



**ANALISA PENGARUH PERBEDAAN TEMPERATUR EVAPORATOR
TERHADAP KINERJA EXPANDER PADA SIKLUS RANKINE
ORGANIK**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Syarat Dalam Rangka Memenuhi Penyusunan Skripsi
Jenjang S-1 Program Studi Teknik Mesin

Oleh :

DANANG PRIANTO

NPM : 6421600066

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

2023

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi yang berjudul “ANALISA PENGARUH PERBEDAAN TEMPERATUR
EVAPORATOR TERHADAP KINERJA EXPANDER PADA SIKLUS
RANKINE ORGANIK”

NAMA PENULIS : DANANG PRIANTO

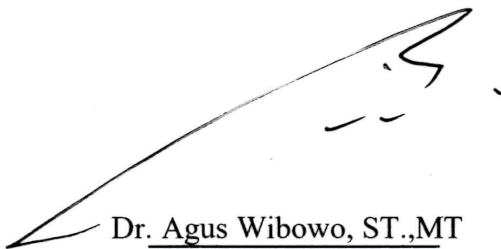
NPM : 6421600066

Telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk dipertahankan dihadapan sidang
dewan penguji skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti
Tegal.

Hari : Rabu

Tanggal : 19 Juli 2023

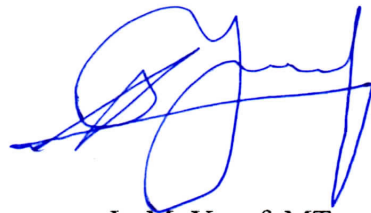
Pembimbing I



Dr. Agus Wibowo, ST., MT

NIPY. 126518101972

Pembimbing II



Ir. M. Yusuf, MT.

NIPY. 24762061967

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Pada hari :

Tanggal :

Ketua Sidang

Ahmad Farid, ST.MT

NIPY. 172611101978

Penguji Utama

Mustaqim, ST.MEng

NIPY. 9050751970

Penguji 1

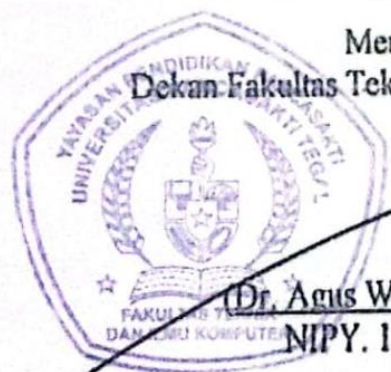

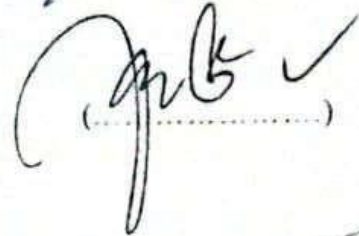
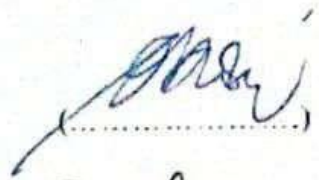
Dr. Agus Wibowo, ST.,MT

NIPY. 126518101972

Penguji 2

Ir. M. Yusuf, MT.

NIPY. 24762061967



Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer

(Dr. Agus Wibowo, ST., MT.)

NIPY. 126518101972

HALAMAN PERNYATAAN

Dalam penulisan skripsi ini saya tidak melakukan penjiplakan dan dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“ANALISA PENGARUH PERBEDAAN TEMPERATUR EVAPORATOR TERHADAP KINERJA EXPANDER PADA SIKLUS RANKINE ORGANIK”** ini dan seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Selain itu, sumber informasi yang dikutip dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan telah dicantumkan ke dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini untuk dijadikan sebagai pedoman bagi yang berkepentingan dan saya siap menanggung resiko dan sanksi yang diberikan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran atas etika keilmuan dalam skripsi ini.

Tegal, 10 Juli 2023



Danang Prianto

NPM. 6421600066

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Berusaha tanpa berdoa adalah bukti nyata manusia yang sombong.
2. Proses sama pentingnya dengan hasil. Apabila sesuatu yang hasilnya nihil maka tak apa. Yang penting sebuah proses telah dicanangkan dan dilaksanakan.
3. Bahagiakanlah minimal satu orang dalam sehari, maka hidupmu akan sangat bermanfaat.
4. Kamu tidak harus menjadi hebat untuk memulai, tetapi kamu harus memulai untuk menjadi hebat.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada

1. Keluarga yang terdiri dari bapak, ibu, dan adik.
2. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST. MT. dan bapak Ir. M. Yusuf, MT. selaku dosen pembimbing.
3. Seluruh teman teman program studi teknik mesin.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti.

ABSTRAK

Danang Prianto, "Analisa Pengaruh Perbedaan Temperatur Evaporator Terhadap Kinerja *Expander* pada Siklus Rankine Organik". Laporan Skripsi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal 2023.

Sumber energi di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil berupa batu bara sehingga perlu pengembangan untuk dapat memanfaatkan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan adalah energi panas bumi namun rata-rata temperatur panas bumi diklasifikasikan panas *low temperature* karena suhunya tidak mencapai 125°C sehingga untuk dapat memanfaatkan energi panas bumi dapat menggunakan sistem rankine organik (ORC). Pada sistem rankine organic (ORC) terdapat 4 komponen utama yang terdiri dari pompa, evaporator, *expander*, kondensor.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur evaporator terhadap kinerja *expander*, kinerja *expander* yang diteliti adalah putaran poros *ekspander*, besar entalpi, laju aliran massa, kalor masuk dan kalor keluar ,dan energi yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan mengatur temperatur pada evaporator dengan temperatur 70°C , 80°C , 90°C . Penelitian ini menggunakan teknik analisis data berupa analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja *expander* paling optimal beroperasi saat temperatur evaporator 90°C . Putaran poros *ekspander*, besar entalpi, laju aliran massa, kalor masuk dan kalor keluar ,dan energi yang dihasilkan berbanding lurus dengan temperatur evaporator.

Kata Kunci : Siklus Rankine Organik, Temperatur Evaporator, Kinerja *Expander*.

ABSTRACT

Danang Prianto, "*Analysis of the Effect of Evaporator Temperature Differences on Expander Performance in Organic Rankine Cycle*". Mechanical Engineering Thesis Report, Faculty of Engineering and Computer Science, University of Pancasakti Tegal 2023.

Energy sources in Indonesia still depend on fossil fuels in the form of coal, so development is needed to be able to utilize renewable energy sources. One source of renewable energy is geothermal energy, but the average geothermal temperature is classified as low temperature because the temperature does not reach 125°C so that to be able to utilize geothermal energy, you can use the organic rankine system (ORC). In an organic rankine system (ORC) there are 4 main components consisting of a pump, evaporator, expander, condenser.

This study aims to determine the effect of evaporator temperature differences on expander performance. The expander performance studied is expander shaft rotation, enthalpy, mass flow rate, heat in and heat out, and the energy produced. The research method used is an experimental method by adjusting the temperature on the evaporator with a temperature of 70°C, 80°C, 90°C. This study uses data analysis techniques in the form of descriptive analysis with a quantitative approach.

The results showed that the most optimal expander performance operates when the evaporator temperature is 90°C. The expansion shaft rotation, enthalpy, mass flow rate, heat entering and leaving heat, and the energy produced are directly proportional to the evaporator temperature.

Keywords : *Organic Rankine Cycle, Evaporator Temperature, Expander Performance*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang memberikan rahmat dan hidayah Nya. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW dan keluarganya serta kepada para sahabatnya. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan banyuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST. MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal dan sekaligus Dosen Pembimbing I.
2. Bapak Ir. M. Yusuf, MT., selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak Hadi Wibowo, ST. MT., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal.
4. Segenap dosen dan staf Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.
5. Semua pihak yang telah membantu hingga proposal skripsi ini selesai. Semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang sesuai dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangannya. Semoga skripsi ini dapat memberikan sumbangan untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa yang akan datang.

Tegal, 10 Juli 2023

Danang Prianto

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN KELULUSAN UJIAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
LAMBANG DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar belakang.....	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian.....	6
F. Sistematika Penelitian.....	6
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Landasan Teori.....	8
B. Tinjauan Pustaka	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
A. Metode Penelitian	41
B. Waktu dan Tempat Penelitian	42
C. Variabel Penelitian	43
D. Diagram Alir Penelitian	45
E. Metode Pengumpulan Data	46
F. Metode Analisa Data	50
G. Instrumen Penelitian	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
A. Pembuatan Mesin ORC.....	59
B. Hasil Penelitian	60
C. Pembahasan	76
BAB V PENUTUP.....	81
A. Kesimpulan	81
B. Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Siklus Rankine Organik	21
Gambar 2.2 Komponen Siklus Rankine Organik	22
Gambar 2.3 Skema Siklus Rankine Ideal pada <i>Expander</i>	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2 Tabung Evaporator	46
Gambar 3.3 Pompa Fluida Kerja.....	47
Gambar 3.4 <i>Expander</i>	47
Gambar 3.5 Pipa Tembaga	48
Gambar 3.6 <i>Heater</i>	48
Gambar 3.7 Tabung Fluida R134a	49
Gambar 3.8 Termometer Digital	49
Gambar 3.9 <i>Pressure Gauge</i>	50
Gambar 3.10 <i>Tachometer</i>	50
Gambar 3.11 Desain Sistem Siklus Rankine Organik	51
Gambar 3.12 Desain Gambar Siklus Rankine Organik	52
Gambar 4.1 Mesin ORC	53
Gambar 4.2 Penentuan Nilai Entalpi	57
Gambar 4.3 Penentuan Nilai Kecepatan Aliran	59
Gambar 4.4 Penentuan Nilai Massa Jenis	60
Gambar 4.5 Grafik Putaran Poros <i>Expander</i>	70
Gambar 4.6 Grafik Entalpi.....	71
Gambar 4.7 Grafik Laju Aliran Massa	72
Gambar 4.8 Grafik Kalor Masuk & Kalor Keluar <i>Expander</i>	73
Gambar 4.9 Grafik Energi yang Dihasilkan <i>Expander</i>	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fluida Kerja Berdasarkan Temperatur Evaporator	28
Tabel 2.2 Klasifikasi Fluida dan Pengaruh Lingkungan	28
Tabel 2.3 Klasifikasi Tingkat Keamanan Fluida.....	29
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	36
Tabel 3.2 Pengukuran Temperatur & Tekanan <i>Inlet</i> dan <i>Outlet Expander</i>	43
Tabel 3.3 Pengukuran Putaran Poros <i>Expander</i>	43
Tabel 3.4 Penilaian Entalpi	44
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Temperatur dan Tekanan.....	55
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Putaran Poros <i>Expander</i>	56
Tabel 4.3 Hasil Nilai Entalpi.....	58
Tabel 4.4 Hasil Laju Aliran Massa	62
Tabel 4.5 Hasil Kalor yang Masuk <i>Expander</i>	66
Tabel 4.6 Hasil Kalor yang Keluar <i>Expander</i>	66
Tabel 4.7 Hasil Energi yang Dihasilkan <i>Expander</i>	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel <i>Superheated</i> R-134a	86
Lampiran 2. Desain Sistem Organik Rankine Cycle	88
Lampiran 3. Dokumentasi Pembuatan Mesin Organik Rankine Cycle	89
Lampiran 4. Dokumentasi Mesin Organik Rankine Cycle	91
Lampiran 5. Dokumentasi Pengambilan Data Mesin Organik Rankine Cycle	92
Lampiran 6. Surat Keterangan Penelitian	94
Lampiran 7. Standar Operasional Proserdur	95

LAMBANG DAN SINGKATAN

$^{\circ}\text{C}$ = Derajat Celcius

RPM = Putaran Per Menit

kPa = Kilo Pascal

h = Entalpi

h_{in} = Entalpi Masuk

h_{out} = Entalpi Keluar

kJ/kg = Kilo Joule Per Kilo Gram

\dot{m} = Laju Aliran Massa

kg/s = Kilo Gram Per Detik

ρ = Massa Jenis

kg/m^3 = Kilo Gram Per Meter Kubik

v = Kecepatan Aliran

m^3/s = Meter Kubik Per Detik

Q_{in} = Kalor Masuk

Q_{out} = Kalor Keluar

J = Joule

W_{out} = Energi yang Dihasilkan

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Energi sudah menjadi salah satu kebutuhan utama bagi seluruh masyarakat, baik untuk kebutuhan rumah tangga sehari-hari, hingga kebutuhan pada kegiatan proses industri. Dalam “*BP Statistical Review of World Energy 71st edition*” tahun 2022 mengungkapkan bahwa pertumbuhan konsumsi energi primer di dunia pada tahun 2021 mengalami peningkatan sebesar 5,8% setelah terjadi penurunan pada tahun 2020 sebanyak 4,5% karena dampak dari pandemi COVID-19 yang melanda semua negara di dunia. Minyak masih menjadi sumber energi yang paling dominan digunakan dengan persentase 30,9% , lalu diikuti oleh batu bara dengan 26,9%, dan gas alam dengan 24,4% (BP, 2022).

Negara di Asia Pasifik menjadi konsumen utama energi primer di dunia dengan 45,7%. Indonesia sebagai salah satu Negara di Asia Pasifik yang mengalami pertumbuhan konsumsi energi primer sebesar 2,9% pada tahun 2021. Di Indonesia, batu bara menjadi sumber energi yang paling dominan digunakan dengan persentase 39,4%, diikuti oleh minyak dengan 34%, dan gas alam dengan 16% (BP, 2022). Dengan data tersebut menunjukkan Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil, sedangkan bahan bakar fosil apabila digunakan secara terus menerus dapat mengakibatkan krisis energi di waktu

yang akan datang karena bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak terbarukan.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka perlu adanya pengembangan terkait dengan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang mampu menggantikan bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin menipis. Selain itu, penggunaan Energi Baru Terbarukan juga dapat menekan laju perkembangan emisi gas CO² yang semakin meningkat setiap tahunnya. Ada beberapa macam jenis Energi Baru Terbarukan seperti energi air, energi angin, energi surya, biomassa, gelombang air laut, nuklir, dan energi panas bumi (Vakulchuk et al., 2020).

Dalam proyeksi bauran energi Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) tahun 2021-2030 porsi penggunaan Energi Baru Terbarukan ditargetkan akan melebihi porsi penggunaan bahan bakar fosil sebesar 51,6% atau setara dengan 20,9 Giga Watt (GW). Salah satu langkah pemerintah untuk memanfaatkan Energi Baru Terbarukan adalah dengan mejadikan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) sebagai salah satu proyek strategis nasional untuk penyediaan infrastruktur ketenagalistrikan. Sumber daya energi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 28,5 Giga Watt Electrical (GWE) yang terdiri dari *resources* 11.073 MW dan *reserves* 17.453 MW. Dengan sumber daya energi panas bumi yang tersedia dapat mendukung upaya penggunaan energi panas bumi di Indonesia (ESDM, 2021).

Rata-rata temperatur panas bumi diklasifikasikan panas *low temperature* karena suhunya tidak mencapai 125°C (Bachtiyar & Ambarita, 2010), ini merupakan hal yang harus dipertimbangkan dalam pengembangan potensi panas bumi di Indonesia untuk meningkatkan produksi energi yang dihasilkan. Sejumlah teknologi turut berkembang pesat bersaing untuk mengekstraksi sumber energi panas dengan suhu tingkat menengah hingga rendah. Contohnya yaitu: Siklus Stirling, Siklus Brayton terbalik, Konversi Termoelektrik, Siklus Kalina, dan Siklus Rankine Organik (ORC). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis seberapa besar potensi dari siklus tersebut untuk mengetahui teknologi yang efektif sehingga dapat memanfaatkan energi secara maksimal. Melalui analisis termodinamika komparatif antara *Organic Rankine Cycle* (ORC) dan *Kalina Cycle*, menemukan bahwa penggunaan siklus termodinamika fluida kerja organik memungkinkan efektifitas biaya dan teknik *energy recovery* yang lebih menjanjikan pada sumber panas tingkat menengah. Sistem ORC sendiri merupakan salah siklus termodinamika yang mampu memanfaatkan sumber energi panas bumi, biomassa, dan energi surya yang memiliki temperatur rendah ($<100^{\circ}\text{C}$) pada pembangkit listrik (Nemati et al., 2017).

ORC adalah suatu siklus yang mengubah panas suhu rendah menjadi bentuk energi mekanik yang kemudian dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik menggunakan generator tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Sistem kerja ORC memiliki kesamaan dengan *Steam Rankine Cycle* (SRC) yang biasanya digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yang

membuatnya berbeda adalah pada sistem ORC menggunakan fluida kerja organik yang memiliki titik didih yang rendah jika dibandingkan dengan sistem SRC yang menggunakan fluida kerja berupa air. Kinerja pada sistem ORC dipengaruhi oleh kisaran temperatur sistem ORC tersebut akan beroperasi. Hal ini dikarenakan sifat termodinamika fluida akan mempengaruhi efisiensi siklus pada berbagai temperatur yang diaplikasikan (Jouhara et al., 2018).

Pada sistem ORC terdapat komponen evaporator yang berfungsi untuk mengubah fluida kerja organik menjadi uap bertekanan tinggi lalu mengalir menuju *expander* dengan cara memberikan energi panas terhadap fluida kerja sehingga temperatur pada evaporator dapat mempengaruhi kinerja *expander* pada sistem ORC. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian lebih lanjut tentang perbedaan temperatur pada evaporator menjadi sangat penting untuk mengembangkan sumber energi terbarukan berupa panas bumi, biomassa, dan tenaga surya di Indonesia untuk mengetahui kinerja sistem pada temperatur tertentu, dan oleh karena itu penelitian ini akan membahas tentang “**Analisa Pengaruh Perbedaan Temperatur Evaporator Terhadap Kinerja *Expander* pada Siklus Rankine Organik**”.

B. Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini penulis membatasi masalah pada hal-hal sebagai berikut :

1. Sistem ORC menggunakan fluida kerja R134a.

2. Temperatur evaporator yang digunakan 70°C, 80°C, dan 90°C.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap putaran poros *expander*?
2. Bagaimana hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap entalpi?
3. Bagaimana hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap laju aliran massa?
4. Bagaimana hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap kalor yang masuk dan kalor yang keluar pada *expander*?
5. Bagaimana hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap energi yang dihasilkan oleh *expander*?

D. Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah diatas, maka tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap putaran poros *expander*.
2. Mengetahui hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap entalpi.

3. Mengetahui hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap laju aliran massa.
4. Mengetahui hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap kalor yang masuk dan kalor yang keluar pada *expander*.
5. Mengetahui hubungan perbedaan temperatur pada evaporator terhadap energi yang dihasilkan oleh *expander*.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Manfaat Teoritis
 - a. Dapat menambah pengetahuan tentang pengolahan energi baru terbarukan khususnya pada sektor energi panas bumi.
 - b. Sebagai tambahan referensi terhadap pengembangan sistem ORC.
2. Manfaat Praktis
 - a. Meningkatkan perkembangan penggunaan energi baru terbarukan.
 - b. Memberikan solusi dalam meningkatkan potensi sumber energi panas bumi.

F. Sistematika Penulisan Skripsi

Untuk mendukung penulisan proposal skripsi ini dapat memberikan gambaran jelas dari penelitian yang akan dilakukan maka penulis merumuskan seluruh isi materi yang ada dalam skripsi ini kedalam bentuk sistematika penulisan skripsi yang disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang dasar teori yang berkaitan dengan penelitian serta tinjauan pustaka yang menjadi bahan referensi penulis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi pembahasan metodologi penelitian yang akan digunakan penulis, meliputi kerangka penulisan yang berisi: bahan dan alat, waktu dan tempat, variabel penelitian, metode pengumpulan data, dan metode analisa data.

BAB IV HASIL PENELITIAN

Berisi tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan pembahasannya sesuai dengan rumusan masalah yang ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan hasil penelitian dan rekomendasi saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

A. LANDASAN TEORI

1. Energi

Energi memiliki banyak pengertian tergantung sudut pandang yang berbeda- beda berdasarkan sudut pandang para ahli. Energi merupakan hasil dari massa dikali kuadrat kecepatan cahaya (Cengel & Boles, 2015). Energi kaitannya dengan manusia merupakan layanan atau sumber daya yang dapatdigunakan dengan pertimbangan untuk mempermudah manusia dalam melakukan pekerjaan, dalam hal ini pekerjaan yang dimaksud adalah untuk kegiatan industri, transportasi dan rumah tangga (Campbell, et al., 2002). Dari berbagai penjelasan diatas energi adalah hasil dari pemanfaatan sumber daya yang dikonversi menjadi berbagai bentuk untuk menunjang berbagai kegiatan manusia, sebagai bahan bakar baik untuk menggerakkan alat maupun instrumen lain dalam kegiatan produksi, mobilisasi hingga konsumsi.

a. Kebutuhan Energi

Manusia memiliki keterikatan yang sangat besar terhadap energi. Menurut Campbell dkk. (2002) penggunaan energi tidak lepas dari pemikiran manusia untuk memudahkan suatu pekerjaan dan menginginkan suatu keuntungan atau bernilai ekonomi tinggi. Maka dari itu dapat disimpulkan pendapat bahwa semakin berkembangnya zaman dan ilmu pengetahuan yang kaitannya dengan penambahan

populasi dan meningkatnya standar taraf hidup manusia sangat mempengaruhi kebutuhan energi kedepannya.

b. Macam-Macam Jenis Sumber Energi

Ada berbagai jenis sumber energi yang tersedia dialam dengan berbagai macam klasifikasi dari berbagai sudut pandang. Campbell (2002) dalam bukunya mengklasifikasikan terdapat 4 jenis sumber energi yaitu berdasarkan ketersediannya, asal muasal, pemakaiannya dan nilai ekonomisnya.

1) Sumber Energi Berdasarkan Ketersediaannya

Bedasarkan sudut pandang ini energi dikelompokan berdasarkan jumlahketersediannya dialam yaitu tidak terbarukan atau terbarukan.

a) Sumber Energi Tidak Terbarukan/ Fossil

Sumber energi tidak terbarukan yaitu sumber energi yang memiliki batasan jumlah ketersediaan dialam, dalam kata lain ketersediaannya dialam dapat habis tanpa bisa diproduksi atau diperbaharui kembali. Misalnya saja;

(1)Batubara,

(2)Minyak Bumi,

(3)Gas Alam.

b) Sumber Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui secara terus menerus digunakan, dalam kata lain tidak memiliki batasan dalam penggunaannya. Misalnya saja;

- (1)Energi Air,
- (2)Energi Biomassa,
- (3)Energi Panas Bumi,
- (4)Energi Matahari,
- (5)Energi Angin,
- (6)Energi Pasang Surut,
- (7)Energi Gelombang Laut,
- (8)Energi Panas Laut.

2) Sumber Energi Berdasarkan Asal Muasal

Berdasarkan sudut pandang ini energi dikelompokan berdasarkan bahan baku dan proses yang mempengaruhi pembentukannya.

a) Fosil

Sumber energi fosil berasal dari sisa makhluk hidup (unsur organik) yang mengalami pemfosilan senyawa hidrokarbon akibat dari proses sedimentasi jutaan tahun. Jenis sumber energi ini termasuk sumber energi yang tidak terbarukan mengingat proses pembentukan yang sangat lama. Misalnya saja minyak bumi, batubara, dan gas bumi.

b) Non-Fosil

Sumber energi non-fosil bukan berasal dari sisa makhluk hidup (unsur non-organik). Adapula yang berpendapat sumber energi non-fosil adalah energi hijau atau energi bersih karena tidak mengeluarkan residu yang mencemari atmosfer. Jenis sumber energi ini termasuk sumber energi yang terbarukan karena dapat digunakan secara terus menerus dan tidak mencemari atmosfer. Misalnya saja energi panas bumi, air dan angin.

3) Sumber Energi Berdasarkan Pemakaiannya

Berdasarkan sudut pandang ini energi dikelompokkan berdasarkan proses dalam pemakaiannya.

a) Energi Primer

Sumber energi primer adalah sumber energi yang dapat langsung digunakan tanpa memerlukan proses konversi atau dapat digunakan secara langsung dengan wujud aslinya. Misalnya saja batubara dan air yang langsung dapat digunakan untuk pembangkit listrik, gas alam yang langsung disalurkan untuk keperluan industri dan rumah tangga.

b) Energi Sekunder

Sumber energi primer adalah sumber energi yang tidak dapat langsung digunakan ataupun memerlukan proses konversi melalui serangkaian proses. Misalnya saja varian BBM yang merupakan

produk turunan dari minyak bumi dan listrik yang berasal dari konversi sumber energi lain melalui serangkaian proses (pembangkit listrik).

4) Sumber Energi Berdasarkan Nilai Ekonomisnya

Berdasarkan sudut pandang ini energi dikelompokkan berdasarkan skala ekonomisnya berkaitan jumlah produksi dan penggunaan secara masal.

a) Energi Komersial

Sumber energi komersial merupakan sumber energi yang sudah dapat digunakan secara masal dan diperdagangkan dalam skala ekonomis. Misalnya saja minyak bumi sebagai BBM, batubara untuk pembangkit listrik, dan gas bumi untuk keperluan rumah tangga dan industri.

b) Energi Non-Komersial

Sumber energi komersial merupakan sumber energi yang belum dapat digunakan secara masal atau penggunaannya masih sedikit meliputi wilayah yang kecil dan belum dapat diperdagangkan dalam skala ekonomis. Misalnya saja sumber energi panas matahari dan angin untuk pembangkit listrik yang masih sangat sedikit jumlahnya.

c. Dampak Penggunaan Sumber Energi

Penggunaan sumber energi tentulah memiliki dampak terhadap kehidupan manusia. Baik dampak positif yang bermanfaat bagi

manusia, maupun negatif yang berdampak kepada manusia dan lingkungan secara umum.

1) Dampak Positif

Dampak positif penggunaan sumber energi adalah sebagai penunjang layanan yang mempermudah kehidupan manusia. Misalnya saja:

a) Menunjang kegiatan produksi (industri)

Pemanfaatan sumber energi digunakan sebagai bahan bakar alat-alat atau instrumen pabrik (industri) untuk menunjang kegiatan produksi. Misalnya saja batubara, air dan panas bumi digunakan untuk bahan bakar atau penggerak pembangkit listrik, energi listrik selanjutnya digunakan untuk menyalakan berbagai perangkat elektronik penunjang kegiatan produksi baik barang maupun jasa.

b) Menunjang kegiatan mobilisasi (transportasi/distribusi)

Pemanfaatan sumber energi digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. Misalnya saja listrik, BBM dan BGG untuk bahan bakar kendaraan pribadi, kendaraan umum maupun kendaraan untuk distribusi berbagai barang hasil industri.

c) Memenuhi kebutuhan energi secara umum hingga rumah tangga (konsumsi)

Pemanfaatan sumber energi digunakan sebagai pemenuhan kebutuhan energi secara umum hingga tingkat rumah tangga. Misalnya saja listrik untuk menyalakan fasilitas umum mulai dari

lampu jalan hingga lampu lalu lintas dan listrik dan gas untuk kebutuhan menyalakan peralatan elektronik di rumah dan untuk memasak.

2) Dampak Negatif

Dampak negatif penggunaan sumber energi adalah timbulnya kerusakan lingkungan dan efek rumah kaca. Misalnya saja:

a) Kerusakan lingkungan

Pemanfaatan sumber energi atau eksploitasi yang berlebihan tanpa regulasi yang tegas juga memberikan dampak kerusakan lingkungan, hal ini dapat menyebabkan degradasi terhadap keseimbangan lingkungan sebagai habitat makhluk hidup. Misalnya saja lubang-lubang tambang dan pencemaran limbah dari pengolahan batubara yang mengakibatkan rusaknya ekosistem dan jarang menerlan korban jiwa.

b) Efek rumah kaca

Pemanfaatan sumber energi terbanyak saat ini adalah bahan bakar fosil. Dampak paling jelas adalah meningkatnya unsur CO₂ di atmosfer, hal ini meningkatkan suhu bumi sehingga melelehkan es di kutub bumi yang menyebabkan naiknya permukaan air laut mengancam tenggelamnya berbagai kota pesisir diseluruh dunia. Selain itu, akumulasi CO₂ pada atmosfer bumi juga menyebabkan anomali cuaca terjadi diberbagai belahan dunia yang tidak jarang pada kasusnya

menyebabkan bencana alam mengancam kehidupan makhluk hidup di bumi.

Secara keseluruhan sebetulnya dapat menggambarkan penggunaan energi tidak lain juga untuk menunjang berbagai kegiatan ekonomi suatu wilayah, daerah maupun suatu negara. Hal ini terlihat dari pemilihan dalam penggunaan sumber energi memiliki haruslah memiliki skala ekonomis. Namun pada pemilihan hingga pengelolaan sumber energi harus dilakukan secara bijak karena hal tersebut berpengaruh terhadap siklus kehidupan ataupun lingkungan secara langsung. Maka dari itu menjadi perlu untuk memilih sumber energi yang ramah lingkungan, agar kebutuhan energi terpenuhi, kegiatan ekonomi dapat berjalan lancar sebagai mana mestinya dan menurunnya pencemaran lingkungan khususnya penurunan kadar pencemaran CO² dan salah satu langkahnya dengan menggunakan sumber energi baru terbarukan karena berasal dari alam dan ramah lingkungan (Campbell, et al., 2002).

2. Energi Baru Terbarukan

Energi yang didapatkan dari sumber-sumber yang dapat memperbaharui dirinya secara alami disebut sebagai energi terbarukan (Bachtiyar & Ambarita, 2010). Menurut Vakulchuk dkk, energi terbarukan merujuk kepada energi yang didapat dari proses alamiah dan lebih cepat untuk diproduksi daripada dikonsumsi. Merujuk dari definisi tersebut, ada

beberapa contoh dari energi terbarukan, yaitu energi air, energi panas bumi, energi surya, energi angin dan lain sebagainya (Vakulchuk et al., 2020).

Ada 5 sumber energi terbarukan yang dapat menjadi alternatif. Pertama adalah energi dari air, diikuti oleh energi panas bumi, energi matahari, energi angin dan yang terakhir adalah biomassa. Mereka memberi catatan jika ingin memanfaatkan energi matahari dan angin, maka perlu didampingi oleh sumber energi lainnya. Karena sumber energi matahari dan angin adalah sumber energi yang tidak tetap. Misalnya, ketika cuaca hujan, maka tidak akan ada sinar matahari, atau misal cuaca tidak berangin, maka kincir angin tidak akan berputar dan tidak dapat dijadikan sumber energi (Vakulchuk et al., 2020).

Kelebihan energi terbarukan (Vakulchuk et al., 2020)

- Tersedia secara melimpah.
- Lestari :tidak akan habis.
- Ramah lingkungan (rendah atau tidak ada limbah dan polusi).
- Tidak memerlukan perawatan yang banyak dibandingkan dengan Sumber-sumber energi konvensional dan mengurangi biaya operasi.
- Membantu mendorong perekonomian dan menciptakan peluang kerja.
- Mandiri :energi tidak perlu mengimpor bahan bakar fosil dari negara ketiga.
- Lebih murah dibandingkan energi konvensional dalam jangka panjang.
- Bebas dari fluktuasi harga pasar terbuka bahan bakar fosil.
- Distribusi :Energi bisa diproduksi di berbagai tempat, tidak tersentralisir.

Kekurangan Energi Terbarukan (Vakulchuk et al., 2020)

- Biaya awal besar.
- Keandalan pasokan :Sebagian besar energi terbarukan tergantung kepada kondisi cuaca.
- Saat ini, energi konvensional menghasilkan lebih banyak volume yang bisa digunakan dibandingkan dengan energi terbarukan.
- Energi tambahan yang dihasilkan energi terbarukan harus disimpan, karena infrastruktur belum lengkap agar bisa dengan segera menggunakan energi yang belum terpakai, dijadikan cadangan di Negara - negara lain dalam bentuk akses terhadap jaringan listrik.
- Kurangnya tradisi / pengalaman :Energi terbarukan merupakan teknologi yang masih berkembang.
- Masing - masing energi terbarukan memiliki kekurangan teknis dan sosialnya sendiri.

3. Energi Panas Bumi

Energi panas bumi adalah sumber energi baru terbarukan yang cadangannya paling besar. Secara teori, cadangan energi di 10 km di atas kerak bumi adalah $3,6 \times 10^{14}$ GWh. Secara teoretis cadangan panas bumi ini bisa memasok penggunaan energi dunia selama 2,17 juta tahun. Dibandingkan dengan energi angin dan matahari, energi panas bumi tidak bisa dipengaruhi oleh perubahan cuaca dan musim, artinya energi panas bumi bisa menghasilkan listrik kapan saja. Selain itu, energi panas bumi

relatif stabil, rendah karbon, dan memiliki kapasitas yang tinggi lebih dari 90% (Johnson et al., 2008).

Panas bumi akan tumbuh secara pesat dari tahun ke tahun, pertumbuhan yang sangat cepat ditemukan di negara Indonesia, Filipina, dan Kenya, semuanya kaya akan sumber daya panas bumi. Pengembangan panas bumi di Filipina, Indonesia dan Selandia Baru difokuskan pada bidang panas bumi berskala besar, bersuhu tinggi atau sering disebut pembangkit listrik tenaga uap. Sementara itu, beberapa negara seperti Kroasia, Iran, dan Malaysia mulai mencoba memasuki pasar panas bumi dengan mencontoh proyek negara yang sudah berjalan. Negara-negara ini memahami bahwa menambahkan tenaga panas bumi dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi yang terbatas, mengurangi ketidakpastian ekonomi, geopolitik dan bermanfaat bagi kesehatan lingkungan di masa yang akan datang (Bachtiyar & Ambarita, 2010).

Sumber daya energi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 28,5 Giga Watt Electrical (GWE) yang terdiri dari *resources* 11.073 MW dan *reserves* 17.453 MW. Hal ini perlu ditindaklanjuti dengan pengelolaan yang baik sehingga pemanfaatnya optimal dan berkelanjutan. Saat ini pemanfaatan energi panas bumi dilakukan dengan cara memanfaatkan fluida panas bumi untuk membangkitkan listrik (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi / PLTP), kemudian akan diinjeksikan kembali ke dalam tanah untuk menjaga keberlangsungan sumber energi (ESDM, 2021).

Mengingat pentingnya pemanfaatan panas bumi untuk keberlanjutan, pemerintah menjadikan PLTP sebagai salah satu proyek strategis nasional untuk penyediaan infrastruktur ketenagalistrikan. Proyek pengembangan PLTP tidak hanya diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pencapaian target bauran energi baru dan terbarukan, namun juga sebagai alternatif yang dapat menopang program transisi energi nasional dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca (ESDM, 2021).

Rata-rata temperatur panas bumi diklasifikasikan panas *low temperature* karena suhunya tidak mencapai 125°C (Bachtiyar & Ambarita, 2010), ini merupakan hal yang harus dipertimbangkan dalam pengembangan potensi panas bumi di Indonesia untuk meningkatkan produksi energi yang dihasilkan. Sejumlah teknologi turut berkembang pesat bersaing untuk mengekstraksi sumber energi panas dengan suhu tingkat menengah hingga rendah. Contohnya yaitu: Siklus Stirling, Siklus Brayton terbalik, Konversi Termoelektrik, Siklus Kalina, dan Siklus Rankine Organik (ORC) (Nemati et al., 2017).

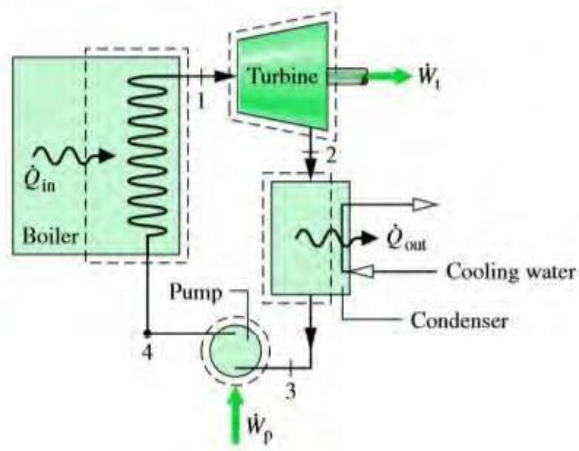
Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis seberapa besar potensi dari siklus tersebut untuk mengetahui teknologi yang efektif sehingga dapat memanfaatkan energi secara maksimal. Sistem ORC sendiri merupakan salah siklus termodinamika yang mampu memanfaatkan sumber energi panas bumi yang memiliki temperatur rendah (<100°C) pada pembangkit listrik (Nemati et al., 2017).

4. Siklus Rankine Ideal

Siklus ideal yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap adalah siklus Rankine. Siklus Rankine berbeda dengan siklus- siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi. Perbedaan lainnya secara termodinamika siklus uap dibandingkan dengan siklus gas adalah bahwa perpindahan kalor pada siklus uap dapat terjadi secara isothermal.

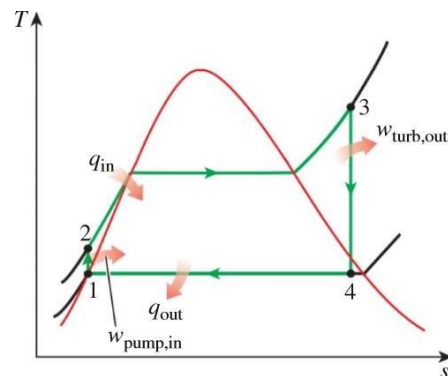
Proses perpindahan kalor yang sama dengan proses perpindahan kalor pada siklus Carnot dapat dicapai pada daerah uap basah dimana perubahan entalpi fluida kerja akan menghasilkan penguapan atau kondensasi, tetapi tidak pada perubahan temperatur. Temperatur hanya diatur oleh tekanan uap fluida.

Kerja pompa pada siklus Rankine untuk menaikkan tekanan fluida kerja dalam fase cair akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan pemampatan untuk campuran uap dalam tekanan yang sama pada siklus Carnot. Siklus Rankine ideal dapat digambarkan dalam diagram T-S dan H-S seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Skema Siklus Rankine Ideal

Sumber: (Cengel & Boles, 2015)



Gambar 2.2 Diagram Siklus Rankine Ideal

Sumber: (Cengel & Boles, 2015)

Siklus Rankine ideal terdiri dari 4 tahapan proses :

- 1 – 2 Kompresi isentropik dengan pompa.
- 2 – 3 Penambahan panas dalam boiler secara isobar
- 3 – 4 Ekspansi isentropik pada turbin.
- 4 – 1 Pelepasan panas pada kondenser secara isobar dan isotermal

Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh (*saturated liquid*) dan dikompresi sampai tekanan operasi *boiler*. Temperatur air akan meningkat selama kompresi isentropik karena menurunnya volumespesifik air. Air memasuki *boiler* sebagai cairan terkompresi (*compressed liquid*) pada kondisi 2 dan akan menjadi uap *superheated* pada kondisi 3. Dimana panas diberikan oleh *boiler* ke air pada tekanan yang tetap. *Boiler* dan seluruh bagian yang menghasilkan steam ini disebut sebagai *steam generator*. Uap *superheated* pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin untuk diekspansi secara isentropik dan akan menghasilkan kerja untuk memutar shaft yang terhubung dengan generator listrik sehingga dapat dihasilkan listrik. Tekanan dan temperatur dari steam akan turun selama proses ini menuju keadaan 4 dimana *steam* akan masuk kondenser dan biasanya sudah berupa uap jenuh. *Steam* ini akan dicairkan pada tekanan konstan didalam kondenser dan akan meninggalkan kondenser sebagai cairan jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini.

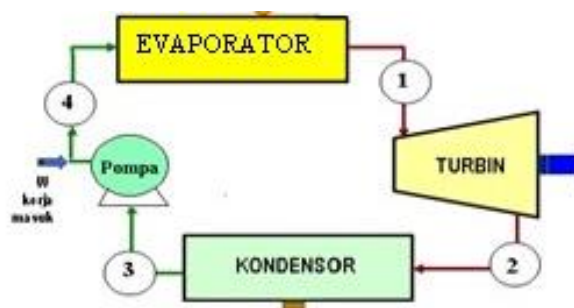
5. Siklus Rankine Organik

Siklus Rankine Organik adalah siklus termodinamika yang mengubah energi panas menjadi kerja mekanis. energi panas diberikan dari eksternal ke dalam aliran tertutup untuk menguapkan fluida kerja organik, dimana mempunyai titik didih lebih rendah dari air sehingga energi panas dari panas temperatur rendah sudah cukup untuk mengubah fase dari fluida kerja

(Cengel & Boles, 2015). Sistem ORC merupakan teknologi *heat recovery* yang dapat diaplikasikan pada sumber energi terbarukan seperti biomassa, panas bumi, dan tenaga surya, atau untuk meningkatkan efisiensi energi pada industri. Selain itu, sistem ORC merupakan sebuah teknologi yang menjanjikan untuk menghasilkan output daya listrik dengan memanfaatkan sumber panas pada temperatur rendah (Tocci, et al., 2017).

Siklus Rankine Organik sering diaplikasikan sebagai siklus Carnot terutama dalam menghitung efisiensi. Siklus ini berbeda dalam penggunaan fluida, fluida dalam Sistem ORC adalah fluida yang bertekanan, bukan gas. Sistem ORC menjadikan fluida dalam bentuk uap sebelum memasuki turbin pada temperatur kurang dari 100 °C, mengikuti aliran tertutup dan digunakan secara terus-menerus. Ada banyak macam dari fluida yang bisa dipilih tergantung kebutuhan dan pertimbangan terhadap sifat fluida mulai dari mudah meledak, beracun, sifat GWP (*Global Warming Potential*), maupun sifat GDP (*Ozone Depleting Potential*) (Blanquart, 2017).

a. Prinsip Kerja Siklus Rankine Organik



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Siklus Rankine Organik

Sumber: (Cengel & Boles, 2015)

Siklus Rankine Organik merupakan siklus ideal untuk siklus tenaga uap. Sistem ORC dimulai proses kompresi isentropik, penambahan panas isobarik, ekspansi isentropik, dan pelepasan panas isobarik. Kondisi ini memiliki dua fase fluida kerja yang digunakan pada siklus ini, yaitu cair (*liquid*) setelah melalui kondensor dan uap (*vapor*) setelah melalui evaporator (Cengel & Boles, 2015).

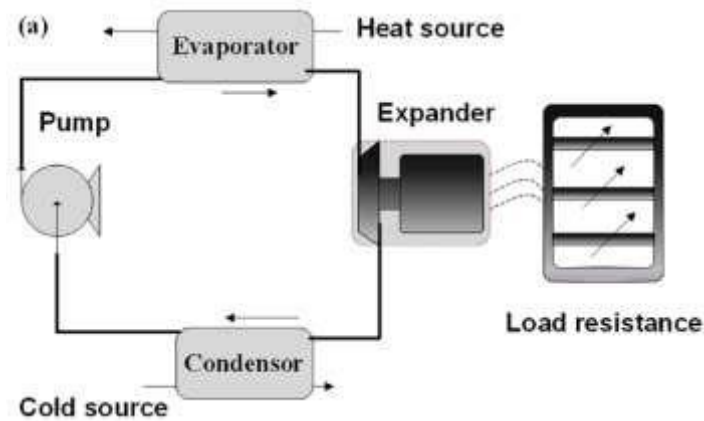
Proses 3-4 : Di dalam pompa fluida kerja mengalami peningkatan tekanan dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pada tahap ini fluida kerja masih berfase cair sehingga energi yang dibutuhkan dalam proses pemompaan relatif kecil

Proses 4-1 : Fluida bertekanan tinggi di alirkan ke dalam evaporator untuk dipanaskan. Fluida dalam fase cair berubah menjadi uap. Dalam proses ini berlangsung pada tekanan konstan.

Proses 1-2 : Uap jenuh di teruskan masuk turbin untuk berekspansi sehingga menghasilkan kerja berupa putaran poros *expander*. Proses ini mengakibatkan temperatur dan tekanan uap turun.

Proses 2-3 : Uap memasuki kondensor dan didinginkan sehingga fluida yang masih dalam fase uap diubah menjadi fase cair. Fluida kerja dipompakan kembali membentuk suatu siklus yang terus-menerus.

b. Komponen Siklus Rankine Organik



Gambar 2.3 Komponen Siklus Rankine Organik

Sumber : (Zhou et al, 2013)

Terdapat empat komponen utama dari ORC yang membentuk siklus Rankine yaitu :

(1) Pompa

Proses dimulai pada pompa yang berfungsi untuk menaikkan tekanan dari fluida organik sesuai dengan tekanan yang diperlukan oleh evaporator, pada masing – masing komponen terjadi proses termodinamika seperti pada siklus Rankine.

(2) Evaporator

Evaporator merupakan salah satu jenis alat penukar panas yang berfungsi untuk mengevaporasi fluida kerja dari cair menjadi uap bertekanan tinggi sebelum masuk ke dalam *expander*.

(3) *Expander*

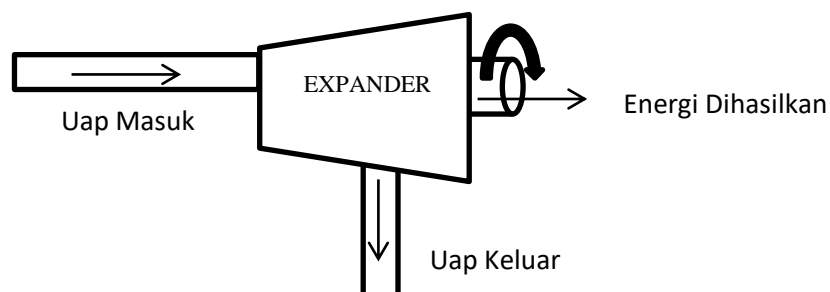
Expander berfungsi untuk mengekstrak uap bertekanan tinggi dari evaporator menjadi energi mekanik yang akan menjadi listrik apabila dihubungkan ke generator.

(4) Kondensor

Kondensor merupakan salah satu jenis alat penukar panas yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap dari fluida kerja organik dari *expander* menjadi cair lalu mengalirkannya kembali menuju pompa.

5. Kinerja *Expander*

Ekspander atau dikenal sebagai turbin berfungsi untuk mengekspansi uap bertekanan tinggi dari evaporator menjadi energi mekanik. Energi mekanik adalah hasil dari gerakan dari gerakan torak yang bergerak karena terdorong uap tekanan tinggi sehingga dari gerak torak tersebut dapat menggerakkan poros puli dari *ekspander* tersebut dimana semakin besar temperatur dan tekanannya maka semakin besar putaran poros *expander* tersebut (Cengel & Boles, 2015).



Gambar 2.3 Skema Siklus Rankine Ideal pada *Expander*

Sumber: (Cengel & Boles, 2015)

a. Laju Aliran Massa

Laju aliran massa menggambarkan besarnya massa uap yang mengalir setiap detik. Semakin besar tekanan dan temperatur maka semakin besar laju aliran massanya. Laju aliran massa berbanding lurus dengan besar energi yang dihasilkan pada *expander* (Cengel & Boles, 2015).

- Perhitungan laju aliran massa:

$$\dot{m} = \rho \times v$$

\dot{m} : laju aliran massa (kg/s)

ρ : massa jenis (kg/m³)

v : kecepatan aliran (m³/s)

b. Entalpi

Entalpi adalah energi yang dikandung oleh suatu bahan sesuai dengan temperatur dan massa bahan tersebut. Besar entalpi akan meningkat apabila terjadi peningkatan temperatur (Atkins, 2009). Dalam siklus rankine organik terdapat perubahan entalpi yaitu entalpi saat masuk ke *expander* (h_{in}) dan entalpi setelah keluar dari *expander* (h_{out}). Nilai entalpi sudah dapat diketahui pada tabel dengan mengetahui temperatur dan tekanannya terlebih dahulu.

c. Kalor Masuk dan Kalor Keluar

Kalor masuk adalah besar kalor yang masuk untuk melakukan proses ekspansi pada *expander*. Sedangkan kalor keluar adalah kalor yang keluar

setelah proses ekspansi pada *expander*. Kalor yang masuk dan keluar *expander* dipengaruhi oleh temperatur, semakin besar temperaturnya maka semakin besar laju aliran massa dan entalpinya, sehingga kalor yang masuk dan keluar pada *expander* juga semakin besar (Cengel & Boles, 2015).

- Perhitungan kalor yang masuk & kalor yang keluar *expander* :

$$Q_{in} = \dot{m} \times h_{in}$$

$$Q_{out} = \dot{m} \times h_{out}$$

Q_{in} : Kalor yang masuk ke dalam *expander* (J)

Q_{out} : Kalor yang keluar dari *expander* (J)

\dot{m} : laju aliran massa (kg/s)

h_{in} : entalpi yang masuk ke dalam *expander* (kJ/kg)

h_{out} : entalpi yang keluar ke dari *expander* (kJ/kg)

d. Energi yang Dihasilkan

Energi yang dihasilkan adalah *output* dari siklus rankine organik. Semakin tinggi temperatur evaporator maka semakin tinggi pula energi yang akan dihasilkan (Yulianto et al., 2013).

- Perhitungan energi yang dihasilkan *expander*:

$$W_{out} = h_{in} - h_{out}$$

W_{out} : energi yang dihasilkan *expander* (kJ/kg)

h_{in} : entalpi saat kalor masuk *expander* (kJ/kg)

h_{out} : entalpi saat kalor masuk *expander* (kJ/kg)

6. Fluida Kerja Siklus Rankine Organik

Pada siklus Rankine konvensional yang memanfaatkan air sebagai fluida kerja, sehingga membuat sistem membutuhkan panas pada temperatur yang tinggi untuk dapat bekerja karena titik didih air yang tinggi. Penggunaan fluida kerja organik pada siklus Rankine ini merupakan solusi yang menjanjikan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan panas pada temperatur rendah hingga menengah. Karakteristik umum dari semua fluida kerja organik yang digunakan dalam teknologi pembangkit listrik adalah titik didihnya yang rendah. Selain itu, fluida kerja organik juga memiliki suhu dan tekanan kritis yang jauh lebih rendah daripada air (White et al., 2018).

Karena temperatur sumber panas yang rendah, *irreversibility* yang terjadi pada *heat exchangers* sangat berpengaruh pada efisiensi siklus secara keseluruhan. Inefisiensi ini sangat tergantung pada sifat termodinamika fluida kerja. Selain itu, temperatur kerja sistem ORC juga akan mempengaruhi pemilihan fluida kerja yang digunakan untuk memperoleh kinerja yang paling optimal (Johnson et al., 2008).

Dalam pemilihan fluida kerja, faktor-faktor seperti performa fluida bekerja pada temperatur rendah, keamanan, pengaruh terhadap lingkungan, dan pertimbangan ekonomi (Bachtiyar & Ambarita, 2010). Beberapa penelitian tentang fluida kerja organik telah dilakukan untuk mengetahui titik didih, performa, keamanan dan jugadari berberapa fluida organik.

Tabel 2.1 Fluida Kerja Berdasarkan Temperatur Evaporator

Sumber : (Bachtiyar & Ambarita, 2010)

Titik Rendah Temperatur Evaporator (°C)	Fluida Kerja Yang Disarankan
70	R134a, R22, Ammonia, R123, dan R141b.
100	R236ea, R245fa, R11, R114, R601a, dan R113
150	R245a, Benzene, dan Ethanol
200	Butylbenzene
250	n-hexane, n-pentane, toluene

Tabel 2.2 Klasifikasi Fluida dan Pengaruh Lingkungan

Sumber : (Bachtiyar & Ambarita, 2010)

Refrigerant	R22	R32	R123	R134a
Klasifikasi lingkungan (tipe refrigerant)	HCFC	HFC	HFC	HFC
Berat Molekul	86,5	102,3	102,3	102,3
Titik didik (1atm, °C)	-40.8	56.11	27.7	-26.06
Tekanan kritis (bar)	49.89	57.84	36.61	40.56
Suhu Kritis (°C)	96.2	78.33	183.6	101
Massa Jenis fase cair (kg/m ³)	1206.11	977.12	1472.89	1220.60
Massa Jenis fase uap (kg/m ³)	4.7	2.98	6.47	5.25
Potensi pengurangan ozon	0.05	0	0.0015	0
Potensi global warming	1810	675	77	1430

Tabel 2.3 Klasifikasi Tingkat Keamanan Fluida

Sumber : (National Refrigerant, 2016)

Classification	Denomination	Composition or chemical formula	Safety Classification
Inorganic Compound			
R717	ammonia	NH ₃	B2
R718	water	H ₂ O	A1
R744	carbon dioxide	CO ₂	A1
Organic Compound			
Hydrocarbons			
R170	Ethane	CH ₃ CH ₃	A3
R290	Propane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	A3
R600a	Isobutene	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	A3
Halocarbons			
Chlorofluorocarbons (CFCs) and Bromofluorocarbons (BFCs)			
R11	Trichlorofluoromethane	CCl ₃ F	A1
R12	Dichlorodifluoromethane	CCl ₂ F ₂	A1
Hydrochlorofluorocarbons (HCFC)			
R22	Chlorodifluoromethane	CHClF ₂	A1
R141a	1,1-dichloro-1-fluoroethane	CH ₃ CCl ₂ F	A2
R142b	1-chloro-1,1-difluoroethane	CH ₃ CClF ₂	A2
Hydrofluorocarbons (HFCs)			
R32	Difluoromethane	CH ₂ F ₂	A2
R125	Pentafluoroethane	CHF ₂ CF ₂	A1
R134a	1,1,1,2-tetrafluoroethane	CH ₂ FCF ₂	A1
R143a	1,1,1-trifluoroethane	CH ₃ CF ₃	A2
R152a	1,1-difluoroethane	CH ₃ CHF ₂	A2
Azeotropic mixtures			
R502		R22/R115 (48.8/51.2)	A1
R507		R125/R143a (50/50)	A1
Zeotropic Mixtures			
R404A		R125/R143a/R134a (44/52/4)	A1
R407C		R32/R125/R134a (23/25/52)	A1
R410A		R32/R125 (50/50)	A1

Berdasarkan data-data diatas R134a dipilih untuk menjadi fluida kerja karena dapat bekerja pada temperatur rendah (50-100 °C).

B. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini tidak terlepas dari penelitian terdahulu yang menjadi referensi dan acuan. Berikut ini adalah penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini :

1. M. Hijriawan., N.A. Pambudi., D. S. Wijayanto., M. K. Biddinika., L. H. Saw. (2022) berjudul *Experimental analysis of R134a working fluid on Organic Rankine Cycle (ORC) systems with scroll-expander*. Teknologi Waste Heat Recovery System (WHRS), misalnya Organic Rankine Cycle (ORC) telah dieksplorasi sebagai solusi untuk meningkatkan potensi panas bumi, mungkin diterapkan dalam bentuk biner atau gabungan, sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi tunggal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja refrigeran R134a pada sistem ORC, dengan menggunakan scrollexpander. Percobaan dilakukan dengan frekuensi motor yang berbeda, yaitu 7,5 Hz, 10 Hz, 12,5 Hz, 15 Hz, 17,5 Hz, dan 20 Hz, pengaturan suhu evaporator 95 C, kondensor pada 10 C, dan awal tekanan fluida kerja sebesar 5 bar. Hasil penelitian menunjukkan adanya modifikasi kinerja sistem ORC dengan scroll-expander, di samping frekuensi motor, yang mempengaruhi daya netto dan efisiensi energi. Selain itu, kecepatan maksimum yang dihasilkan oleh expander adalah 505,8 rpm, sedangkan yang tertinggi untuk energi efisiensi yang dicapai dari sistem adalah 3,17%, pada frekuensi motor 7,5 Hz, dengan daya bersih yang dihasilkan sebesar 584,5 Watt.

2. Andianto Pintoro., Achmad Husein Siregar. (2019) berjudul Analisa Performansi Pembangkit Listrik Siklus Rankine Organik Sederhana Dengan Sumber Panas Uap Geothermal Berkualitas Rendah. Pada tulisan ini dipaparkan tentang suatu kajian eksperimental yang telah dilakukan untuk menganalisa performansi dari sebuah unit pembangkit listrik sistim siklus Rankine organik (Organic Rankine Cycle) skala kecil yang memanfaatkan uap panas bumi berkualitas rendah sebagai sumber panas penggerak. Fluida kerja organik yang digunakan adalah R134a. Dari hasil pengujian ini didapat efisiensi termal sistim tertinggi sebesar 5,34% dan daya keluaran bersih sebesar 1.523,42 watt. Hasil pengujian menunjukkan bahwa menggunakan uap panas bumi berkualitas rendah pada sebuah sistim pembangkit listrik ORC ini layak untuk digunakan dengan kinerja yang dapat diterima.
3. Diki Ismail Permana., Mohammad Azis Mahardika (2019) berjudul Pemanfaatan Panas Buang *Flue Gas* PLTU Dengan Aplikasi Siklus Rankine Organik. Dalam penelitian ini, Siklus Rankine Organik (SRO) digunakan untuk mencapai daya dari pembangkit listrik tenaga uap dengan menggunakan panas buang dari flue gas sebagai sumber panas. Tujuan utama dari makalah ini adalah untuk menemukan daya yang dihasilkan dan konfigurasi evaporator yang tepat untuk memasang SRO pada sistem gas buang. Dalam hal ini, evaporator SRO dirancang, dan penurunan tekanan gas buang dihitung, dimana didapatkan hasil penurunan tekanan yang paling efektif terjadi pada evaporator yang jumlah susunan tube-nya secara stagger

dengan jumlah tube sebanyak 12. Selain itu, tujuan utama kedua adalah untuk merancang sistem SRO, yang menghasilkan daya tertinggi dari pemanfaatan gas buang flue gas, sehingga pemilihan fluida kerja yang cocok sangat diperlukan. Isopentena dipilih sebagai fluida kerja yang cocok baik itu secara perpindahan energi maupun dalam aspek lingkungan (ODP dan GWP), dimana SRO dapat menghasilkan daya sebesar 747,3 kW di temperatur 130oC pada susunan evaporator secara stagger.

4. Hari Iswanto¹., Paulus Sukusno., Pribadi Mumpuni Adhi. (2019) berjudul Analisis Sistem Rankine Organik untuk Memanfaatkan *Waste Flue Gas* Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Potensi energi panas dari waste flue gas pada pembangkit listrik tenaga uap dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik . Proses pembangkitan listrik tersebut dapat berlangsung dengan siklus rankine organik, kemampuan siklus rankine organik untuk mengkonversi energi panas bergantung pada jenis refrigerant yang digunakan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mencari efisiensi termal dan energi listrik yang dihasilkan oleh siklus rankine organik dengan sumber panas waste flue gas. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu merancang sistem siklus rankine organik dengan 4 komponen utama yaitu evaporator, turbin, kondensor dan pompa. Kemudian dilakukan simulasi dengan software cycle tempo dan sifat fluida didapat dari software REFPROP. Adapun refrigeran yang digunakan sebagai perbandingan yaitu R-22,R-32,R-123,dan R-134a. Hasil dari penelitian ini didapat efisiensi tertinggi berturut – turut yaitu 1,336%, 0,946%, 5,234%, dan 1,604% untuk

R-22, R-32, R-123, dan R-134a. Sedangkan energi listrik yang dihasilkan mencapai 59,45 kWe untuk R-22, 42,61 kWe untuk R-32, 220,48 kWe untuk R-123, dan 70,81 kWe untuk R-134a dari energi input sebesar 4,3 Mega Watt.

5. M. M. Dwinanto., W. Bunganaen., Nurhayati., Gusnawati., A. Y. Tobe., B.V. Tarigan. (2021) berjudul Pengaruh Temperatur Kondensasi terhadap Kinerja Siklus Rankine Organik yang Menggunakan R245fa, R600a, R1234yf, dan R1234ze. Siklus Rankine organik (ORC) adalah teknologi yang tidak konvensional dan telah banyak digunakan untuk mengubah energi termal pada suhu rendah menjadi energi listrik dalam skala kecil. Untuk itu penggunaan hidrokarbon dan hidrofluoroolefin yang lebih ramah lingkungan telah menjadi tuntutan dan isu sentral pada masa yang akan datang. Makalah ini menyajikan studi kinerja penggunaan R600a, R1234yf, dan R1234ze sebagai pengganti R245fa di sistem ORC. Kinerja sistem didasarkan pada variasi temperatur kondensasi menggunakan perangkat lunak Genetron Properties dengan temperatur evaporasi dipertahankan konstan. Besaran-besaran penting yang dianalisis adalah laju aliran massa, daya pemompaan, penyerapan kalor, pelepasan kalor, temperatur keluar turbin, temperatur panas lanjut keluar turbin, rasio tekanan turbin, dan efisiensi termal. Hasilnya menunjukkan bahwa pada temperatur kondensasi sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem. Tidak mudah untuk menetapkan kinerja optimal untuk setiap fluida kerja yang digunakan dalam sistem secara bebas sehingga pendekatan simulasi siklus dengan model

termodinamika sambil membandingkan ketiga fluida kerja dengan R245fa merupakan cara yang paling umum. Hasil studi ini menunjukkan bahwa kandidat fluida kerja hidrokarbon dan hidrofluoroolefin yang dikaji memiliki efisiensi termal yang sama dengan R245fa.

6. Arash Nemati, Hossein Nami, Faramarz Ranjbar, Mortaza Yari (2017) berjudul *A Comparative Thermodynamic Analysis of ORC and Kalina Cycles for Waste Heat Recovery*. Pemodelan termodinamika dan optimasi dilakukan untuk membandingkan keuntungan dan kerugian dari siklus Rankine organik (ORC) dan siklus Kalina (KC) sebagai siklus dasar untuk pemulihan panas limbah dari sistem kogenerasi CGAM. Model termodinamika untuk gabungan CGAM/ORC dan CGAM/KC dilakukan dan efek dari beberapa variabel keputusan pada efisiensi energi dan eksergi serta parameter ukuran turbin dari sistem gabungan adalah diselidiki. Penyelesaian persamaan simulasi dan proses optimasi dilakukan dengan menggunakan metode pencarian langsung dengan perangkat lunak EES. Hasil Penelitian bahwa pada rasio tekanan udara yang optimum kompresor, daya yang dihasilkan dari siklus bottoming memiliki nilai minimum. Juga, evaporator tekanan mengoptimalkan kinerja siklus, tetapi tingkat tekanan optimal ini di ORC (11 bar) jauh lebih rendah daripada Kalina (46 bar). Selain itu, konfigurasi ORC yang lebih sederhana, lebih tinggi bersih menghasilkan daya dan aliran keluar turbin super panas, yang mengarah pada kinerja yang andal untuk turbin, adalah keuntungan lain dari ORC. Parameter ukuran turbin Kalina lebih rendah dari pada ORC yang

merupakan aspek positif dari siklus Kalina. Namun, dengan perbandingan yang komprehensif antara Kalina dan ORC, disimpulkan bahwa ORC memiliki keistimewaan yang signifikan untuk limbah panas pemulihan dalam kasus ini.

7. Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018) berjudul *Waste heat recovery technologies and applications. Thermal Science and Engineering Progress*. Limbah panas industri adalah energi yang dihasilkan dalam proses industri yang tidak digunakan secara praktis dan hilang, terbuang, dan dibuang ke lingkungan. Memulihkan panas limbah dapat dilakukan melalui berbagai teknologi pemulihan panas limbah untuk menyediakan sumber energi yang berharga dan mengurangi energi secara keseluruhan konsumsi. Dalam makalah ini, tinjauan komprehensif dibuat dari metodologi pemulihan panas limbah dan keadaan teknologi canggih yang digunakan untuk proses industri. Dengan mempertimbangkan peluang pemulihan panas untuk energi optimasi energi di industri baja dan besi, makanan, dan keramik, sebuah revisi terhadap praktik dan prosedur yang ada saat ini dinilai. Penelitian dilakukan pada operasi dan kinerja teknologi yang umum digunakan seperti recuperator, regenerator, termasuk regenerator tungku dan regenerator putar atau roda panas, pemanas awal udara pasif, pembakar regeneratif dan pemulihan, penukar panas pelat dan ekonom dan unit seperti boiler limbah panas dan run around coil (RAC). Teknik yang dipertimbangkan seperti pemulihan kondensasi kontak langsung, pemulihan kondensasi kontak tidak langsung,

kondensasi membran transportasi dan penggunaan unit seperti pompa panas, generator uap pemulihan panas (HRSG), sistem pipa panas, siklus Rankine Organik, termasuk siklus Kalina, yang memulihkan dan menukar limbah panas dengan kandungan energi potensial. Selain itu, penggunaan teknologi baru yang sedang berkembang untuk konversi panas ke listrik langsung seperti teknik pembangkit listrik termoelektrik, piezoelektrik, termionik, dan thermo photo voltaic (TPV) juga dieksplorasi dan ditinjau. Dalam hal ini, fungsionalitas dari semua teknologi dan penggunaan setiap teknik sehubungan dengan kelebihan dan kekurangannya dievaluasi dan dijelaskan.

8. H.M.D.P. Herath., M.A. Wijewardane., R.A.C.P. Ranasinghe., J.G.A.S. Jayasekera (2020) berjudul *Working fluid selection of Organic Rankine Cycles*. Organic Rankine Cycles (ORC) diidentifikasi sebagai salah satu kandidat terbaik untuk menghasilkan listrik dari sumber panas tingkat rendah sumber. ORC beroperasi pada suhu rendah dan tekanan rendah dengan perbandingan dengan Siklus Rankine konvensional. Oleh karena itu, cairan organik atau refrigeran dapat digunakan sebagai cairan kerja untuk aplikasi ORC, bukan air, yang lebih cocok untuk aplikasi bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi. Kinerja dan desain sistem dari sistem ORC sepenuhnya tergantung pada fluida kerja, dan karenanya, pemilihan fluida kerja untuk ORC adalah yang paling penting untuk aplikasi tertentu, yaitu pemulihan panas matahari, panas bumi atau limbah panas. Kinerja ORC untuk tujuh (07) fluida kerja: R-134a, R-245fa, Benzena, Metanol, Etanol, Aseton, dan Propana (R-290) telah dipelajari selama pekerjaan ini. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa Sistem ORC berbasis Benzena dan Metanol berkinerja lebih efisien dibandingkan dengan cairan kerja lainnya yang dipertimbangkan dalam analisis dan, mereka membutuhkan laju aliran massa fluida yang lebih rendah per unit pembangkit listrik relatif terhadap cairan lain yang digunakan dalam analisis

9. Tasya Rahmawati (2022) berjudul Perbandingan R245fa Dan R1234ze Sebagai Fluida Kerja Pada Sistem Siklus Rankine Organik. Kementerian ESDM 2021 menyatakan bahwa 38% kesediaan energi listrik di Indonesia didominasi oleh PLTU sementara sumber energi fosil semakin lama semakin menipis. Salah satu pengembangan teknologi yang prinsip kerjanya sama dengan PLTU adalah Organic Rankine Cycle (ORC). Komponen utama ORC yaitu pompa, evaporator, turbin uap, dan kondenser. Sumber panas ORC bisa diperoleh dari panas buang, panas bumi, panas surya, biomassa, dan lain sebagainya. ORC menggunakan refrigeran sebagai fluida kerja karena sifatnya yang mampu menguap dalam temperatur rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kinerja ORC menggunakan fluida kerja R245fa dan R1234ze pada simulator Aspen Plus V.11. Sistem bekerja pada tekanan keluaran pompa 6 bar, temperatur masuk turbin 70-110 OC dan laju alir massa 40.000 kg/s. Berdasarkan hasil simulasi dan analisa, fluida R1234ze memberikan kinerja dan efisiensi sistem yang lebih baik dibanding R245fa. Efisiensi model ORC tertinggi dengan fluida kerja R1234ze diperoleh pada saat temperatur masuk turbin 110 OC sebesar 13.36%.

10. Marianus R. V. T. Etu., Matheus M. Dwinanto., Jack Carol Adolf Pah. (2022) berjudul Studi Pengaruh Suhu Kondensasi R245FA, R515A, dan R1234ZE terhadap Kinerja Siklus Rankine Organik. Siklus Rankine organik telah digunakan sebagai pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber kalor bersuhu rendah seperti biomassa, panas bumi, dan limbah kalor dari pembangkit listrik konvensional. Kajian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja energi siklus Rankine organik sebagai akibat perubahan suhu kondensasi menggunakan fluida kerja yang lebih ramah lingkungan sebagai pengganti R245FA, yaitu R515A dan R1234ZE. Kinerja sistem didasarkan pada variasi suhu kondensasi menggunakan perangkat lunak Genetron Properties dengan suhu evaporasi dipertahankan konstan. Besaran-besaran penting yang dianalisis adalah laju aliran massa, daya pemompaan, penyerapan kalor, rasio tekanan turbin, dan efisiensi termal. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu kondensasi sangat berdampak pada meningkatnya konsumsi daya pemompaan tetapi menurunkan rasio tekanan di turbin, dan efisiensi termal sistem. Daya pemompaan yang digunakan untuk menyirkulasikan R515A dan R1234ZE lebih besar dibandingkan dengan untuk menyirkulasikan R245FA, tetapi efisiensi termal sistem ORC yang menggunakan R1234ZE lebih besar dibandingkan R245FA dan R515A.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu metode yang bertujuan untuk menguji pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain atau menguji bagaimana hubungan sebab akibat antara variabel yang satu dengan variabel yang lainnya. Metode penelitian eksperimen memiliki perbedaan yang jelas dibanding dengan metode penelitian lainnya, yaitu adanya pengontrolan terhadap variabel penelitian dan adanya pemberian perlakuan terhadap kelompok eksperimen. Sukmadinata (2008) mengemukakan bahwa, “Penelitian eksperimental merupakan pendekatan penelitian yang cukup khas. Kekhasan tersebut diperlihatkan oleh dua hal, pertama penelitian eksperimen menguji secara langsung pengaruh suatu variabel terhadap variabel lain, kedua menguji hipotesis hubungan sebab akibat.”

Berdasarkan uraian mengenai penelitian eksperimen tersebut, maka pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya hubungan temperatur evaporator terhadap kinerja *expander* pada sistem ORC.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Oktober 2022 – Februari 2023

dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan				
		Okt	Nov	Des	Jan	Feb
1	Pengajuan Judul	■				
2	Penyusunan proposal	■	■	■		
3	Seminar proposal			■		
4	Pelaksanaan penelitian				■	
5	Pengolahan data				■	
6	Penyusunan laporan skripsi				■	■
7	Ujian skripsi					■

2. Tempat Penelitian

Penelitian sistem ORC dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Kota Tegal.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah temperatur evaporator yang divariasikan yaitu sebesar 70 °C, 80 °C, 90 °C.

2. Variabel terikat

Variabel terikat yang dipengaruhi oleh temperatur evaporator pada penelitian ini yaitu :

a. Tekanan

- 1) Tekanan *inlet expander*.
- 2) Tekanan *outlet expander*.

b. Temperatur

- 1) Temperatur *inlet expander*.
- 2) Temperatur *outlet expander*.

c. Entalpi

- 1) Entalpi *inlet expander*.
- 2) Entalpi *outlet expander*.

d. *Output* putaran poros *expander*.

e. Laju aliran massa.

f. Jumlah kalor yang masuk dan keluar pada *expander*.

g. Energi yang dihasilkan oleh *expander*.

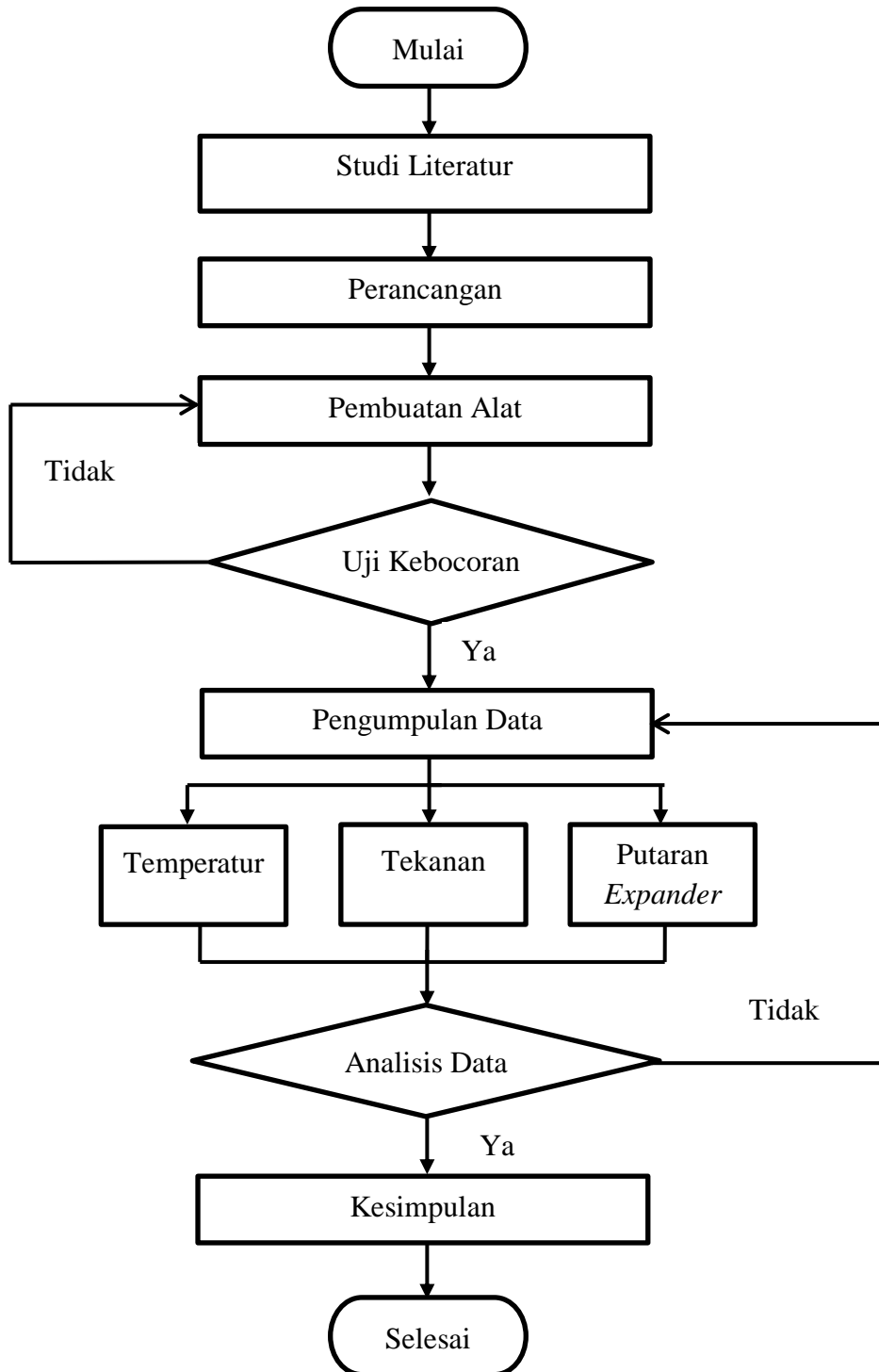
3. Variabel kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian sistem ORC ini yaitu:

a. Sistem ORC beroperasi menggunakan fluida kerja R134a.

b. Temperatur fluida pendingin kondensor sebesar 0 °C.

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

E. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini metode pengumpulan data yang digunakan antara lain :

1. Metode Eksperimen

Eksperimen adalah suatu metode penelitian yang digunakan untuk memutuskan apakah ada efek samping dari suatu subjek penelitian yang akan mempengaruhi objek suatu penelitian. Metode eksperimen diterapkan dengan mengatur temperatur pada evaporator dengan temperatur 70 °C, 80 °C, 90 °C untuk mencari tahu bagaimana pengaruh temperatur tersebut terhadap kinerja *expander*.

Langkah Metode Eksperimen :

a. Langkah pra-eksperimen

Langkah pra-eksperimen dilakukan untuk perancangan dan pembuatan mesin sistem ORC. Langkah ini dimulai dari pembelian bahan- bahan penyusun sampai menjadi sistem ORC lengkap. Pengambilan data dapat dilakukan setelah sistem ORC mampu menjalankan komponen sebagaimana fungsinya, tidak terjadi kebocoran pada sistem, dan mampu berjalan secara kontinu untuk mendapatkan kerja sistem ORC pada saat stabil.

b. Langkah eksperimen

1) Temperatur evaporator 70°C

- a) Menyalakan *heater* pada evaporator sampai temperatur 70°C.
- b) Mengisi kondensor dengan air es sampai temperatur 0°C.

- c) Nyalakan pompa untuk mengalirkan fluida kerja.
 - d) Sistem ORC dijalankan selama 5 menit sampai parameter-parameter sistem ORC dalam keadaan stabil. Parameter tersebut seperti tekanan, temperatur, dan rpm turbin.
 - e) Ketika sistem ORC telah stabil, pengambilan data pertama dapat dilakukan dengan mengamati dan mencatat parameter variabel terikat, variabel tersebut sebagai berikut:
 - Temperatur outlet evaporator dan outlet *expander* yang tertera pada termometer.
 - Tekanan outlet evaporator dan outlet *expander* yang tertera pada pressure gauge.
 - RPM turbin dengan tachometer di poros tubin.
 - f) Pompa mesin ORC dimatikan 5 menit.
- 2) Temperatur evaporator 80°C
- a) Menyalakan *heater* pada evaporator sampai temperatur 80°C.
 - b) Mengisi kondensor dengan air es sampai temperatur 0°C.
 - c) Nyalakan pompa untuk mengalirkan fluida kerja.
 - d) Sistem ORC dijalankan selama 5 menit sampai parameter-parameter sistem ORC dalam keadaan stabil. Parameter tersebut seperti tekanan, temperatur, dan rpm turbin.
 - e) Ketika sistem ORC telah stabil, pengambilan data pertama dapat dilakukan dengan mengamati dan mencatat parameter variabel terikat, variabel tersebut sebagai berikut:

- Temperatur outlet evaporator dan outlet *expander* yang tertera pada termometer.
 - Tekanan outlet evaporator dan outlet *expander* yang tertera pada pressure gauge.
 - RPM turbin dengan tachometer di poros tubin.
- f) Pompa mesin ORC dimatikan 5 menit.
- 3) Temperatur evaporator 90°C
- a) Menyalakan *heater* pada evaporator sampai temperatur 90°C.
- b) Mengisi kondensor dengan air es sampai temperatur 0°C.
- c) Nyalakan pompa untuk mengalirkan fluida kerja.
- d) Sistem ORC dijalankan selama 5 menit sampai parameter-parameter sistem ORC dalam keadaan stabil. Parameter tersebut seperti tekanan, temperatur, dan rpm turbin.
- e) Ketika sistem ORC telah stabil, pengambilan data pertama dapat dilakukan dengan mengamati dan mencatat parameter variabel terikat, variabel tersebut sebagai berikut:
- Temperatur outlet evaporator dan outlet *expander* yang tertera pada termometer.
 - Tekanan outlet evaporator dan outlet *expander* yang tertera pada pressure gauge.
 - RPM turbin dengan tachometer di poros tubin.
- f) Pompa mesin ORC dimatikan 5 menit.

Tabel 3.2 Pengukuran Temperatur dan Tekanan *Inlet dan Outlet Expander*

Temperatur Evaporator	Temperatur <i>Inlet Expander</i> (°C)	Tekanan <i>Inlet Expander</i> (bar)	Temperatur <i>Outlet Expander</i> (°C)	Tekanan <i>Outlet Expander</i> (bar)
70 °C				
80 °C				
90 °C				

Tabel 3.3 Pengukuran Putaran Poros *Expander*

	RPM <i>Expander</i>			Total RPM <i>Expander</i>	Rata-Rata RPM <i>Expander</i>
70°C					
80°C					
90°C					

2. Metode Studi Pustaka

Metode studi pustaka adalah suatu metode penelitian yang digunakan untuk mendapatkan data dengan bersumber pada buku maupun literatur melalui jurnal hasil dari penelitian terdahulu. Metode studi pustaka diterapkan dengan menggunakan data yang telah didapatkan melalui eksperimen berupa temperatur dan tekanan untuk mengetahui nilai dari variabel yang dibutuhkan melalui tabel pada buku. Metode ini digunakan untuk mengetahui besar nilai entalpi.

Tabel 3.4 Penilaian Entalpi

Temperatur Evaporator	Temperatur <i>Inlet</i> <i>Expander</i> (°C)	Tekanan <i>Inlet</i> <i>Expander</i> (bar)	Entalpi <i>Inlet</i> <i>Expander</i> (kJ/kg)	Temperatur <i>Outlet</i> <i>Expander</i> (°C)	Tekanan <i>Outlet</i> <i>Expander</i> (bar)	Entalpi <i>Outlet</i> <i>Expander</i> (kJ/kg)
70 °C						
80 °C						
90 °C						

F. Metode Analisa Data

Penelitian ini menggunakan teknik analisis data berupa analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Metode analisis deskriptif adalah dengan menuturkan dan menafsirkan data yang ada. Analisis deskriptif yang digunakan adalah dengan studi komparatif.

Data dari hasil eksperimen kemudian dimasukkan ke dalam rumus perhitungan yang didapatkan dari buku untuk menghitung laju aliran massa, kalor yang masuk dan keluar pada *expander*, dan jumlah energi yang dihasilkan kemudian ditarik kesimpulannya.

- Perhitungan laju aliran massa:

$$\dot{m} = \rho \times v$$

\dot{m} : laju aliran massa (kg/s)

ρ : massa jenis (kg/m³)

v : kecepatan aliran (m³/s)

- Perhitungan kalor yang masuk & kalor yang keluar *expander* :

$$Q_{in} = \dot{m} \times h_{in}$$

$$Q_{out} = \dot{m} \times h_{out}$$

Q_{in} : Kalor yang masuk ke dalam *expander* (J)

Q_{out} : Kalor yang keluar dari *expander* (J)

\dot{m} : laju aliran massa (kg/s)

h_{in} : entalpi yang masuk ke dalam *expander* (kJ/kg)

h_{out} : entalpi yang keluar ke dari *expander* (kJ/kg)

- Perhitungan energi yang dihasilkan *expander*:

$$W_{out} = h_{in} - h_{out}$$

W_{out} : energi yang dihasilkan *expander* (J)

h_{in} : entalpi saat kalor masuk *expander* (kJ/kg)

h_{out} : entalpi saat kalor masuk *expander* (kJ/kg)

G. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

1. Alat dan Bahan

a. Evaporator dan Kondensor

Evaporator dan kondensor menggunakan tabung dengan diameter 40 cm dan tinggi 80 cm, di dalamnya terdapat *Scroll tube* tembaga sebagai penukar panas untuk mendapatkan mendapatkan panas sesuai dengan kebutuhan sistem.



Gambar 3.2 Tabung Evaporator

b. Pompa

Aliran fluida di dalam sistem dibangkitkan oleh pompa untuk fluida kerja R-134a sehingga dapat meningkatkan tekanan fluida kerja di dalam sistem Siklus Rankine Organik.



Gambar 3.3 Pompa Fluida Kerja

c. *Expander*

Expander pada sistem ORC untuk mengubah energi potensial yang dimiliki oleh fluida kerja menjadi energi mekanik oleh poros dari expander.



Gambar 3.4 *expander*

d. Pipa

Pipa pada sistem ORC digunakan sebagai tempat mengalirnya fluida kerja dan uap hasil dari evaporator.



Gambar 3.5 Pipa Tembaga

e. Heater

Heater pada sistem ORC digunakan sebagai sumber panas yang akan diberikan kepada fluida kerja agar menjadi uap.



Gambar 3.6 Heater

f. Tabung Fluida R134a

Tabung fluida R134a digunakan sebagai tempat awal fluida kerja R134a.



Gambar 3.7 Tabung Fluida R134a

2. Alat Ukur

a. Termometer Digital

Termometer digital digunakan untuk mengetahui temperatur dari uap yang dihasilkan oleh evaporator dan uap yang keluar dari *expander*.



Gambar 3.8 Termometer Digital

b. *Pressure Gauge*

Pressure gauge digunakan untuk mengetahui tekanan uap yang dihasilkan oleh evaporator dan uap yang keluar dari *expander*.



Gambar 3.9 *Pressure Gauge*

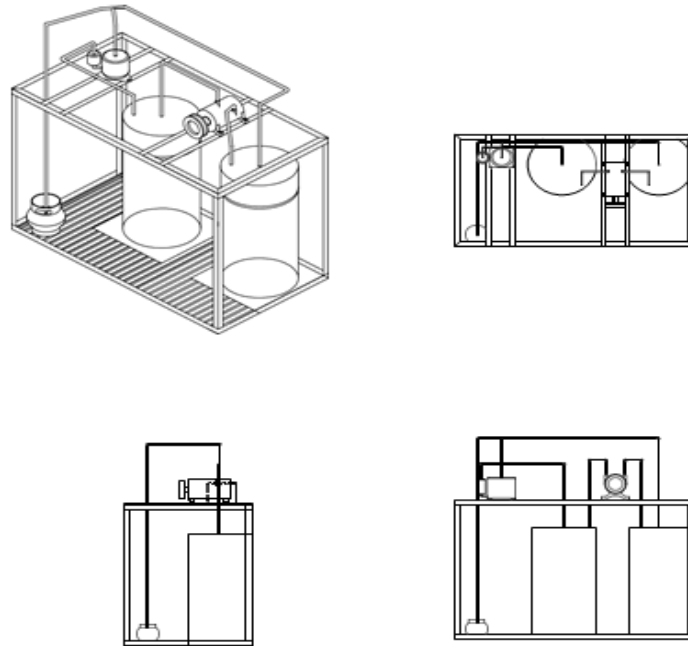
c. *Tachometer*

Output sistem ORC adalah energi kinetik yang dihasilkan oleh poros *expander*. *Tachometer* digunakan untuk mengukur besar RPM yang dihasilkan dari sistem ORC.

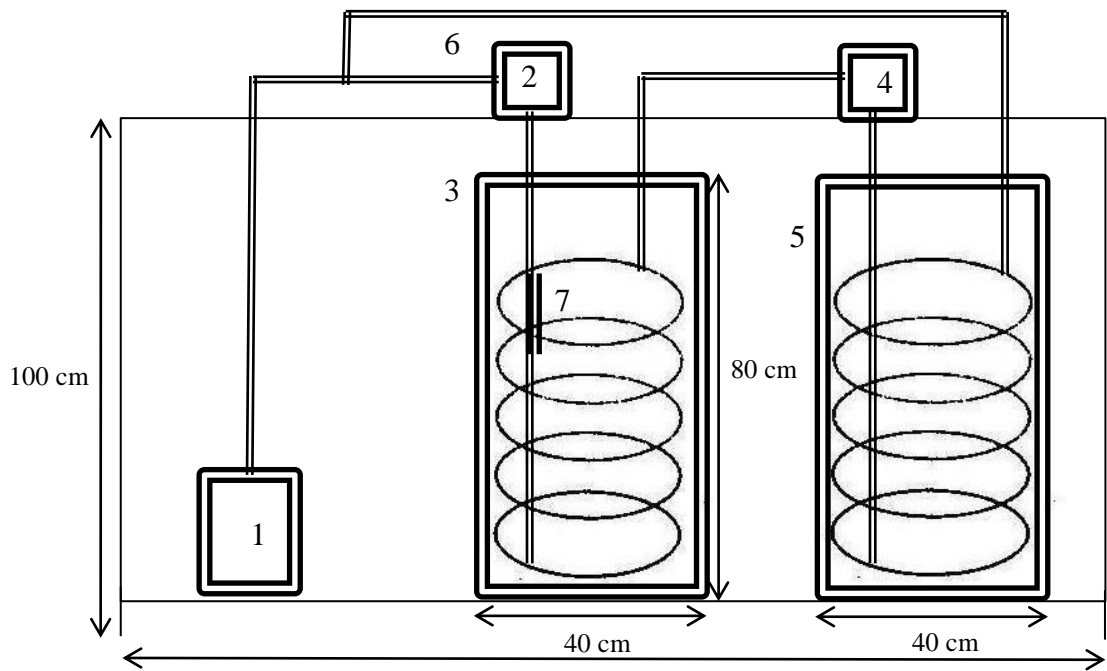


Gambar 3.10 *Tachometer*

3. Desain Sistem *Organic Rankine Cycle*



Gambar 3.11 Desain Sistem Siklus Rankine Organik



Gambar 3.12 Desain Gambar Siklus Rankine Organik

Keterangan :

1. Tabung Fluida
2. Pompa
3. Evaporator
4. *Expander*
5. Kondensor
6. Pipa
7. Heater