



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



ANALISA PEMILIHAN FLUIDA KERJA PADA  
ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC) INTERMEDIATERY  
CLOSED CYCLE DI PLTP LAHENDONG

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:  
Muhammad Farid Aditya Rahman  
NIM.1902321018

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA

PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
AGUSTUS 2022



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISA PEMILIHAN FLUIDA KERJA PADA  
ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC) INTERMEDIATERY  
CLOSED CYCLE DI PLTP LAHENDONG**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan  
Diploma III Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:  
**Muhammad Farid Aditya Rahman**  
NIM.1902321018

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
AGUSTUS 2022**



“Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk ayah ibu, bangsa dan almamater”

## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





**HALAMAN PERSETUJUAN  
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**ANALISA PEMILIHAN FLUIDA KERJA PADA ORGANIC RANKINE CYCLE  
(ORC) INTERMEDIATERY CLOSED CYCLE DI PLTP LAHENDONG**

Oleh:  
Muhammad Farid Aditya Rahman  
NIM. 1902321018  
Program Studi Diploma III Teknik Konversi Energi

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

P.Jannus, S.T, M.T.  
NIP. 196304261988031004

Pembimbing 2

Indra Silanegara, S.T., M.Ti.  
NIP. 196906051989111001

Ketua Program Studi  
Diploma III Teknik Konversi Energi

Yuli Mafendro Dedet E. S., S.Pd., M.T.  
NIP.199403092019031013

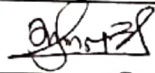
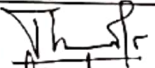
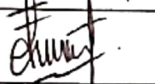
HALAMAN PENGESAHAN  
LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISA PEMILIHAN FLUIDA KERJA PADA *ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC)*  
*INTERMEDIATERY CLOSED CYCLE* DI PLTP LAHENDONG

Oleh:  
Muhammad Farid Aditya Rahman  
NIM. 1902321018  
Program Studi Diploma III Teknik Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 15 Agustus 2022 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh Diploma III pada Program Studi Diploma III Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	P. Jannus, S.T., M.T. NIP. 196304261988031004	Ketua		23-08-2022
2.	Dr. Tatun Hayatun Nufus, M.Si. NIP. 196604161995122001	Anggota		23-08-2022
3.	Yuli Mafendro Dedet E.S., S.Pd., M.T. NIP. 199403092019031013	Anggota		22-08-2022

Depok, 15 Agustus 2022  
Disahkan oleh:  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
Dr. Eng. Mushmin, S.T., M.T.  
NIP. 197707142008121005

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Farid Aditya Rahman

NIM : 1902321018

Program Studi : Diploma III Teknik Konversi Energi

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-bearnya.

Depok, 10 Agustus 2022



Muhammad Farid Aditya Rahman  
NIM. 1902321018



## Analisa Pemilihan Fluida Kerja pada *Organic Rankine Cycle (ORC) Intermediatery Closed Cycle* di PLTP Lahendong

Muhammad Farid Aditya Rahman<sup>1</sup>, P. Jannus<sup>1</sup>, Indra Silanegara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425  
E-mail: muhammad.faridadityarahman.tm19@mhs.w.pnj.ac.id

### Abstrak

PLTP Lahendong adalah pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan yang menggunakan tipe Organic Rankine Cycle (ORC) dengan suhu panas bumi rendah yang dapat digunakan untuk mengatasi kebutuhan listrik yang kian meningkat di berbagai sektor. Pemilihan fluida kerja pada ORC merupakan salah satu faktor yang menentukan performa pada pembangkit, sehingga dicari fluida kerja alternatif yang dibandingkan dengan n-pentane. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan daya net dan efisiensi siklus yang dihasilkan oleh fluida kerja yang berbeda pada simulasi ORC Lahendong menggunakan software Unisim. Metode pada penelitian ini adalah dengan mencari fluida kerja yang kompatibel dengan kondisi pada simulasi ORC Lahendong menggunakan aplikasi Reffprop. Kandidat Fluida kerja yang didapat lalu diuji pada proses simulasi menggunakan aplikasi Unisim. Output daya net dan efisiensi siklus lalu divalidasi menggunakan perhitungan termodinamika dan dibandingkan pada masing masing fluida kerja. perbandingan faktor keamanan fluida kerja. Hasil yang didapatkan adalah fluida kerja dengan daya net dan efisiensi siklus tertinggi serta faktor keamanan lingkungan yang aman yang mendekati n-pentane adalah Cyclopentane. Pemilihan cyclopentane sebagai fluida kerja alternatif didasarkan pada daya net dan efisiensi siklus tertinggi yang dihasilkan dan faktor keamanan lingkungannya.

Kata-kata kunci: ORC, Pemilihan Fluida Kerja, Studi Kasus

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## Abstract

*PLTP Lahendong is a power plant with renewable energy sources using the Organic Rankine Cycle (ORC) type with low geothermal temperatures which can be used to address the increasing electricity demand in various sectors. The choice of working fluid on the ORC is one of the factors that determine the performance of the generator, so an alternative working fluid is sought compared to n-pentane. The purpose of this study was to analyze and compare the net power and cycle efficiency produced by different working fluids in the Lahendong ORC simulation using Unisim software. The method in this research is to find a working fluid that is compatible with the conditions in the Lahendong ORC simulation using the Reffprop application. The working fluid candidates obtained are then tested in a simulation process using the Unisim application. The net power output and cycle efficiency were then validated using thermodynamic calculations and compared for each working fluid. comparison of the safety factor of the working fluid. The results obtained are the working fluid with the highest net power and cycle efficiency and a safe environmental safety factor that is close to n-pentane is Cyclopentane. The selection of cyclopentane as an alternative working fluid is based on the highest net power and cycle efficiency produced and the environmental safety factor.*

*Keywords: ORC, Selection of Working Fluid, Case Study*

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA





## KATA PENGANTAR

Puji syukur diucapkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dengan judul "Analisa Pemilihan Fluida Kerja pada *Organic Rankine Cycle (ORC) Intermediatery Closed Cycle* di PLTP Lahendong" dapat tersusun sampai dengan selesai. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar Diploma III Program Studi Teknik Konversi Energi.

Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan inidengan benar, antara lain:

1. Kepada Allah SWT yang telah memberikan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Orangtua, saudara, dan keluarga besar yang selalu memberikan do'a dan motivasi serta bantuan materil maupun moril dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T.M.T sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
4. Bapak Yuli Mafendro D.E., S.Pd. M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Konversi Energi.
5. Bapak Dr.Ir. Cahyadi, M.Kom. selaku pembimbing dari Balai Besar Teknologi Konversi Energi sekaligus sebagai pembimbing industri yang senantiasa menerima kami dan meluangkan waktunya untuk membimbing serta memberi ilmu dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.
6. Bapak P.Jannus, S.T., M.T. selaku pembimbing I dari Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Konversi Energi yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membimbing dan membagi ilmu dalam penyusunan laporan praktik kerja lapangan ini.
7. Bapak Indra Silanegara, S.T., M.Ti. selaku pembimbing II dari Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Konversi Energi yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membimbing dan membagi

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ilmu dalam penyusunan laporan praktik kerja lapangan ini.

8. Teman – teman satu angkatan yang selalu memberikan motivasi, dukungan, semangat, canda dan tawa

Tak lupa pula penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak lainnya yang telah banyak membantu baik itu untuk pelaksanaan Tugas Akhir maupun dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Akhir kata semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi kita semua.

Jakarta, 2 Agustus 2022

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA** Penulis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## DAFTAR ISI

<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN PENULISAN .....	3
1.3 MANFAAT PENULISAN.....	4
1.4 BATASAN MASALAH .....	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN .....	5
<b>BAB II.....</b>	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 PLTP.....	6
2.1.2 Jenis PLTP .....	6
2.2. KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN DARI SIKLUS PLTP.....	12
2.3 KOMPONEN PADA PLTP .....	13
2.3.1. Turbin.....	13
2.3.2. Generator.....	17
2.3.3 Kondensor .....	21
2.3.4 Pompa dan Cooling tower.....	23
2.3.5. Heat Exchanger .....	24
2.3.6. Dry Cooler .....	26
2.4 REFRIGERAN .....	27
2.5. FLUIDA KERJA.....	28
2.5.1 N-Pentane.....	28
2.5.2 Cyclopentane.....	30
2.5.3 R-113.....	31
2.5.4 R-141b.....	33
2.6. FAKTOR PEMILIHAN FLUIDA KERJA .....	34
2.6.1. Ketersediaan Properti Fluida.....	34
2.6.2. Tekanan Kondensasi .....	34
2.6.3. Temperatur Kritis .....	34
2.6.4. Berat Molekul .....	35
2.6.5. Ramah Lingkungan, factor keselamatan, dan stabilitas .....	35
2.7 UNISIM DESIGN .....	36
2.8 REFERENCE FLUID PROPERTIES (REFPROP).....	38
2.9. BENTUK PERSAMAAN GRAFIK.....	43
2.9.1 Bentuk Persamaan linear.....	43
2.9.2. Bentuk Persamaan Polinomial .....	43
<b>BAB III .....</b>	<b>44</b>
<b>METODOLOGI .....</b>	<b>44</b>
3.1. DIAGRAM ALIR Pengerjaan.....	44
3.2 PELAKSANAAN METODOLOGI.....	45
3.2.1 Studi Pustaka.....	45
3.2.2 Tempat Pengambilan Data .....	45
3.2.3 Tahap penelitian.....	45



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<b>BAB IV .....</b>	<b>49</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 DATA HASIL SIMULASI .....	49
4.2 HASIL PERHITUNGAN MENGGUNAKAN RUMUS THERMODINAMIKA .....	52
4.2 ANALISA DATA FLUIDA KERJA N-PENTANE .....	52
4.2.1 Perhitungan Kerja pompa sirkulasi n-pentane .....	52
4.2.2. Panas Evaporator yang masuk .....	53
4.2.3 Perhitungan Kerja Turbin .....	53
4.2.4. Perhitungan Daya Listrik Yang Dihasilkan .....	54
4.2.5 Perhitungan Panas yang Dilepas Kondensor .....	54
4.2.6 Perhitungan Efisiensi Siklus .....	55
4.3. ANALISA DATA PERHITUNGAN FLUIDA KERJA CYCLOPENTANE .....	56
4.3.1. Perhitungan Kerja pompa sirkulasi Cyclopentane .....	56
4.3.2. Panas Evaporator yang masuk .....	57
4.3.3 Perhitungan Kerja Turbin .....	57
4.3.4. Perhitungan Daya Listrik Yang Dihasilkan .....	58
4.3.5. Perhitungan Panas yang Dilepas Kondensor .....	58
4.3.6. Perhitungan Efisiensi Siklus .....	59
4.4. ANALISA DATA PERHITUNGAN FLUIDA KERJA R-113 .....	60
4.4.1. Perhitungan Kerja pompa sirkulasi R-113 .....	60
4.4.2. Panas Evaporator yang masuk. ....	61
4.4.3. Perhitungan Kerja Turbin. ....	61
4.4.4. Perhitungan Daya Listrik Yang Dihasilkan. ....	62
4.4.5. Perhitungan Panas yang Dilepas Kondensor. ....	62
4.4.6. Perhitungan Efisiensi Siklus .....	63
4.5. ANALISA DATA PERHITUNGAN FLUIDA KERJA R-141B .....	64
4.5.1 Perhitungan Kerja pompa sirkulasi R-141b .....	64
4.5.2. Panas Evaporator yang masuk. ....	65
4.5.3. Perhitungan Kerja Turbin. ....	65
4.5.4. Perhitungan Daya Listrik Yang Dihasilkan .....	66
4.5.5 Perhitungan Panas yang Dilepas Kondensor. ....	66
4.6 VARIASI TEKANAN INLET TURBIN PADA SUHU BRINE KONSTAN .....	68
4.7 ANALISA PERBANDINGAN PERFORMA FLUIDA KERJA PADA SIKLUS ORC PLTP LAHENDONG .....	70
4.8 PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KONDUKTIVITAS THERMAL FLUIDA KERJA ..	74
4.9 PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KALOR SPESIFIK FLUIDA KERJA .....	75
4.10 PERBANDINGAN KARAKTERISTIK VOLUME SPESIFIK FLUIDA KERJA .....	75
4.11. PERBANDINGAN FLUIDA KERJA PADA SAFETY DAN FAKTOR LINGKUNGAN ..	76
<b>BAB V .....</b>	<b>78</b>
<b>PENUTUP .....</b>	<b>78</b>
5.1 KESIMPULAN .....	78
5.2 SARAN .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>79</b>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Kenaikan Kebutuhan Energi Listrik di Indonesia.....	1
Gambar 1.2 Statistik Potensi dan Kapasitas Terpasang Pembangkit Energi Terbarukan di Indonesia .....	2
Gambar 2. 1 Skema PLTP Dry <i>Steam</i> .....	7
Gambar 2. 2 a) <i>Single Flash</i> , b) <i>Double Flash</i> .....	8
Gambar 2. 3 Siklus Biner .....	9
Gambar 2. 4 Siklus <i>Intermediatery Closed water Cycled</i> PLTP Lahendong .....	10
Gambar 2. 5 Turbin Impuls .....	14
Gambar 2. 6 Turbin reaksi .....	15
Gambar 2. 7 a) Penguat Terpisah, b) Shunt, c) Kompon .....	18
Gambar 2. 8 Skema Kerja Generator AC.....	19
Gambar 2. 9 Bagian Heat Exchanger .....	26
Gambar 2. 10 Dry Cooler .....	26
Gambar 2. 11 Model Struktur N-Pentane .....	28
Gambar 2. 12 Model Struktur Cyclohexane .....	30
Gambar 2. 13 Model Struktur R-113 .....	31
Gambar 2. 14 Model Struktur R-141b .....	33
Gambar 2. 15 Software Unisim Honeywell.....	36
Gambar 2. 16 Software REFFROP .....	38
Gambar 2. 17 Grafik Linear .....	43
Gambar 3. 1 Diagram Alir .....	44
Gambar 3. 2 Rangkaian ORC pada simulasi Unisim.....	47
Gambar 4. 1 Data perbandingan simulasi daya net dan efisiensi thermal pada masing-masing fluida kerja.....	70
Gambar 4.2 Data perbandingan hasil perhitungan daya net dan efisiensi thermal pada masing-masing fluida kerja .....	70
Gambar 4. 3 Data perbandingan simulasi daya net dan efisiensi thermal pada masing-masing fluida kerja.....	71
Gambar 4. 4 Data perbandingan perhitungan daya net dan efisiensi thermal pada masing-masing fluida kerja.....	71



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 6 Simulasi Variasi tekanan inlet turbin pada suhu brine konstan pada fluida kerja .....	73
Gambar 4. 7 Perbandingan hasil simulasi pada Konduktivitas thermal fluida kerja pada variasi suhu <i>brine</i> 160-170°C pada outlet turbin .....	74
Gambar 4. 8 Perbandingan hasil simulasi pada panas spesifik fluida kerja pada variasi suhu <i>brine</i> 160-170°C pada outlet turbin.....	75
Gambar 4. 9 Perbandingan hasil simulasi pada Volume spesifik fluida kerja pada variasi suhu brine 160-170oC pada outlet turbin .....	75





## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Properti Termodinamika N-Pentane.....	30
Tabel 2. 2 Properti Termodinamika Cyclopentane .....	31
Tabel 2. 3 Properti Termodinamika R-113 .....	32
Tabel 2. 4 Properti Termodinamika R-141b .....	34
Tabel 2. 5 Properti fluida kerja menggunakan REFFROP.....	42
Tabel 3. 1 Engineering Model Pada Simulasi software.....	46
Tabel 4.1. Data hasil simulasi dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk n-pentane.....	50
Tabel 4.2. Data hasil simulasi dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk Cyclopentana.....	50
Tabel 4.3. Data hasil simulasi dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk R-113.....	51
Tabel 4.4. Data hasil simulasi dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk R-141b.....	51
Tabel 4.5. Data hasil perhitungan dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk n-pentane .....	52
Tabel 4.6. Data hasil perhitungan dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk Cyclopentane.....	56
Tabel 4.7. Data hasil perhitungan dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk R-113.....	60
Tabel 4.8. Data hasil perhitungan dengan suhu air pemanas 160 <sup>0</sup> C – 170 <sup>0</sup> C untuk R-141b.....	64
Tabel 4.9. Hasil pengujian variasi tekanan inlet pada suhu <i>brine</i> konstan pada n-pentane .....	68
Tabel 4.10. Hasil pengujian variasi tekanan inlet pada suhu <i>brine</i> konstan pada Cyclopentane.....	68
Tabel 4.11. Hasil pengujian variasi tekanan inlet pada suhu <i>brine</i> konstan pada R-113.....	68
Tabel 4.12. Hasil pengujian variasi tekanan inlet pada suhu <i>brine</i> konstan pada R-141b.....	69

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

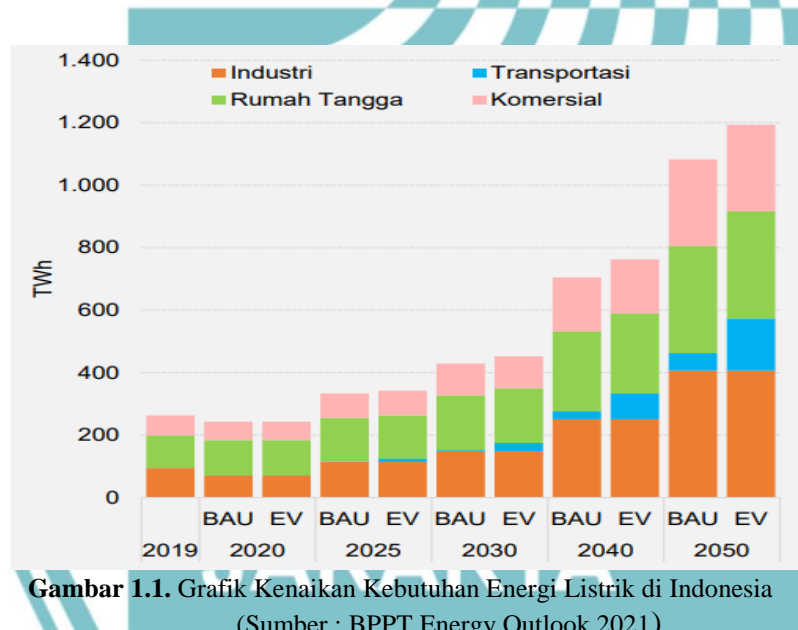
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengummikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia saat ini tengah mengalami perkembangan pada bidang industri, dimana seiring berkembangnya kegiatan industri maka kebutuhan akan listrik juga semakin meningkat. Pemanfaatan energi listrik terus berkembang mengingat inovasi teknologi berbasis listrik tumbuh pesat dan digunakan hampir di semua sektor, terutama di sektor rumah tangga dan komersial. Penggunaan kendaraan listrik juga berkontribusi pada peningkatan kebutuhan listrik. Kebutuhan listrik hingga tahun 2050 meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata 4,7% per tahun [1].



Gambar 1.1. Grafik Kenaikan Kebutuhan Energi Listrik di Indonesia (Sumber : BPPT Energy Outlook 2021)

Sumber Energi Terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Peran sumber energi terbarukan sangat penting untuk keberlangsungan pemenuhan energi listrik di seluruh dunia. Pembangunan dengan kesadaran jangka panjang ini telah menjadi tren pembangunan di seluruh dunia, menyikapi semakin naiknya populasi, kebutuhan manusia, dan kegiatan manusia yang menyebabkan kerusakan lingkungan [2].



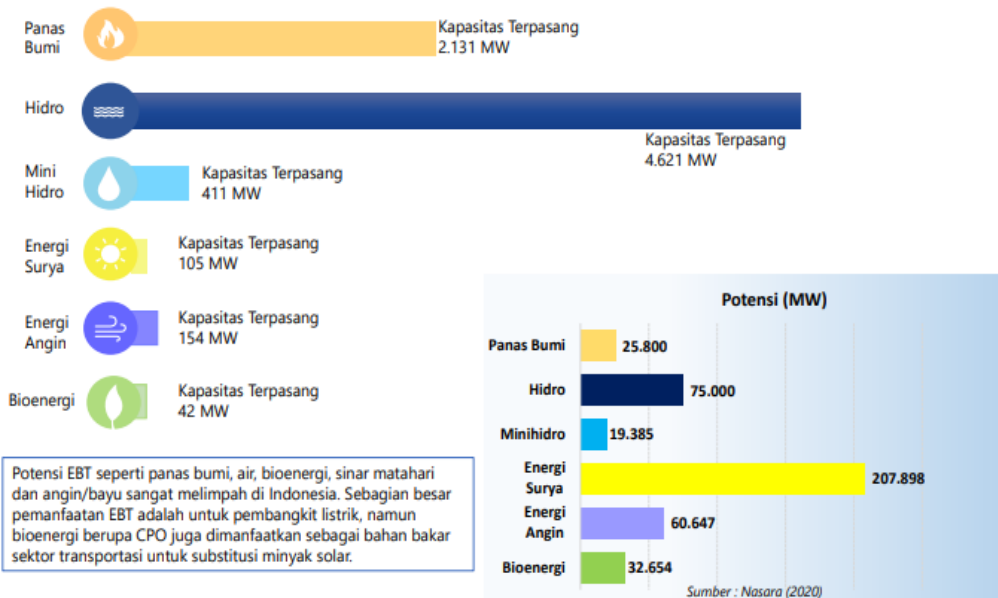


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi adalah pembangkit listrik yang sumber energinya menggunakan energi panas yang terletak di perut bumi [3]. Energi panas bumi ini tergolong kedalam energi yang terbarukan (Renewable energy), karena dalam proses pembentukannya secara alami yang dilakukan oleh alam yang berasal dari magma di dalam perut bumi. Di Indonesia dikaruniai sumber panas bumi yang berlimpah karena banyaknya gunung berapi di Indonesia [4].

### Potensi dan Kapasitas Terpasang Pembangkit Energi Terbarukan



Gambar 1.2. Statistik Potensi dan Kapasitas Terpasang Pembangkit Energi Terbarukan di Indonesia (BPPT Outlook 2021)

Potensi Sumber daya energi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 25.38 Giga Watt electrical (GWe) yang terdiri dari sumbernya 11.073 MW dan cadangannya 17.453 MW, mencapai 40% dari cadangan panas bumi dunia hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara dengan sumber daya panas bumi terbesar di dunia. Kapasitas pembangkit energi terbarukan yang terpasang di Indonesia adalah 2.131 MW. Untuk tenaga hidro dengan potensi 75.000 MW kapasitas yang terpasang sebesar 4.621 MW. Mini hidro dengan potensi 19.385 MW, kapasitas terpasangnya sebesar 411 MW.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Energi surya dengan potensi 207.89 MW dengan kapasitas terpasang 154 MW dan Bioenergi dengan potensi 32.654 MW dengan kapasitas terpasang 42 MW [5].

Pemilihan fluida kerja pada PLTP tipe biner atau *Organic Rankine Cycle* (ORC) merupakan salah satu faktor yang menentukan performa pada pembangkit dan merupakan tantangan tersendiri, karena jumlah fluida yang tersedia dan jumlah parameter yang perlu dikaji sangat banyak. Berbagai faktor mulai dari performa pembangkitan daya, ekonomis, ketersediaan, harga, supplier dan juga faktor keamanan lingkungan, dsb. Dalam penelitian ini membahas mengenai pemilihan fluida kerja alternatif untuk PLTP biner suhu rendah pada PLTP Lahendong selain fluida kerja n-pentane untuk perbandingan performa pembangkitan daya dan faktor keamanan lingkungan.

## 1.2 Tujuan Penulisan

### 1. Tujuan Umum

1. Menyelesaikan laporan tugas akhir dari politeknik negeri jakarta sebagai syarat kelulusan gelar diploma III
2. Meningkatkan EBT dari pemanfaatan sumber daya alam berupa panas bumi serta merealisasikan transisi energi.
3. Mengimplementasikan ilmu pengetahuan yang didapat selama di perkuliahan.

### 2. Tujuan Khusus

1. Untuk menguji dan mendapatkan hasil pemilihan fluida kerja alternatif yang optimum yang dibandingkan dengan fluida kerja n-pentane pada *Organic Rankine Cycle* (ORC) PLTP Lahendong.melalui aplikasi simulasi.
2. Untuk menguji dan mendapatkan hasil perbandingan properti konduktivitas thermal, kalor spesifik dan volume spesifik fluida kerja uji pada simulasi ORC PLTP Lahendong.
3. Untuk mendapatkan hasil perbandingan faktor keamanan lingkungan pada fluida kerja uji



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

### 1.3 Manfaat Penulisan

Penelitian yang dilakukan penulis diharapkan dapat memberikan manfaat yang berguna bagi semua pihak yang berkepentingan diantaranya sebagai berikut:

1. Mengetahui proses *flow diagram* beserta fluida kerja yang optimum pada PLTP Biner Lahendong
2. Meningkatkan EBT yang bersih dan ramah lingkungan di Indonesia
3. Mewujudkan transisi energi
4. Memberikan ilmu dan pengetahuan baru

### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis hanya akan memfokuskan pada pemilihan fluida kerja pada ORC yang kompatibel dengan siklus ORC Lahendong yang menggunakan fluida kerja n-pentane sebagai titik referensi kondisi siklus ORC sebagaimana terdapat pada jurnal [26], lalu dibandingkan dengan fluida Cyclopentane, R-113 dan R-141b sebagai kandidat fluida kerja alternatif yang disimulasi menggunakan software REFROP dan UNISIM untuk mengetahui properti termodinamika dari masing-masing jenis fluida kerja. Pada nilai perhitungan dan simulasi beberapa parameter adalah asumsi dimana nilai tersebut bisa tidak sesuai dengan kondisi asli pada PLTP Lahendong dan dijaga konstan pada simulasi. Semua nilai data didapat dari literatur karena data yang lengkap tidak tersedia.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritrik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengummikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat untuk mempermudah dalam penyusunan tugas akhir ini maka perlu ditentukan sistematika penulisan yang baik. Sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan mendeskripsikan mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan (umum dan khusus), manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang digunakan dalam penelitian, perancangan, dan pembuatan sistem.

### BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini penulis mengemukakan metode penelitian yang digunakan untuk perealisasi rancang bangun, diagram alir pengerjaan, penjelasan langkah kerja,

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang analisa mengenai performa fluida kerja uji cyclopentane,R-113 dan R-141b yang dibandingkan dengan fluida n-pentane pada siklus ORC Lahendong.

### BAB V KESIMPULAN dan SARAN

Pada bab ini semua hasil analisa data akan dirangkum pada kesimpulan. Pada bab ini juga diharapkan untuk tujuan penelitian supaya terjawab. Kemudian diberikan saran sesuai dengan kebutuhan yang ada. Maka dengan saran tersebut diharapkan dapat diperbaiki oleh peneliti selanjutnya.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Dari penelitian ini didapat fluida kerja alternatif yang mendekati performa dari n-pentane adalah Cyclopentane walaupun masih belum lebih baik dibandingkan n-pentane untuk pembangkitan dayanya. Dari hasil perbandingan dengan perhitungan manual, didapat hasil daya net dan efisiensi siklus yang mendekati nilai pada referensi adalah dengan menggunakan aplikasi.
2. Konduktivitas thermal, Kalor spesifik dan volume spesifik merupakan salah satu properti dinamika fluida yang menentukan kinerja siklus. N-pentane dan Cyclopentane menunjukkan nilai konduktivitas thermal dan volume spesifik yang tertinggi dibandingkan R-113 dan R-141b. Sedangkan pada kalor spesifik n-pentane dan R-141b menunjukkan nilai tertinggi dibanding Cyclopentane dan R-113.
3. Dari data yang diambil bahwa n-pentane dan Cyclopentane adalah fluida kerja yang aman untuk lingkungan yang baik karena nilai ODP dan GWP yang rendah sedangkan R-141b masih memiliki kecenderungan untuk membahayakan lingkungan, terutama untuk R-113 yang memiliki GWP yang tinggi

### 5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk pemilihan fluida kerja baik dari segi ekonomis, ketersediaan, harga dan supplier juga untuk analisa yang lebih baik.
2. Diperlukan kerjasama yang lebih mendalam untuk meningkatkan TKDN dengan bekerja sama dengan produsen manufaktur lokal untuk heat exchange, Dry cooler, dan turbin-generator

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi, 2021, *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*, 86 hal. 18.
- [2] Permen ESDM Nomor 12 , 2017, *Pemanfaatan Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik*, Bab I, Pasal 1.
- [3] Rianti, Maesha Gusti. 2018. (, Diakses pada 7 Maret 2022)
- [4] Energi Panas Bumi, (<https://www.indonesiainvestments.com>. (Diakses Pada 7 Maret 2022))
- [5] Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi, 2021, *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*, 86 hal. 28.
- [6] Zarrouk, Saddiq J. 2015. *Geothermal Steam Separator: Design Overview*. The University Of Auckland : New Zealand.
- [7] Prinsip kerja Power Plant, ( <https://rakhman.net/power-plants-id/prinsip-kerja-pltp/>). Diakses Pada 5 Juni 2022.
- [8] Zuchrillah, Darril Ridho, 2016. *Optimisasi Teknologi Proses Geothermal Sistem Flash Steam pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Indonesia*. Institut Teknologi Sepuluh November : Surabaya.
- [9] Soedjanaatmadja, Ahmad Maulana , Fathah Cipta Adi Puspanegara, Dkk. 2019. *Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Back EMF Pada Permanent Magnet Synchronous Generator*. Politeknik Negeri Jakarta : Depok.
- [10] Purba, Donnie Zevi Ardo, Jhonni Rahman. 2021. *Analisa Kerusakan Sudu Pemutar Turbin Uap Dengan Metode Hingga*. Universitas Islam Riau :Pekanbaru.
- [11] Turbin Reaksi dan Impuls. <https://id.sawakinome.com> Diakses Pada 05 Juni 2022.
- [12] Putra, I.E.N., Kondensor dan Prinsip Kerja. 2018. [shorturl.at/covzI](http://shorturl.at/covzI), Retrieved 2 Aug 2021.
- [13] Pavez, M., *Steam Condenser*. Al Falah University. 2018. p. 5-6

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [14] Main Cooling Pump. <https://semestapikiranaku.wordpress.com>. Diakses pada 05 Juni 2022
- [15] Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer : A Practical Approach 2nd ed.*,
- [16] Hidayat, Rizky Arif, 2011. *Pengujian Karakteristik Sistem Pendingin Joule Thomson Dengan Menggunakan Campuran Hidrokarbon Melalui Simulasi Program Matlab Dan Refprop*. Universitas Indonesia : Depok.
- [17] Kihara, D. H. and Fukunaga, 2013 (1975), Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, 3.
- [18] Kuriyah, Kuriyah, et al. "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Model Hibrid Turbin Air Propeller dan Turbin Air Crossflow." Seminar Nasional Teknik Mesin 2021. Vol. 9. No. 1. 2019.
- [19] Fahlevy, M. R., Mardiansah, D., & Jannus, P. (2019, October). Analisa Performa PLTGU Kapasitas 740 MW Terhadap Pola Operasi Dan Pembebanan Menggunakan Heat Rate Gap Analysis. In Seminar Nasional Teknik Mesin 2021 (Vol. 9, No. 1, pp. 1199-1207).
- [20] Feisal, A., & Jannus, P. (2021, December). Studi Kasus Kegagalan Normal Antiskid Valve Pada Pesawat Boeing 737-800. In Seminar Nasional Teknik Mesin 2021 (pp. 1422-1428).
- [21] Ronald, DiPippo. 2012. *Geothermal Power Plants : Principles, Applications, Case Studies, and Environmental Impact 3<sup>rd</sup> Edition*. University of Massachusetts : North Dartmouth, Massachusetts
- [22] UniSim® Design Simulation Basis Reference Guide. November 2010 R400 Release
- [23]. Eric W. Lemmon, Ian H. Bell, Marcia L. Huber, and Mark O. McLinden *REFPROP Documentation Release 10.0*, Applied Chemicals and Materials Division National Institute of Standards and Technology .
- [24] Supardi, I Wayan , *Simulasi Pemanfaatan Turbin Ventilator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angi*. Universitas Udayana.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [25] Sutardi, Michael Putra, Dkk, 2020. *Program Simulasi Aspen Hysis Bagi Mahasiswa Teknik Kimia Di Semester Awal*. Universitas Islam Syekh Yusuf.
- [26] Cahyadi,Suyanto. *Brief Review Of A Demonstartion Binary Geothermal Power Plant In Lahendong Indonesia*
- [27] Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [28] Jayakumar, Khuganeswara. 2016. *Investigation of Organic rankine Cycle using Different Working Fluids for Conversion of Low Grade heat Sources*. Universitas Teknologi PETRONAS : Bandar Seri Iskandar,Perak
- [29] National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 8003, Pentane. Retrieved July 12, 2022 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Pentane#section=Information-Sources>.
- [30] Stephanie Frick, Stefan Kranz, Gina Kupfermann, Ali Saadat & Ernst Huenges (2019). Making use of geothermal brine in Indonesia: binary demonstration power plant Lahendong/Pangolombian, *Geothermal Energy* 7, 30 (2019).
- [31] **Pintoro, Andianto. 2017.** *Kajian Performansi Sistim Pembangkit Tenaga Siklus Rankine Organik Yang Digerakkan Oleh Sumber Panas Geothermal Bersuhu Rendah*” Universitas Sumatera Utara : Medan.
- [32] <https://akupintar.id/info-pintar/-/blogs/persamaan-kuadrat> ,diakses 14 juli 2022.
- [33]. <https://kumparan.com/berita-update/grafikkuadrat>Diakses 14 Juli 2022.