maksimum yang bisa dihasilkan dari setiap aliran. Dengan mengasumsikan temperatur dan tekanan lingkungan masing-masing sebesar 30°C dan 1 atm, didapatkan hasil sebagai berikut.

4.3.1 Laju Aliran Eksergi

laju aliran eksergi pada setiap titik dapat dicari dengan nilai entalpi dan entropi lingkungan pada temperatur 30°C dan tekanan 1 atm yaitu $h_0 = 125,9$ kJ/kg dan $s_0 = 0,4368$ kJ/kg·K sebagai berikut :

Titik 1

$$\dot{E}x_1 = \dot{m}_1[(h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0)]$$

$$\dot{E}x_1 = 467,1[(1702,76 - 125,9) - 303,15(5,18 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_1 = 64907,7115 \text{ kW}$$

Titik 2

$$\dot{E}x_2 = \dot{m}_2[(h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0)]$$

$$\dot{E}x_2 = 467,1[(1694,14 - 125,9) - 303,15(5,2 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_2 = 58049,2822 \text{ kW}$$

Titik 3

$$\dot{E}x_3 = \dot{m}_3[(h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0)]$$

$$\dot{E}x_3 = 467,1[(1306,95 - 125,9) - 303,15(4,31 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_3 = 3218,048 \text{ kW}$$

Titik 4

$$\dot{E}x_4 = \dot{m}_4[(h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0)]$$

$$\dot{E}x_4 = 467,1[(11891,16 - 125,9) - 303,15(3,77 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_4 = 54175,54521 \text{ kW}$$

Titik 5

$$\dot{E}x_5 = \dot{m}_5[(h_5 - h_0) - T_0(s_5 - s_0)]$$

$$\dot{E}x_5 = 32,78[(1253,8 - 125,9) - 303,15(3,6 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_5 = 59200,7135 \text{ kW}$$

Titik 6

$$\dot{E}x_6 = \dot{m}_6[(h_6 - h_0) - T_0(s_6 - s_0)]$$

$$\dot{E}x_6 = 10,93[(77,015 - 125,9) - 303,15(0,5455 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_6 = 8475,0377 \text{ kW}$$

Titik 7

$$\dot{E}x_7 = \dot{m}_7[(h_0 - h_7) - T_0(s_0 - s_7)]$$

$$\dot{E}x_7 = 467,1[(125,9 - (-15)) - 303,15(0,4368 - 0,264)]$$

$$\dot{E}x_7 = 41345,6741 \text{ kW}$$

Titik 8

$$\dot{E}x_8 = \dot{m}_8[(h_0 - h_8) - T_0(s_0 - s_8)]$$

$$\dot{E}x_8 = 467,1[(125,9 - (-13)) - 303,15(0,4368 - 0,274)]$$

$$\dot{E}x_8 = 41827,4878 \text{ kW}$$

Titik 9

$$\dot{E}x_9 = \dot{m}_9[(h_9 - h_0) - T_0(s_9 - s_0)]$$

$$\dot{E}x_9 = 467,1[(182,32 - 125,9) - 303,15(0,58 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_9 = 6076,4665 \text{ kW}$$

Titik 10

$$\dot{E}x_{10} = \dot{m}_{10}[(h_{10} - h_0) - T_0(s_{10} - s_0)]$$

$$\dot{E}x_{10} = 467,1[(392,9 - 125,9) - 303,15(0,995 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_{10} = 45673,8180 \text{ kW}$$

Titik 11

$$\dot{E}x_{11} = \dot{m}_{11}[(h_{11} - h_0) - T_0(s_{11} - s_0)]$$

$$\dot{E}x_{11} = 467,1[(1302 - 125,9) - 303,15(3,923 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_{11} = 55705,6313 \text{ kW}$$

Titik 12

$$\dot{E}x_{12} = \dot{m}_{12}[(h_{12} - h_0) - T_0(s_{12} - s_0)]$$

$$\dot{E}x_{12} = 545[(662,81 - 125,9) - 303,15(2,1395 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_{12} = 48855,1570 \text{ kW}$$

Titik 13

$$\dot{E}x_{13} = \dot{m}_{13}[(h_{13} - h_0) - T_0(s_{13} - s_0)]$$

$$\dot{E}x_{13} = 545[(419,75 - 125,9) - 303,15(1,3063 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_{13} = 16492,2858 \text{ kW}$$

Titik 14

$$\dot{E}x_{14} = \dot{m}_{14}[(h_{14} - h_0) - T_0(s_{14} - s_0)]$$

$$\dot{E}x_{14} = 545[(335,64 - 125,9) - 303,15(1,0748 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_{14} = 8900,0135 \text{ kW}$$

Titik 15

$$\dot{E}x_{15} = \dot{m}_{15}[(h_0 - h_{15}) - T_0(s_0 - s_{15})]$$

$$\dot{E}x_{15} = 11891,16[(125,9 - 98,61) - 303,15(0,4368 - 0,3386)]$$

$$\dot{E}x_{15} = 29482,10972 \text{ kW}$$

Titik 16

$$\dot{E}x_{16} = \dot{m}_{16}[(h_{16} - h_0) - T_0(s_{16} - s_0)]$$

$$\dot{E}x_{16} = 11891,16[(136,14 - 125,9) - 303,15(0,4636 - 0,4368)]$$

$$\dot{E}x_{16} = 25156,70027 \text{ kW}$$

Dalam hal ini, variasi *dead state* yang ditetapkan adalah pada variasi temperatur lingkungan sebesar 30°C dengan tekanan lingkungan 1 atm. Didapatkan nilai laju eksergi di setiap titik pada masing-masing temperatur lingkungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 2 Nilai Laju Eksergi

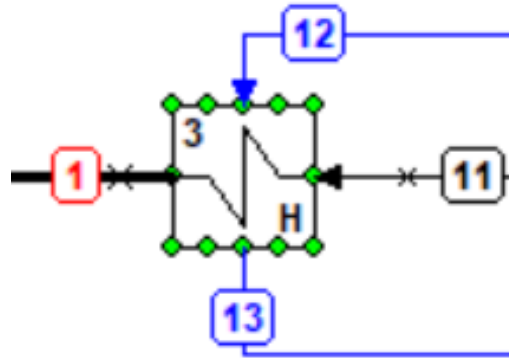
Titik	\dot{m} (kg/s)	T (°C)	P (MPa)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)	$\dot{E}x$ (kW)
1	467,10	152	35	1702,75	5,18	64907,7115
2	467,10	110	10	1694,14	5,2	58049,2822
3	467,10	68	9,5	1306,95	4,31	3218,0408
4	467,10	63	9	1291,75	3,77	54175,5121
5	350,35	50	9	1253,80	3,6	59200,7135
6	115,75	53	9	77,015	0,515	8475,0378
7	467,10	20	9,2	-15	0,264	41345,6741
8	467,10	20	35	-13	0,274	41827,4878
9	467,10	60	35	182,32	0,58	6076,4665
10	467,10	90	35	392,9	0,995	45673,8180
11	467,10	100	35	1302	3,923	55705,6313
12	545	180	10,2	662,81	1,9122	48855,1570
13	545	100	9,7	419,75	1,3063	16492,2858
14	545	80	9,2	335,64	1,0748	8900,0135
15	11891,16	23	23	98,61	0,3386	29482,109
16	11891,16	32	22,5	136,14	0,4636	25156,700

4.4 Analisis Eksergi pada Apparatus

Analisis eksergi dilakukan untuk dapat menilai seberapa besar potensi kinerja maksimum yang bisa dihasilkan dari setiap aliran. Dengan mengasumsikan temperatur dan tekanan lingkungan masing-masing sebesar 30°C dan 1 atm, didapatkan hasil sebagai berikut.

4.4.1 Heat Exchangers 1

Laju aliran destruksi eksergi dari Heat Exchangers 1 dapat dicari dengan menggunakan neraca eksergi yaitu.



Gambar 4. 2 Diagram Aliran HE 1

$$\dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{11} = \dot{E}x_1 + \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_D$$

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{11} - \dot{E}x_1 - \dot{E}x_{13}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}x_D &= 5212,7877 \text{ kW} + 48855,1570 \text{ kW} - 64907,7115 \text{ kW} \\ &\quad - 16492,2858 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\dot{E}x_D = 23160,7909 \text{ MW}$$

Adapun efisiensi eksergetik HE1 yaitu

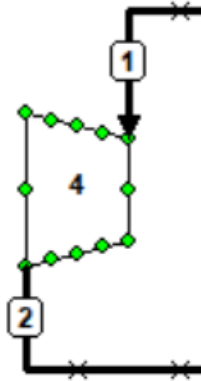
$$\psi_{HE1} = \frac{\dot{E}x_1 - \dot{E}x_{11}}{\dot{E}x_{12} - \dot{E}x_{13}}$$

$$\psi_{HE1} = \frac{64907,7115 \text{ kW} - 5212,7877 \text{ kW}}{48855,1570 \text{ kW} - 16492,2858 \text{ kW}}$$

$$\psi_{HE1} = 28,43 \%$$

4.4.2 Turbin

Laju destruksi eksergi dapat dicari dengan menggunakan neraca eksergi pada Persamaan 2.33, yaitu:



Gambar 4. 3 Diagram Aliran Turbin

$$\dot{E}x_1 = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_D + \dot{E}x_W$$

Output daya internal turbin tekanan tinggi dihitung menggunakan neraca energi.

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{W}_{turbin}$$

$$\dot{W}_{turbin} = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2$$

$$\dot{W}_{turbin} = (467,1 \times 1702,76) - (467,1 \times 164,14)$$

$$\dot{W}_{i,turb} = 4026,402 \text{ kW}$$

Output daya poros turbin, $\dot{W}_{s,turb}$ dihitung sebagai :

$$\dot{W}_{s,turb} = \eta_m \dot{W}_{i,turb} = (0,99)(4026,402) = 4026,402 \text{ kW}$$

Dimana nilai efisiensi mekanis turbin, η_m bervariasi dalam rentang 98,0 % - 99,5% (Shlyakin, P., 1988)

Output daya generator, $\dot{W}_{g,hpt}$ sebagai berikut:

$$\dot{W}_{g,turb} = \eta_{tr} \eta_g \dot{W}_{s,turb}$$

$$\dot{W}_{g,turb} = (1,00)(0,97)(4026,402 \text{ kW}) = 3905,6099 \text{ kW}$$

Dimana untuk sistem transmisi dengan kopling flens, kerugian transmisi dapat diabaikan ($\eta_{tr} = 100 \%$). Sedangkan nilai efisiensi generator bervariasi dalam rentang 95,7 % - 98,7 % (Moon, H dan Zarrouk, J.S., 2012).

Berdasarkan Persamaan yang menyatakan $\dot{E}x_W = \dot{W}_{usefull}$, maka didapatkan :

$$\dot{W}_{g,tur} = \dot{E}x_{W,tur} = 3905,6099 \text{ MW}$$

dengan begitu, dapat dicari nilai destruksi eksergi sebesar

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_1 - \dot{E}x_2 - \dot{E}x_{W,tur}$$

$$\dot{E}x_D = 64907,7115 \text{ kW} - 58049,28229 \text{ kW} - 3905,6099 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_D = 2952,8193 \text{ kW}$$

Adapun efisiensi eksenergetik yang dapat diperoleh adalah :

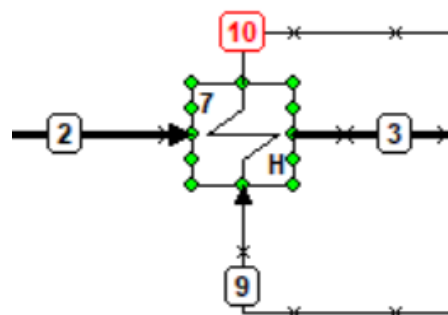
$$\psi_{Turb} = \frac{\dot{E}x_{W,tur}}{(\dot{E}x_1 - \dot{E}x_2 - \dot{E}x_3)}$$

$$\psi_{Turb} = \frac{3905,6099 \text{ kW}}{64907,7115 \text{ kW} - 58049,28229 \text{ kW}}$$

$$\psi_{HPT} = 56,94 \%$$

4.4.3 HT Recuperator

Laju aliran destruksi eksergi dari HT Recuperator dapat dicari dengan menggunakan neraca eksergi yaitu :



Gambar 4. 4 Diagram Aliran HT Recuperator

$$\dot{E}x_2 + \dot{E}x_9 = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_D$$

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_9 - \dot{E}x_{10} - \dot{E}x_3$$

$$\begin{aligned} \dot{E}x_D &= 58049,28229 \text{ kW} + 6076,4665 \text{ kW} - 45673,8180 \text{ kW} \\ &\quad - 3218,048 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\dot{E}x_D = 15233,8826 \text{ kW}$$

Adapun efisiensi eksergetik LPH 7 yaitu

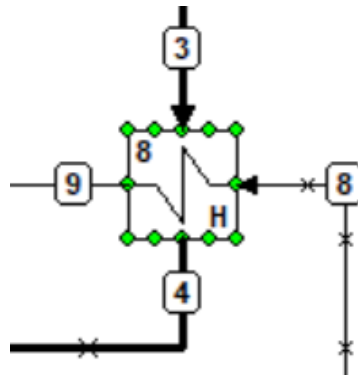
$$\psi_{HTR} = \frac{\dot{E}x_{10} - \dot{E}x_9}{\dot{E}x_2 - \dot{E}x_3}$$

$$\psi_{HTR} = \frac{45673,8180 \text{ kW} - 6076,4665 \text{ kW}}{58049,28229 \text{ kW} - 3218,048 \text{ kW}}$$

$$\psi_{HTR} = 72,2168 \%$$

4.4.4 LT Recuperator

Laju aliran destruksi eksergi dari LT Recuperator dapat dicari dengan menggunakan neraca eksergi yaitu :



Gambar 4. 5 Diagram Aliran LT Recuperator

$$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_8 = \dot{E}x_9 + \dot{E}x_4 + \dot{E}x_D$$

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_8 - \dot{E}x_9 - \dot{E}x_4$$

$$\begin{aligned} \dot{E}x_D &= 3218,048 \text{ kW} + 41827,4878 \text{ kW} - 6076,4665 \text{ kW} \\ &\quad - 54175,54521 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\dot{E}x_D = 15206,4428 \text{ kW}$$

Adapun efisiensi eksergetik LTR yaitu :

$$\psi_{LTR} = \frac{\dot{E}x_9 - \dot{E}x_8}{\dot{E}x_3 - \dot{E}x_4}$$

$$\psi_{LTR} = \frac{6076,4665 \text{ kW} - 41827,4878 \text{ kW}}{3218,048 \text{ kW} - 54175,54521 \text{ kW}}$$

$$\psi_{LPH7} = 70,17 \%$$

4.4.5 Kondensator

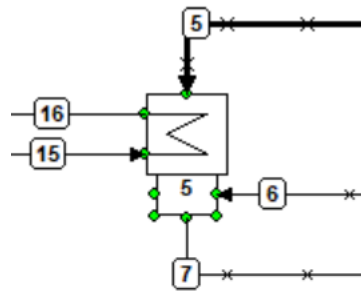
Laju destruksi eksergi dari kondensator dapat dicari dengan menggunakan neraca eksergi seperti berikut :

$$\dot{E}x_5 + \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{15} = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{16} + \dot{E}x_D$$

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_5 + \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{15} - \dot{E}x_7 - \dot{E}x_{16}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}x_D &= 59200,7135 + 8475,0377 + 3418,0043 - 41345,6741 \\ &\quad - 2916,5385 \end{aligned}$$

$$\dot{E}x_D = 30655,4866 \text{ kW}$$



Gambar 4. 6 Diagram Aliran Sistem Kondensator

adapun efisiensi eksergetik dari kondensator yaitu

$$\psi_{kondensator} = \frac{\dot{E}x_{15} - \dot{E}x_{16}}{(\dot{E}x_7 - \dot{E}x_5 - \dot{E}x_6)}$$

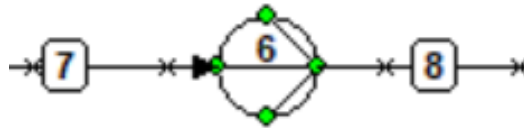
$$\psi_{kondensor} = \frac{2916,5385 \text{ kW} - 3418,0043 \text{ kW}}{41345,6741 \text{ kW} - 59200,7135 \text{ kW} + 8475,0377 \text{ kW}}$$

$$\psi_{kondensor} = 16,42 \%$$

4.4.6 Pompa

Laju destruksi eksergi dari pompa dapat dicari dengan menggunakan neraca eksergi pada Persamaan :

$$\dot{E}x_7 + \dot{E}x_{W,CEP} = \dot{E}x_8 + \dot{E}x_D$$



Gambar 4. 7 Diagram Aliran Sistem Pompa

Sebelum mencari destruksi eksergi, terlebih dahulu mencari nilai laju aliran kerja dari pompa kondensar \dot{W}_{cep} dengan menggunakan neraca energi pada Persamaan 2.48

$$\dot{m}_7 h_7 + \dot{W}_{cep} = \dot{m}_8 h_8$$

$$\dot{W}_{cep} = \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_7 h_7$$

$$\dot{W}_{cep} = (467,1 \text{ x } - 13) - (467,1 \text{ x } - 15)$$

$$\dot{W}_{cep} = 934,2 \text{ kW}$$

berdasarkan Persamaan 2.19 yang menyatakan $\dot{E}x_W = \dot{W}_{usefull}$, maka didapatkan nilai eksergi yang berkaitan dengan aliran kerja adalah

$$\dot{W}_{pmp} = \dot{E}x_{W,pmp} = 934,2 \text{ kW}$$

maka laju aliran destruksi eksergi didapatkan sebesar

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{W,pmp} - \dot{E}x_8$$

$$\dot{E}x_D = 41345,6741 \text{ kW} + 934,2 \text{ kW} - 41827,4878 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_D = 452,3863 \text{ kW}$$

Adapun efisiensi eksergetik nya didapatkan dengan persamaan berikut

$$\psi_{CEP} = \frac{\dot{E}x_8 - \dot{E}x_7}{\dot{E}x_{W,pmp}}$$

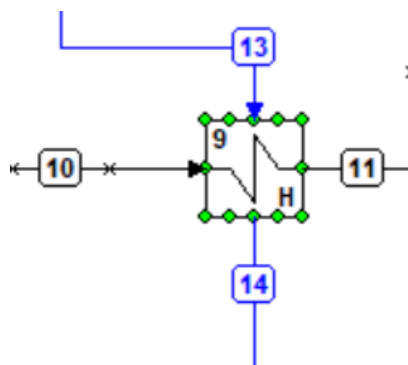
$$\psi_{CEP} = \frac{41827,4878 \text{ kW} - 41345,6741 \text{ kW}}{934,2 \text{ kW}}$$

$$\psi_{CEP} = 51,575\%$$

4.4.7 Heat Exchangers 2

Laju aliran destruksi eksergi dari Heat Exchangers 2 dapat dicari dengan menggunakan neraca eksergi yaitu.

$$\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{10} = \dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{14} + \dot{E}x_D$$



Gambar 4. 8 Diagram Aliran Sistem HE 2

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{10} - \dot{E}x_{11} - \dot{E}x_{14}$$

$$\dot{E}x_D = 16492,2858 \text{ kW} + 45673,8180 \text{ kW} - 5212,7877 \text{ kW} - 8900,0135 \text{ kW}$$

$$\dot{E}x_D = 2439,5409 \text{ kW}$$

Adapun efisiensi eksergetik HE 2 yaitu

$$\psi_{HE2} = \frac{\dot{E}x_{11} - \dot{E}x_{10}}{\dot{E}x_{13} - \dot{E}x_{14}}$$

$$\psi_{HE2} = \frac{5212,7877 \text{ kW} - 45673,8180 \text{ kW}}{16492,2858 \text{ kW} - 8900,0135 \text{ kW}}$$

$$\psi_{HE1} = 60,83 \%$$

Perhitungan ini menunjukkan besaran destruksi eksergi yang terjadi di setiap komponen kerja Siklus Kalina KCS-11. Destruksi eksergi akan mengindikasikan berapa besaran nilai kerja bermanfaat yang hilang dan hancur selama proses yang terjadi di dalam sistem kerja komponen berlangsung.

Tabel 4. 3 Nilai Destruksi Eksergi

Komponen	$\dot{E}x_D$ (kW)
Heat Exchangers 1	23160,79
Turbin	2952,81
HT Recuperator	15233,88
LT Recuperator	15206,44
Kondensor	26831,54
Pump	452,38
Heat Exchangers 2	2439,54
Drum Tank	13500,23

Pada Tabel 4.5 merepresentasikan nilai efisiensi eksergi dari setiap komponen kerja Siklus Kalina KCS-11. Pada Tabel 4.5 juga dapat dilihat komponen mana yang memiliki efisiensi paling rendah sehingga nantinya akan perlu perhatian dan perbaikan lebih terhadap komponen yang memiliki efisiensi rendah. Dengan menjaga nilai-nilai efisiensi komponen yang telah dinilai tinggi serta menindaklanjuti efisiensi komponen-komponen dengan nilai yang rendah akan berdampak kepada efisiensi siklus pembangkit secara keseluruhan.

Dalam perhitungan ini, rumus yang digunakan dalam mencari nilai efisiensi eksergi setiap komponen adalah dengan membandingkan nilai eksergi produk yang dihasilkan oleh sistem terhadap eksergi bahan bakar yang digunakan oleh sistem untuk dapat menghasilkan produk. Hasil daripada nilai efisiensi eksergi masing-masing komponen ini akan dapat memberikan penilaian terhadap performansi dari komponen tersebut.

Tabel 4. 4 Efisiensi Eksergetik

Komponen	ψ (%)
Heat Exchangers 1	28,43
Turbin	56,94
HT Recuperator	72,21
LT Recuperator	70,15
Kondensor	16,42
Pump	51,57
Heat Exchangers 2	60,82
Drum Tank	80,05

4.5 Analisis Eksergoekonomi

Analisis eksergoekonomi merupakan kombinasi dari analisa eksergi dan ekonomi yang digunakan untuk mendapatkan perhitungan desain dan pengoperasian dari sebuah sistem yang efektif dari segi biaya. Tujuan dari analisis eksergoekonomi ini adalah untuk mengetahui nilai biaya yang diakibatkan oleh destruksi eksergi serta nilai performansi dari segi biaya komponen tersebut. Dalam melaksanakan analisis eksergoekonomi dari siklus

kalina KCS-11, perlu diketahui data biaya investasi, operasional dan perawatan pada masing-masing komponen untuk melihat nilai performansi, nilai ini didapat dari literatur (Ghaebi,dkk, 2018) yang sudah dilihat.

Tabel 4. 5 Data Biaya Investasi, Operasi, dan Perawatan Komponen

Komponen	\dot{Z} (USD/h)
<i>Heat Exchanger</i>	1,313
<i>Recuperator</i>	22,12
<i>Turbine</i>	20,2
<i>Generator</i>	86,71
Kondenser	130,06
<i>Pump</i>	1,094

4.5.1 Turbin

Untuk melakukan analisis eksergoekonomi, terlebih dahulu mencari nilai biaya per unit eksergi (c) dari setiap aliran yang ada dengan bantuan hubungan-hubungan termoekonomi (Bejan, dkk., 1996).

Dalam komponen Heat Exchanger 1 diterapkan neraca biaya sebagai berikut :

$$c_1 \dot{E}x_1 + \dot{Z}_{turbine} = c_2 \dot{E}x_2 + c_w \dot{E}x_{W,turbine}$$

hubungan termoekonomi pada neraca ini adalah $c_1 = c_2 = c_3 = c_4$ Nilai c_w diambil dari harga listrik rata-rata per kWh saat ini yaitu sebesar 0,098 USD/kWh.

Dengan total biaya operasi dan perawatan Turbin yang didasarkan pada Tabel 4.6 sebesar $\dot{Z}_{turbine} = 20,2 \text{ USD/h}$ dan $\dot{W}x_{W,turbine} = 376,78 \text{ kW}$, maka dapat ditentukan :

$$c_1 = \frac{c_w \dot{W}x_{turb1} - \dot{Z}_{turb1}}{\dot{E}x_1 - \dot{E}x_2}$$

$$c_1 = \frac{\left(0,098 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 376,78 \text{ kW}\right) - 20,2 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}{64907,7115 \text{ kW} - 58049,28229 \text{ kW}}$$

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 0,0572 \text{ USD/kWh}$$

dengan menggunakan Persamaan 2.22 dapat diperoleh laju aliran harga (USD/h) dan eksergi (kW) *fuel* pada turbine :

$$c_F = \frac{\dot{C}_F}{\dot{E}x_F}$$

$$c_F = \frac{(c_1 \dot{E}x_1) - (c_2 \dot{E}x_2)}{\dot{E}x_1 - \dot{E}x_2}$$

sehingga didapatkan nilai c_F sebesar 0,0572 USD/kWh.

Nilai c_F digunakan dalam memperhitungkan biaya yang diakibatkan destruksi eksergi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{C}_d = c_F \times \dot{E}x_{d,hpt}$$

$$\dot{C}_d = 0,0572 \times 602,059$$

$$\dot{C}_d = 256,2858 \text{ USD/h}$$

faktor f dari komponen HE1 menggunakan Persamaan 2.26 sebagai berikut:

$$f_{hpt} = \frac{\dot{Z}_{turb}}{\dot{Z}_{turb1} + \dot{C}_{d,turb1}}$$

$$f_{hpt} = \frac{119,46}{119,46 + 256,2858}$$

$$f_{hpt} = 41,41 \%$$

4.5.2 Drum Tank

Dalam komponen Drum tank diterapkan neraca biaya sebagai berikut :

$$c_4 \dot{E}x_4 + \dot{Z}_{drumtnk} = c_5 \dot{E}x_5 + c_6 \dot{E}x_6$$

hubungan termoeconommi pada neraca ini adalah $c_5 = c_6$.

Dengan total biaya operasi dan perawatan Drum Tank yang didasarkan pada sebesar $\dot{Z}_{drumtnk} = 2,6419 \text{ USD/h}$ maka dapat ditentukan :

$$c_5 = \frac{c_4 \dot{E}x_4 + \dot{Z}_{drumtnk}}{\dot{E}x_5 + \dot{E}x_6}$$

$$c_5 = \frac{(0,0572 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 54175,54521 \text{ kW}) + 2,6419 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}{59200,7135 \text{ kW} + 8475,0377 \text{ kW}}$$

$$c_5 = c_6 = 0,0458 \text{ USD/kWh}$$

dengan menggunakan Persamaan 2.22 dapat diperoleh laju aliran harga (USD/h)

dan eksergi (kW) *product* pada drum tank :

$$c_F = \frac{\dot{C}_F}{\dot{E}x_F}$$

$$c_F = \frac{(c_4 \dot{E}x_4) - (c_5 \dot{E}x_5 + c_6 \dot{E}x_6)}{\dot{E}x_4 - \dot{E}x_5 - \dot{E}x_6}$$

sehingga didapatkan nilai c_p sebesar 2,5184 USD/kWh.

Nilai c_p digunakan dalam memperhitungkan biaya yang diakibatkan destruksi eksergi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{C}_d = c_p \times \dot{E}x_{d,drumtank}$$

$$\dot{C}_d = 2,5184 \times 104901,1879 \text{ kW}$$

$$\dot{C}_d = 2,6419 \text{ USD/h}$$

faktor f dari komponen Drum tank sebagai berikut:

$$f_{drmtnk} = \frac{\dot{Z}_{drmtnk}}{\dot{Z}_{drmtnk} + \dot{C}_{d,drmtnk}}$$

$$f_{drmtnk} = \frac{2,6419}{2,6419 + 2,6419}$$

$$f_{drmtnk} = 11,40 \%$$

4.5.3 Kondensator

Pada kondensator diterapkan neraca biaya sebagai berikut :

$$c_5 \dot{E}x_5 + c_6 \dot{E}x_6 + c_{15} \dot{E}x_{15} + \dot{Z}_{kond} = c_7 \dot{E}x_7 + c_{16} \dot{E}x_{16}$$

hubungan termoekonomi pada neraca ini adalah $c_5 = c_6$, sedangkan nilai dari

$c_{15} = c_{16} = 0$ karena aliran ini diambil secara langsung dari alam (sungai).

maka dengan nilai yang ada di dapatkan nilai c_7 sebagai berikut :

$$c_7 = \frac{c_{13}(\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{31}) + \dot{Z}_{kond}}{\dot{E}x_{14}}$$

$$c_7 = \frac{0,0458 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} (59200,7135 \text{ kW} + 8475,0377 \text{ kW}) + 130,06 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}{41345,6741}$$

$$c_7 = 0,0750 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

dengan menggunakan Persamaan 2.22 dapat diperoleh laju aliran harga (USD/h) dan eksergi (kW) *fuel* pada kondensor :

$$c_F = \frac{\dot{C}_F}{\dot{E}x_p}$$

$$c_F = \frac{(c_5 \dot{E}x_5) - (c_7 \dot{E}x_7) + (c_6 \dot{E}x_6)}{\dot{E}x_5 - \dot{E}x_7 + \dot{E}x_6}$$

sehingga didapatkan nilai c_P sebesar 0,07578 USD/kWh

nilai c_F ini dapat digunakan untuk menentukan nilai biaya destruksi eksergi komponen kondensor menggunakan Persamaan 2.24 berikut :

$$c_{d,kond} = c_F \times \dot{E}x_{d,kond}$$

$$c_{d,kond} = 0,07578 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 26831,5429 \text{ kW}$$

$$c_{d,kond} = 2540,685 \frac{\text{USD}}{\text{h}}$$

faktor f dari komponen kondensor menggunakan Persamaan 2.26 sebagai berikut :

$$f_{kond} = \frac{\dot{Z}_{kond}}{\dot{Z}_{kond} + \dot{C}_{d,kond}}$$

$$f_{kond} = \frac{130,06 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}{130,06 \frac{\text{USD}}{\text{h}} + 2540,685 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}$$

$$f_{kond} = 4,87 \%$$

4.5.4 Pompa

Pada pompa kondensat diterapkan neraca biaya sebagai berikut :

$$c_7 \dot{E}x_7 + c_w \dot{E}x_{W,Pump} + \dot{Z}_{Pump} = c_8 \dot{E}x_8$$

Nilai c_w diambil dari nilai biaya harga listrik rata-rata yaitu 0,098 USD/kWh. dengan nilai \dot{Z}_{CEP} yang diambil dari Tabel 5.7 , maka didapatkan nilai c_{15}

$$c_8 = \frac{c_7 \dot{E}x_7 + c_w \dot{E}x_{W,CEP} + \dot{Z}_{CEP}}{\dot{E}x_8}$$

$$c_8 = \frac{\left(0,044 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 41345,6741 \text{ kW}\right) + \left(0,098 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 934,2 \text{ kW}\right) + 1,094 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}{41827,4878 \text{ kW}}$$

$$c_8 = 0,0763 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

Laju aliran harga dan eksergi produk dari pompa kondensat diperoleh menggunakan Persamaan 2.23

$$c_p = \frac{\dot{C}_p}{\dot{E}x_p}$$

$$c_p = \frac{(c_8 \dot{E}x_8) - (c_7 \dot{E}x_7)}{\dot{E}x_8 - \dot{E}x_7}$$

didapatkan nilai c_p pompa kondensat sebesar 0,1922 USD/kWh.

dengan nilai c_p pompa kondensat, dapat dicari nilai biaya yang diakibatkan destruksi eksergi pada sistem yaitu sebagai berikut :

$$c_{d,cep} = c_p \times \dot{E}x_{d,cep}$$

$$c_{d,cep} = 0,1922 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 452,3863 \text{ kW}$$

$$c_{d,cep} = 86,9871 \frac{\text{USD}}{\text{h}}$$

faktor f dari komponen pompa kondensat yaitu :

$$f_{cep} = \frac{\dot{Z}_{cep}}{\dot{Z}_{cep} + \dot{C}_{d,cep}}$$

$$f_{cep} = \frac{1,094 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}{1,094 \frac{\text{USD}}{\text{h}} + 86,9871 \frac{\text{USD}}{\text{h}}}$$

$$f_{cep} = 1,24 \%$$

4.5.5 LT Recuperator

Pada LPH 7 diterapkan neraca biaya sebagai berikut :

$$c_8 \dot{E}x_8 + c_3 \dot{E}x_3 + \dot{Z}_{ltrecu} = c_9 \dot{E}x_9 + c_4 \dot{E}x_4$$

Persamaan termoekonomi pada neraca ini adalah $c_3 = c_4$, serta nilai \dot{Z}_{ltrecu} yang diambil dari Tabel 5.7, maka didapatkan nilai c_{16} sebagai berikut :

$$c_9 = \frac{c_8 \dot{E}x_8 + c_3 (\dot{E}x_3 - \dot{E}x_4) + \dot{Z}_{ltrecu}}{\dot{E}x_9}$$

$$c_9 = \frac{\left(0,0763 \frac{USD}{kWh} \times 41827,4878 \text{ kW}\right) + 0,0572 \frac{USD}{kWh} (3218,048 \text{ kW} - 54175,54521 \text{ kW}) + 22,12 \text{ USD/h}}{6076,4665 \text{ kW}}$$

$$c_9 = 0,0493 \frac{USD}{kWh}$$

dengan menggunakan Persamaan 2.23 dapat diperoleh laju aliran harga (USD/h) dan eksergi (kW) produk pada LT Recuperator :

$$c_p = \frac{\dot{C}_p}{\dot{E}x_p}$$

$$c_p = \frac{(c_9 \dot{E}x_9) - (c_8 \dot{E}x_8)}{\dot{E}x_9 - \dot{E}x_8}$$

didapatkan nilai c_p dari LPH 7 sebesar 0,0809 USD/kWh.

biaya destruksi eksergi dari LPH 7 dengan diketahui nilai c_p nya yaitu :

$$c_{d,ltrecu} = c_p \times \dot{E}x_{d,ltrecu}$$

$$c_{d,ltrecu} = 0,0809 \frac{USD}{kWh} \times 15206,4428 \text{ kW}$$

$$c_{d,ltrecu} = 1231,3327 \text{ USD/h}$$

faktor f dari komponen LT Recuperator ini adalah :

$$f_{ltrecu} = \frac{\dot{Z}_{ltrecu}}{\dot{Z}_{ltrecu} + \dot{C}_{d,ltrecu}}$$

$$f_{ltrecu} = \frac{22,12 \frac{USD}{h}}{22,12 \frac{USD}{h} + 1231,3327 \frac{USD}{h}}$$

$$f_{lph7} = 1,76\%$$

4.5.6 HT Recuperator

Pada LPH 7 diterapkan neraca biaya sebagai berikut :

$$c_9 \dot{E}x_9 + c_2 \dot{E}x_2 + \dot{Z}_{htrecu} = c_{10} \dot{E}x_{10} + c_3 \dot{E}x_3$$

Persamaan termoekonomi pada neraca ini adalah $c_2 = c_3$, serta nilai \dot{Z}_{htrecu} yang diambil dari Tabel 5.7 , maka didapatkan nilai c_{10} sebagai berikut :

$$c_{10} = \frac{c_9 \dot{E}x_9 + c_2 (\dot{E}x_2 - \dot{E}x_3) + \dot{Z}_{htrecu}}{\dot{E}x_{10}}$$

$$c_{10} = \frac{\left(0,0493 \frac{USD}{kWh} \times 41827,4878 \text{ kW}\right) + 0,0572 \frac{USD}{kWh} \times (58049,2822 - 3218,048) + 22,12 \text{ USD/h}}{45673,8180 \text{ kW}}$$

$$c_{10} = 0,0757 \frac{USD}{kWh}$$

dengan menggunakan Persamaan 2.23 dapat diperoleh laju aliran harga (USD/h) dan eksergi (kW) produk pada LT Recuperator :

$$c_p = \frac{\dot{C}_p}{\dot{E}x_p}$$

$$c_p = \frac{(c_{10} \dot{E}x_{10}) - (c_9 \dot{E}x_9)}{\dot{E}x_{10} - \dot{E}x_9}$$

didapatkan nilai c_p dari LPH 7 sebesar 0,0798 USD/kWh.

biaya destruksi eksergi dari LPH 7 dengan diketahui nilai c_p nya yaitu :

$$c_{d,ltrecu} = c_p \times \dot{E}x_{d,ltrecu}$$

$$c_{d,ltrecu} = 0,0798 \frac{USD}{kWh} \times 15233,8826 \text{ kW}$$

$$c_{d,ltrecu} = 1216,0644 \text{ USD/h}$$

faktor f dari komponen HT Recuperator ini adalah :

$$f_{ltrecu} = \frac{\dot{Z}_{ltrecu}}{\dot{Z}_{ltrecu} + \dot{C}_{d,ltrecu}}$$

$$f_{ltrecu} = \frac{22,12 \frac{USD}{h}}{22,12 \frac{USD}{h} + 1216,0644 \frac{USD}{h}}$$

$$f_{lph 7} = 1,7864 \%$$

4.5.7 Heat Exchanger 2

Dalam komponen Heat Exchanger 2 diterapkan neraca biaya sebagai berikut :

$$c_{10}\dot{E}x_{10} + c_{13}\dot{E}x_{13} + \dot{Z}_{he2} = c_{11}\dot{E}x_{11} + c_{14}\dot{E}x_{14}$$

hubungan termoeconommi pada neraca ini adalah. Nilai $c_{13} = c_{14} = 0,0468$ diambil dari harga listrik rata-rata per kWh saat ini yaitu sebesar 0,098 USD/kWh.

Dengan total biaya operasi dan perawatan HE2 yang didasarkan pada Tabel 5.7 sebesar $\dot{Z}_{he2} = 18,06 \text{ USD/h}$ dan $\dot{W}_{x_{W,HE2}} = 175455,95 \text{ kW}$, maka dapat ditentukan :

$$c_{11} = \frac{c_{10}\dot{E}x_{10} + c_{13}\dot{E}x_{13} + \dot{Z}_{he2} - c_{14}\dot{E}x_{14}}{\dot{E}x_{11}}$$

$$c_{11} = \frac{0,0468 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 16492,2858 + 1,313 \text{ USD/h} - 0,0468 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} \times 8900,1}{5212,7877 \text{ kW}}$$

$$c_{11} = 0,0685 \text{ USD/kWh}$$

dengan menggunakan Persamaan 2.22 dapat diperoleh laju aliran harga (USD/h) dan eksergi (kW) *fuel* pada HE1 :

$$c_p = \frac{\dot{C}_F}{\dot{E}x_F}$$

$$c_p = \frac{(c_{11}\dot{E}x_{11}) - (c_{10}\dot{E}x_{10})}{\dot{E}x_{11} - \dot{E}x_{10}}$$

sehingga didapatkan nilai c_p sebesar 0,0355 USD/kWh.

Nilai c_p digunakan dalam memperhitungkan biaya yang diakibatkan destruksi eksergi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{C}_d = c_p \times \dot{E}x_{d,he2}$$

$$\dot{C}_d = 0,0355 \times 2439,5409$$

$$\dot{C}_d = 86,7257 \text{ USD/h}$$

faktor f dari komponen HE1 menggunakan Persamaan 2.26 sebagai berikut:

$$f_{he2} = \frac{\dot{Z}_{he2}}{\dot{Z}_{he2} + \dot{C}_{d,he2}}$$

$$f_{he2} = \frac{18,06}{18,06 + 86,7257}$$

$$f_{he2} = 1,4913 \%$$

Untuk mencapai desain sistem thermal yang lebih baik, selain mempertimbangkan dari sisi teknis, faktor performansi secara ekonomi harus ikut dimasukkan. Biaya berbasis eksergi ini nantinya bertujuan untuk menentukan biaya produk dan penghancuran eksergi atau irrevesibilitas selama berlangsungnya suatu proses.

Tabel 4. 6 Laju Biaya Aliran Eksergi

Titik	c (USD/kWh)
1	0,0572
2	0,0572
3	0,0572
4	0,0572
5	0,0458
6	0,0458
7	0,0750
8	0,0763
9	0,0493
10	0,07570
11	0,0739
12	0,0468
13	0,0468
14	0,0468
15	0
16	0

Pada proses perhitungannya, biaya destruksi eksergi dicari dengan menggunakan perkalian antara biaya aliran produk atau fuel terhadap nilai destruksi eksergi pada masing-masing komponen. Sedangkan pada faktor f menggunakan perbandingan antara biaya investasi operasi dan perawatan terhadap biaya destruksi eksergi ditambah biaya investasi operasi dan perawatan masing-masing komponen.

Tabel 4. 7 Laju Biaya Destruksi Eksergi

Komponen	\dot{Z}_k (USD/h)	\dot{C}_D (USD/h)
Heat Exchangers 1	18,06	238,5456
Turbin	119,46	15,04545
HT Recuperator	22,12	1216,0644
LT Recuperator	22,12	1231,3327
Drum Tank	2,6419	2,6419
Kondensor	130,06	2540,6855
Pump	16,55	86,9871
Heat Exchangers 2	18,06	86,7257

Tabel 4.8 menunjukkan besaran nilai biaya yang diakibatkan oleh destruksi eksergi pada setiap komponen kerja Siklus Kalina KCS-11. Biaya destruksi eksergi ini akan memengaruhi performansi dari segi biaya yang akan berdampak pada keefektifan biaya investasi, operasi, dan perawatan dari komponen itu sendiri.

Tabel 4. 8 Nilai Faktor f

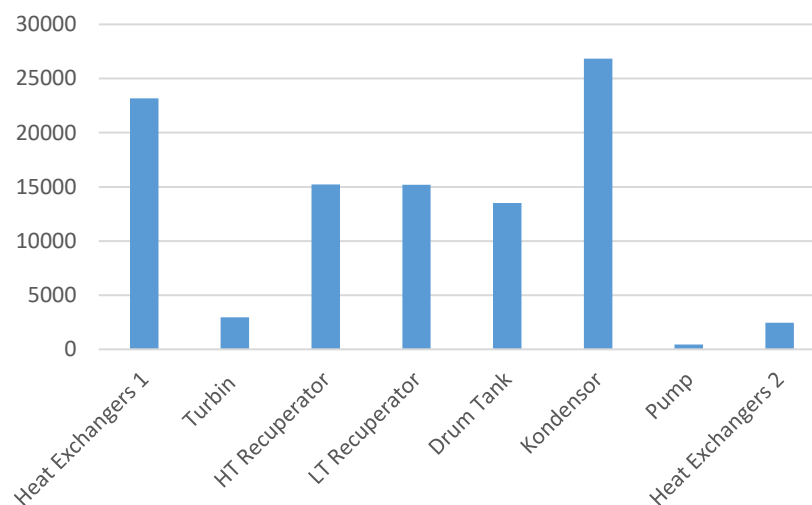
Komponen	\dot{Z}_k (USD/h)	f (%)
Heat Exchangers 1	18,06	7,03
Turbin	119,46	41,50
HT Recuperator	22,12	1,78
LT Recuperator	22,12	1,76
Drum Tank	2,6419	11,40
Kondensor	130,06	4,87
Pump	16,55	1,24
Heat Exchangers 2	18,06	1,49

Tabel 4.9 menunjukkan nilai besaran faktor f pada setiap masing-masing komponen kerja siklus kalina KCS-11. Dimana faktor f ini merupakan perbandingan antara nilai biaya investasi, operasi dan perawatan komponen terhadap biaya total destruksi eksergi dan biaya investasi, operasi perawatan komponen. Faktor f juga menunjukkan seberapa besar keefektifan suatu komponen jika ditinjau dari sudut pdanang biaya. Nilai dari faktor f dapat dicari dengan membdaningkan nilai laju biaya investasi, operasi dan perawatan mesin dengan total biaya destruksi eksergi dari komponen yang dianalisis.

4.6 Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan nya perhitungan data mengenai baik analisis eksergi maupun analisis eksergoekonomi pada sistem siklus kalina yang ada, maka didapatkan nilai destruksi eksergi, efisiensi eksergi, biaya yang diakibatkan oleh terjadinya destruksi eksergi serta performansi dari sudut pdanang biaya yang ditunjukkan oleh faktor f untuk masing-masing komponen kerja. Data yang telah dianalisis ini kemudian dilakukan pembahasan dalam bentuk visualisasi data berupa grafik.

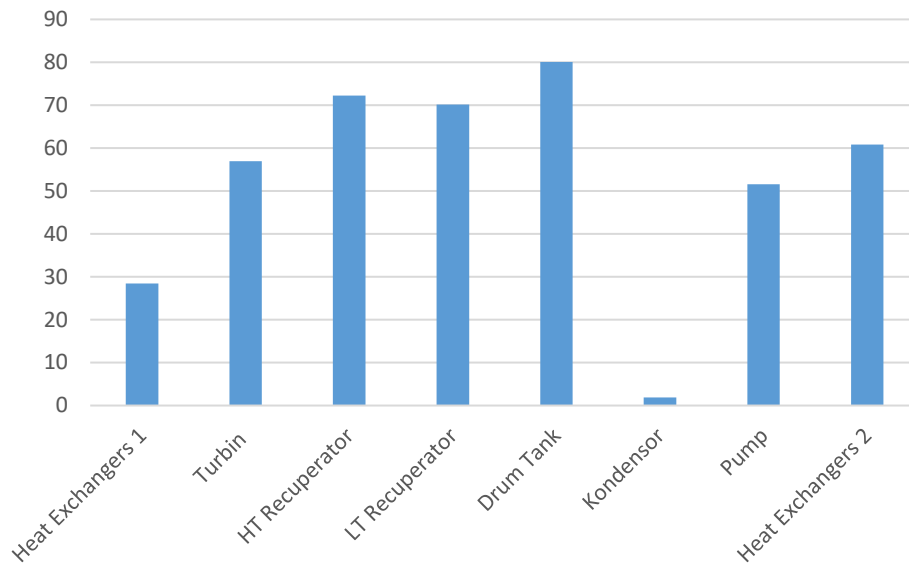
4.6.1 Destruksi Eksergi



Gambar 4. 9 Nilai Destruksi Eksergi

Berdasarkan hasil daripada analisis eksergi yang telah dilakukan, dengan melakukan variasi nilai destruksi eksergi terhadap sistem siklus kalina didapatkan nilai-nilai laju destruksi eksergi yang terjadi pada setiap komponen kerja siklus kalina KCS-11. Kondensor menjadi komponen yang memiliki nilai destruksi eksergi paling tinggi dan Kontributor terbesar dalam total destruksi eksergi komponen siklus kalina KCS-11 yaitu 26831,5429 kW pada temperatur lingkungan 30°C. Kondensor berada pada urutan kedua dengan nilai destruksi eksergi mencapai 23160,7909 kW. Turbin memiliki nilai destruksi eksergi 276,3171 kW dan HT Recuperator, LT Recuperator, HE2 memiliki nilai destruksi eksergi 15233,8826 kW, 15206,4428 kW, 2439,5409 kW, serta Drum Tank 10490,1879 kW. Pompa memiliki nilai paling kecil yaitu 452,386333 kW.

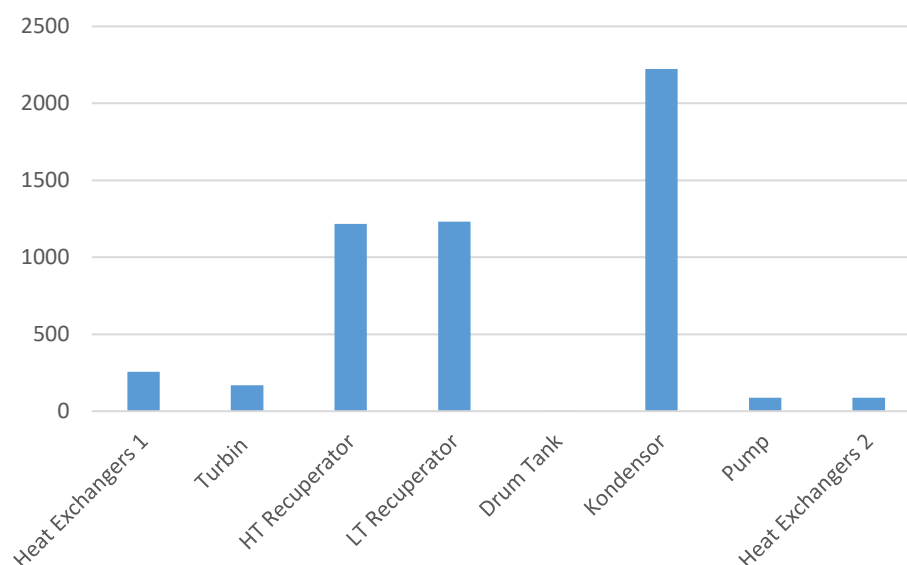
4.6.2 Efisiensi Eksergi



Gambar 4. 10 Nilai Efisiensi Exergetik

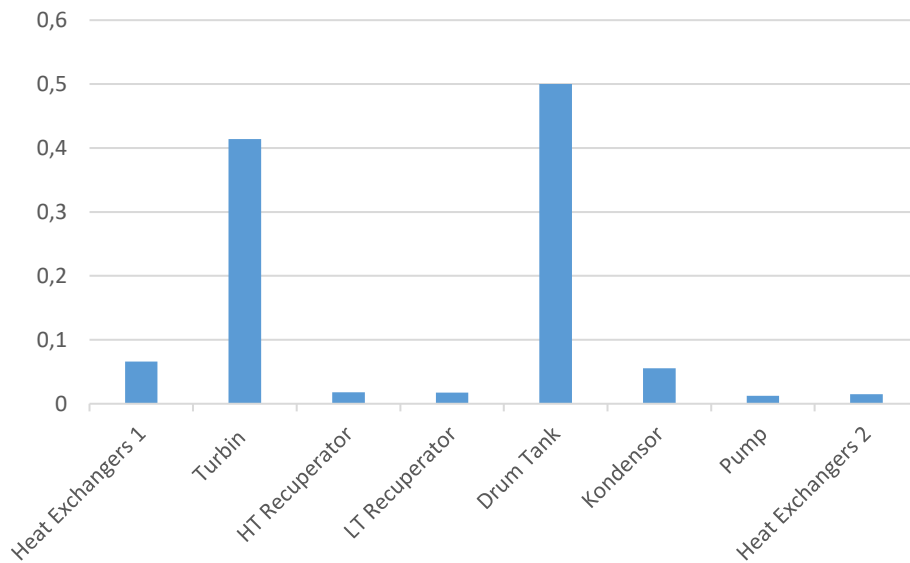
Berdasarkan hasil daripada analisis eksergi yang telah dilakukan, dengan melakukan perhitungan nilai efisiensi eksergi terhadap sistem siklus kalina KCS-11 didapatkan nilai-nilai laju destruksi eksergi yang terjadi pada setiap komponen kerja siklus kalina KCS-11. Drum Tank menjadi komponen yang memiliki nilai efisiensi eksergi paling tinggi dan Kontributor terbesar dalam total destruksi eksergi komponen siklus kalina KCS-11 yaitu 80,04% pada temperatur lingkungan 30°C. HT Recuperator berada pada urutan kedua dengan nilai efisiensi eksergi mencapai 72,2168 %. LT Recuperator memiliki nilai efisiensi eksergi 70,1696 %. Pada Heat Exchangers 1 memiliki nilai lebih kecil dibanding heat exchanger lainnya, nilai efisiensi ekserginya yaitu 18,58 %, Heat Exchangers 2 60,8269 dan turbin memiliki nilai efisiensi eksergi pada nilai 56,9461 %. Pompa memiliki nilai paling kecil yaitu 1,9 %. Tinggi rendahnya nilai efisiensi bergantung dengan perbandingan seberapa besar eksergi yang masuk serta eksergi yang keluar.

4.6.3 Kerugian Biaya dan Faktor F



Gambar 4. 11 Biaya Destruksi Eksergi

Berdasarkan hasil analisis eksergoekonomi yang telah dilakukan, Kondensor memiliki biaya destruksi Eksergi terbesar yaitu 2223,762 \$/hr, *High Temperature Recuperator* serta *Low Temperature Recuperator* berada urutan kedua dan ketiga dengan nilai biaya destruksi eksergi 1216,0644 \$/hr dan 1231,3327 \$/hr. Sedangkan pada *Heat Exchangers* memiliki nilai biaya destruksi eksergi 256,2858 \$/hr dan pada Turbin memiliki nilai 238,54561 \$/hr. Pada Pompa memiliki nilai laju biaya destruksi eksergi 86,9871 \$/hr dan pada *Heat Exchangers 2* memiliki nilai 86,7262 \$/hr. Drain tank menjadi komponen yang memiliki nilai laju biaya destruksi eksergi terendah yaitu 2,6419\$/hr. Komponen yang memiliki nilai laju biaya destruksi eksergi yang tinggi terjadi diakibatkan besarnya destruksi Eksergi yang terjadi pada komponen tersebut seperti kondensor, *high temperature recuperator*, dan *low temperature recuperator*.



Gambar 4. 12 Faktor f

Pada komponen-komponen kerja siklus kalina KCS-11, terlihat bahwa faktor f pada Turbin memiliki nilai berada pada nilai 41% yang berarti nilai biaya kerugian akibat kehilangan eksergi lebih kecil dibandingkan dengan laju biaya investasi. *Drum Tank* memiliki nilai yang tempat 50%, yang dimana biaya investasi memiliki nilai yang berimbang dengan laju biaya destruksi eksergi. Pada komponen kerja lainnya terlihat bahwa faktor f pada komponen-komponen kerja lainnya memiliki nilai yang rendah, hal itu mendanakan bahwa nilai biaya kerugian akibat kehilangan eksergi lebih besar dibdaningkan dengan laju biaya investasi komponen kerja. Dimana komponen lain seperti *High and Low Temperature Recuperator*, *Heat Exchangers 1 and 2* memiliki faktor f dibawah 0,1 atau 10%. Kondensor serta pompa juga memiliki nilai yang rendah sama seperti komponen yang memiliki nilai dari faktor f dibawah 10%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis eksergi dan eksergoeknomi yang telah dibahas pada bab sebelumnya, kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Heat Exchanger 1 dan Kondensor menjadi komponen kerja yang memiliki destruksi Eksergi paling besar
2. Komponen kerja yang memiliki efisiensi Eksergi paling tertinggi adalah Drum Tank atau High dan Low Temperature Recuperator
3. Komponen kerja yang memiliki biaya destruksi Eksergi paling besar adalah Kondensor, ini selaras dengan besarnya destruksi Eksergi pada Kondensor
4. Komponen Heat Exchangers 2 yang memiliki faktor f terendah, mendandakan tidak efektifnya modal biaya operasi terhadap kerugian biaya akibat destruksi eksergi, dimana faktor f merupakan besaran yang menunjukkan seberapa efektif modal biaya operasi dan perawatan mesin terhadap total kerugian biaya akibat destruksi eksergi.

5.2 Saran

Diperlukan adanya peningkatan performansi pada komponen kerja sistem siklus kalina KCS-11, terutama pada komponen Heat Exchangers 1. Oleh karena masih kurang efisiennya proses perpindahan kalor pada Heat Exchangers 1. Namun peningkatan efisiensi juga harus mengkaji lebih lanjut dengan

mempertimbangkan faktor ekonomi pula, salah satunya dengan mengkaji nilai faktor f dari setiap komponen sistem siklus kalina KCS-11.

Dalam melakukan analisis performansi, harus lebih mendalami tentang properti fluida ammonia-air dalam perhitungan eksergi. Dalam perhitungan eksergi menggunakan aplikasi haruslah memiliki pengetahuan lebih dalam penggunaan aplikasi perhitungan agar didapatkan hasil yang lebih akurat. Data operasi aktual yang didapatkan dari pembangkit geothermal yang ada di Indonesia dari setiap komponen harus lebih diperhatikan lagi. Selain itu, untuk mendapatkan hasil analisis performansi dari segi ekonomi, sebaiknya digunakan data aktual mengenai biaya investasi, operasi dan perawatan setiap komponen agar didapatkan hasil analisis yang lebih akurat dan optimal.

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 lhc-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

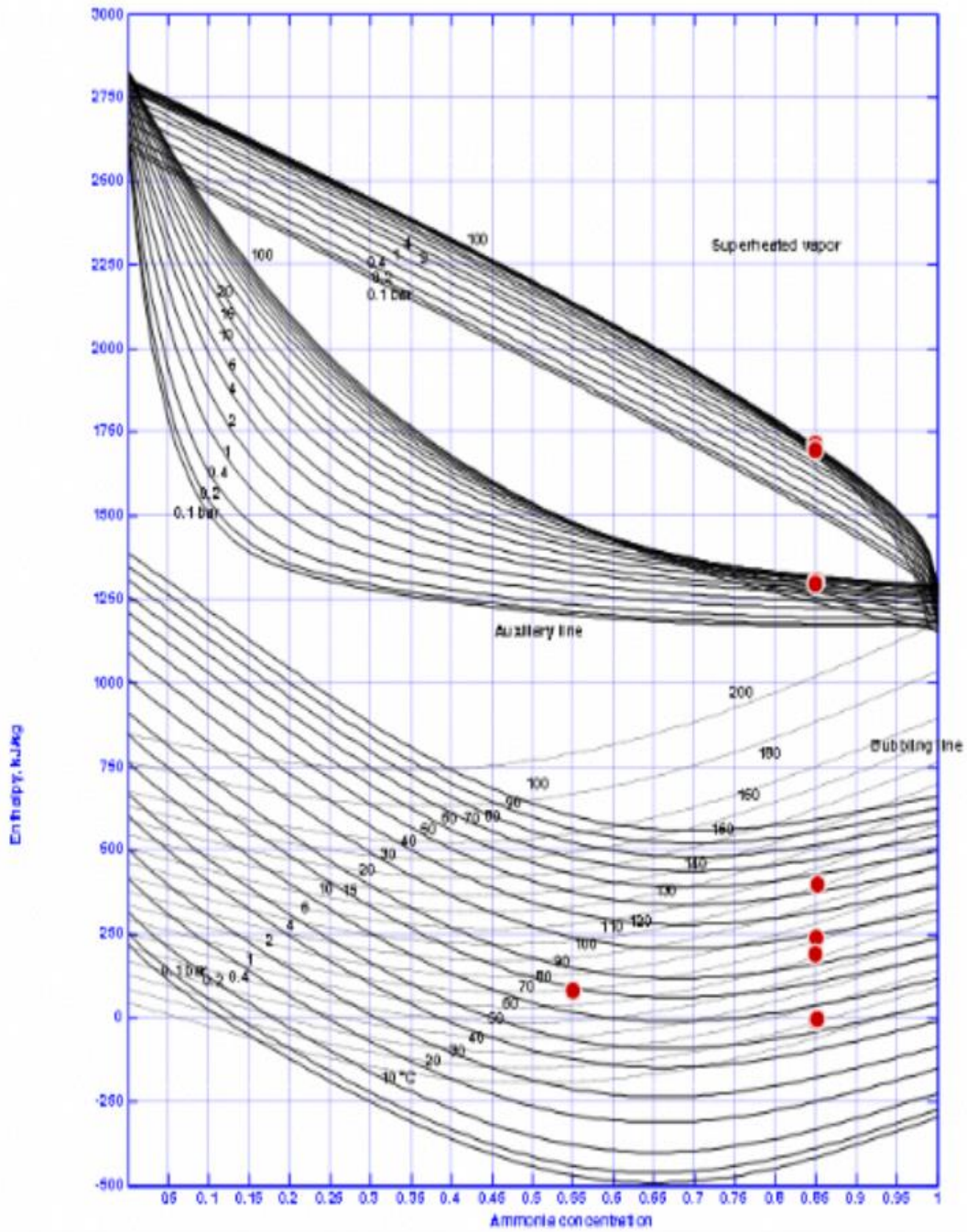
mechanical working technology, 16(1), p. 282. available at: [https://doi.org/10.1016/0378-3804\(88\)90147-7](https://doi.org/10.1016/0378-3804(88)90147-7).

- 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.

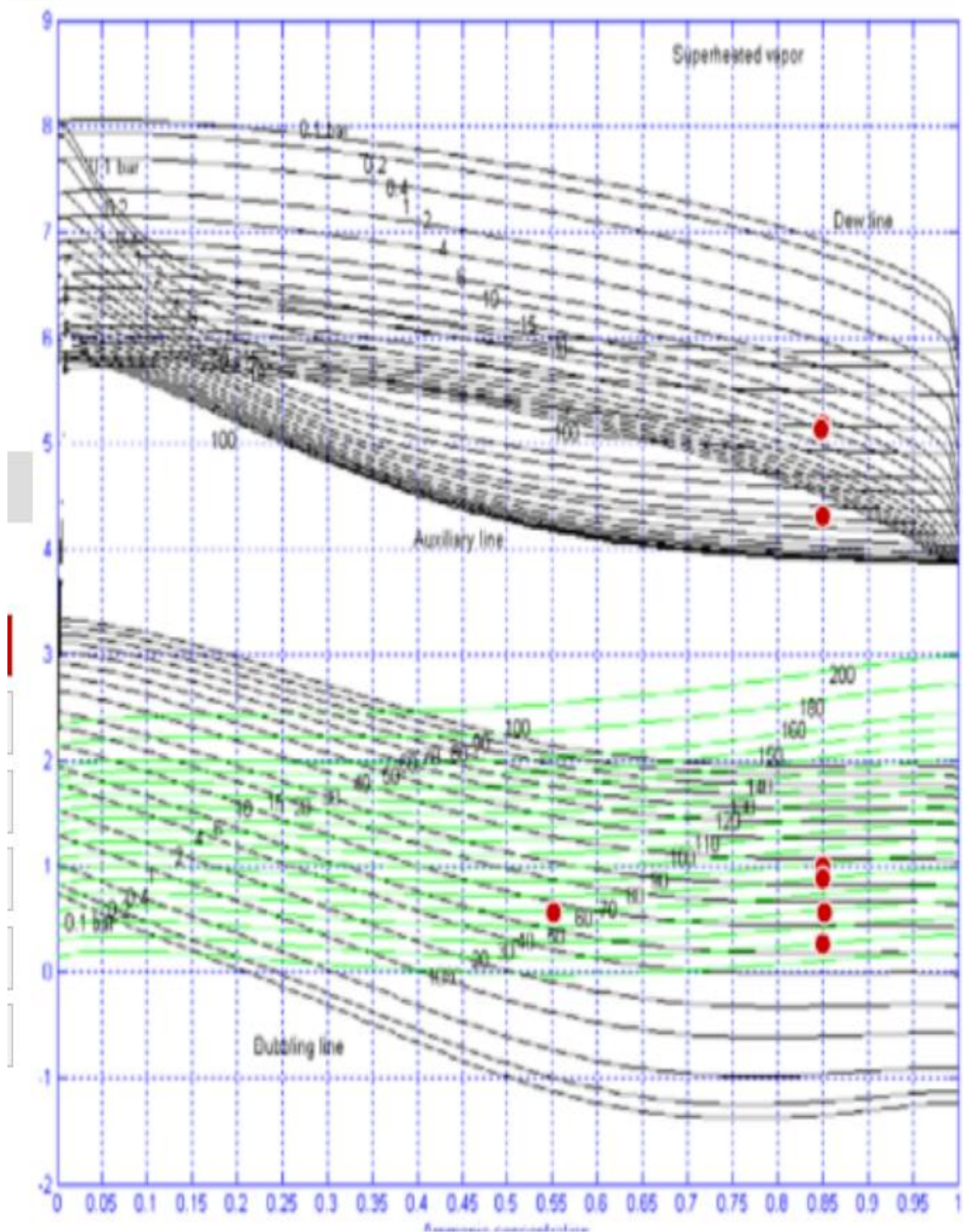
- Wang, E. dan Yu, Z. (2016) 'a numerical analysis of a composition-adjustable kalina cycle power plant for power generation from low-temperature geothermal sources', *applied energy*, 180, pp. 834–848. available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.032>.
- Yose, O. dan Farasi, A. (2015) xviii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

LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Hasil Pengukuran Entalpi-Ammonia Concentration



Lampiran 2 Grafik Hasil Pengukuran Entropi-Ammonia Concentration



Lampiran 3 Tabel Saturated Water

TABLE B.1.1 (continued)
Saturated Water

Temp. (°C)	Press. (kPa)	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg-K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.01	0.6113	0.00	2501.35	2501.35	0	9.1562	9.1562
5	0.8721	20.98	2489.57	2510.54	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	41.99	2477.75	2519.74	0.1510	8.7498	8.9007
15	1.705	62.98	2465.93	2528.91	0.2245	8.5569	8.7813
20	2.339	83.94	2454.12	2538.06	0.2966	8.3706	8.6671
25	3.169	104.87	2442.30	2547.17	0.3673	8.1905	8.5579
30	4.246	125.77	2430.48	2556.25	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	146.66	2418.62	2565.28	0.5052	7.8478	8.3530
40	7.384	167.54	2406.72	2574.26	0.5724	7.6845	8.2569
45	9.593	188.42	2394.77	2583.19	0.6386	7.5261	8.1647
50	12.350	209.31	2382.75	2592.06	0.7037	7.3725	8.0762
55	15.758	230.20	2370.66	2600.86	0.7679	7.2234	7.9912
60	19.941	251.11	2358.48	2609.59	0.8311	7.0784	7.9095
65	25.03	272.03	2346.21	2618.24	0.8934	6.9375	7.8309
70	31.19	292.96	2333.85	2626.80	0.9548	6.8004	7.7552
75	38.58	313.91	2321.37	2635.28	1.0154	6.6670	7.6824
80	47.39	334.88	2308.77	2643.66	1.0752	6.5369	7.6121
85	57.83	355.88	2296.05	2651.93	1.1342	6.4102	7.5444
90	70.14	376.90	2283.19	2660.09	1.1924	6.2866	7.4790
95	84.55	397.94	2270.19	2668.13	1.2500	6.1659	7.4158
100	101.3	419.02	2257.03	2676.05	1.3068	6.0480	7.3548
105	120.8	440.13	2243.70	2683.83	1.3629	5.9328	7.2958
110	143.3	461.27	2230.20	2691.47	1.4184	5.8202	7.2386
115	169.1	482.46	2216.50	2698.96	1.4733	5.7100	7.1832
120	198.5	503.69	2202.61	2706.30	1.5275	5.6020	7.1295
125	232.1	524.96	2188.50	2713.46	1.5812	5.4962	7.0774
130	270.1	546.29	2174.16	2720.46	1.6343	5.3925	7.0269
135	313.0	567.67	2159.59	2727.26	1.6869	5.2907	6.9777
140	361.3	589.11	2144.75	2733.87	1.7390	5.1908	6.9298
145	415.4	610.61	2129.65	2740.26	1.7906	5.0926	6.8832
150	475.9	632.18	2114.26	2746.44	1.8417	4.9960	6.8378
155	543.1	653.82	2098.56	2752.39	1.8924	4.9010	6.7934
160	617.8	675.53	2082.55	2758.09	1.9426	4.8075	6.7501
165	700.5	697.32	2066.20	2763.53	1.9924	4.7153	6.7078
170	791.7	719.20	2049.50	2768.70	2.0418	4.6244	6.6663
175	892.0	741.16	2032.42	2773.58	2.0909	4.5347	6.6256
180	1002.2	763.21	2014.96	2778.16	2.1395	4.4461	6.5857
185	1122.7	785.36	1997.07	2782.43	2.1878	4.3586	6.5464
190	1254.4	807.61	1978.76	2786.37	2.2358	4.2720	6.5078



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Jalan Raya Prabumulih KM. 32 Indralaya (30662) e-mail: mesin@ft.unsri.ac.id, web: http://mesin.ft.unsri.ac.id

Formulir Pemeriksaan Format Skripsi
Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya

No	Uraian	Status	
		Sesuai	Tidak Sesuai
1	Jenis kertas HVS, 80 G; Warna Putih Polos; Ukuran A4		
2	Huruf Times New Roman, Font 12 dengan spasi 1,5		
3	Setiap awal BAB dimulai dengan halaman ganjil		
4	Format Halaman Sampul Luar		
5	Format Halaman Judul Laporan Tugas Akhir		
6	Penyajian Ringkasan Skripsi		
7	Penyajian <i>Summary</i>		
8	Penyajian Halaman Pernyataan Integritas		
9	Penyajian Halaman Pengesahan		
10	Penyajian Halaman Persetujuan		
11	Penyajian Penyajian Daftar Isi		
12	Penyajian Daftar Gambar		
13	Penyajian Daftar Tabel		
14	Penyajian Daftar Lampiran		
15	Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi		
16	Penyajian Gambar		
17	Halaman dicetak bolak-balik		
18	Penyajian Tabel		
19	Penyajian Penulisan Persamaan Matematika		
20	Penyajian lembar kartu bimbingan skripsi		
21	Penyajian daftar pustaka		

Draft Skripsi atas Nama : **MUHAMMAD REZA RIZKY SINATRIA** NIM : 03051281924075

Telah sesuai dan mengikuti Format yang telah ditetapkan oleh Jurusan Teknik Mesin dan dapat dilakukan penggandaan.

Mengetahui,
Sekretaris Jurusan

Prof. Amir Arifin, S.T, M.Eng, Ph.D., IPP.
NIP. 197909272003121004

11/01/2023

Perbaiki



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Jl. Raya Palembang-Prabumulih KM. 32 Indralaya (30662) | E-mail: mesin@u.sri.ac.id | Web : http://mesin.ft.unsri.ac.id

KARTU ASISTENSI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Muhammad Reza Rizky Sinatria
NIM : 03051281924075
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11
Pembimbing 1 : Ir. Dyos Santoso, M.T
Pembimbing 2 : M. Ihsan Riady, S.T., M.T

No	Tanggal	Pokok Bahasan	Komentar	Paraf Dosen
1.	14-01-2023	Pendahuluan: Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan	Selaraskan Tujuan dan Rumusan Masalah	
2.	21-01-2023	Teori Dasar	Lengkapi Teori Dasar	
3.	28-01-2023	Tinjauan Pustaka	Tambahkan Referensi Jurnal Terbaru	
4.	04-02-2023	Deskripsi Sistem	Perbaiki Flow State Sistem	
5.	11-02-2023	Metodologi Penelitian	Perbaiki Tahapan Penelitian	
6.	02-04-2023	Analisis dan Pembahasan	Tambahkan Persamaan Eksergi tiap Komponen	
7.	20-08-2023	Kesimpulan dan saran	Selaraskan kesimpulan, rumusan masalah, tujuan, dan pembahasan. Tambahkan saran	
8.	26-11-2023	Ringkasan	Disetujui untuk mengikuti sidang	

Palembang, 28 November 2023
Pembimbing 1,

Ir. Dyos Santoso, M.T
NIP. 196012231991021001

Pembimbing 2,

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

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

by 03051281924075 Muhammad Reza Rizky Sinatria

Submission date: 23-Jan-2024 08:08AM (UTC+0700)

Submission ID: 2276324481

File name: Panas_PLTP_untuk_Siklus_Kalina_KCS-11_-_Reza_Rizky_Sinatria.docx (147.98K)

Word count: 7698

Character count: 50577

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

ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	ejournal.itenas.ac.id Internet Source	3%
2	repository.its.ac.id Internet Source	2%
3	lib.ui.ac.id Internet Source	1%
4	eurekaunima.com Internet Source	1%
5	etd.repository.ugm.ac.id Internet Source	1%
6	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	1%
7	www.kompas.com Internet Source	1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On

SURAT KETERANGAN PENGECEKAN SIMILARITY

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muhammad Reza Rizky Sinatria
Nim : 03051281924075
Prodi : Teknik Mesin

Menyatakan bahwa benar hasil pengecekan similarity yang berjudul “Analisis Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11” adalah 9%.

Dicek oleh operator *: 1. Dosen Pembimbing

② UPT Perpustakaan

3. Operator Fakultas Teknik

Demikianlah surat keterangan ini saya buat dengan sebenarnya dan dapat saya pertanggung jawabkan.

Indralaya, Januari 2023

Menyetujui
Dosen pembimbing,

Yang menyatakan,



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

Muhammad Reza Rizky S
NIM. 03051281924075

***Lingkari salah satu jawaban, tempat anda melakukan pengecekan Similarity**



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN
TINGGI

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

Jalan Raya Prabumulih KM. 32 Indralaya (30662) e-mail: mesin@ft.unsri.ac.id, web:
http://mesin.ft.unsri.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Reza Rizky Sinatria
NIM : 03051281924075
Tempat/Tanggal lahir : Jakarta, 19 April 2001
Jurusan/Program studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Alamat Rumah : Jl Dwikora II B6 Palembang RT 10 RW 03
No.HP/Email : 082260515719/rezaarizky136@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya yang berjudul "Analisis Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11 " bebas dari plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain

Apabila di kemudian hari di temukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/Tesis/Disertasi tersebut terdapat indikasi plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku









Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga untuk digunakan sebagaimana mestinya

Indralaya, Januari 2023
Yang membuat pernyataan



Muhammad Reza Rizky S
NIM. 03051281924075

Nama : Muhammad Reza Rizky Sinatria
 NIM : 03051281924075
 Judul Proposal/Skripsi : Analisis Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11
 Pembimbing : Ir. Dyos Santoso, M.T. dan M. Ihsan Riady, S.T, M.T.
 Tanggal Ujian : 11 Desember 2023

No.	Saran/Perbaikan	Penguji	Respons Perbaikan	Paraf Pembimbing	Paraf Penguji	Tanggal
1.	Persamaan dibuat sesuai urutan siklus	Dr. Dewi Puspitasari, S.T, M.T.	Memperbaiki urutan persamaan sesuai urutan siklus			
2.	Perbaiki kesalahan dalam penulisan (Typo).	Dr. Dewi Puspitasari, S.T, M.T.	Memperbaiki kesalahan penulisan (Typo).			
3.	Perbaiki kalimat pada paragraf BAB I.	Dr. Dewi Puspitasari, S.T, M.T.	Memperbaiki kalimat pada paragraf BAB I.			
4.	Perbaiki Hitungan tiap State.	Dr. Dewi Puspitasari, S.T, M.T.	Memperbaiki perhitungan pada tiap State.			

Mengetahui,
 Dosen Pembimbing



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

Keterangan:

1. Saran/Perbaikan berisikan saran atau perbaikan yang diberikan oleh Penguji
2. Penguji berisikan nama Dosen Penguji
3. Respons Perbaikan berisikan keterangan tentang perbaikan termasuk halaman perbaikan, dapat juga berupa jawaban dan atau sanggahan atas saran dan atau perbaikan dari penguji
4. Semua perbaikan dan atau sanggahan harus diketahui oleh Dosen Pembimbing
5. Jika perbaikan disetujui oleh Penguji, maka Penguji akan memberikan paraf pada setiap perbaikan beserta tanggal pelaksanaan perbaikan
6. Respons perbaikan seminar proposal/ujian akhir sidang sarjana dibuat dalam satu berkas untuk keseluruhan saran dan atau perbaikan yang diberikan oleh seluruh Penguji

Nama : Muhammad Reza Rizky Sinatria
 NIM : 03051281924075
 Judul Proposal/Skripsi : Analisis Eksergoekonomi pada Pemanfaatan Limbah Panas PLTP untuk Siklus Kalina KCS-11
 Pembimbing : Ir. Dyos Santoso, M.T. dan M. Ihsan Riady, S.T, M.T.
 Tanggal Ujian : 11 Desember 2023

No.	Saran/Perbaikan	Penguji	Respons Perbaikan	Paraf Pembimbing	Paraf Penguji	Tanggal
1.	Masukan keterangan atau simbol rumus	Ellyanie, S.T, M.T.	Memasukan keterangan satuan atau simbol rumus			
2.	Memasukan gambar siklus yang jelas	Ellyanie, S.T, M.T.	Memasukan gambar siklus yang lebih jelas			
3.	Masukan gambar neraca masing-masing komponen.	Ellyanie, S.T, M.T.	Memasukan gambar neraca masing-masing komponen			
4.	Penentuan nilai h,s,T pada grafik yang benar.	Ellyanie, S.T, M.T.	Memperbaiki penentuan nilai h,s,T pada grafik yang benar			
5.	Perbaiki data operasi yang diperoleh dan data lapangan	Ellyanie, S.T, M.T.	Memperbaiki data operasi yang diperoleh			
6.	Perbaiki T-s diagram Siklus Kalina	Ellyanie, S.T, M.T.	Memperbaiki T-s diagram Siklus Kalina			
7.	Perbaiki BAB 3 Metodolgi Penelitian.	Ellyanie, S.T, M.T.	Memperbaiki BAB 3			



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

Keterangan:

1. Saran/Perbaikan berisikan saran atau perbaikan yang diberikan oleh Penguji
2. Penguji berisikan nama Dosen Penguji
3. Respons Perbaikan berisikan keterangan tentang perbaikan termasuk halaman perbaikan, dapat juga berupa jawaban dan atau sanggahan atas saran dan atau perbaikan dari penguji
4. Semua perbaikan dan atau sanggahan harus diketahui oleh Dosen Pembimbing
5. Jika perbaikan disetujui oleh Penguji, maka Penguji akan memberikan paraf pada setiap perbaikan beserta tanggal pelaksanaan perbaikan
6. Respons perbaikan seminar proposal/ujian akhir sidang sarjana dibuat dalam satu berkas untuk keseluruhan saran dan atau perbaikan yang diberikan oleh seluruh Penguji