

**ANALISA POTENSI PEMANFAATAN FLUIDA SISA
PEMBANGKIT LISTRIK SARULLA UNTUK *DIRECT USE*
PADA PENDING KOPPI**

TESIS

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua (S-2)
Sebagai Magister Sains pada Program Studi Magister Energi



Disusun Oleh :

JONIUS CHRISTIAN HAREFA

30000420420017

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2022

PERSETUJUAN UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini Dosen Pembimbing dari :

Mahasiswa : Jonius Christian Harefa
NIM : 30000420420017
Program Studi : Magister Energi
Judul Tesis : Analisa Potensi Pemanfaatan Fluida Sisa Pembangkit Listrik Sarulla Untuk *Direct Use* Pada Pengereng Kopi

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Ujian Proposal, Ujian Kemajuan Tesis dan Ujian Seminar Tesis sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Tesis.

Semarang, 21 September 2022

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Hadiyanto, ST., MSc, IPU
NIP. 197510281999031004

Dr. Eng. Udi Harmoko, M.Si
NIP. 197108101999031001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh oranglain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 21 September 2022

Materai 6000 dan tandatangan

Jonius Christian Harefa
NIM : 30000420420017

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

ANALISA POTENSI PEMANFAATAN FLUIDA SISA PEMBANGKIT
LISTRIK SARULLA UNTUK *DIRECT USE* PADA PENGERING KOPI

Disusun Oleh :

JONIUS CHRISTIAN HAREFA
30000420420017

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 21 September 2022**

Tim Penguji

Dosen Pembimbing I

Penguji I

Prof. Dr. Hadiyanto, ST., MSc, IPU
NIP. 197510281999031004

Prof. Dr. Ir. Widayat S.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP. 197206091998031001

Dosen Pembimbing II

Penguji II

Dr. Eng. Udi Harmoko, M.Si
NIP. 197108101999031001

Dr. Eng. Agus Setyawan S.Si., M.Si.
NIP. 197308251999031002

**Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh
gelar Magister Energi**

Tanggal 21 September 2022

Dekan Sekolah Pascasarjana

Kaprodi Magister Energi

Dr. Rb. Sularto, S.H., M. HUM
NIP. 196701011991031005

Dr. Ir. Jaka Windarta, MT
NIP. 196405261989031002

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jonius Christian Harefa
NIM : 30000420420017
Program Studi : Magister Energi
Sekolah : Program Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISA POTENSI PEMANFAATAN FLUIDA SISA PEMBANGKIT
LISTRIK SARULLA UNTUK *DIRECT USE* PADA PENDINGIN KOPI

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang
Pada tanggal : **21 September 2022**
Yang menyatakan

Materai 6000 dan tandatangan

Nama : Jonius Christian Harefa
NIM : 30000420420017

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis yang berjudul “Analisa Potensi Pemanfaatan Fluida Sisa Pembangkit Listrik Sarulla Untuk *Direct Use* Pada Pengering Kopi”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan tesis ini yaitu kepada :

1. Dr. R.B Sularto, S.H., M.Hum, selaku Dekan Pasca sarjana, Universitas Diponegoro Semarang
2. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Prof. Dr. Hadiyanto, ST, MSc, IPU, selaku Dosen Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis mengerjakan proposal ini.
4. Dr. Eng. Udi Harmoko, M.Si, selaku Dosen Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis mengerjakan proposal ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan pengajaran yang sangat luar biasa kepada penulis.
6. Sarulla Operation Limited yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di perusahaan
7. Teman - teman Magister Energi yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.
8. Orangtua dan seluruh keluarga besar yang telah mendukung penulis baik secara materi maupun non materi.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan dan pengembangan tesis ini kearah yang lebih baik. Semoga usaha penulis dalam penyusunan tesis ini selalu dalam lindungan Tuhan yang maha Esa

Semarang, 21 September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN UJIAN TESIS	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Originalitas Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Geothermal Combined Cycle	7
2.2 Pemanfaatan Secara Langsung (<i>Direct Use</i>)	7
2.3 Lindal Diagram	8
2.4 Pengeringan Kopi	9
2.5 Energi dan Eksergi	9
2.6 <i>Software</i> Simulasi	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Kerangka Konsep Pnelitian	12
3.1.1 Bagan Penelitian	12
3.1.2 Jenis Penelitian	14
3.1.3 Ruang Lingkup Penelitian	15
3.2 Alur Penelitian	15
3.3 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	15
3.4 Pelaksanaan Penelitian	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Data Brine Reinjeksi	19
4.2 Data Udara Masukkan	19
4.3 Udara Pengeringan Kopi	20
4.4 Hasil Perhitungan Energi	20
4.5 <i>Logarithmic Mean Temperature Difference</i>	23
4.6 Koefisien Perpindahan Panas	24
4.7 Hasil Perhitungan Eksergi	24
4.8 Hasil Simulasi DWSIM	26
4.9 Laju Pembentukan Kerak Silika	27
4.10 Penukar Kalor untuk Pengering Kopi	28

BAB V PENUTUP	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30

DAFTAR TABEL

Tabel 1 : Pemanfaatan Energi Panas Bumi Secara Langsung di Indonesia	8
Tabel 2 : Syarat Mutu Umum	9
Tabel 3. Data Brine Reinjeksi	19
Tabel 4. Data Suhu Udara Masukkan	20
Tabel 5. Data Suhu Pengeringan Kopi	20
Tabel 6. Parameter Data Brine	21
Tabel 7. Parameter Data Udara	21
Tabel 8. Energi Perpindahan Panas Suhu Brine 103,360 °C	22
Tabel 9. Nilai Entalpi dan Entropi Brine	25
Tabel 10. Nilai Entalpi dan Entropi Udara	25
Tabel 11. a). Hasil Simulasi Penukar Kalor, b). Hasil Simulasi Brine dan Udara	27
Tabel 12. Energi Perpindahan Panas Suhu 103,360 °C Hasil Simulasi	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Realisasi Pembangkit EBT hingga 2020	1
Gambar 2 Skema Proses NIL dan SIL	7
Gambar 3 Lindal Diagram	8
Gambar 4 Kerangka Konsep Penelitian	12
Gambar 5 Diagram Alir Metodologi Penelitian	14
Gambar 6 Alur Penelitian	15
Gambar 7 Simulasi <i>Heat Exchanger</i> menggunakan DWSIM	17
Gambar 8 Bagan Alir <i>Heat Exchanger</i>	18
Gambar 9 Grafik Energi Perpindahan Panas Brine ke Udara	22
Gambar 10. Pengaturan Aliran <i>Counter-Flow Heat Exchanger</i>	23
Gambar 11. Distribusi Suhu <i>Counter-Flow</i> pada Penukar Kalor	23
Gambar 12. Simulasi Penukar Kalor	26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Surat Izin Penelitian	34
Lampiran B	Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor).....	35
Lampiran C	Ideal Gas Properties of Air	37
Lampiran D	Specific Heat (Brine)	38
Lampiran E	Specific Heat (Air).....	39
Lampiran F	Laporan Simulasi 1	40
Lampiran G	Laporan Simulasi 2.....	41

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

1. PLTP : Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
2. EBT : Energi Baru Terbarukan
3. GW : Gigawatt
4. BPS : Badan Pusat Statistika
5. BMKG : Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
6. STG : Steam Turbine Generator
7. OEC : Ormat Energy Converter
8. SNI : Standar Nasional Indonesia
9. Q_{hot} : Kalor panas
10. Q_{cold} : Kalor Dingin
11. m_h : Massa panas
12. C_{ph} : Panas Spesifik fluida Panas
13. $T_{h, in}$: Suhu fluida panas masukkan
14. $T_{h, out}$: Suhu fluida panas keluaran
15. LMTD : *logarithmic mean temperature difference*
16. θ_m : simbol *logarithmic mean temperature difference*
17. θ_1 : selisih antara $T_{h, in}$ yang merupakan suhu fluida panas masukkan dengan $T_{c, out}$ yang merupakan suhu fluida dingin keluaran dalam satuan $^{\circ}\text{C}$
18. θ_2 : selisih antara $T_{h, out}$ yang merupakan suhu fluida panas keluaran, sedangkan $T_{c, in}$ merupakan suhu fluida dingin masukkan dalam satuan $^{\circ}\text{C}$
19. q : energi panas dalam satuan W
20. U : koefisien perpindahan panas keseluruhan pada penukar kalor dalam satuan $W/m^2.K$
21. A : luas permukaan perpindahan panas dalam satuan m^2
22. $\overline{\Delta T}$: LMTD (θ_m)
23. h_1 : Entalpi brine masukkan
24. h_2 : Entalpi brine keluaran
25. T_o : Suhu referensi lingkungan
26. s_1 : Entropi brine masukkan
27. s_2 : Entropi brine keluaran
28. $m(e_2 - e_1)$: Aliran Eksergi brine
29. $m(e_4 - e_3)$: Aliran Eksergi udara
30. h_3 : Entalpi udara masukkan
31. h_4 : Entalpi udara keluaran
32. s_3 : Entropi udara masukkan
33. s_4 : Entropi udara keluaran
34. ΔT : Perbedaan suhu dalam satuan ($^{\circ}\text{C}$)
35. DWSIM : perangkat lunak *open source*
36. NIL : Namora I Langit (wilayah pembangkit Sarulla)
37. SIL : Silangkitang (wilayah pembangkit Sarulla)
38. E_d : Nilai Penghancuran Eksergi
39. R : Ketetapan gas ideal dengan nilai R untuk semua gas adalah sama $R = 8,314 \times 10^3 \text{ J/kmol.K}$.

INTISARI

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi merupakan salah satu pembangkit listrik energi baru terbarukan. Di Indonesia, realisasinya masih dibawah 10%. Sarulla Operations Limited merupakan pembangkit listrik tenaga panas bumi pertama di Indonesia yang terletak di Kabupaten Tapanuli Utara yang memanfaatkan teknologi siklus gabungan. Kopi merupakan komoditas unggulan di Kabupaten Tapanuli Utara. Kopi dikeringkan dengan cara tradisional (penjemuran di lapangan terbuka) sehingga masih terkendala hujan dan mendung serta hanya bisa dilakukan pada siang hari. Fluida sumur reinjeksi memiliki temperatur 103°C dengan laju alir 4978 t/jam dan tekanan 6–14 Bar. Penelitian ini menganalisis energi fluida sisa untuk keperluan pengeringan kopi. Perhitungan energi dan eksergi dilakukan secara manual dan menggunakan software DWSIM dengan total 24 titik data dalam 24 jam sehari untuk merepresentasikan ketersediaan pengering baik siang maupun malam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi yang paling dibutuhkan untuk menaikkan suhu udara pengering pada malam hari dari 15°C menjadi 60°C adalah sebesar 125,62 kW, sedangkan energi terendah yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu udara pengering pada siang hari dari 30°C menjadi 40°C adalah sebesar 27,92 kW. Hasil perhitungan penelitian menunjukkan potensi energi fluida sisa dari pembangkit panas bumi yang akan digunakan untuk pengeringan kopi selama 24 jam, baik siang maupun malam.

Kata Kunci : Panas Bumi, Sarulla, Energi, Eksergi, Kopi

ABSTRACT

Geothermal Power Plant is one of the new renewable energy power plants. In Indonesia, the realization is still below 10%. Sarulla Operations Limited is the first geothermal power plant in Indonesia located in North Tapanuli Regency that utilizes combined cycle technology. Coffee is a leading commodity in North Tapanuli Regency. Coffee is dried in the traditional way (drying in the open field) so that it is still constrained by rain and cloudiness and can only be done during the day. The reinjection well fluid has a temperature of 103°C with a flow rate of 4978 t/hour and a pressure of 6–14 Bar. This study analyzes the residual fluid energy for coffee drying purposes. Energy and exergy calculations were carried out manually and using DWSIM software with a total of 24 data points 24 hours a day to represent the availability of dryers both day and night. The results showed that the most energy needed to raise the temperature of the drying air at night from 15°C to 60°C was 125.62 kW, while the lowest energy required to raise the drying air temperature during the day from 30°C to 40°C was 27.92 kW. The results of the research calculations show the potential for residual fluid energy from geothermal plants which will be used for drying coffee for 24 hours, both day and night.

Keywords : Geothermal, Sarulla, Energy, Exergy, Coffee

