

SKRIPSI

**ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI
DALAM EVALUASI KINERJA PLTP LUMUT BALAI
DENGAN PENAMBAHAN FLASH STEAM KEDUA**



FATHAN QORIBA

03051381924085

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

SKRIPSI

**ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI
DALAM EVALUASI KINERJA PLTP LUMUT BALAI
DENGAN PENAMBAHAN FLASH STEAM KEDUA**

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



OLEH

**Fathan Qoriba
03051381924085**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI DALAM EVALUASI KINERJA PLTP LUMUT BALAI DENGAN PENAMBAHAN FLASH STEAM KEDUA

SKRIPSI


Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Oleh:

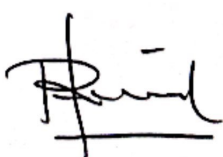
FATHAN QORIBA
03051381924085

Palembang, 04 Juli 2023

Ketua Jurusan Teknik Mesin,


Irsyadi Yan, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197110251997021001

Pembimbing,


Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001

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

Agenda No. : 021/TM/AA/2023

Diterima Tanggal: 28/07/2023

Paraf : 

SKRIPSI

Nama : Fathan Qoriba
Nim : 03051381924085
Jurusan : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Energi dan Eksergi dalam Evaluasi Kinerja PLTP
Lumut Balai dengan Penambahan Flash Steam Kedua

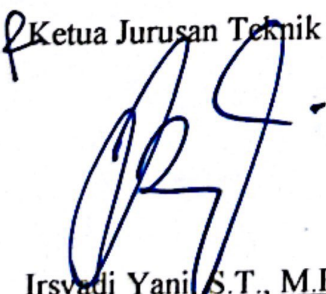
Dibuat Tanggal : 27 Januari 2023

Selesai Tanggal : 27 Juni 2023


Palembang, 04 Juli 2023

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin,


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

Pembimbing Skripsi,


Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195606041986021001

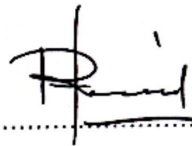
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Energi dan Eksergi dalam Evaluasi Kinerja PLTP Lumut Balai dengan Penambahan Flash Steam Kedua” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 27 Juni 2023.

Palembang, 04 Juli 2023

Pembimbing :

Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc, ph.D.
NIP. 195606041986021001


(.....)

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi,

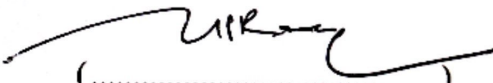
Ketua :

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


(.....)

Sekretaris :

M Ihsan Riady, S.T., M.T.
NIP. 1987101320150103101

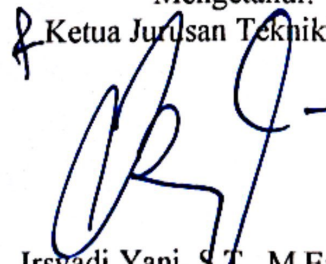

(.....)

Anggota :

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


(.....)

Mengetahui:


Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D.
NIP. 197110251997021001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul "Analisis Energi dan Eksergi dalam Evaluasi Kinerja PLTP Lumut Balai dengan Penambahan Flash Steam Kedua".

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. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, sekaligus sebagai Dosen Penasehat Akademik penulis.
2. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing skripsi.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah mengajarkan banyak ilmu pengetahuan kepada penulis.
5. 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, 04 Juli 2023



Fathan Qoriba

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

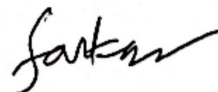
Nama : Fathan Qoriba
Nim : 03051381924085
Judul Skripsi : Analisis Energi dan Eksergi dalam Evaluasi Kinerja PLTP Lumut Balai dengan Penambahan Flash Steam Kedua

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, 04 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Fathan Qoriba

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fathan Qoriba
Nim : 03051381924085
Judul Skripsi : Analisis Energi dan Eksergi dalam Evaluasi Kinerja PLTP Lumut Balai dengan Penambahan Flash Steam Kedua

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

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



Palembang, 04 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Fathan Qoriba

RINGKASAN

ANALISIS ENERGI DAN EKSERGI DALAM EVALUASI KINERJA PLTP LUMUT BALAI DENGAN PENAMBAHAN FLASH STEAM KEDUA

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, 27 Juni 2023

Fathan Qoriba; dibimbing oleh Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc, Ph.D

Energy and Exergy Analysis in The Performance Evaluation of PLTP Lumut Balai with The Addition of A Second Flash Steam

xxv + 57 halaman, 3 tabel, 21 gambar, 2 lampiran

Saat ini, Indonesia merupakan negara terbesar kedua setelah Amerika Serikat untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi yang terpasang. Namun pada kenyataannya sebagian dari potensi tersebut belum dimanfaatkan. Optimalisasi potensi panas bumi dapat menutupi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Pemerintah Indonesia telah mengidentifikasi sektor ini sebagai kunci tujuan keberlanjutan energi negara. 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. 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 sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP). Siklus yang paling banyak digunakan dalam pembangkit listrik tenaga panas bumi di Indonesia adalah *single flash steam*. *Single flash steam* merupakan siklus yang paling sederhana pada pembangkit listrik tenaga panas bumi. 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. Performansi yang dihasilkan siklus *single flash steam* dapat ditingkatkan dengan beberapa cara, yaitu dengan mengaplikasikan siklus *double flash steam*, *single flash-binary*, dan *double flash-binary*. 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 menambahkan flasher kedua sehingga menjadi sistem dengan flasher ganda. Investigasi performa sistem saat ini dan sistem yang dimodifikasi dilakukan dengan menerapkan metode analisis energi dan eksergi. Pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan *single flash steam*, *geofluid* cair yang keluar dari separator mempunyai laju aliran massa yang sangat besar dengan suhu yang juga relatif tinggi. Oleh karena itu, kapasitas pembangkit tersebut masih dapat ditingkatkan

dengan menambahkan *flash steam* kedua, dimana uap yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin uap tekanan rendah. Penelitian ini akan difokuskan pada investigasi performa termodinamika pada pembangkit tenaga panas bumi *single flash steam* menjadi *double flash steam* dengan menerapkan metode analisis energi dan eksergi. Studi kasus ini dilaksanakan pada Pembangkit Tenaga Panas Bumi Lumut Balai dengan kapasitas 55 MW. Laju aliran massa dan suhu *geofluid* dari sumur produksi masing-masing adalah 449,5 kg/s dan 270°C. Analisis dilakukan pada sistem yang disederhanakan terbatas pada komponen-komponen utama Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memperoleh besarnya peningkatan daya pembangkit dengan adanya modifikasi dari *single flash steam* menjadi *double flash steam*. Tujuan lainnya adalah untuk mendapatkan besarnya dan lokasi destruksi eksergi pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi, baik pada kondisi saat ini maupun kondisi yang akan dimodifikasi Hasil investigasi menunjukkan bahwa daya keluaran meningkat dari 55 MW menjadi 65,667 MW artinya terdapat peningkatan sebesar 10,667 MW atau 18%. Efisiensi energi konfigurasi saat ini adalah sebesar 13% dan efisiensi eksergi adalah sebesar 48%. Sementara itu, untuk kondisi modifikasi, efisiensi energi dan efisiensi eksergi berkurang masing-masing menjadi 11% dan 46%. Pada kondisi saat ini, destruksi eksergi tertinggi terjadi pada *flash chamber* sebesar 50,57%, kemudian diikuti oleh turbin uap sebesar 26,96% dan kondensor sebesar 22,48%. Kondisi tambahan memperlihatkan kecenderungan yang sama, dimana destruksi eksergi tertinggi juga terjadi pada *flash chamber* sebesar 47,60%, kemudian diikuti oleh turbin uap sebesar 22,25% dan kondensor sebesar 30,14%. Dianjurkan untuk melakukan analisis termodinamika yang komprehensif termasuk analisis eksergoekonomi selama tahap desain pembangkit listrik tenaga panas bumi manapun untuk memastikan daya keluaran yang dibutuhkan tercapai dengan efisiensi yang optimal.

Kata Kunci : analisis energi dan eksergi, pembangkit tenaga panas bumi, *single and double flash steam*, destruksi eksergi.

Kepustakaan : 21 (1993 – 2021)

SUMMARY

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS IN THE PERFORMANCE EVALUATION OF PLTP LUMUT BALAI WITH THE ADDITION OF A SECOND FLASH STEAM

Scientific Paper in the form of Skripsi, 27 Juni 2023

Fathan Qoriba; supervised by Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc, Ph.D

Analisis Energi Dan Eksergi Dalam Evaluasi Kinerja PLTP Lumut Balai Dengan Penambahan Flash Steam Kedua

viii + 72 pages, 8 table, 5 Figures, 9 Attachment

Currently, Indonesia is the second largest country after the United States for installed geothermal power plants. But in reality some of this potential has not been used. Optimizing geothermal potential can cover the increasing demand for electricity. The Indonesian government has identified the sector as key to the country's energy sustainability goals. Geothermal energy is one of the natural resources in the form of hot water or steam which is formed in the earth's reservoirs through the heating of water under the earth's surface by hot rocks. Geothermal energy is a sustainable energy source and produces low gas emissions. Hot water or steam that is in the earth's reservoir is a source of geothermal energy that can be used for various purposes, one of which is as a geothermal power plant (PLTP). The most widely used cycle in geothermal power plants in Indonesia is single flash steam. Single flash steam is the simplest cycle in a geothermal power plant. However, in the single flash steam brine cycle which is reinjected into the reinjection well it still has a high temperature, which indicates the potential as an additional energy source, so that its performance can be increased. The performance produced by the single flash steam cycle can be improved in several ways, namely by applying double flash steam, single flash-binary and double flash-binary cycles. Therefore, the authors are interested in conducting research and modification of geothermal power generation systems at PT. Geothermal Energy Area Lumut Balai Unit 1 where the geothermal power plant system in this company applies a single flash steam cycle so the author will improve system performance by adding a second flasher so that it becomes a system with a double flasher. Investigation of the performance of the current system and the modified system is carried out by applying energy and exergy analysis methods. In a geothermal power plant system with single flash steam, the liquid geofluid that comes out of the separator has a very large mass flow rate with a relatively high temperature. Therefore, the generating capacity can still be increased by adding a second flash steam, where the steam produced is then used to drive a low pressure steam turbine. This research will focus on investigating the

thermodynamic performance of single flash steam geothermal power plants to double flash steam by applying energy and exergy analysis methods. This case study was carried out at the Lumut Balai Geothermal Power Plant with a capacity of 55 MW. The mass flow rate and geofluid temperature from the production well are 449.5 kg/s and 270°C, respectively. The analysis was performed on a simplified system limited to principal components. The main objective of this study is to obtain the magnitude of the increase in generating power with the modification of single flash steam to double flash steam. Another objective is to obtain the magnitude and location of the exergy destruction of the geothermal power plant system, both in the current condition and in conditions that will be modified. Based on an investigation into opportunities to increase the performance of the Lumut Balai Geothermal Power Plant, South Sumatra by adding the second flash steam using the energy and exergy analysis method, it can be concluded that the results of the investigation show that the output power has increased from 55 MW to 65.667 MW, meaning that there is an increase of 10.667 MW or 18%. The energy efficiency of the current configuration is 13% and the exergy efficiency is 48%, meanwhile, for the modified conditions, the energy and exergy efficiency were reduced to 11% and 46%, respectively. Under current conditions, the highest exergy destruction occurs in the flash chamber of 50.57%, followed by the steam turbine of 26.96% and the condenser of 24.11%. The additional conditions show the same trend, where the highest exergy destruction also occurs in the flash chamber of 47.60% followed by the steam turbine of 22.25% and the condenser of 30.14%. It is recommended to carry out a comprehensive thermodynamic analysis including exergoeconomic analysis during the design stage of any geothermal power plant to ensure the required output power is achieved with optimal efficiency.

Keywords : energy and exergy analysis, geothermal power plant, single and double flash steam, exergy destruction

Citations : 21 (1993 – 2021)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN REGISTRASI.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY.....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
NOMENKLATUR.....	xxxii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Panas Bumi.....	5
2.2 Mekanisme Konversi Energi Panas Bumi.....	5
2.3 Pembangkit Tenaga Panas Bumi.....	6
2.3.1 Pembangkit Tenaga Uap Kering.....	6
2.3.2 Pembangkit Tenaga Uap Flash.....	7
2.3.3 Pembangkit Tenaga Siklus Biner.....	9
2.3.4 Pembangkit Tenaga Siklus Gabungan.....	10
2.4 Penelitian Terdahulu.....	11

2.5	Model Sistem.....	13
2.5.1	Model Sistem Saat ini.....	13
2.6	Analisis Termodinamika.....	15
2.6.1	Analisis Energi.....	16
2.6.1.1	Ruang Flash Tekanan Tinggi.....	16
2.6.1.2	Ruang Flash Tekanan Rendah.....	17
2.6.1.3	Turbin Tekanan Tinggi.....	17
2.6.1.4	Turbin Tekanan Rendah.....	19
2.6.1.5	Kondensor Tekanan Tinggi.....	20
2.6.1.6	Kondensor Tekanan Rendah.....	21
2.6.2	Analisis Eksergi.....	22
2.6.2.1	Ruang Flash Tekanan Tinggi.....	22
2.6.2.2	Ruang Flash Tekanan Rendah.....	23
2.6.2.3	Turbin Uap Tekanan Tinggi.....	23
2.6.2.4	Turbin Uap Tekanan Rendah.....	24
2.6.2.5	Kondenser Tekanan Tinggi.....	24
2.6.2.6	Kondenser Tekanan Rendah.....	24
2.6.2.7	Efisiensi Eksergi.....	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Pendekatan Umum.....	27
3.2	Lingkup dan Batasan.....	27
3.3	Pengumpulan Data.....	27
3.4	Analisis dan Pembahasan.....	28
3.5	Prosedur Sederhana untuk Analisis Energi dan Eksergi.....	29
3.6	Penulisan.....	30
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Analisis Kondisi Saat Ini.....	31
4.1.1	Analisis Energi Kondisi Saat ini (Siklus <i>Single Flash 1</i>).....	32
4.1.1.1	Analisis Energi pada <i>Flash Chamber</i> SF1.....	32
4.1.1.2	Analisis Energi pada Turbin SF1.....	33
4.1.1.3	Analisis Energi pada Kondensor SF1.....	34
4.1.2	Analisis Eksergi Kondisi Saat ini.....	35

4.1.2.1	Analisis Eksergi pada Flash Chamber SF1	36
4.1.2.2	Analisis Eksergi pada Turbin SF1	37
4.1.2.3	Analisis Eksergi pada Kondenser SF1	38
4.1.2.4	Efisiensi Eksergi Pembangkit Saat ini	39
4.2	Analisis Siklus Tambahan (<i>Single Flash Kedua</i>).....	39
4.2.1	Analisis Energi pada Siklus Tambahan (SF2).....	40
4.2.1.1	Analisis Energi pada <i>Flash Chamber</i> SF2	41
4.2.1.2	Analisis Energi pada Turbin SF2	42
4.2.1.3	Analisis Energi pada Kondensor SF2.....	43
4.2.2	Analisis Eksergi pada Siklus Tambahan	44
4.2.2.1	Analisis Eksergi pada Flash Chamber SF2	45
4.2.2.2	Analisis Eksergi pada Turbin SF2.....	46
4.2.2.3	Analisis Eksergi pada Kondenser SF2	47
4.2.2.4	Efisiensi Eksergi Pembangkit Tambahan.....	48
4.3	Analisis Kondisi Modifikasi.....	48
4.3.1	Analisis Energi pada Siklus Modifikasi (Flash Ganda)	49
4.3.2	Efisiensi Eksergi Siklus Modifikasi	50
4.4	Hasil dan Pembahasan.....	50
4.4.1	Kinerja PLTP Siklus Steam Flash Tunggal Kondisi Saat Ini.....	51
4.4.2	Kinerja PLTP Siklus Flash Steam Kedua (Tambahan).....	53
4.4.3	Kinerja PLTP Siklus Flash Steam Ganda (Modifikasi)	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		i
LAMPIRAN.....		i

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skematik Pembangkit Tenaga Uap Kering	6
Gambar 2.2	Skematik pembangkit tenaga single flash.	7
Gambar 2.3	Skematik pembangkit tenaga double flash.....	8
Gambar 2.4	Skematik pembangkit tenaga triple flash	8
Gambar 2.5	Skematik pembangkit tenaga siklus biner	9
Gambar 2.6	Skematik pembangkit tenaga siklus gabungan.....	11
Gambar 2.7	Diagram Skematik Pembangkit Tenaga Panas Bumi–Flash Tunggal (kondisi saat ini)	13
Gambar 2.8	Diagram Skematik Pembangkit Tenaga Panas Bumi–Flash Tunggal Kedua (skema tambahan)	14
Gambar 2.9	Diagram Skematik Pembangkit Tenaga Panas Bumi–Flash Ganda (skema usulan).....	14
Gambar 4.1	Diagram T-s pembangkit tenaga panas bumi–flash steam tunggal (kondisi saat ini)	31
Gambar 4.2	Diagram alir flash chamber SF1	37
Gambar 4.3	Diagram alir turbin SF1	38
Gambar 4.4	Diagram alir kondensor SF1.....	39
Gambar 4.5	Diagram T-s pembangkit tenaga panas bumi–flash steam kedua (siklus tambahan).....	40
Gambar 4.6	Diagram alir flash chamber SF2.....	46
Gambar 4.7	Diagram alir turbin SF2.....	46
Gambar 4.8	Diagram alir kondensor SF2.....	47
Gambar 4.9	Diagram T-s pembangkit tenaga panas bumi–flash steam ganda (siklus modifikasi).....	49
Gambar 4.10	Laju dan rasio destruksi eksergi pada komponen pembangkit kondisi saat ini.....	53
Gambar 4.11	Laju dan rasio destruksi eksergi pada komponen siklus tambahan...	55

Gambar 4.12 Laju dan rasio destruksi eksergi pada komponen siklus modifikasi..
.....58

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data operasi pada rated condition.	28
Tabel 4.1	Hasil analisis energi pembangkit kondisi saat ini	51
Tabel 4.2	Daya dan efisiensi energi pembangkit kondisi saat ini	52
Tabel 4.3	Eksergi spesifik dan laju eksergi pada setiap keadaan siklus saat ini	52
Tabel 4.4	Laju dan rasio destruksi eksergi serta efisiensi eksergi siklus saat ini	53
Tabel 4.5	Hasil analisis energi siklus tambahan.....	53
Tabel 4.6	Daya dan efisiensi energi pembangkit siklus tambahan	54
Tabel 4.7	Hasil analisis eksergi kondisi instalasi tambahan	54
Tabel 4.8	Laju dan rasio destruksi eksergi serta efisiensi eksergi siklus tambahan	55
Tabel 4.9	Hasil analisis energi kondisi modifikasi.....	56
Tabel 4.10	Daya dan efisiensi energi siklus flash ganda (kondisi modifikasi)	56
Tabel 4.11	Hasil analisis eksergi kondisi modifikasi	57
Tabel 4.12	Laju dan rasio destruksi eksergi serta efisiensi eksergi dalam siklus modifikasi.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	i
Lampiran 2	ii
Lampiran 3	iv
Lampiran 4	v

NOMENKLATUR

Lambang	Keterangan
\dot{m}	<i>Laju aliran massa</i>
\dot{E}_x	<i>Laju eksergi</i>
e_x	<i>Eksergi spesifik</i>
T	<i>Temperatur</i>
P	<i>Tekanan</i>
h	<i>Entalpi spesifik</i>
s	<i>Entropi spesifik</i>
\dot{W}	<i>Laju kerja</i>
\dot{Q}	<i>Laju kalor</i>
x	<i>Kualitas</i>
η_{ex}	<i>Efisiensi eksergi</i>
η_{en}	<i>Efisiensi energi</i>

Subskrip

i	Inlet
o	<i>out</i>
0	Parameter nilai lingkungan
f	<i>Saturated water</i>
g	<i>saturated vapor</i>
D	destruksi
gen	<i>generation</i>
net	bersih
SF	single flash
par	parasit
Tot	Total
en	energi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara terpadat ke-4 di dunia dengan lintasan pertumbuhan yang kontinu. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat, pemerintah menekankan peran energi fosil, khususnya pembangkit berbahan bakar batu bara, yang diperkirakan tumbuh hingga 65% dari total pembangkit. Pada saat yang sama, ditetapkan bahwa pada tahun 2025, energi terbarukan akan mencapai 23% dari bauran energi primer, naik dari 8% saat ini. Fokus kebijakan adalah pada sumber daya air dan panas bumi, sementara tenaga surya dan angin hanya memainkan peran yang dapat diabaikan (ESR, 2019).

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam 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 (DEN, 2021).

Sebagian besar wilayah Indonesia terletak pada jalur vulkanik aktif (*ring of fire*). Berdasarkan peraturan Presiden nomor 22 Tahun 2017 tentang rencana umum energi nasional, pemodelan pengembangan pembangkit listrik energi baru terbarukan tahun 2015-2050, 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. Potensi tersebut dapat meningkat seiring dengan peningkatan eksplorasi dan penemuan cadangan baru. Dengan potensi itu, Indonesia tercatat sebagai salah satu negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia. Kapasitas ini merupakan 40% dari potensi *geothermal* dunia (Andianto Pintoro dan Siregar, 2019). Namun pada

kenyataannya sebagian potensi ini belum digunakan. Saat ini, Indonesia hanya menggunakan 8,9% dari potensi panas bumi untuk menghasilkan energi listrik. Optimalisasi potensi *geothermal* dapat menutup kebutuhan listrik yang akan semakin meningkat (Meilani dan Wuryandani, 2010).

Energi panas bumi atau *geothermal energy* 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 dkk., 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 sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP).

Berdasarkan jurnal yang berjudul "*Country Update: The Fast Growth of Geothermal Energy Development in Indonesia*" yang ditulis oleh Surya Darma, Yaumil L. Imani, M. Naufal A. Shidqi, Tavip Dwiko Riyanto, dan M. Yunus Daud menyebutkan bahwa Siklus yang paling banyak digunakan dalam pembangkit listrik tenaga panas bumi di Indonesia adalah *single flash steam* (Darma dkk., 2021).

Single flash steam merupakan siklus yang paling sederhana pada pembangkit listrik tenaga panas bumi. 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 dkk., 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, yaitu dengan mengaplikasikan siklus *double flash steam*, *single flash-binary*, dan *double flash-binary* (Pambudi dkk., 2015).

Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dan modifikasi sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi di PT. Pembangkit Listrik Tenaga

Panas Bumi 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 menambahkan *flasher* kedua sehingga menjadi sistem dengan *flasher* ganda. Investigasi performa sistem saat ini dan sistem yang dimodifikasi dilakukan dengan dengan menerapkan metode analisis energi dan eksergi.

1.2 Rumusan Masalah

Pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan *single flash steam*, *geofluid* cair yang keluar dari separator mempunyai laju aliran massa yang sangat besar dengan suhu yang juga relatif tinggi. Oleh karena itu, kapasitas pembangkit tersebut masih dapat ditingkatkan dengan menambahkan *flash steam* kedua, dimana uap yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin uap tekanan rendah.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini akan difokuskan pada investigasi performa termodinamika pada pembangkit tenaga panas bumi *single flash steam* menjadi *double flash steam* dengan menerapkan metode analisis energi dan eksergi. Studi kasus ini dilaksanakan pada Pembangkit Tenaga Panas Bumi Lumut Balai dengan kapasitas 55 MW. Laju aliran massa dan suhu geofluid dari sumur produksi masing-masing adalah 449,5 kg/s dan 270°C. Analisis dilakukan pada sistem yang disederhanakan terbatas pada komponen-komponen utama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memperoleh besarnya peningkatan daya pembangkit dengan adanya modifikasi dari *single flash steam* menjadi *double flash steam*. Tujuan lainnya adalah untuk mendapatkan besarnya

dan lokasi destruksi eksergi pada sistem pembangkit listrik tenaga panas bumi, baik pada kondisi saat ini maupun kondidi yang akan dimodifikasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memberi manfaat sebagai referensi ilmiah di masa mendatang bagi peneliti dan operator pembangkit, terutama pembangkit tenaga panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriandi, A., & Hantoro, R. (2018). Analisis Pemanfaatan Geothermal Brine untuk Pembangkitan Listrik dengan Heat Exchanger. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.27687>
- Alimuddin, Tambunan, A. H., Machfud, & Novianto, A. (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). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v8i3.8105.g7470>
- Andianto Pintoro, & 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), 1–11. <https://doi.org/10.32734/jsti.v21i1.897>
- Aneke, M., Agnew, B., & Underwood, C. (2011). Performance analysis of the Chena binary geothermal power plant. *Applied Thermal Engineering*, 31(10), 1825–1832. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.02.028>
- Barbier, E., . (2002). No Title. Geothermal Energy Technology and Current Status: An Overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 3–65. [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00002-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00002-3)
- Darma, S., Imani, Y. L., Naufal, M., Shidqi, A., Riyanto, D., & Yunus Daud, M. (2021). Country Update: The Fast Growth of Geothermal Energy Development in Indonesia. *World Geothermal Congress 2020+1*, 12, 1–2.
- DEN. (2019). Outlook Energi Indonesia (S. Abdurahman, M. Pertiwi, & Walujanto (eds.)). Dewan Energi Nasional.
- Donatini, F. (2019). Geothermal Power. *Power Engineering Advances And Challenges*, September, 179–215. <https://doi.org/10.1201/9781315202105-7>
- Fallah, M., Ghiasi, R. A., & Mokarram, N. H. (2018). A comprehensive comparison among different types of geothermal plants from exergy and thermoeconomic points of view. *Thermal Science and Engineering Progress*, 5, 15–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.10.017>
- Kanoglu, M., Dincer, I., & Rosen, M. (2007). Understanding energy and exergy efficiencies for improved energy management in power plants. *Energy Policy*, 35, 3967–3978. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.01.015>
- Kusuma, G. A., Mangindaan, G., & Pakiding, M. (2018). Analisa Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 Dan 6 Di Tompaso. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(2), 123–134.
- Meilani, H., & 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), 47–74.
- Moon, H., Dan Zarrouk, J, S. (2014). Efficiency of Geothermal Power Plants : a Worldwide Review. *Geothermics*, 51(November 2012), 142–153. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375650513001120>
- Nasruddin, N., Noor Sidiq, A., & Mohamad, A., & Usvika, R. (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), 38–44. <https://doi.org/10.7454/mst.v19i1.3032>
- Pambudi, N. A., Itoi, R., Jalilinasrabady, S., & Jaelani, K. (2015). Performance Improvement of Single-Flash Geothermal Power Plant Applying Three Cases Development Scenarios Using Thermodynamic Methods. *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Radmehr, B., Radmehr, S., Bakhtari, K., & Farzaneh, H. (2010). Thermodynamic Modeling and Exergy Analysis of a Heat Recovery System in Meshkinshahr Geothermal Power Plant, Iran.
- Santoso, D., & 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*.
- Shlyakhin, P. (1993). *Turbin uap : teori dan rancangan*. Jakarta: Erlangga. <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20319247&lokasi=lokal>
- Yildirim, E. D., & Gokcen, G. (2004). Exergy analysis and performance evaluation of Kizildere Geothermal Power Plant , Turkey. *International Journal Exergy*, 1(3), 316–333.
- Zuchrillah, D. R., Handogo, R., & Juwari. (2017). Pemilihan Teknologi Proses Geothermal Secara Teknis Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Di Indonesia. *Jurnal IPTEK*, 21(2), 59–66.