



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

SKRIPSI

WAHYU ALWI RIDZWAN

2110313004

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN
2025**



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

SKRIPSI

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

WAHYU ALWI RIDZWAN

2110313004

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN

2025

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Alwi Ridzwan

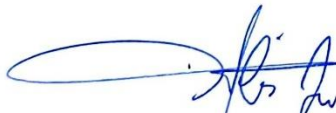
NIM : 2110313004

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Analisis Sistem Termodinamika *Combined Organic Rankine Cycle*
pada Kapal

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.


Ir. Amir Marasabessy, MT
Penguji Utama


Dr. Wiwin Sulistyawati, ST., MT.
Penguji Lembaga


Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, ST., MT.
Penguji/Pembimbing


Dr. Muchamad Oktaviandri, ST., MT.,
IPM., ASEAN.Eng
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Wiwin Sulistyawati, ST., MT.
Kepala Program Studi

Ditetapkan di : Depok

Tanggal Ujian : 2 Juli 2025

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA *COMBINED ORGANIC RANKINE CYCLE* PADA KAPAL

Disusun Oleh:

Wahyu Alwi Ridzwan

2110313004


Menyetujui,

Pembimbing I



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

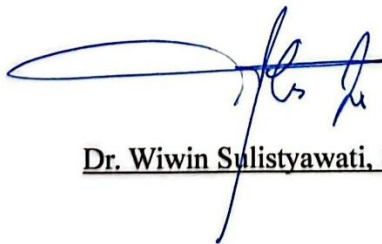
Pembimbing II



Fathin Muhammad Mahdhudhu, S.T.,

B.Eng., M.Sc

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 : Wahyu Alwi Ridzwan

NIM : 2110313004

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, 7 Juli 2025

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a red official stamp. The stamp contains the text "KEMENTERIAN PERKAPALAN" at the top, a Garuda emblem in the center, and "METERAI TEMPEL" at the bottom. Below the emblem, the alphanumeric code "B16FCAMX412549703" is printed.

Wahyu Alwi Ridzwan

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Wahyu Alwi Ridzwan

NIM : 2110313004

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 *COMBINED* *ORGANIC RANKINE CYCLE* PADA KAPAL”

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 : 7 Juli 2025

Yang menyatakan,



Wahyu Alwi Ridzwan

ANALISIS SISTEM TERMODINAMIKA *COMBINED ORGANIC RANKINE CYCLE* PADA KAPAL

Wahyu Alwi Ridzwan

ABSTRAK

Organic Rankine Cycle (ORC) merupakan inovasi pemulihan energi dari sumber panas bersuhu rendah dengan memanfaatkan fluida organik sebagai media kerjanya. Penelitian ini menganalisis sistem *ORC* terhadap 3 objek, yaitu performa komponen, efisiensi termal, dan *output* energi listrik. Analisis pada penelitian ini menggunakan 3 variasi, yaitu variasi fluida kerja, temperatur, dan tekanan. Untuk variasi fluida kerja menggunakan benzena, propana, toluena, campuran benzena dan propana, serta campuran toluena dan propana. Sedangkan temperatur dan tekanan memiliki 3 variasi yang berbeda. Hasil penelitian pada analisis kinerja pompa ditunjukkan bahwa nilai rata-rata *work pump* tertinggi diperoleh oleh fluida propana dengan skema *Combined ORC*, yaitu sebesar 12,67 kJ/kg. Pada analisis kinerja turbin, diperoleh nilai rata-rata *work turbine* tertinggi pada fluida campuran toluena dan propana dengan skema *Combined ORC*, yaitu sebesar 374,24 kJ/kg. Untuk analisis kinerja evaporator, diperoleh nilai rata-rata *thermal evaporator* tertinggi pada fluida benzena dengan skema *Simple ORC* dengan nilai sebesar 668,24 kJ/kg. Untuk analisis kinerja kondensor, diperoleh nilai rata-rata *thermal condenser* tertinggi pada fluida benzena dengan skema *Simple ORC* juga dengan nilai sebesar 462,57 kJ/kg. Kemudian, pada analisis rata-rata efisiensi termal terungkap fluida campuran toluena dan propana dengan skema *Combined ORC* menjadi nilai tertinggi dengan efisiensi sebesar 0,781. Namun saat turbin mengalami degradasi, efisiensinya berkurang menjadi 0,621. Energi listrik terbesar yang dihasilkan sebesar 374,243 kW. Sedangkan dalam kondisi degradasi turbin, energi listriknya berkurang menjadi 299,395 kW. Demikian penelitian ini dapat menganalisis sistem termodinamika dengan pemanfaatan *Waste Heat Recovery (WHR)* dari gas buangan diesel NATO F-76 terhadap sistem *ORC* dengan variasi fluida kerja, temperatur, dan tekanan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat mendukung pengembangan sistem energi terbarukan pada kapal perang.

Kata kunci: Termodinamika, *Organic Rankine Cycle (ORC)*, *Waste Heat Recovery (WHR)*.

THERMODYNAMIC SYSTEM ANALYSIS OF COMBINED ORGANIC RANKINE CYCLE ON SHIP

Wahyu Alwi Ridzwan

ABSTRACT

The Organic Rankine Cycle (ORC) is a promising innovation for recovering energy from low-temperature heat sources by utilizing organic fluids as the working medium. This study investigates the thermodynamic of an ORC system based on three key parameters: component performance, thermal efficiency, and electrical energy output. The analysis incorporates variations in three factors: working fluid, temperature, and pressure. The working fluids examined include benzene, propane, toluene, a benzene–propane mixture, and a toluene–propane mixture. Each temperature and pressure parameter was assessed at three distinct levels. The pump performance analysis revealed that propane, under the Combined ORC configuration, produced the highest average work pump, at 12.67 kJ/kg. In the turbine performance analysis, the toluene–propane mixture in the Combined ORC yielded the highest average work turbine, reaching 374.24 kJ/kg. For the evaporator, benzene in the Simple ORC configuration provided the highest thermal evaporator, with a value of 668.24 kJ/kg. Similarly, the condenser performance was highest with benzene in the Simple ORC, showing a thermal condenser value of 462.57 kJ/kg. In terms of thermal efficiency, the toluene–propane mixture in the Combined ORC achieved the highest average efficiency, at 0.781. However, under turbine degradation conditions, this efficiency decreased to 0.621. The maximum electrical power output was 374.243 kW, which dropped to 299.395 kW when turbine degradation was accounted for. This study demonstrates the feasibility of utilizing Waste Heat Recovery (WHR) from NATO F-76 diesel engine exhaust gases to enhance ORC system thermodynamic. The results highlight the importance of working fluid selection and operating conditions in optimizing thermal efficiency and power output. These findings support the development of renewable energy technologies for naval ship applications.

Keywords: *Thermodynamic, Organic Rankine Cycle (ORC), Waste Heat Recovery (WHR).*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrohim

Dengan puji dan rasa syukur terhadap Tuhan yang Maha Esa, saya ingin mengungkapkan keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi dengan judul "Analisis Sistem Termodinamika *Combined Organic Rankine Cycle* pada Kapal". Saya merasa sangat bersyukur atas segala proses dan kegiatan yang membawa saya sampai ke titik ini.

Tak lupa juga, saya ucapkan rasa terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada individu dan pihak-pihak yang telah memberikan dukungan serta bimbingan atas penyelesaian laporan ini, termasuk:

1. Bapak Dr. Anter Venus, Ma.Comm., yang berperan sebagai Rektor Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, atas kesempatan untuk mengejar pengetahuan dan berkontribusi dalam dunia akademik.
2. Ibu Dr. Wiwin Sulistyawati, ST, MT, Kepala Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, atas dukungan penuh dalam menjalani program studi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, ST. MT., sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan panduan dan ilmu yang tak ternilai harganya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Fathin Muhammad Mahdhudhu, S.T., B.Eng., M.Sc sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan petunjuk dan bimbingan yang baik, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dan dilengkapi.
5. Ayahanda Edi Junaedi dan Ibunda Ade Asiah, sebagai orang tua tercinta saya, yang selalu memberikan doa dan dukungan yang tak tergantikan dalam setiap langkah perjalanan akademik saya.

6. Teman-teman sejawat, yang telah berbagi pengalaman, ilmu, dan semangat selama proses pembelajaran ini. Saya berterima kasih atas dukungan dan persahabatan yang telah kita bangun bersama.

Saya menyadari bahwa skripsi ini mungkin masih memiliki kekurangan dalam hal penyajian materi dan sistematika. Oleh karena itu, saya sangat terbuka untuk menerima kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang.

Terakhir, saya ingin menyatakan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa memberikan petunjuk dan keberkahan dalam setiap langkah perjalanan ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi sumber wawasan yang berharga dan referensi yang berguna dalam bidang Teknik Perkapalan dan Kemaritiman.

Terima kasih.

Jakarta, Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Hipotesis	6
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Manfaat Penelitian.....	7
1.7 Sistematika Penelitian	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Komponen-Komponen Sistem <i>Organic Rankine Cycle (ORC)</i>	9
2.1.1 Pompa.....	9
2.1.2 Evaporator	10
2.1.3 Turbin	10
2.1.4 Kondenser	11
2.1.5 Generator.....	12
2.1.6 Regenerator	12

2.2 Prinsip Kerja Sistem <i>Organic Rankine Cycle (ORC)</i>	13
2.2.1 Kinerja Pompa	13
2.2.2 Kinerja Evaporator	14
2.2.3 Kinerja Turbin	14
2.2.4 Kinerja Kondensor	14
2.2.5 Kinerja Sistem secara Keseluruhan	14
2.2.6 Kinerja Regenerator	15
2.2.7 Daya Turbin	16
2.2.8 Degradasi Komponen	16
2.3 <i>Engineering Equation Solver (EES)</i> dan <i>Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties (REFPROP)</i>	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir	19
3.2 Pemodelan Skema <i>ORC</i>	20
3.2.1 Skema <i>Simple ORC</i>	20
3.2.2 Skema <i>Regenerator ORC</i>	21
3.2.3 Skema <i>Combined ORC</i>	21
3.3 Sistem Permesinan pada Kapal	22
3.4 Sistem Perpipaan <i>ORC</i> pada Kapal	23
3.5 Pengaruh Sistem <i>ORC</i> Terhadap Kondisi Lingkungan	25
3.6 Variasi Penelitian	26
3.6.1 Sifat Termodinamika Fluida Kerja	26
3.6.2 Spesifikasi Generator Diesel	29
3.6.3 Penentuan Kriteria Desain <i>ORC</i>	29
3.6.4 Rentang Suhu Outlet Kondensor Fluida Kerja	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Validasi	32
4.2 Energi	36
4.2.1 <i>Work Pump Energy</i>	36
4.2.2 <i>Work Turbine Energy</i>	40

4.2.3 <i>Thermal Evaporator Energy</i>	41
4.2.4 <i>Thermal Condenser Energy</i>	43
4.3 <i>Thermal Efficiency</i>	48
4.4 <i>Thermal Efficiency Degradation</i>	51
4.5 <i>Output Energi Listrik</i>	52
BAB 5 PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi setiap bagian unit <i>WHR</i>	24
Tabel 3.2 Karakteristik Fluida kerja ORC	28
Tabel 3.3 Spesifikasi Generator Diesel.....	29
Tabel 3.4 Kriteria Desain <i>ORC</i>	30
Tabel 3.5 Suhu Outlet Kondensor Fluida Kerja	31
Tabel 4.1 Data Jurnal dan Data Simulasi.....	33
Tabel 4.2 Data <i>REFPROP</i> dan Data Simulasi.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>ORC dengan gabungan sistem waste heat recovery TEG-ORC dari mesin</i>	3
Gambar 2.1 Pompa Sentrifugal	9
Gambar 2.2 Evaporator.....	10
Gambar 2.3 Turbin uap.....	11
Gambar 2.4 Kondenser	11
Gambar 2.5 Generator	12
Gambar 2.6 Regenerator.....	13
Gambar 2.7 <i>ORC dengan regenerator</i>	15
Gambar 2.8 <i>Engineering Equation Solver (EES)</i>	17
Gambar 2.9 <i>Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties</i>	18
Gambar 3.1 Skema <i>Simple ORC</i>	20
Gambar 3.2 Skema <i>Regenerator ORC</i>	21
Gambar 3.3 Skema <i>Combined ORC</i>	22
Gambar 3.4 Standar Geometri Pipa ANSI-OM3	24
Gambar 3.5 Aliran fluida kerja dan gas buangan	25
Gambar 3.6 Fluida benzena dalam suhu ruangan.....	27
Gambar 3.7 Wujud fisik fluida toluena	27
Gambar 3.8 Tabung berisi 2 kg propana (kiri) dan 0,34 kg propana (kanan).....	28
Gambar 4.1 Hasil Perbandingan Data Jurnal dan Data Simulasi	34
Gambar 4.2 Hasil Perbandingan Data <i>REFPROP</i> dan Data Simulasi	35
Gambar 4.3 Grafik <i>energy work pump</i> pada: (a) <i>Simple</i> dan <i>Regenerator ORC</i> , (b) <i>LTC of Combined ORC</i> , dan (c) <i>HTC of Combined ORC</i>	38
Gambar 4.4 Rata-rata <i>energy work pump</i>	39
Gambar 4.5 Rata-rata <i>energy work turbine</i>	41
Gambar 4.6 Rata-rata <i>energy thermal evaporator</i>	43
Gambar 4.7 Grafik <i>energy thermal condenser</i> pada: (a) <i>Simple ORC</i> , (b) <i>Regenerator ORC</i> , (c) <i>LTC of Combined ORC</i> , dan (d) <i>HTC of Combined ORC</i>	46
Gambar 4.8 Rata-rata <i>energy thermal condenser</i>	48
Gambar 4.9 Rata-rata <i>thermal efficiency</i>	49

Gambar 4.10 Rata-rata <i>thermal efficiency degradation</i>	52
Gambar 4.11 <i>Output energi listrik</i>	53