



**ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA *ORGANIC*
RANKINE CYCLE PADA KAPAL KONTAINER**

SKRIPSI

RENDY SETIAWAN

2010313032

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN
2024**



**ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA *ORGANIC*
RANKINE CYCLE PADA KAPAL KONTAINER**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik**

RENDY SETIAWAN

2010313032

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Rendy Setiawan

NIM : 2010313032

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan


Judul Skripsi : ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA ORGANIC RANKINE CYCLE
PADA KAPAL KONTAINER

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta.



Fathin Muhammad Mahdhudhu, ST., B.Eng., M.Sc.

Penguji Utama


Fakhri Akbar Ayub, ST., M.Eng., Ph.D.

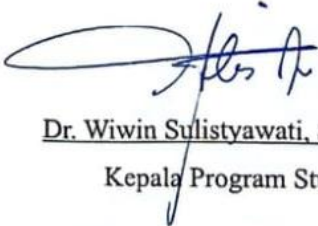
Penguji II


Purwo Joko Suranto, ST., MT.

Penguji I


Dr. Muchamad. Oktaviandri, ST, MT., IPM., ASEAN Eng

Plt. Dekan Fakultas Teknik


Dr. Wiwin Sulistyawati, ST., MT.

Kepala Program Studi

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 10 Juli 2024

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA *ORGANIC RANKINE CYCLE* PADA KAPAL KONTAINER

Disusun Oleh:
Rendy Setiawan
2010313032


Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II




Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, ST., MT.



Ir. Amir Marasabessy, MT.

Kepala Program Studi S1 Teknik Perkapalan



Dr. Wiwin Sulistyawati, ST. MT.

PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip atau dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rendy Setiawan

NIM : 2010313032

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 25 Juli 2024

Yang menyatakan,



Rendy Setiawan

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rendy Setiawan

NIM : 2010313032

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA ORGANIC RANKINE CYCLE
PADA KAPAL KONTAINER”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 25 Juli 2024

Yang menyatakan,



Rendy Setiawan

ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA *ORGANIC RANKINE CYCLE* PADA KAPAL KONTAINER

Rendy Setiawan

ABSTRAK

Organic Rankine Cycles (ORC) adalah jenis siklus termodinamika yang digunakan untuk pemulihan limbah panas menjadi energi. Penelitian tentang sistem ORC pada kapal dengan tujuan mengurangi pemakaian bahan bakar yang berdampak pada berkurangnya kadar emisi karbon yang dilepaskan ke udara sudah pernah dicoba. Tetapi efisiensi dari fluida organik masih bisa ditingkatkan. Pada studi ini, tujuan dari penelitian adalah melakukan analisis termodinamika *organic rankine cycle* dengan membandingkan fluida toluena, benzena, dan propana untuk mencari fluida terbaik yang akan digunakan dalam sistem ORC exhaust di mesin kapal. Simulasi sistem termodinamika ORC dilakukan menggunakan 3 fluida organik berbeda yang divariasikan dengan 3 kondisi, yaitu pada saat kondisi *high pressure* dengan rentang 3900 kpa sampai 4100 kpa dan *low pressure* dengan rentang 23 kpa sampai 36 kpa serta variasi *temperature* dengan rentang 250 °C sampai 300 °C yang disesuaikan pada kondisi kapal berlayar. Hasil dari simulasi mencakup enthalpy, energi, dan efisiensi. Fluida propana lebih unggul dari toluena dan benzena dari segi *enthalpy*, energi dan efisiensi. Pengujian fluida propana berhasil memprediksi nilai *energy work pump* dengan rerata sebesar 13,11 kJ/kg, *energy work turbine* dengan rerata sebesar 471,6 kJ/kg, *energy thermal evaporator* dengan rerata sebesar 1091,67 kJ/kg, dan *energy thermal condenser* dengan rerata sebesar 633,2 kJ/kg. Pengujian fluida propana juga berhasil memprediksi kenaikan efisiensi dengan rata rata 41%. Hasil tersebut terjadi karena adanya kenaikan suhu dan tekanan. Berdasarkan parameter diatas telah menunjukkan efisiensi thermal yang melebihi penelitian sebelumnya yaitu 39%. Dengan demikian penelitian ini dapat memberikan pemahaman mendalam tentang sistem *organic rankine cycle* pada kapal.

Kata kunci: kapal kontainer, limbah panas, ORC, efisiensi thermal

ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA ORGANIC RANKINE CYCLE PADA KAPAL KONTAINER

Rendy Setiawan

ABSTRACT

Organic Rankine Cycles (ORC) are a type of thermodynamic cycle used for waste heat to energy recovery. Research on ORC systems on ships with the aim of reducing fuel consumption which has an impact on reducing the levels of carbon emissions released into the air has been tried. But the efficiency of the organic fluid can still be improved. In this study, the objective is to analyze the thermodynamics of organic rankine cycle by comparing toluene, benzene, and propane fluids to find the best fluid to be used in the ORC exhaust system in ship engines. Simulation of the ORC thermodynamic system is carried out using 3 different organic fluids that are varied with 3 conditions, namely during high pressure conditions with a range of 3900 kpa to 4100 kpa and low pressure with a range of 23 kpa to 36 kpa and temperature variations with a range of 250 °C to 300 °C which are adjusted to the conditions of the sailing ship. The results of the simulation include enthalpy, energy, and efficiency. Propane fluid is superior to toluene and benzene in terms of enthalpy, energy and efficiency. Propane fluid testing successfully predicts the value of pump energy work with an average of 13.11 kj/kg, turbine energy work with an average of 471.6 kj/kg, evaporator thermal energy with an average of 1091.67 kj/kg, and condenser thermal energy with an average of 633.2 kj/kg. Propane fluid testing also successfully predicted an increase in efficiency with an average of 41%. These results occur due to an increase in temperature and pressure. Based on the above parameters, it has shown a thermal efficiency that exceeds the previous research of 39%. Thus this research can provide an in-depth understanding of the organic rankine cycle system on ships.

Keywords: Container ship, waste heat, ORC, efficiency thermal.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrohim

Dengan mengucapkan rasa puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA ORGANIC RANKINE CYCLE PADA KAPAL KONTAINER” yang mana skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi S1 Teknik Perkapalan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, penulis ingin menyampaikan rasa syukur dan terima kasih serta penghargaan yang tak terhingga kepada:

1. Dr. Wiwin Sulistyawati, ST, MT selaku Kepala Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
2. Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, ST. MT selaku dosen pembimbing I yang telah membantu dan mengarahkan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Ir. Amir Marasabessy, MT selaku dosen pembimbing II yang telah membantu dan mengarahkan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Keluarga besar penulis atas segala dukungan moral dan materialnya selama penulis menyusun skripsi;
5. Saudara dan saudari Maritim 20 yang senantiasa dalam suka dan duka serta berbagi ilmu yang dimiliki serta memberi semangat dan dukungan.
6. Bang Daniel Boy Maritim 14 yang telah mengizinkan saya mengambil data di kapal Tanto Kharisma.
7. Terima kasih juga kepada seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
8. Terima kasih kepada Eichiro Oda sensei yang telah memberikan inspirasi lewat karyanya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini terdapat banyak kekurangan baik dalam penyajian materi hingga sistematika penulisan, oleh sebab itu penulis sangat terbuka untuk kritik dan saran agar melengkapi kekurangan tersebut.

Akhir kata penulis mengucapkan Alhamdulillah, semoga Allah SWT selalu menyertai langkah penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat menambah wawasan berpikir serta sebagai bahan referensi dan informasi yang bermanfaat bagi pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Perkapalan.

Depok, Juli 2024

Yang menyatakan,

Rendy Setiawan

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING..... | iii |
| PERNYATAAN ORISINALITAS..... | iv |
| PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR NOTASI | xvi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Hipotesis | 3 |
| 1.5 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.6 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.7 Sistematika Penelitian..... | 4 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 <i>Waste Heat Recovery (WHR)</i> | 5 |
| 2.2 Pemanfaatan <i>Waste Heat Recovery</i> | 6 |
| 2.3 <i>Organic Rankine Cycle (ORC)</i> | 6 |
| 2.4 Komponen ORC..... | 7 |
| 2.4.1 Pompa..... | 7 |
| 2.4.2 Evaporator | 8 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.3 Turbin | 8 |
| 2.4.4 Kondensor..... | 9 |
| 2.5 Prinsip Kerja Sistem Organic Rankine Cycle | 9 |
| 2.5.1 Tingkat Keadaan Pompa (proses 1-2) | 10 |
| 2.5.2 Tingkat Keadaan Evaporator (proses 2-3)..... | 10 |
| 2.5.3 Tingkat Keadaan Turbin (proses 3-4)..... | 10 |
| 2.5.4 Tingkat Keadaan Kondensor (proses 4-1) | 11 |
| 2.6 Kriteria Fluida ORC..... | 11 |
| 2.7 Engineering Equation Solver (EES) | 12 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN | 14 |
| 3.1 Diagram Alir | 14 |
| 3.2 Data Case Diesel Engine MV Tanto Kharisma..... | 15 |
| 3.3 Pemodelan Skema ORC..... | 16 |
| 3.4 Pemilihan fluida kerja untuk sistem ORC | 16 |
| 3.5 Simulasi Sistem Termodinamika ORC | 18 |
| 3.6 Analisis Hasil Simulasi Sistem Termodinamika ORC..... | 20 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | 21 |
| 4.1 Validasi..... | 21 |
| 4.2 <i>Enthalpy</i> | 22 |
| 4.2.1 <i>Enthalpy inlet evaporator</i> | 22 |
| 4.2.2 <i>Enthalpy outlet evaporator</i> | 24 |
| 4.2.3 <i>Enthalpy inlet condenser</i> | 25 |
| 4.2.4 <i>Enthalpy outlet condenser</i> | 26 |
| 4.3 <i>Energy</i> | 27 |
| 4.3.1 <i>Energy Work Pump</i> | 28 |
| 4.3.2 <i>Energy Work Turbine</i> | 29 |
| 4.3.3 <i>Energy Thermal Evaporator</i> | 31 |
| 4.3.4 <i>Energy Thermal Condensor</i> | 32 |
| 4.4 <i>Density</i> | 33 |
| 4.5 <i>Flow Rate</i> dan Daya Listrik | 35 |
| 4.6 <i>Efficiency Thermal</i> | 37 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| BAB 5 PENUTUP..... | 40 |
| 5.1 Kesimpulan | 40 |
| 5.2 Saran | 40 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| RIWAYAT HIDUP | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Klasifikasi temperatur limbah panas | 6 |
| Tabel 2. 2 Kriteria fluida organik ORC..... | 12 |
| Tabel 3. 1 Data <i>Diesel Engine</i> | 15 |
| Tabel 3. 2 Fluida ORC | 16 |
| Tabel 3. 3 Data Variasi Fluida Organik ORC..... | 17 |
| Tabel 4. 1 Data simulasi dan validasi..... | 21 |
| Tabel 4. 2 Data enthalpy inlet evaporator | 22 |
| Tabel 4. 3 Data enthalpy inlet evaporator | 24 |
| Tabel 4. 4 Data enthalpy inlet condenser | 25 |
| Tabel 4. 5 Data enthalpy outlet condenser | 26 |
| Tabel 4. 6 Data energy work pump | 28 |
| Tabel 4. 7 Data energy work turbine | 29 |
| Tabel 4. 8 Data energy thermal evaporator | 31 |
| Tabel 4. 9 Data energy thermal condenser | 32 |
| Tabel 4. 10 Data density | 34 |
| Tabel 4. 11 Data flow rate | 36 |
| Tabel 4. 12 Data daya listrik | 36 |
| Tabel 4. 13 Data efficiency thermal | 38 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 2. 1 | Sumber energi waste heat pada sistem ORC..... | 5 |
| Gambar 2. 2 | <i>Engine Organic Rankine Cycle</i> | 6 |
| Gambar 2. 3 | Pompa..... | 7 |
| Gambar 2. 4 | Evaporator | 8 |
| Gambar 2. 5 | Turbin | 9 |
| Gambar 2. 6 | Kondensor | 9 |
| Gambar 2. 7 | Diagram T-s <i>organic rankine cycle</i> | 10 |
| Gambar 2. 8 | <i>Engineering equation solver</i> | 13 |
| Gambar 3. 1 | Diagram Alir Penelitian..... | 14 |
| Gambar 3. 2 | MV Tanto Kharisma | 15 |
| Gambar 3. 3 | Model Skema ORC | 16 |
| Gambar 3. 4 | Toluena | 17 |
| Gambar 3. 5 | Benzena | 17 |
| Gambar 3. 6 | R290 (Propane) | 17 |
| Gambar 3. 7 | <i>unit preferences</i> | 18 |
| Gambar 3. 8 | <i>Function information</i> | 19 |
| Gambar 3. 9 | Rumus & kondisi program | 19 |
| Gambar 3. 10 | Ikonsolve | 20 |
| Gambar 3. 11 | Hasil..... | 20 |
| Gambar 4. 1 | Hasil data perbandingan | 22 |
| Gambar 4. 2 | Grafik nilai enthalpy inlet evaporator | 23 |
| Gambar 4. 3 | Grafik enthalpy outlet evaporator | 24 |
| Gambar 4. 4 | Grafik enthalpy inlet condensor | 25 |
| Gambar 4. 5 | Grafik enthalpy outlet condenser | 27 |
| Gambar 4. 6 | Grafik energy work pump | 28 |
| Gambar 4. 7 | Grafik energy work turbine | 30 |
| Gambar 4. 8 | Grafik energy thermal evaporator (Q_{in})..... | 31 |
| Gambar 4. 9 | Grafik energy thermal condenser (Q_{out})..... | 33 |
| Gambar 4. 10 | Grafik perbandingan density | 34 |
| Gambar 4. 11 | contoh p-T diagram | 35 |
| Gambar 4. 12 | Grafik flow rate | 36 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 13 Grafik perbandingan daya listrik..... | 37 |
| Gambar 4. 14 Grafik thermal efficiency | 38 |
| Gambar 4. 15 Data interval plot varian rata rata fluida..... | 39 |

DAFTAR NOTASI

Variabel

| | |
|------------|-----------------------------------|
| Q | jumlah panas |
| m | laju massa gas |
| c | kalor jenis [J/kg ^o K] |
| ΔT | Perbedaan temperatur [°K] |
| W | Kerja Fluida |
| ρ | Massa jenis zat |
| h | <i>enthalpy</i> [kJ/kg] |
| η | effisiensi |
| α | Faktor error |

Akronim

| | |
|-----|----------------------------|
| ORC | Organic Rankine Cycle |
| WHR | Waste Heat Recovery |
| GRK | Gas Rumah Kaca |
| ODP | Penipisan lapisan ozon |
| GWP | Potensial pemanasan global |

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lembar konsultasi pembimbing I
2. Lembar konsultasi pembimbing II
3. Surat pengajuan sidang skripsi