

**POTENSI DAMPAK PENAMBAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS
BUMI SKALA KECIL DENGAN KAJIAN DAUR HIDUP**

Tesis

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



Disusun Oleh:

**ARON PANGIHUTAN CHRISTIAN TAMPUBOLON
30000420410006**

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

**POTENSI DAMPAK PENAMBAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI
SKALA KECIL DENGAN KAJIAN DAUR HIDUP**

Disusun oleh:

ARON PANGIHUTAN CHRISTIAN TAMPUBOLON

30000420410006

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 03 Juni 2022**

Tim Penguji,

Pembimbing Pertama

Penguji I

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

(Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T)
NIP. 196405261989031002

Pembimbing Kedua

Penguji II

(Dr. Endang Kusdiantini, DEA)
NIP. 195911261988102001

(Ir. Mochamad Arief Budihardjo, S.T.,
M.Eng.Sc, Env.Eng, Ph.D., IPM)
NIP. 197409302001121002

**Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister
Energi
Tanggal 14 Juni 2022**

Dekan Sekolah Pasca Sarjana

Kaprodi Magister Energi

(Dr. R. B. Sularto, S.H., M.Hum)
NIP. 196701011991031005

(Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T)
NIP. 196405261989031002

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Aron Pangihutan Christian Tampubolon. Aron lahir di Palembang pada tanggal 23 Desember 1994. Pendidikan yang ditempuh di Palembang adalah SD Xaverius 9 (2001-2007), SMP Xaverius Maria (2007-2009), dan SMA Xaverius 1 (2009-2012). Kemudian Aron melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada jurusan Teknik Lingkungan tahun 2012 sampai 2016. Selama kuliah di ITS Surabaya, Aron ikut aktif di bidang Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa baik di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) maupun Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM). Setelah lulus dari ITS Surabaya, Aron melanjutkan karir di Geo Dipa Energi penempatan wilayah kerja Dieng. Saat ini Aron bekerja di Geo Dipa Energi sebagai Environment Monitoring Supervisor. Pada tahun 2020, Aron memutuskan untuk melanjutkan pendidikan pasca sarjana di Magister Energi Universitas Diponegoro. Pada saat tesis ini ditulis tahun 2022, Aron sedang mengikuti *post graduate training program* oleh GRO di Islandia dengan spesialisasi *Environmental Science Geothermal* (<https://www.grocentre.is/gtp/moya/gro/index/fellow/aron-pangihutan-christian-tampubolon>). Info lebih lanjut dapat menghubungi melalui email arontampubolon23@gmail.com.

KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah karena atas segala berkat dan rahmat-Nya yang besar yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan tesis yang berjudul Potensi Dampak Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Skala Kecil Dengan Kajian Daur Hidup.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis telah mendapat banyak bantuan dan bimbingan yang tak ternilai dari berbagai pihak, baik berupa dukungan, kritik dan saran. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih penulis kepada:

1. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang dan selaku dosen wali yang sudah memberikan arahan kepada kami mahasiswa Magister Energi Angkatan 2020.
2. Prof. Dr. Hadiyanto ST, MSc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, perhatian dan pengarahan kepada penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
3. Dr. Endang Kusdiyantini, DEA selaku dosen pembimbing atas waktu dan arahan yang sudah diberikan dalam membimbing penulis dalam menyusun tesis.
4. Rekan-rekan Geo Dipa Energi Unit Dieng yang sudah memberikan dukungan
5. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang sudah memberikan ilmunya
6. Pak Sholikin yang sudah banyak membantu dalam proses kelulusan penulis
7. Sahabat Energi ME 2020 yang sudah menjadi keluarga baru
8. Rekan-rekan Geo Dipa, Alfian, Wahyu, Hendra yang menjalani studi pasca sarjana Undip, terima kasih sudah memberikan inspirasi untuk melanjutkan studi
9. Keluarga dan kedua orang tua yang tak ternilai dukungannya

Penulis menyadari bahwa baik isi maupun bentuk penyajian tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis dengan hati terbuka akan menerima segala bentuk saran dan kritik yang membangun dari pembaca guna kesempurnaan dari laporan tesis.

Semarang, 10 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

<u>KATA PENGANTAR</u>	iii
<u>DAFTAR ISI</u>	iv
<u>DAFTAR TABEL</u>	vi
<u>DAFTAR GAMBAR</u>	vii
<u>INTISARI</u>	viii
<u>ABSTRACT</u>	ix
<u>BAB I PENDAHULUAN</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>I.1 Latar Belakang</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>I.2 Rumusan Masalah</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>I.3 Tujuan Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>I.4 Manfaat Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>I.5 Orisinalitas Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>II.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>II.2 Dampak Lingkungan Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi</u>	Error!
	Bookmark not defined.
<u>II.3 Penilaian Daur Hidup</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.1 Lokasi Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.2 Jenis Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.3 Kerangka Pikir Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.4 Ruang Lingkup Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.5 Jenis dan Sumber Data</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.6 Teknik Pengumpulan Data</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.7 Teknik Analisis Data</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>III.8 Jadwal Penelitian</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</u>	Error! Bookmark not defined.

IV.1	Inventori Daur Hidup PLTP Dieng Unit-1	.....	Error! Bookmark not defined.
IV.2	Life Cycle Impact Assessment PLTP Dieng Unit-1 dan Interpretasi Data	.....	Error! Bookmark not defined.
IV.3	Interpretasi Data	.....	Error! Bookmark not defined.
IV.4	Inventori Daur Hidup Setelah Penambahan PLTP Dieng Small Scale	.....	Error! Bookmark not defined.
IV.5	Life Cycle Impact Assessment Setelah Penambahan PLTP Small Scale	.....	Error! Bookmark not defined.
IV.6	Interpretasi Data Setelah Penambahan PLTP Dieng Small Scale		Error! Bookmark not defined.
IV.7	Evaluasi Data Inventori dan Analisa Dampak	.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V	KESIMPULAN	.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA		.....	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN		.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Penelitian Sebelumnya tentang Kajian Daur Hidup PLTP	Error!	Bookmark not defined.
Tabel II.1 Klasifikasi Dampak Lingkungan dari PLTP	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel II.2 Klasifikasi LCIA (<i>Life Cycle Impact Assessment</i>)	...	Error! Bookmark not defined.
Tabel II.3 Hasil dari Karakterisasi inventori data <i>elementary flow</i>	Error!	Bookmark not defined.
Tabel III.1 Jenis dan Sumber Data Penelitian	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel III.2 Contoh Inventori Bahan Baku Input	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel III.3 Contoh Inventori Input Pemakaian Energi	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel III.4 Contoh Inventori Output Produk dan Emisi	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel III.5 Jadwal Penelitian	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.1 Inventori Data <i>Gate to Gate</i> PLTP Unit-1	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.2 Penilaian Dampak Daur Hidup Tahap <i>Gate to Gate</i> PLTP Unit-1	Error!	Bookmark not defined.
Tabel IV.3 Persentase Penilaian Dampak Lingkungan Tahap <i>Gate to Gate</i> PLTP Unit-1	Error!	Bookmark not defined.
Tabel IV.4 Kontributor Dampak Potensi Eutrofikasi	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.5 Kontributor Dampak Toxicity	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.6 Kontributor Dampak <i>Land Use Change</i> pada <i>Gate to Gate</i> PLTP Unit-1	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.7 Kontributor Dampak <i>Cumulative Energy Demand</i>	Error!	Bookmark not defined.
Tabel IV.8 Inventori Data <i>Gate to Gate</i> PLTP Small Scale	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.9 Penilaian Dampak Daur Hidup pada Tahap <i>Gate to Gate</i> PLTP <i>Small Scale</i>	Error!	Bookmark not defined.
Tabel IV.10 Persentase Penilaian Dampak Lingkungan Tahap <i>Gate to Gate</i> PLTP Unit-SS	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.11 Kontributor Dampak Potensi Eutrofikasi	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.12 Kontributor Dampak Toxicity	.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel IV.13 Kontributor Dampak <i>Cumulative Energy Demand</i>	Error!	Bookmark not defined.

Tabel IV.14 Perbandingan *Life Cycle Inventory* per Produk PLTP Unit-1 dan PLTP Unit-SS
..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel IV.15 Perbandingan nilai dampak (*Life Cycle Impact Assessment*) per Produk PLTP Unit-1 dan PLTP Unit-SS..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel IV.16 Rekapitulasi Intensitas Energi Peralatan (Pemakaian Sendiri) Peralatan PLTP Unit-1 dan Unit-SS..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Proses Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Unit Dieng	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.2 Dampak Lingkungan Kegiatan PLTP	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.3 Kerangka Kajian Daur Hidup	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.4 Batasan Sistem <i>Combine Cycle Power Plant</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.5 Batasan Sistem PLTP di Indonesia	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.6 Tahapan Analisis Inventori Daur Hidup (AIA, 2010)	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.7 Tahap Life Cycle Impact Assessment (ISO 14044:2006)	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.8 Struktur Umum Kategori Dampak (Jolliet et al., 2003)	Error! Bookmark not defined.
Gambar II.9 Contoh <i>Hotspot Analysis</i> Sistem Produk	Error! Bookmark not defined.
Gambar III.1 Lokasi Penelitian di PLTP Dieng	Error! Bookmark not defined.
Gambar III.2 Skema Tipikal <i>Single Flash</i> PLTP untuk PLTP Skala Kecil	Error! Bookmark not defined.
Gambar III.3 Batas Studi Gate to Gate PLTP Unit-1 dan PLTP Skala Kecil	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.1 Proses Gate to Gate PLTP Unit-1	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.2 Neraca Massa gate to gate PLTP Unit-1	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.3 Proses Gate to Gate PLTP <i>Small Scale</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.4 Neraca Massa gate to gate PLTP <i>Small Scale</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.5 Normalisasi Dampak PLTP Unit-1 Metode CML-IA Baseline V3.05	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.6 Normalisasi Dampak PLTP Unit-1 Metode ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.03	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.7 Normalisasi Dampak PLTP <i>Small Scale</i> Metode CML-IA Baseline V3.05	Error! Bookmark not defined.
Gambar IV.8 Normalisasi Dampak PLTP <i>Small Scale</i> Metode ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.03	Error! Bookmark not defined.

INTISARI

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan penerapan *life cycle thinking* yang mana sarasannya adalah aspek dan dampak lingkungan yang dihasilkan dalam satu siklus daur hidup produk. Manfaat dari LCA dapat menjadi bahan pertimbangan pada beberapa pilihan metode atau material, sebagai contoh adalah perbandingan penambahan PLTP Skala Kecil (PLTP Unit-SS) terhadap PLTP Unit-1. Luaran dampak hasil LCA berupa dampak dari proses produksi per produk 1 kWh listrik. Normalisasi data dilakukan agar perbandingan dampak per produk antara PLTP Unit-1 dan Small Scale dapat terlihat. Dampak terbesar pada PLTP Unit-1 maupun Small Scale adalah *acidification* atau *terrestrial acidification*. Dampak *acidification* berasal dari pelepasan NCG ke udara dari cooling tower PLTP Unit-1 maupun PLTP Unit-SS. Dampak *acidification* dari PLTP Unit-1 sebesar 0,018139 kg SO₂eq/kWh. Hasil normalisasi dampak baik metode CML IA maupun ReCipe menunjukkan dampak *acidification* jauh lebih besar daripada dampak global warming, toxicity, maupun dampak lainnya. Kontribusi dampak penambahan PLTP skala kecil bila dibandingkan terhadap dampak dari kegiatan operasi PLTP Unit-1 memberikan dampak yang positif atau kecenderungan dampak lingkungan yang lebih rendah. Pada PLTP Unit-SS memberikan dampak potensi hujan asam (*acidification*) sebesar 0,0157 kg SO₂eq/kWh atau lebih rendah 0,002407 kg SO₂eq/kWh dibandingkan PLTP Unit-1. Saran alternatif berdasarkan analisa kajian daur hidup dari penambahan PLTP skala kecil terhadap kegiatan operasi PLTP Unit-1 adalah peluang untuk penelitian lebih lanjut pada efisiensi gas removal system yang memberikan dampak positif pada persebaran non-condensable gas.

Kata kunci: panas bumi, LCA, *acidification*, NCG

ABSTRACT

Life Cycle Assessment (LCA) is life cycle thinking replenishment in which the targets are environmental aspects and impacts generated in one product life cycle. The benefits of LCA can be taken into consideration in several choices of system, for example, the comparison of the Small-scale geothermal power plant (Unit-SS) replenishment to Unit-1. LCA results in the form of the impact of the production process per product is 1 kWh electricity. The biggest impact on Unit-1 and Unit-SS is acidification. Acidification comes from the release of NCG into the air from the cooling tower. The acidification impact of Unit-1 result is 0.018139 kg SO_{2eq}/kWh. Furthermore, normalizing impact result shows that the acidification impact is much greater than the impact of global warming, toxicity, and other impacts. The contribution impact of the addition of small-scale when compared to the impact of Unit-1 operations has a positive impact or tends to have a lower environmental impact. The Unit-SS has the potential for acidification of 0.002407 kg SO_{2eq}/kWh lower than Unit-1. In addition, the Unit-SS has more efficient steam consumption by design than Unit-1. Therefore, less impact of Unit-SS can be suspected relate with steam consumption. Another alternative suggestion based on the analysis is an opportunity for further research on the efficiency of the gas removal system which has a positive impact on the distribution of NCG.

Keywords: Geothermal; LCA; acidification; NCG; environmental impact.