

**ANALISIS PENGARUH FLUIDA KERJA R134A DAN R410A
TERHADAP KINERJA SISTEM ORC DENGAN *SCROLL-EXPANDER*
UNTUK MENINGKATKAN POTENSI *GEOTHERMAL* DI INDONESIA**



PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2019

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Miftah Hijriawan

NIM : K2515046

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

menyatakan bahwa skripsi saya berjudul "**ANALISIS PENGARUH FLUIDA KERJA R134A DAN R410A TERHADAP KINERJA SISTEM ORC DENGAN *SCROLL-EXPANDER* UNTUK MENINGKATKAN POTENSI *GEOTHERMAL* DI INDONESIA**" ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Selain itu, sumber informasi yang dikutip dari penulis lain telah di sebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila pada kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya.

Surakarta, September 2019

Yang membuat pernyataan



Miftah Hijriawan

**ANALISIS PENGARUH FLUIDA KERJA R134A DAN R410A
TERHADAP KINERJA SISTEM ORC DENGAN *SCROLL-EXPANDER*
UNTUK MENINGKATKAN POTENSI *GEOTHERMAL* DI INDONESIA**

Oleh:

MIFTAH HIJRIAWAN

K2515046

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mendapat gelar
Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

2019

PERSETUJUAN

Nama : Miftah Hijriawan

NIM : K2515046

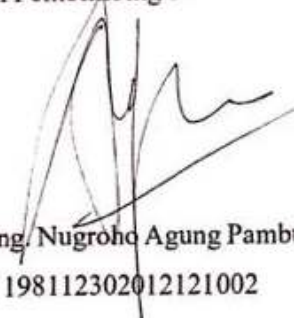
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Fluida Kerja R134a dan R410a terhadap Kinerja Sistem ORC dengan *Scroll-Expander* untuk Meningkatkan Potensi *Geothermal* di Indonesia


Skripsi ini telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Surakarta, September 2019

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Eng. Nugroho Agung Pambudi, M. Eng.
NIP. 198112302012121002

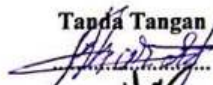
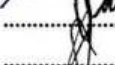

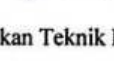

Danar Susilo Wijayanto, S. T., M. Eng.
NIP. 197901242002121002

PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Miftah Hijriawan
 NIM : K2515046
 Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Fluida Kerja R134a dan R410a terhadap Kinerja Sistem ORC dengan *Scroll-Expander* untuk Meningkatkan Potensi *Geothermal* di Indonesia

Skripsi ini telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta pada hari Kamis, tanggal 12 September 2019 dengan hasil LULUS dengan revisi maksimal 2 bulan. Skripsi telah direvisi dan mendapat persetujuan dari Tim Penguji.

Persetujuan hasil revisi oleh Tim Penguji:

	Nama Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Ir. Husin Bugis, M. Si.		26/09/2019
Sekretaris	: Valiant Lukad P S, S. Pd., M. Pd.		26-9-2019
Anggota I	: Dr. Eng. Nugroho Agung P, M. Eng.		26/09/2019
Anggota II	: Danar Susilo W, S. T., M. Eng.		26/09/2019

Skripsi disahkan oleh Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Mesin pada:

Hari : *Jum'at*
 Tanggal : *27 September 2019.*

Mengesahkan,

Dekan
 Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
 Universitas Sebelas Maret



Kepala Program Studi
 Pendidikan Teknik Mesin


 Dr. Yuyun Estriyanto, S. T., M. T.
 NIP. 197801132002121009

ABSTRAK

Miftah Hijriawan. **ANALISIS PENGARUH FLUIDA KERJA R134A DAN R410A TERHADAP KINERJA SISTEM ORC DENGAN *SCROLL-EXPANDER* UNTUK MENINGKATKAN POTENSI *GEOTHERMAL* DI INDONESIA.** Skripsi. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta. September 2019.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui performa refrigeran R134a dan R410a serta menganalisis laju aliran massa, entalpi, efisiensi energi, dan putaran *expander* pada sistem ORC dengan *scroll-expander*.

Pada proyeksi bauran energi nasional, penggunaan sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) seperti panas bumi hanya berperan sebesar 5 %. Penggunaan teknologi *Waste Heat Recovery System* (WHRS) seperti sistem *Organic Rankine Cycle* (ORC) merupakan salah satu solusi dalam meningkatkan potensi panas bumi yang ada. Sistem ORC dapat dikombinasikan pada *geothermal power plant* dengan memanfaatkan *waste brine* dari *separator*. Pada eksperimen ini, fluida kerja R134a dan R410a diuji pada *prototype* sistem ORC dengan *scroll-expander*. Pengujian dilaksanakan pada variasi frekuensi motor 7,5 Hz, 10 Hz, 12,5 Hz, 15 Hz, 17,5 Hz, dan 20 Hz, dengan pengaturan temperatur evaporator 95 °C, temperatur kondensor 10 °C, serta tekanan mula fluida kerja sebesar 5 bar. Teknik analisis data yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi komparatif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kinerja fluida R134a dan R410a dalam pengujiannya pada sistem ORC. Hal ini disebabkan karena masing-masing fluida memiliki *thermodynamics properties* yang berbeda, yang juga berpengaruh pada efisiensi energi yang diperoleh. Efisiensi energi tertinggi sistem ORC diperoleh pada pengujian fluida kerja R410a yaitu sebesar 31,06 %, sedangkan fluida kerja R134a memiliki efisiensi energi tertinggi sebesar 3,17 %. Selain itu, berat molekul fluida kerja R410a yang lebih kecil dari R134a juga membuatnya memiliki putaran *expander* yang lebih tinggi hingga mencapai 630,67 rpm dengan daya motor yang lebih kecil.

Kata kunci: *Waste Heat Recovery System, Organic Rankine Cycle, Geothermal Power Plant, Scroll-Expander*

ABSTRACT

Miftah Hijriawan. ***ANALYSIS OF THE EFFECT R134A AND R410A WORKING FLUID ON ORC SYSTEM PERFORMANCE WITH SCROLL-EXPANDER TO INCREASE GEOTHERMAL POTENTIAL IN INDONESIA.***

Thesis. Teacher Training and Education Faculty Sebelas Maret University Surakarta. September 2019.

The purpose of this study was to determine the performance of R134a and R410a refrigerants and to analyze the mass flow rate, enthalpy, energy efficiency, and rotation expander of the ORC system with scroll-expander.

In the national energy mix projection, the use of New and Renewable Energy sources (EBT) such as geothermal only uses 5%. The application of Waste Heat Recovery System (WHRS) technology like the Organic Rankine Cycle (ORC) system is one of the solution to increase the existing geothermal potential. ORC systems can be combined at a geothermal power plant by utilizing waste brine from a separator. In this experiment, the working fluids R134a and R410a were tested on a prototype ORC system with a scroll-expander. The test is carried out at motor frequency variations of 7.5 Hz, 10 Hz, 12.5 Hz, 15 Hz, 17.5 Hz, and 20 Hz, with evaporator temperature setting of 95 °C, condenser temperature of 10 °C, and starting fluid pressure of 5 bar. The data analysis technique used is quantitative descriptive with a comparative study approach.

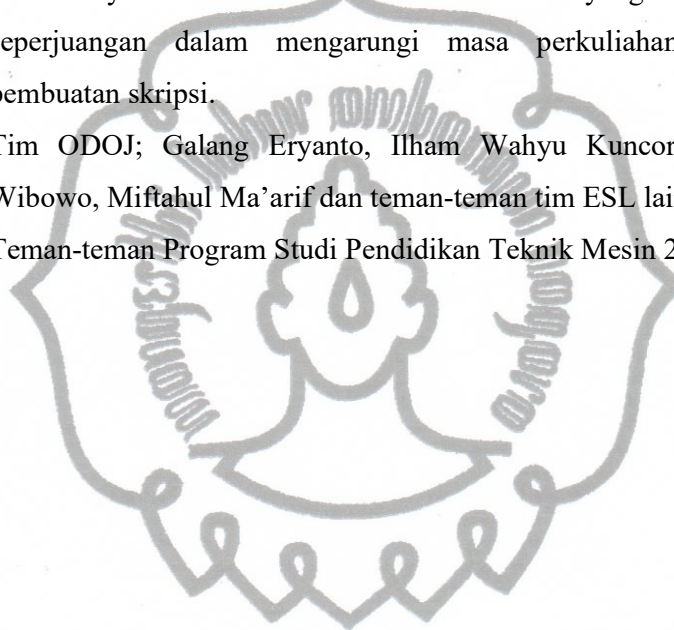
The results showed that there were differences in the performance of the R134a and R410a fluids when testing the ORC system. This is because each fluid has different thermodynamics properties, which also affect the energy efficiency obtained. The highest energy efficiency of the ORC system was obtained in testing R410a working fluid which was 31.06%, while R134a working fluid had the highest energy efficiency of 3.17%. Besides, the molecular weight of working fluid R410a which is smaller than R134a also makes it has a higher expander speed up to 630.67 rpm with less motor power.

Keywords: *Waste Heat Recovery System, Organic Rankine Cycle, Geothermal Power Plant, Scroll-Expander*

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan berkah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dalam masa waktu yang telah ditentukan. Pada halaman persembahan ini, saya ingin mempersembahkan skripsi saya untuk:

1. Keluarga yang terdiri dari Jimin (ayah), Rumi (ibu), dan Muhammad Yusuf Anugerah (adik) yang telah memberikan dukungan secara moril dan materiil serta senantiasa mendoakan kelancaran saya dalam menyelesaikan kuliah.
2. Navira Alya Astadini dan sahabat-sahabat IMAJI yang telah menjadi teman seperjuangan dalam mengarungi masa perkuliahan hingga proses pembuatan skripsi.
3. Tim ODOJ; Galang Eryanto, Ilham Wahyu Kuncoro, Kukuh Mukti Wibowo, Miftahul Ma'arif dan teman-teman tim ESL lainnya.
4. Teman-teman Program Studi Pendidikan Teknik Mesin 2015.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan berkah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **ANALISIS PENGARUH FLUIDA KERJA R134A DAN R410A TERHADAP KINERJA SISTEM ORC DENGAN *SCROLL-EXPANDER* UNTUK MENINGKATKAN POTENSI *GEOTHERMAL* DI INDONESIA** dalam kurun waktu yang telah ditentukan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Peneliti menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
2. Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
3. Dr. Eng. Nugroho Agung Pambudi, M. Eng., selaku Dosen Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan arahan selama proses penyusunan skripsi.
4. Danar Susilo Wijayanto, S. T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang turut memberikan ilmu, bimbingan, dan arahan selama proses penyusunan skripsi.

Peneliti Menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan kekurangan selama proses penyusunan. Maka dari itu, peneliti mengharapkan saran dan kritikan yang bersifat membangun dari pihak-pihak yang membaca skripsi ini.

Surakarta, September 2019

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PENGAJUAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	v
HALAMAN ABSTRAK.....	vi
HALAMAN_ABSTRACT	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Pembatasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS	
A. Kajian Pustaka.....	7
B. Kerangka Berpikir.....	25
C. Hipotesis.....	27

BAB III METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian	28
B. Teknik Pengumpulan Data	29
C. Alat dan Bahan	29
D. Langkah Kerja Penelitian	34
E. Teknik Analisis Data	35
F. Prosedur Penelitian	35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Mesin ORC	39
B. Hasil Penelitian	40
C. Pembahasan	52

BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN

A. Simpulan	59
B. Implikasi	60
C. Saran	61

DAFTAR PUSTAKA	62
----------------------	----

LAMPIRAN	68
----------------	----

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Potensi Energi Baru dan Terbarukan	10
Tabel 2.2 Parameter Pemilihan Fluida Kerja ORC	16
Tabel 2.3 Properti Refrigeran R134a dan R410a	17
Tabel 2.4 Klasifikasi Sumber Daya <i>Geothermal</i> berdasarkan <i>Resources Temperature</i>	21
Tabel 2.5 Sebaran Potensi Panas Bumi per Pulau di Indonesia	22
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Fluida R134a pada Sistem ORC dengan <i>Scroll-Expander</i>	41
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fluida R410a pada Sistem ORC dengan <i>Scroll-Expander</i>	42
Tabel 4.3 Laju Aliran Massa Fluida Kerja R134a	43
Tabel 4.4 Laju Aliran Massa Fluida Kerja R410a	44
Tabel 4.5 Frekuensi Motor 7,5 Hz	45
Tabel 4.6 Frekuensi Motor 10 Hz	45
Tabel 4.7 Frekuensi Motor 12,5 Hz	45
Tabel 4.8 Frekuensi Motor 15 Hz	46
Tabel 4.9 Frekuensi Motor 17,5 Hz	46
Tabel 4.10 Frekuensi Motor 20 Hz	46
Tabel 4.11 Frekuensi Motor 7,5 Hz	47
Tabel 4.12 Frekuensi Motor 10 Hz	47
Tabel 4.13 Frekuensi Motor 12,5 Hz	47
Tabel 4.14 Frekuensi Motor 15 Hz	47
Tabel 4.15 Frekuensi Motor 17,5 Hz	48
Tabel 4.16 Frekuensi Motor 20 Hz	48
Tabel 4.17 Efisiensi Energi Fluida Kerja R134a pada Sistem ORC dengan <i>Scroll-Expander</i>	49
Tabel 4.18 Efisiensi Energi Fluida Kerja R410a pada Sistem ORC dengan <i>Scroll-Expander</i>	50
Tabel 4.19 Perbandingan Putaran <i>Expander</i> pada Sistem ORC Menggunakan Fluida Kerja R134a dengan <i>Scroll-Expander</i>	51

Tabel 4.20 Perbandingan Putaran *Expander* pada Sistem ORC Menggunakan
Fluida Kerja R410a dengan *Scroll-Expander* 51
Tabel 4.21 Fase Fluida R410a Terhadap Temperatur pada Tekanan 5 Bar..... 54



DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 1.1 Diagram Proyeksi Bauran Energi Indonesia 2018	2
Gambar 1.2 Skema Rangkaian Sistem ORC.....	4
Gambar 2.1 Proyeksi Bauran Energi Indonesia Tahun 2018-2027.....	8
Gambar 2.2 Diagram Siklus Rankine Ideal.....	12
Gambar 2.3 (a) Rangkaian Sistem ORC Sederhana, (b) Tipe Diagram T-s untuk Fluida Kerja Murni Sistem ORC.....	13
Gambar 2.4 Klasifikasi <i>Expander</i> Sistem ORC	18
Gambar 2.5 Skema Kerja <i>Scroll-Expander</i>	20
Gambar 2.6 (a) <i>Fixed Scroll</i> , (b) <i>Orbiting Scroll</i>	20
Gambar 2.7 (a) <i>Single-Flash Geothermal Power Plant</i> , (b) <i>Binary Geothermal Power Plant</i>	23
Gambar 2.8 <i>Combined Flash-Binary Geothermal Power Plant</i>	25
Gambar 2.9 Kerangka Berpikir.....	26
Gambar 3.1 Skema Kerja Mesin ORC.....	30
Gambar 3.2 <i>Manifold HD Premium</i>	31
Gambar 3.3 <i>Thermometer Digital Elitech TPM-900 (-30 °C - 110 °C)</i>	31
Gambar 3.4 <i>Pressure Gauge AE (0 - 25 bar/ 0 - 350 psi)</i>	32
Gambar 3.5 <i>Liquid Flowmeter (1-10 lpm)</i>	32
Gambar 3.6 <i>Tachometer Digital</i>	33
Gambar 3.7 <i>Wattmeter Digital</i>	33
Gambar 3.8 Refrigeran R134a (a) dan R410a (b).....	34
Gambar 3.9 Prosedur Penelitian.....	36
Gambar 4.1 (a) <i>Prototype</i> Mesin ORC dengan <i>Scroll-Expander</i> Tampak Depan (b) <i>Prototype</i> Mesin ORC dengan <i>Scroll-Expander</i> Tampak Belakang	40
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Kerja R134a dan R410a	52
Gambar 4.3 Grafik Perubahan Entalpi Fluida Kerja R134a	54
Gambar 4.4 Grafik Perubahan Entalpi Fluida Kerja R410a	55
Gambar 4.5 Perbandingan Perubahan Efisiensi Energi Fluida Kerja R134a dan R410a pada Sistem ORC dengan <i>Scroll-Expander</i>	56

Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Putaran Pompa dan *Expander* pada Fluida Kerja R134a 57

Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Putaran Pompa dan *Expander* pada Fluida Kerja R410a 57



DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	68
Lampiran 2. Hasil Pengamatan Pengujian Fluida Kerja R134a.....	71
Lampiran 3. Hasil Pengamatan Pengujian Fluida Kerja R410a.....	72
Lampiran 4. Hasil Analisis Fluida Kerja R134a menggunakan Software EES	73
Lampiran 5. Hasil Analisis Fluida Kerja R410a menggunakan Software EES	74
Lampiran 6. Format Perumusan dan Perhitungan pada Software EES.....	75
Lampiran 7. Surat Permohonan Izin Penelitian Fakultas.....	76
Lampiran 8. Surat Permohonan Izin Penelitian Rektor	77
Lampiran 9. Surat Izin Menyusun Skripsi	78

