

SKRIPSI

ANALISIS EKSERGI PADA PENINGKATAN PERFORMANSI PLTP LUMUT BALAI DENGAN SIKLUS KOMBINASI SINGLE FLASH-BINARY



HANIF MUHAMMAD ABYAN

03051381823097

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

SKRIPSI

ANALISIS EKSERGI PADA PENINGKATAN PERFORMANSI PLTP LUMUT BALAI DENGAN SIKLUS KOMBINASI SINGLE FLASH-BINARY

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar
Sarjana Teknik**



**OLEH
HANIF MUHAMMAD ABYAN
03051381823097**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS EKSERGI PADA PENINGKATAN PERFORMANSI PLTP LUMUT BALAI DENGAN SIKLUS KOMBINASI SINGLE FLASH-BINARY

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Oleh:
HANIF MUHAMMAD ABYAN
03051381823097

Pembimbing I,



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

Palembang, Mei 2022
Pembimbing II,



Ir. Joni Yanto, M.T.
NIP. 1957052211987031003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : HANIF MUHAMMAD ABYAN

NIM : 03051381823097

JURUSAN : TEKNIK MESIN

JUDUL SKRIPSI : ANALISIS EKSERGI PADA PENINGKATAN
PERFORMANSI PLTP LUMUT BALAI DENGAN
SIKLUS KOMBINASI SINGLE FLASH-BINARY

DIBUAT TANGGAL : AGUSTUS 2021

SELESAI TANGGAL: MEI 2022

Pembimbing I,



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

Palembang, Mei 2022
Pembimbing II,



Ir. Joni Yanto, M.T.
NIP. 1957052211987031003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

HALAMAN PERSETUJUAN

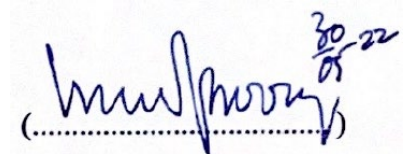
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Eksergi pada Peningkatan Performansi PLTP Lumut Balai dengan Siklus Kombinasi Single Flash-Binary” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 Mei 2022.

Palembang, 18 Mei 2022

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

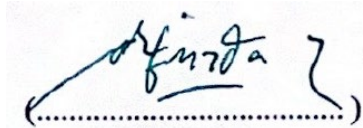
1. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.
NIP. 196005281989031002



(.....)

Sekretaris :

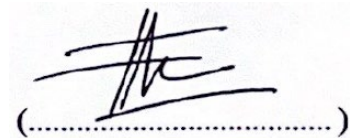
2. Aneka Firdaus, S.T., M.T.
NIP. 197502261999031001



(.....)

Anggota :

3. Dr. Fajri Vidian, S.T., M.T.
NIP. 197207162006041002



(.....)



Mengetahui,
& Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul "Analisis Eksergi pada Peningkatan Performansi PLTP Lumut Balai dengan Siklus Kombinasi Single Flash-Binary", skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu syarat untuk mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak, akan sulit bagi penulis untuk dapat menyelesaikan Skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis yang senantiasa dengan tulus menemani, memotivasi, memberikan doa, nasihat dan dukungan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini
2. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
4. Gunawan, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Pembina Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
5. Ir. Dyos Santoso, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi
6. Ir. Joni Yanto, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah mengajarkan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis.
8. Bapak Angga Hendrawardhana dan bapak Azhari Suryo Adiputro selaku pembimbing lapangan di PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lumut

Balai Unit 1 yang telah membantu penulis dalam melakukan pengambilan data

9. Rekan seperjuangan yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap agar Allah SWT membalas segala kebaikan untuk semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pembelajaran khususnya pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, 18 Mei 2022



Hanif Muhammad Aryan
NIM. 03051381823097

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hanif Muhammad Abyan

NIM : 03051381823097

Judul : Analisis Eksergi pada Peningkatan Performansi PLTP Lumut
Balai dengan Siklus Kombinasi Single Flash-Binary

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

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

Palembang, 18 Mei 2022



Hanif Muhammad Abyan
NIM. 03051381823097

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hanif Muhammad Abyan

NIM : 03051381823097

Judul : Analisis Eksergi pada Peningkatan Performansi PLTP Lumut
Balai dengan Siklus Kombinasi Single Flash-Binary

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

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



Palembang, Mei 2022



Hanif Muhammad Abyan
NIM. 03051381823097

RINGKASAN

ANALISIS EKSERGI PADA PENINGKATAN PERFORMANSI PLTP LUMUT BALAI DENGAN SIKLUS KOMBINASI SINGLE FLASH-BINARY

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Mei 2022

Hanif Muhammad Abyan;

Dibimbing oleh Ir. Dyos Santoso, M.T. dan Ir. Joni Yanto, M.T.

Exergy Analysis on Lumut Balai GPP Performance Enhancement with Single Flash-Binary Combination Cycle

XXX + 62 Halaman, 7 Tabel, 31 Gambar, 2 Lampiran

Setiap tahunnya penggunaan energi listrik selalu meningkat. Ketergantungan Indonesia terhadap energi fosil dalam memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri masih tinggi. Hal tersebut tidak sejalan apabila kita masih menggunakan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik dikarenakan cadangannya semakin menipis. Oleh karena itu, permasalahan tersebut dapat diatasi bila kita menggunakan energi baru terbarukan (EBT) salah satunya energi panas bumi. Berdasarkan peraturan Presiden nomor 22 Tahun 2017 tentang rencana umum energi nasional, pengembangan panas bumi untuk tenaga listrik diproyeksikan sebesar 7,2 GW pada tahun 2025 dan 17,6 GW pada tahun 2050 atau 59 % dari potensi panas bumi sebesar 29,5 GW. Dengan potensi itu, Indonesia tercatat sebagai salah satu negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia. Namun pada kenyataannya Indonesia hanya menggunakan 8,9 % dari potensi panas bumi untuk menghasilkan energi listrik. Optimalisasi potensi panas bumi dapat menutup kebutuhan listrik yang akan semakin meningkat. Salah satu usaha pengoptimalan potensi panas bumi adalah dengan menerapkan siklus kombinasi *single flash-binary* pada PLTP. Siklus yang paling banyak yang digunakan PLTP di Indonesia adalah siklus *single flash steam*. Namun pada siklus *single flash steam*, *brine* yang diinjeksikan kembali ke dalam *reinjection well* masih memiliki suhu tinggi, yang menunjukkan adanya potensi sebagai sumber energi tambahan, sehingga performansinya dapat ditingkatkan. Oleh karena itu, penulis

tertarik untuk melakukan penelitian dan modifikasi sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi di PT. Geothermal Energy Area Lumut Balai Unit 1 yang dimana sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi di perusahaan ini menerapkan siklus *single flash steam* sehingga penulis akan meningkatkan performansi sistem dengan cara mengaplikasikan siklus kombinasi *single flash-binary*. Penelitian akan dilakukan dengan menerapkan metode analisis eksergi yang mengacu pada hukum pertama dan kedua termodinamika. Dengan menggunakan analisis eksergi, destruksi eksergi pada tiap–tiap komponen dapat diketahui serta efisiensi dapat secara akurat dihitung menggunakan analisis eksergi. Hasil menunjukkan bahwa turbin uap memiliki destruksi eksergi terbesar, yaitu sebesar 14,44 MW atau sebesar 10,64 % dari eksergi bahan bakar. Hot water pump 1 dan 2 memiliki destruksi eksergi terkecil pada kondisi *existing*, yaitu sebesar 0,12 MW atau sebesar 0,09 % dari eksergi bahan bakar. Pada kondisi modifikasi destruksi eksergi terkecil terjadi pada pompa, yaitu sebesar 0,10 MW atau sebesar 0,08 % dari eksergi bahan bakar. Dengan diaplikasikan siklus kombinasi *single flash-binary*, daya netto dan efisiensi eksergi sistem masing-masing meningkat sebesar 17,31 MW dan 12,76 %.

Kata Kunci : PLTP, Single flash steam, Single flash-binary, Destruksi eksergi

Kepustakaan : 24 (1985-2021)

SUMMARY

EXERGY ANALYSIS ON LUMUT BALAI GPP PERFORMANCE ENHANCEMENT WITH SINGLE FLASH-BINARY COMBINATION CYCLE

Scientific paper in form of a thesis, may 2022

Hanif Muhammad Abyan;

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

Analisis Eksergi pada Peningkatan Performansi PLTP Lumut Balai dengan Siklus Kombinasi Single Flash-Binary

XXX + 62 Pages, 7 Tables, 31 Figures, 2 Attachment

Every year the use of electrical energy is always increasing. Indonesia's dependence on fossil energy to meet domestic energy needs is still high. This is not in line if we still use fossil fuels to produce electrical energy because the reserves are dwindling. Therefore, this problem can be overcome if we use renewable energy, one of which is geothermal energy. Based on Presidential Regulation number 22 of 2017 concerning the national energy general plan, geothermal development for electric power is projected to be 7.2 GW in 2025 and 17.6 GW in 2050 or 59 % of the geothermal potential of 29.5 GW. With this potential, Indonesia is listed as one of the countries with the largest geothermal potential in the world. But in reality, Indonesia only uses 8.9 % of the geothermal potential to produce electrical energy. Optimization of geothermal potential can cover the need for electricity that will increase. One of the efforts to optimize geothermal potential is to apply a single flash-binary combination cycle to the GPP. The most widely used cycle used by GPP in Indonesia is the single flash steam cycle. However, in the single flash steam cycle, the brine injected back into the reinjection well still has a high temperature, which indicates the potential as an additional energy source to improve its performance. Therefore, the author is interested in researching and modifying geothermal power generation systems in PT. Geothermal Energy Area Lumut Balai Unit 1, where this company's geothermal power generation system applies a single flash steam cycle. The

author will improve the system's performance by applying a single flash-binary combination cycle. The research will apply the exergy analysis method, which refers to thermodynamics' first and second laws. By using exergy analysis, the exergy destruction of each component can be known, and efficiency can be accurately calculated using exergy analysis. The result shows that the steam turbine has the largest exergy destruction in existing and modified conditions, amounted to 14.44 MW or about 10.64 % of the fuel exergy. Hot water pumps 1 and 2 have the smallest exergy destruction in the existing condition, amounted to 0.12 MW or about 0.09 % of the fuel exergy. Under modification conditions, pump has the smallest exergy destruction, amounted to 0.10 MW or about 0.08 % of fuel exergy. With the application of a single flash-binary combination cycle, the system's net power and exergy efficiency increased respectively by 17.31 MW and 12.76 %.

Keywords : GPP, Single Flash Steam, Single Flash-Binary, Exergy Destruction

Citations : 24 (1985-2021)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERSETUJUAN	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxv
DAFTAR TABEL	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Konsep Eksergi	7
2.2.1 <i>Dead State</i>	9
2.2.2 Eksergi yang Berkaitan dengan Kerja.....	9
2.2.3 Eksergi yang Berkaitan dengan Perpindahan Kalor.....	10
2.2.4 Eksergi yang Berkaitan dengan Perpindahan Massa	10
2.2.5 Eksergi Kinetik dan Potensial	11
2.2.6 Eksergi Fisik	11
2.2.7 Destruksi Eksergi	13

2.2.8	Kesetimbangan Eksergi Pada Volume Kendali	13
2.3	Efisiensi Hukum Kedua	13
2.4	Rasio Laju Destruksi Eksergi Terhadap Laju Eksergi Bahan Bakar	14
2.5	Baumann <i>Rule</i>	14
2.6	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	16
2.6.1	<i>Single Flash Steam Power Plant</i>	16
2.6.2	<i>Binary Cycle Power Plant</i>	17
2.6.3	Siklus Kombinasi <i>Single Flash-Binary Power Plant</i>	18
2.7	Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.....	19
2.7.1	Separator.....	20
2.7.2	Demister	20
2.7.3	Turbin Uap	21
2.7.4	Pompa.....	21
2.7.5	Kondensor	21
2.8	Pemilihan Fluida Kerja.....	22
BAB 3 DESKRIPSI SISTEM		25
3.1	Gambaran Umum	25
3.2	Spesifikasi Sistem	26
BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN		29
4.1	Diagram Alir Penelitian	29
4.2	Pengumpulan Data	30
4.3	Analisis PLTP Pada Kondisi <i>Existing</i>	30
4.4	Analisis PLTP Pada Kondisi Modifikasi	30
4.5	Asumsi.....	31
4.6	Pembahasan.....	32
BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		33
5.1	Analisis Eksergi Pada Kondisi <i>Existing</i>	33
5.1.1	Analisis Eksergi Pada Separator	34
5.1.2	Analisis Eksergi Pada Turbin Uap	35
5.1.3	Analisis Eksergi Pada Kondensor	36
5.1.4	Analisis Eksergi Pada Hot Water Pump 1.....	37
5.1.5	Analisis Eksergi Pada Hot Water Pump 2.....	38
5.1.6	Evaluasi Performansi Sistem Pada Kondisi <i>Existing</i>	39
5.2	Analisis Eksergi Pada Kondisi Modifikasi.....	39
5.2.1	Analisis Eksergi Pada Evaporator	42

5.2.2	Analisis Eksergi Pada Preheater	43
5.2.3	Analisis Eksergi Pada Turbin Uap ORC.....	44
5.2.4	Analisis Eksergi Pada Kondensor	45
5.2.5	Analisis Eksergi Pada Pompa	46
5.2.6	Evaluasi Performansi Pada Sistem Kondisi Modifikasi.....	47
5.3	Hasil dan Pembahasan	47
5.3.1	Hasil dan Pembahasan Pada Kondisi <i>Existing</i>	48
5.3.2	Hasil dan Pembahasan Pada Kondisi Modifikasi	50
5.3.3	Hasil dan Pembahasan Performansi Kedua Sistem.....	52
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
6.1	Kesimpulan	55
6.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konsep eksergi	8
Gambar 2.2	Sistem dalam keadaan <i>dead state</i>	9
Gambar 2.3	Eksergi fisik.....	12
Gambar 2.4	Diagram T-s PLTP <i>single flash steam</i>	15
Gambar 2.5	Skematik PLTP <i>single flash steam</i>	17
Gambar 2.6	Skematik PLTP <i>binary cycle</i>	18
Gambar 2.7	Skematik PLTP siklus kombinasi <i>single flash-binary</i>	19
Gambar 2.8	Separator.....	20
Gambar 2.9	Demister.....	21
Gambar 2.10	Kondensor kontak langsung	22
Gambar 3.1	Skema sistem PLTP pada kondisi <i>existing</i>	25
Gambar 4.1	Diagram Alir.....	29
Gambar 4.2	Skema sistem PLTP pada kondisi modifikasi	31
Gambar 5.1	Diagram T-s PLTP pada kondisi <i>existing</i>	34
Gambar 5.2	Skema dan diagram Grassmann separator.....	34
Gambar 5.3	Skema dan diagram Grassmann turbin uap	35
Gambar 5.4	Skema dan diagram Grassmann kondensor.....	36
Gambar 5.5	Skema dan diagram Grassmann hot water pump 1	37
Gambar 5.6	Skema dan diagram Grassmann hot water pump 2	38
Gambar 5.7	Diagram T-s sistem PLTP siklus <i>binary</i>	40
Gambar 5.8	Diagram T-Q pada preheater dan evaporator	41
Gambar 5.9	Diagram T-Q pada kondensor	41
Gambar 5.10	Skema dan diagram Grassmann evaporator	42
Gambar 5.11	Skema dan diagram Grassmann preheater	43
Gambar 5.12	Skema dan diagram Grassmann turbin uap ORC.....	44
Gambar 5.13	Skema dan diagram Grassmann kondensor.....	45
Gambar 5.14	Skema dan diagram Grassmann pompa	46

Gambar 5.15 Diagram persentase rasio destruksi eksergi terhadap eksergi bahan bakar pada kondisi <i>existing</i>	48
Gambar 5.16 Diagram Grassmann PLTP pada kondisi <i>existing</i>	49
Gambar 5.17 Diagram persentase rasio destruksi eksergi terhadap eksergi bahan bakar pada kondisi modifikasi.....	50
Gambar 5.18 Diagram Grassmann sistem PLTP pada kondisi modifikasi	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti termodinamika lingkungan, keamanan, dan kesehatan fluida kerja	23
Tabel 3.1 Data setiap <i>state</i> pada sistem PLTP pada kondisi <i>existing</i>	26
Tabel 5.1 Laju eksergi setiap <i>state</i> pada kondisi <i>existing</i>	33
Tabel 5.2 Laju eksergi setiap <i>state</i> pada kondisi modifikasi.....	40
Tabel 5.3 Nilai destruksi eksergi dan rasio destruksi eksergi setiap komponen terhadap laju eksergi bahan bakar pada kondisi <i>existing</i>	48
Tabel 5.4 Nilai destruksi eksergi dan rasio destruksi eksergi setiap komponen terhadap laju eksergi bahan bakar pada kondisi modifikasi	50
Tabel 5.5 Perbandingan performansi yang dihasilkan pada 2 kondisi	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan pada turbin uap menggunakan Baumann <i>rule</i>	59
Lampiran 2 Tabel <i>saturated water</i>	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini energi listrik memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Banyak aktivitas yang memerlukan energi listrik seperti pada sektor industri maupun rumah tangga. Setiap tahunnya penggunaan energi listrik selalu meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri, Indonesia masih memiliki ketergantungan yang sangat tinggi terhadap energi fosil. Sebesar 94,3% dari total kebutuhan energi nasional dikontribusi oleh energi fosil (Mary *et al.*, 2017). Hal tersebut tidak sejalan apabila kita masih menggunakan energi fosil seperti batu bara dan minyak untuk menghasilkan energi listrik dikarenakan cadangannya semakin menipis. Oleh karena itu, permasalahan tersebut dapat diatasi bila kita menggunakan energi baru terbarukan (EBT).

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran EBT secara terus menerus dalam rangka menjaga ketahanan dan kemandirian energi (DEN, 2019). Pada tahun 2019 bauran EBT baru mencapai 9,3 % dari total penyediaan energi primer. Pada tahun 2025 pangsa EBT diperkirakan hanya sebesar 15,2% dan tahun 2050 sebesar 18,0 % yang masih cukup jauh dari target kebijakan energi nasional (KEN) (BPPT, 2021).

Berdasarkan peraturan Presiden nomor 22 Tahun 2017 mengenai rencana umum energi nasional, pengembangan panas bumi untuk tenaga listrik diproyeksikan sebesar 7,2 GW pada tahun 2025 dan 17,6 GW pada tahun 2050 atau 59 % dari potensi panas bumi sebesar 29,5 GW. Dengan potensi tersebut, Indonesia menjadi salah satu negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia. Kapasitas ini merupakan 40 % dari potensi panas bumi dunia (Andianto Pintoro and Siregar, 2019). Namun, pada kenyataannya sebagian potensi

tersebut belum digunakan. Saat ini, Indonesia hanya menggunakan 8,9 % dari potensi panas bumi untuk menghasilkan energi listrik. Optimalisasi potensi panas bumi dapat memenuhi kebutuhan listrik yang akan semakin meningkat (Meilani and Wuryandani, 2010).

Energi panas bumi adalah salah satu sumber daya alam berupa air panas atau uap yang terbentuk di dalam reservoir bumi melalui pemanasan air di bawah permukaan bumi oleh batuan panas. Energi panas bumi merupakan sumber energi yang *sustainable* dan memproduksi emisi gas yang rendah (Aneke, Agnew and Underwood, 2011). Air panas atau uap yang berada di dalam reservoir bumi merupakan salah satu sumber energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan salah satunya PLTP.

Pada hukum I Termodinamika dinyatakan bahwa energi tidak bisa diciptakan dan dimusnahkan hanya dapat berubah satu bentuk ke bentuk lainnya, namun tidak semua energi dapat dimanfaatkan karena energi dibagi menjadi 2, yaitu eksergi dan anergi. Eksergi adalah bagian dari energi yang dapat dimanfaatkan dan dapat musnah (*exergy destruction*), sedangkan anergi adalah bagian dari energi yang tidak dapat dimanfaatkan. Analisis eksergi mengacu pada hukum I dan II Termodinamika. Eksergi dapat terdestruksi seiring terjadinya proses pada suatu sistem. Dengan menggunakan metode analisis eksergi, destruksi eksergi pada tiap-tiap komponen dapat diketahui.

Berdasarkan jurnal yang berjudul " *Country Update: The Fast Growth of Geothermal Energy Development in Indonesia*" yang ditulis oleh Surya Darma, Yaumul L. Imani, M. Naufal A. Shidqi, Tavip Dwiko Riyanto, dan M. Yunus Daud menyebutkan bahwa siklus yang paling banyak digunakan dalam PLTP di Indonesia adalah *single flash steam* (Darma et al., 2020). *Single flash steam* merupakan siklus yang paling sederhana pada PLTP. Namun pada siklus *single flash steam*, *brine* yang diinjeksikan kembali ke dalam *reinjection well* masih memiliki suhu tinggi, yang menunjukkan adanya potensi sebagai sumber energi tambahan, sehingga performansinya dapat ditingkatkan (Nasruddin et al., 2015). Pada jurnal yang berjudul " *Performance Improvement of Single-Flash Geothermal Power Plant Applying Three Cases Development Scenarios Using Thermodynamic Methods*" yang ditulis oleh Nugroho Agung Pambudi, Ryuichi

Itoi, Saeid Jalilinasrabady dan Khasani Jaelani bahwa performansi yang dihasilkan siklus *single flash steam* dapat ditingkatkan dengan beberapa cara, salah satunya dengan mengaplikasikan siklus kombinasi *single flash-binary* (Pambudi *et al.*, 2015). Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dan modifikasi sistem PLTP di PT. Geothermal Energy Area Lumut Balai Unit 1 yang dimana sistem PLTP di perusahaan ini menerapkan siklus *single flash steam* sehingga penulis akan meningkatkan performansi sistem dengan cara mengaplikasikan siklus kombinasi *single flash-binary*. Penelitian akan dilakukan dengan menerapkan metode analisis eksergi yang mengacu pada hukum I dan II Termodinamika.

1.2 Rumusan Masalah

Pembangkit listrik tenaga panas bumi di PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lumut Balai Unit 1 dengan siklus *single flash steam* masih dapat ditingkatkan performansinya. Hal ini dikarenakan nilai eksergi *brine* yang diinjeksikan ke dalam *reinjection well* masih tinggi. Maka yang akan dikaji pada penelitian ini adalah bagaimana peningkatan performansi sistem bila *brine* dimanfaatkan dengan mengaplikasikan siklus kombinasi *single flash-binary*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ditentukan penulis untuk mengarahkan pembahasan pada penelitian ini :

1. Penelitian ini dibatasi pada analisis performansi termodinamika
2. Fluida kerja *organic rankine cycle* (ORC) yang digunakan adalah butana

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis eksergi pada sistem PLTP untuk kondisi *existing* maupun modifikasi yang kemudian dilakukan komparasi untuk performansi yang dihasilkan pada sistem PLTP dari kedua kondisi tersebut

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan akan memberi manfaat sebagai referensi ilmiah di masa mendatang bagi peneliti dan pihak PLTP Lumut Balai terhadap peningkatan performansi sistem PLTP dengan menggunakan siklus kombinasi *single flash-binary*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimuddin *et al.* (2018) 'Preliminary Analysis of Single-Flash Geothermal Power Plant by Using Exergy Method: A Case Study from Ulubelu Geothermal Power Plant in Indonesia', *International Journal of Renewable Energy Research*, 8(3).
- Andianto Pintoro and Siregar, A. H. (2019) 'Analisa Performansi Pembangkit Listrik Siklus Rankine Organik Sederhana Dengan Sumber Panas Uap Geothermal Berkualitas Rendah', *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 21(1), pp. 1–11. doi: 10.32734/jsti.v21i1.897.
- Aneke, M., Agnew, B. and Underwood, C. (2011) 'Performance analysis of the Chena binary geothermal power plant', *Applied Thermal Engineering*, 31(10), pp. 1825–1832. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.02.028.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. and Moran, M. (1996) *Thermal Design & Optimization*. John Wiley & Sons, Inc.
- BPPT (2021) *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021*. Edited by E. Hilmawan *et al.* Jakarta: BPPT.
- Cengel, Y. A. and Boles, M. A. (2015) *Thermodynamic An Engineering Approach*. Eight Edit. McGraw-Hill Education. doi: 10.1007/bf03041311.
- Darma, S. *et al.* (2020) 'Country Update : The Fast Growth of Geothermal Energy Development in Indonesia', (27), pp. 1–9.
- DEN (2019) *Outlook Energi Indonesia*. Edited by S. Abdurahman, M. Pertiwi, and Walujanto. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Dipippo, R. (2012) *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Enviromental Impact*. Third Edit. ELSEVIER.
- Javanshir, A., Sarunac, N. and Razzaghpanah, Z. (2017) 'Thermodynamic Analysis of ORC and Its Application for Waste Heat Recovery', *Sustainability (Switzerland)*, 9(11). doi: 10.3390/su9111974.
- Kanoglu, M. and Bolatturk, A. (2008) 'Performance and parametric investigation of a binary geothermal power plant by exergy', *Renewable Energy*, 33(11), pp. 2366–2374. doi: 10.1016/j.renene.2008.01.017.
- Kotas, T. J. (1985) *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. doi: 10.1016/0378-3804(88)90147-7.
- Mary, R. T. *et al.* (2017) 'Panas Bumi Sebagai Harta Karun Untuk Menuju Ketahanan Energi', *JURNAL KETAHANAN NASIONAL*, 23, pp. 217–237. doi: <http://dx.doi.org/10.22146/jkn.26944>.
- Meilani, H. and Wuryandani, D. (2010) 'Potensi Panas Bumi Sebagai Energi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Untuk Pembangkit Tenaga

- Listrik Di Indonesia’, *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*, 1(1), pp. 47–74.
- Moran, M. J. *et al.* (2014) *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Eight Edit. Edited by L. Ratts. John Wiley & Sons, Inc.
- Nasruddin, N. *et al.* (2015) ‘Energy and Exergy Analysis of Kalina Cycle for the Utilization of Waste Heat in Brine Water for Indonesian Geothermal Field’, *Makara Journal of Technology*, 19(1), pp. 38–44. doi: 10.7454/mst.v19i1.3032.
- Ozturk, M. and Dincer, I. (2018) *Comprehensive Energy Systems, Comprehensive Energy Systems*. Elsevier Inc.
- Pambudi, N. A. *et al.* (2015) ‘Performance Improvement of Single-Flash Geothermal Power Plant Applying Three Cases Development Scenarios Using Thermodynamic Methods’, *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Radmehr, B. *et al.* (2010) ‘Thermodynamic Modeling and Exergy Analysis of a Heat Recovery System in Meshkinshahr Geothermal Power Plant, Iran’.
- Santoso, D. and 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*.
- Tandian, N. P. and Muntaha, R. (2014) ‘Analisis dan Pemilihan Fluida Kerja Organic Rankine Cycle (ORC) untuk Panas Bumi Temperatur Rendah’.
- Yari, M. (2010) ‘Exergetic analysis of various types of geothermal power plants’, *Renewable Energy*, 35(1), pp. 112–121. doi: 10.1016/j.renene.2009.07.023.
- Yildirim, E. D. and Gokcen, G. (2004) ‘Exergy analysis and performance evaluation of Kizildere Geothermal Power Plant , Turkey’, *International Journal Exergy*, 1(3), pp. 316–333.
- Zuchrillah, D. R., Handogo, R. and Juwari (2017) ‘PEMILIHAN TEKNOLOGI PROSES GEOTHERMAL SECARA TEKNIS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI DI INDONESIA’, *Jurnal IPTEK*, 21(2), pp. 59–66.