

SKRIPSI
ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI
PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY
AREA ULUNELU LAMPUNG



OLEH:
ERLANGGA HIDAYATULLAH
03031101419158

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018

621.312 132 07 598 18

BT

a

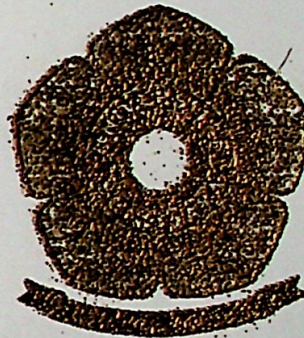
2018

502747

2

SKRIPSI
ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI
PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY
AREA ULUBELU LAMPUNG

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



OLEH:
ERLANGGA HIDAYATULLAH
03051181419158

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY AREA ULUBELU LAMPUNG

SKRIPSI

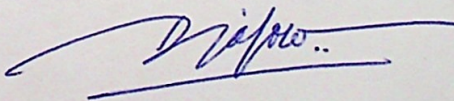
Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

ERLANGGA HIDAYATULLAH
03051181419158

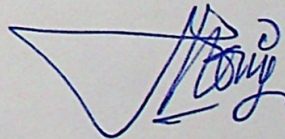
Indralaya, Februari 2018
Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi I,



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

Pembimbing Skripsi II,



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



HALAMAN PERSETUJUAN

12018
18

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Februari 2018.

Indralaya, 21 Februari 2018

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

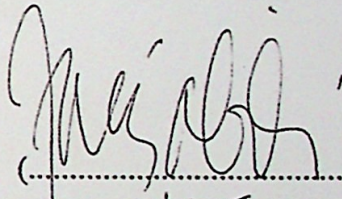
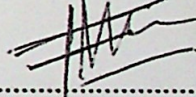
Ketua :

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

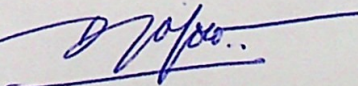
()

Anggota :

1. Ir. H. Zainal Abidin, M.T.
NIP. 19580910 198602 1 001
2. Dr. Fajri Vidian, S.T., M.T.
NIP. 19720716 200604 1 002

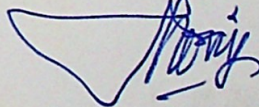
()
()

Pembimbing Skripsi I,

()

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

Pembimbing Skripsi II,

()

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



MENGETAHUI
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda
Diterima Tanggal
Paraf

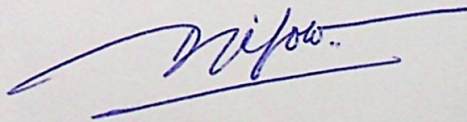
: 008/TM/18/2018
: 2/4 - 2018
: 

SKRIPSI

Nama : Erlangga Hidayatullah
Nim : 03051181419158
Judul : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik
Tenaga Panas Bumi PT. Pertamina Geothermal Energy
Area Ulubelu Lampung
Diberikan : November 2017
Selesai : Februari 2018

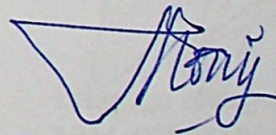
Indralaya, Februari 2018
Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi I,



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

Pembimbing Skripsi II,



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



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIP. 19741225 199702 1 001

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Erlangga Hidayatullah

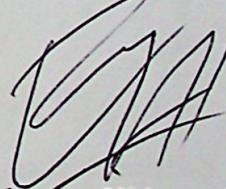
NIM : 03051181419158

Judul : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga
Panas Bumi PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung

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

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

Indralaya, Februari 2018



Erlangga Hidayatullah
NIM. 03051181419158

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Erlangga Hidayatullah

NIM : 03051181419158

Judul : Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung

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

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



Indralaya, Februari 2018



Erlangga Hidayatullah
NIM. 03051181419158

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis persembahkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa shalawat serta salam semoga selalu tercurah atas junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat sampai pengikut beliau hingga akhir zaman. Skripsi ini berjudul “Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung”, disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

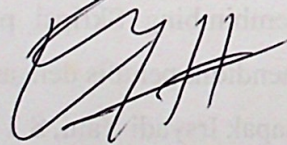
Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, di antaranya kepada:

1. Allah Subhaanahu wata’ala dan Muhammad Shallallaahu ‘alaihi wasallam.
2. Kedua orang tua penulis Ibu Suci dan Bapak Aswad, serta kelima saudara penulis beserta sekeluarga besar yang selalu mendukung dan mendoakan selama proses menempuh kegiatan akademik termasuk penyelesaian skripsi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya ini.
3. Bapak Ir. Dyos Santoso, M.T. dan Ir. Joni Yanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Skripsi penulis yang selalu senantiasa mengarahkan dan mendidik penulis dengan ikhlas.
4. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Bapak Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis selama kuliah di Jurusan Teknik Mesin.
7. PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung yang telah memberikan kesempatan kepada penulis dalam melaksanakan Kerja Praktek sekaligus Skripsi ini.

8. Keluarga Besar Mahasiswa Pencinta Alam Green Machine Spirit Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
9. Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, khususnya para penunggu sekret "*Sekret Squad*".
10. Rekan Seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2014 Universitas Sriwijaya.
11. Teman Seperjuangan Desa Talang Aur Mahoni, Redot, Tabroni, Dawo, Iwan, Wardi, Aan, Adi, Rizal, Tedy, Didik, Dodi, Faisal, Nopri, dan masih banyak lagi yang tak bisa penulis sebutkan satu per satu.
12. Terkhusus untuk Ardhila Dharmalasari yang tak pernah lelah memberikan semangat, dukungan, dan dorongan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar penelitian yang akan dilakukan nantinya menjadi lebih baik. Akhirnya, penulis mengharapkan semoga penelitian ini nantinya dapat berguna dan bermanfaat bagi berbagai pihak.

Indralaya, Februari 2018



Penulis

RINGKASAN

ANALISIS EKSERGI DAN EKSERGOEKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY AREA ULUBELU LAMPUNG

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 21 Februari 2018

Erlangga Hidayatullah;

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

Exergy and Exergoeconomic Analysis Geothermal Power Plant PT. Pertamina Geothermal Energy Ulubelu Area of Lampung

xxvii + 78 halaman, 24 gambar, 5 tabel

Ringkasan

Panas bumi atau *geothermal* merupakan salah satu energi baru terbarukan yang sangat melimpah di Indonesia. Pengembangan dan optimalisasi dalam penggunaan yang ramah lingkungan tentunya akan sangat berdampak positif bagi industri di Indonesia, khususnya dalam bidang pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga panas bumi jauh lebih baik dibandingkan sumber energi yang berasal dari fosil dan batubara, karena emisi dari sisa pembangkitan yang sangat kecil daripada pembangkit konvensional. Penelitian ini mengkaji dan mengevaluasi performansi salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi di Indonesia, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung Unit 3 dan 4. Metode analisis eksergi dan eksergoekonomi digunakan dalam penelitian ini untuk menunjukkan pemusnahan eksergi dan kerugian biaya pada seluruh komponen yang dikaji. Sistem pembangkit yang dikaji ini merupakan sistem *single flash* di mana terdiri dari 2 unit yang identik. Komponen yang dianalisis meliputi 3 *separator* utama, 2 *scrubber*, 2 turbin uap, dan 2 kondensor. Pembangkit ini memiliki beberapa sumur produksi (*cluster*). Dari beberapa sumur tersebut kemudian dialirkan menuju 3 *separator* utama. Dari ketiga *separator*, menghasilkan 3 pipa uap yang kemudian ketiganya dihubungkan. Tiga pipa uap tersebut dibagi menjadi 2 pipa utama, di mana masing-masing pipa untuk digunakan sebagai pembangkit unit 3 dan 4. Selanjutnya aliran uap masuk menuju *scrubber*, fungsinya sebagai penyaring kandungan butir-butir air atau kotoran sehingga fluida yang menuju turbin benar-benar dalam kondisi uap kering. Fluida masuk turbin kemudian diekspansi untuk menghasilkan kerja berupa putaran poros turbin. Poros turbin tersebut dihubungkan dengan poros *generator* sehingga dihasilkan energi listrik. Evaluasi pembangkit dimulai dari turbin uap unit 3, komponen ini menghasilkan kerja turbin sebesar 52581,737 kW dengan efisiensi rasional sebesar 90,228%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 6545,451 kW dengan faktor f 29,909% dan kerugian biaya sebanyak 389,062 USD/h. Selanjutnya pada turbin uap unit 4, komponen ini menghasilkan kerja turbin sebesar 45513,301 kW dengan efisiensi rasional sebesar 89,884%. Komponen ini memusnahkan eksergi

sebanyak 5738,949 kW dengan faktor f 32,930% dan kerugian biaya sebanyak 338,139 USD/h. Setelah itu dilanjutkan evaluasi pada kondensor unit 3, komponen ini mempunyai efisiensi rasional sebesar 43,621%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 7826,499 kW dengan faktor f 1,981% dan kerugian biaya sebanyak 465,207 USD/h. Untuk kondensor unit 4, komponen ini mempunyai efisiensi rasional sebesar 42,650%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 7378,244 kW dengan faktor f 2,117% dan kerugian biaya sebanyak 434,726 USD/h. Dilanjutkan pada *scrubber* unit 3, komponen ini mempunyai efisiensi rasional sebesar 99,393%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 422,870 kW dengan faktor f 9,381% dan kerugian biaya sebanyak 25,135 USD/h. Sedangkan pada *scrubber* unit 4, komponen ini mempunyai efisiensi rasional sebesar 99,191%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 479,458 kW dengan faktor f 8,434% dan kerugian biaya sebanyak 28,250 USD/h. Kemudian pada *separator* 4, komponen ini mempunyai efisiensi rasional sebesar 98,159%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 685,576 kW dengan faktor f 6,140% dan kerugian biaya sebanyak 39,778 USD/h. Selanjutnya *separator* 5, komponen ini mempunyai efisiensi rasional sebesar 98,662%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 1178,409 kW dengan faktor f 3,646% dan kerugian biaya sebanyak 68,770 USD/h. Komponen yang terakhir adalah *separator* 6, komponen ini mempunyai efisiensi rasional sebesar 96,947%. Komponen ini memusnahkan eksergi sebanyak 2025,495 kW dengan faktor f 2,154% dan kerugian biaya sebanyak 118,205 USD/h. Dari keseluruhan hasil evaluasi, dapat diketahui bahwa total pemusnahan eksergi oleh pembangkit sebesar 32280,953 kW. Akibat pemusnahan eksergi tersebut, kerugian biayanya sebanyak 1907,271 USD/h. Dapat diketahui bahwa komponen yang perlu mendapat perhatian dan penanganan lebih lanjut adalah kondensor, baik pada unit 3 maupun unit 4 karena sebagian besar pemusnahan eksergi diakibatkan oleh kondensor dan telah banyak kerugian yang ditimbulkan oleh komponen tersebut.

Kata Kunci: PLTP, analisis energi, analisis eksergi, analisis eksergoekonomi, *single flash steam*, eksergi yang dimusnahkan, efisiensi rasional, kerugian biaya, faktor f .

Kepustakaan: 15 (1995-2017)

SUMMARY

*EXERGY AND EXERGoeCONOMIC ANALYSIS GEOTHERMAL POWER PLANT
PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY ULUBELU AREA OF LAMPUNG
Scientific papers in the form of a scription, February 21st, 2018*

Erlangga Hidayatullah;

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

*Analisis Eksergi dan Eksergoekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung*

xxvii + 78 pages, 24 figures, 5 tables

Summary

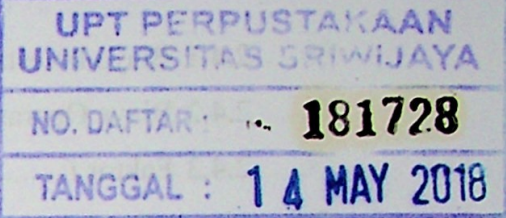
Geothermal energy is one of the very abundant renewable new in Indonesia. Development and optimization in the use of environmentally friendly of course will be very positive impact for the industry in Indonesia, especially in the field of power generation. Geothermal power plant is much better than the source of the energy that comes from the fossils and coal, because emissions from the rest of a very small generation than conventional plants. This study examines and evaluates the performance of one of the geothermal power plant in Indonesia, namely Geothermal power plant PT. Pertamina Geothermal Energy Ulubelu Area of Lampung Units 3 and 4. Exergy and exergoeconomic methods of analysis used in the study to show the destruction of exergy and fees on all of its components are examined. The plant system is examined it is single flash in which consist of 2 identical units. The components analyzed include 3 primary separator, 2 scrubbers, 2 steam turbines, and 2 condensers. This plant has several production wells (cluster). Of some of the wells are then streamed toward the primary separator 3. A third of the separator, generate steam pipe 3 then all three are linked. Three pipes the steam is divided into 2 main pipeline, where each of the pipes to be used as power plant units 3 and 4. Further the flow of steam into the scrubber, it functions as a filter content of grains of water or dirt so that the fluid towards the turbine completely in conditions of dry steam. The fluid entering the turbine is then expanded to produce work in the form of turbine shaft rotation. The turbine shaft is connected to the generator shaft so that the generated electrical energy. Evaluation of the plant starts from a steam turbine unit 3, this component produces a working turbine of 52581.737 kW, with the rational efficiency of 90.228%. These components destroy the exergy as much as 6545.451 kW by a factor f 29.909% and the loss cost as much as USD 389.062/h. Next on the steam turbine unit 4, this component produces a working turbine of 45513.301 kW, with the rational efficiency of 89.884%. These components destroy the exergy as much as 5738.949 kW by a factor f 32.930% and the loss cost as much as 338.139 USD/h. After it resumed the evaluation on the condenser unit 3, this component has the rational efficiency of 43.621%.

These components destroy the exergy as much as 7826.499 kW by a factor f 1.981% and the loss cost as much as 465.207 USD/h. For the condenser unit 4, this component has the rational efficiency of 42.650%. These components destroy the exergy as much as 7378.244 kW by a factor f 2.117% and the loss cost as much as USD 434.726/h. Proceed on the scrubber unit 3, this component has the rational efficiency of 99.393%. These components destroy the exergy as much as 422.870 kW by a factor f 9.381% and the loss cost as much as 25.135 USD/h. whereas in the scrubber unit 4, this component has the rational efficiency of 99.191%. These components destroy the exergy as much as 479.458 kW by a factor f 8.434% and the loss cost as much as 28.250 USD/h. Later on separator 4, this component has the rational efficiency of 98.159%. These components destroy the exergy as much as 685.576 kW by a factor f 6.140% and the loss cost as much as 39.778 USD/h. Next separator 5, this component has the rational efficiency of 98.662%. These components destroy the exergy as much as 1178.409 kW by a factor f 3.646% and the loss cost as much as 68.770 USD/h. the last Component is the separator 6, this component has the rational efficiency of 96.947%. These components destroy the exergy as much as 2025.495 kW by a factor f 2.154% and the loss cost as much as 118.205 USD/h. of the overall results of the evaluation, it can be noted that the total destruction of exergy by the plant of 32280.953 kW. Due to the destruction of the exergy, the loss cost as much as USD 1907.271/h. Be aware that the components that need attention and further handling is good, condenser on unit 3 or 4 units because most of the destruction of exergy caused by the condenser and it has a lot of the losses inflicted by the component.

Keywords: Geothermal Power Plant, energy analysis, exergy analysis, exergoeconomic analysis, single flash steam, irreversibility, rational efficiency, the loss cost, faktor f .

Literature: 15 (1995-2017)

Daftar Isi



Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Persetujuan	v
Halaman Pengesahan Agenda	vii
Halaman Persetujuan Publikasi	ix
Halaman Pernyataan Integritas	xi
Kata Pengantar	xiii
Ringkasan	xv
Summary	xvii
Daftar Isi	xix
Daftar Gambar	xxiii
Daftar Tabel	xxv
Daftar Lampiran	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Studi Kepustakaan	7
2.2 Konsep Dasar Energi dan Eksergi	9
2.3 Analisis Eksergi	10
2.3.1 Bentuk-Bentuk Eksergi	10
2.3.2 Eksergi Pada Sistem Tertutup	12
2.3.3 Eksergi Pada Sistem Terbuka	14
2.3.4 Efisiensi Eksergi	17
2.3.5 Rasio Destruksi Eksergi	17
2.4 Analisis Eksergoeкономи	18

2.4.1	Biaya Investasi Komponen.....	20
2.4.2	Biaya Operasi dan Perawatan Komponen	20
2.4.3	Faktor f	20
2.5	Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	21
2.5.1	<i>Single Flash Steam Power Plant</i>	21
2.5.2	<i>Double Flash Steam Power Plant</i>	22
2.5.3	<i>Dry Steam Power Plant</i>	23
2.5.4	<i>Binary Cycle Power Plant</i>	24
BAB 3	DESKRIPSI SISTEM	27
3.1	Gambaran Umum	27
3.2	Batas dan Spesifikasi Sistem	28
3.2.1	<i>Separator</i>	29
3.2.2	<i>Scrubber</i>	29
3.2.3	Turbin Uap	29
3.2.4	Kondensor	30
BAB 4	METODOLOGI PENELITIAN	31
4.1	Diagram Alir Penelitian	31
4.2	Tinjauan Pustaka	32
4.3	Pengumpulan Data	32
4.4	Analisis dan Pengolahan Data	32
4.5	Hasil dan Pembahasan	33
4.6	Kesimpulan dan Saran	33
BAB 5	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	35
5.1	Analisis Data	35
5.2	Analisis Eksergi Komponen PLTP	37
5.2.1	Turbin Uap Unit 3	38
5.2.2	Turbin Uap Unit 4	40
5.2.3	Kondensor Unit 3	42
5.2.4	Kondensor Unit 4	43
5.2.5	<i>Scrubber</i> Unit 3	45
5.2.6	<i>Scrubber</i> Unit 4	46
5.2.7	<i>Separator</i> 4	48

5.2.8	<i>Separator</i> 5	49
5.2.9	<i>Separator</i> 6	51
5.3	Analisis Eksergoekonomi Komponen PLTP	53
5.3.1	Turbin Uap Unit 3	53
5.3.2	Turbin Uap Unit 4	55
5.3.3	Kondensor Unit 3	56
5.3.4	Kondensor Unit 4	57
5.3.5	<i>Scrubber</i> Unit 3	59
5.3.6	<i>Scrubber</i> Unit 4	60
5.3.7	<i>Separator</i> 4	61
5.3.8	<i>Separator</i> 5	62
5.3.9	<i>Separator</i> 6	63
5.4	Hasil Pengolahan Data	65
5.5	Pembahasan	68
5.5.1	Eksergi Yang Dimusnahkan/ Eksergi Destruksi	68
5.5.2	Efisiensi Rasional	69
5.5.3	Rasio Destruksi Terhadap Bahan Bakar (<i>Fuel</i>)	70
5.5.4	Rasio Destruksi Terhadap Total <i>Irreversibility</i>	70
5.5.5	Kerugian Biaya	70
5.5.6	Faktor f	71
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		73
6.1	Kesimpulan	73
6.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		77

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Komponen yang terkandung dalam suatu energi	9
Gambar 2.2 Eksergi pada sistem tertutup	12
Gambar 2.3 Sistem massa alir	15
Gambar 2.4 Eksergi pada sistem terbuka.....	16
Gambar 2.5 Skematik <i>single flash steam power plant</i> sederhana.....	22
Gambar 2.6 Skematik <i>double flash steam power plant</i> sederhana.....	23
Gambar 2.7 Skematik <i>dry steam power plant</i> sederhana.....	24
Gambar 2.8 Skematik <i>binary cycle power plant</i>	24
Gambar 3.1 Skema sistem unit 3 dan 4 PLTP PT. PGE Area Ulubelu Lampung.....	28
Gambar 4.1 Diagram alir prosedur penelitian.....	31
Gambar 5.1 Diagram <i>T-s</i> proses PLTP PT. PGE Area Ulubelu Lampung	36
Gambar 5.2 Turbin Uap Unit 3	38
Gambar 5.3 Turbin Uap Unit 4	40
Gambar 5.4 Kondensor Unit 3	42
Gambar 5.5 Kondensor Unit 4	43
Gambar 5.6 <i>Scrubber</i> Unit 3	45
Gambar 5.7 <i>Scrubber</i> Unit 4	46
Gambar 5.8 <i>Separator</i> 4.....	48
Gambar 5.9 <i>Separator</i> 5.....	49
Gambar 5.10 <i>Separator</i> 6.....	51
Gambar 5.11 Diagram eksergi yang dimusnahkan tiap komponen PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung	65
Gambar 5.12 Diagram hasil analisis eksergi pada komponen PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung	66
Gambar 5.13 Besar kerugian biaya tiap komponen PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung	67
Gambar 5.14 Faktor <i>f</i> pada komponen PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung	67

Daftar Tabel

Tabel 5.1 Data tiap titik pada sistem PLTP PT. PGE Area Ulubelu.....	35
Tabel 5.2 Laju eksergi tiap titik pada sistem PLTP PT. PGE Area Ulubelu	37
Tabel 5.3 Biaya investasi, operasional dan perawatan, serta biaya total komponen	53
Tabel 5.4 Hasil analisis eksergi pada komponen PLTP PT. PGE Area Ulubelu	65
Tabel 5.5 Hasil analisis eksergoekonomi pada komponen PLTP PT. PGE Area Ulubelu	66

Daftar Lampiran

Lampiran A.1 Tabel temperatur <i>saturated water</i>	77
Lampiran A.2 Tabel tekanan <i>saturated water</i>	78

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini konsumsi energi sangatlah besar, tentunya harus ada pengelolaan energi semaksimal mungkin. Dimana pemanfaatan energi tersebut harus menyeluruh, jangan sampai adanya potensi energi yang bermanfaat terbuang begitu saja. Hal yang dilakukan paling tidak bagaimana meminimalisir potensi energi yang bermanfaat sebelum dibuang. Di samping itu ketersediaan energi fosil lambat laun makin sedikit. Oleh karena itu, diperlukan suatu pemecahan masalah agar energi yang dimanfaatkan benar-benar maksimal. Melihat kondisi saat ini perlu dilakukan pengalihan penggunaan energi fosil ke energi baru terbarukan. Energi baru terbarukan lebih ramah lingkungan dan ketersediaan yang ada secara terus-menerus. Dibandingkan energi fosil, energi ini juga relatif lebih murah hanya saja kondisi geografis suatu tempat sangat mempengaruhi. Jenis-jenis energi terbarukan seperti energi panas bumi, energi angin, energi air, energi gelombang, energi surya, dan lain-lain. Indonesia adalah salah satu negara yang terletak pada geografis sangat strategis sehingga memiliki sumber energi terbarukan yang sangat berlimpah.

Sekarang ini pengembangan energi terbarukan di Indonesia terus dikembangkan, khususnya energi panas bumi. Letak Indonesia yang dikelilingi gunung api dan lempengan bumi juga berdampak positif di bidang industri energi. Bagaimana tidak, tuntutan konsumsi listrik yang terus meningkat mendorong optimalisasi daya listrik menggunakan energi terbarukan, termasuk energi panas bumi atau *geothermal*.

Menurut teori, energi itu kekal karena energi itu tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan. Pernyataan itu sangatlah benar namun bagaimana jika dihubungkan dengan eksergi. Adapun eksergi adalah potensi kerja maksimum yang dikandung oleh suatu energi. Jadi yang kita manfaatkan selama ini

bukanlah energi akan tetapi adalah eksergi. Seiring konsumsi yang terus menerus eksergi akan berkurang, akan adanya eksergi yang terbuang dan tidak dapat dimanfaatkan lagi. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa yang terjadi nantinya bukanlah krisis energi karena energi itu sendiri kekal, namun yang terjadi adalah krisis eksergi.

Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja dan selalu kekal dalam proses (Hukum Pertama Termodinamika). Sedangkan, eksergi didefinisikan sebagai kerja atau kemampuan untuk melakukan kerja dan selalu dilestarikan dalam proses reversibel, tetapi selalu dikonsumsi dalam proses *irreversible*. Sementara energi adalah ukuran kuantitas, eksergi adalah ukuran kuantitas dan kualitas. Eksergi sama seperti energi yaitu dapat melintasi batas sistem. Untuk setiap transfer energi, ada transfer eksergi yang sesuai. Hukum Pertama Termodinamika menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan.

Energi tersedia dalam berbagai bentuk dan dapat dikonversi ke bentuk energi lain. Hukum Kedua Termodinamika menyatakan bahwa konversi energi hanya mungkin jika entropi total naik. Dengan analisis eksergi, energi dan entropi dapat diperbaiki secara bersamaan. Kualitas energi ini dijelaskan oleh konsep entropi. Bentuk energi yang berbeda memiliki kualitas yang berbeda dan secara teoritis menunjukkan sejauh mana bentuk energi tersebut dapat dikonversi menjadi kerja mekanik. Keterbatasan dan hukum alam ini menyiratkan bahwa kualitas total energi selalu berkurang di setiap konversi (Hukum Kedua Termodinamika).

Eksergi dievaluasi terhadap model referensi lingkungan. Keadaan referensi lingkungan ditentukan oleh komposisi temperatur, tekanan dan unsur kimianya. Hasilnya relatif terhadap referensi lingkungan tertentu. Lingkungan yang diasumsikan sistem kompresibel sangat besar dan dimodelkan sebagai reservoir panas dengan temperatur T_0 seragam dan konstan serta tekanan P_0 . Lingkungan merupakan reservoir besar sehingga sifat intensif tidak signifikan diubah oleh proses yang terjadi. Untuk analisis, atmosfer bumi, kerak bumi, laut, sungai besar atau danau sering dianggap sebagai lingkungan meskipun mereka tidak benar-benar seragam dan sifat mereka mungkin tidak konstan. Lingkungan

yang standar dunia dapat didefinisikan dalam hal kondisi atmosfer standar pada permukaan laut dan komposisi kimia secara keseluruhan.

Analisis eksergi telah dikutip oleh banyak peneliti untuk mengidentifikasi dan mengukur proses energi yang rendah karena kemungkinan jenis, lokasi dan jumlah kerugian energi yang akan dievaluasi. Metode analisis eksergi telah digunakan sebagai analisis dalam studi optimasi sistem energi. Metode ini menggunakan prinsip-prinsip Hukum Pertama Termodinamika (konservasi energi) bersama dengan Hukum Kedua Termodinamika untuk desain, analisis dan perbaikan sistem energi (Kotas, 1995).

Analisis eksergoekonomi merupakan teknik evaluasi suatu sistem dari segi efektifitas penggunaan biaya. Analisis eksergoekonomi sangatlah berhubungan dengan analisis eksergi, karena tidak cukup dikaji dengan analisis eksergi perlu juga menerapkan prinsip kajian sektor ekonomi yang membantu menganalisis kerugian biaya akibat eksergi yang dimusnahkan.

Pada hasil analisis eksergi dan eksergoekonomi kita bisa mengetahui dan mengevaluasi sistem suatu pembangkit, yang paling penting memaksimalkan pemanfaatan energi dari sistem tersebut. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian di PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung karena kondisi operasi di lapangan tentu berbeda-beda dan tidak sesuai dengan kondisi desainnya. Hal itu mengakibatkan adanya perubahan performansi sistem sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar pemusnahan eksergi, efisiensi, dan kerugian biaya pada sistem tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian adalah dalam pengkajian peluang peningkatan performansi sistem pada pembangkit listrik tenaga panas bumi di PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung. Permasalahan yang ada di antaranya pengoperasian

sistem yang tidak pada kondisi desainnya, perlu diketahui di bagian yang mana pemusnahan atau kerugian eksergi terbesar dan seberapa besar. Selain itu, analisis eksergoekonomi juga membantu dalam mengkaji efektifitas biaya pada sistem itu sendiri. Oleh karena itu, penulis melakukan analisis pada *separator*, *scrubber*, turbin uap, dan kondensor di Pembangkit Listrik Tenaga Panas PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi masalah yang akan diteliti sebagai berikut.

1. Sistem yang akan dikaji meliputi 3 *separator* utama. Kemudian untuk PLTP unit 3 meliputi *scrubber*, turbin uap, dan kondensor. Begitu juga untuk PLTP unit 4 terdiri dari *scrubber*, turbin uap, dan kondensor.
2. Kualitas uap yang berasal dari perut bumi masuk ke *separator* sebesar 20% (Sumber: PT. PGE Area Ulubelu Lampung).
3. Kandungan *NCG* dalam fluida kerja sistem diabaikan karena relatif kecil.
4. Pembahasan diarahkan kepada analisis termodinamika dengan menggunakan hukum pertama dan kedua.
5. Analisis sistem menggunakan neraca massa, neraca, energi, neraca eksergi, dan neraca biaya.
6. Analisis eksergoekonomi dihubungkan dengan aliran eksergi yang mengalir dalam sistem untuk mengkaji efektifitas penggunaan biaya.
7. Seluruh sistem bekerja dalam keadaan *steady state* dan *steady flow*.
8. Seluruh sistem bekerja dalam kondisi adiabatik.
9. Eksergi kimia dalam penelitian ini diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan efisiensi, pemusnahan eksergi, serta besarnya kerugian biaya dari setiap sistem PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung.

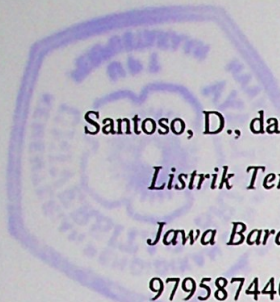
1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang penulis harapkan dari penelitian ini adalah sebagai bahan referensi ilmiah di masa mendatang, serta dapat memberikan saran dan acuan ilmiah kepada pihak terkait manajemen PLTP PT. Pertamina Geothermal Energy Area Ulubelu Lampung dalam pengoperasian pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA



- Aali, A., N. Pourmahmoud, and V. Zare. 2017. *Exergoeconomic Analysis and Multi-Objective Optimization of a Novel Combined Flash-Binary Cycle for Sabalan Geothermal Power Plant in Iran*, Energy Conversion and Management, 143(July): 377-390.
- Aziz, A., 2011. *Analisa Eksergi PLTP Kamojang 68 Kapasitas 3 MW Exergy Analysis of Geothermal Power*, JRL Peneliti Konversi dan Konservasi Energi dan Team Panas Bumi BPPT, 7(2): 115-125.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G., dan Moran, M. 1995. *Thermal Design and Optimization*.
- Cengel, Y., A., dan Boles, M., A., 2006. *Thermodynamics An Engineering Approach Fifth Edition*, ISBN 10: 0072884959, ISBN 13: 9780072884951. Boston: McGraw-Hill College.
- DiPippo, Ronald, and Lucien Y. Bronicki. 2008. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Second Edition*, ISBN: 9780750686204. Massachusetts: University of Massachusetts Dartmouth.
- DiPippo, Ronald. 2012. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact Third Edition*, ISBN: 0123947871. Massachusetts: University of Massachusetts Dartmouth.
- El-Emam, R., S., dan Dincer, I. 2013. *Exergy and Exergoeconomic Analysis and Optimization of Geothermal Organic Rankine Cycle*, Applied Thermal Engineering, 59: 435-444. Canada: University of Ontario Institute of Technology.
- Ganjehsarabi, Hadi, Ali Gungor, and Ibrahim Dincer. 2014. *Exergoeconomic Evaluation of a Geothermal Power Plant*. International Journal of Exergy, 14(3): 303-319.
- Kotas, T., J. 1995. *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, ISBN: 0894649418, ISBN: 0894649469. Florida: Krieger Publishing Company.
- Nazari, Navid, dan Soheil Porkhial. 2016. *Energetic and Exergetic Improvement of Geothermal Single Flash Cycle*, Int. Journal of Renewable Energy Development, 5(2): 129-138.



Santoso, D., dan Yusuf, R., M. 2012. *Analisis Eksergi Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) UBP Kamojang Unit PLTP Darajat Jawa Barat*, Prosiding Seminar Nasional AvoER ke-4 Palembang, ISBN: 9795874403, 134-139. Palembang: Universitas Sriwijaya.

Siahaya, Yusuf. 2011. *Energy, Exergy and Thermo-economic Analysis of Lahendong Binary-Cycle Geothermal Power Plant at North Sulawesi Indonesia*, The 7th International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, (5): 1-15.

Turton, R., Bailie, R., C., Whiting, W., B., dan Shaeiwitz, J., A. 2013. *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes Third Edition*, ISBN: 9788578110796, 53(9). Upper Saddle River, N.J.: P. Hall PTR, c1998.

Wall, Goran. 2009. *Exergetics*, ISBN: 9126948427. Sweden: Bucaramanga.

Zhao, Y., dan Wang, J. 2016. *Exergoeconomic Analysis and Optimization of a Flash-Binary Geothermal Power System*, Applied Energy, 179: 159-170.