



**STUDI TERMO-EKONOMI *COMBINED GAS*  
*TURBINE CYCLE* PADA KAPAL HZ LNG**

**SKRIPSI**

**ANDRIANI ATMAWARDINI**

**2110313054**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN**

**2025**



**STUDI TERMO-EKONOMI *COMBINED GAS*  
*TURBINE CYCLE* PADA KAPAL HZ LNG**

**SKRIPSI**

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

**ANDRIANI ATMAWARDINI**

**2110313054**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN**

**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Andriani Atmawardini

NIM : 2110313054

Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Studi Termo-Ekonomi *Combined Gas Turbine* Pada Kapal HZ LNG

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.



**Purwo Joko Suranto, ST. MT**

Penguji Utama



**Fathin M. Mahdhudhu, ST., B.Eng, M.sc**

Penguji Lembaga



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

Penguji I (Pembimbing)



**Dr. Muchamad Oktaviandri, ST., MT.,**

**IPM., ASEAN.Eng**

Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Wiwin Sulistvawati, ST., MT.**

Kepala Program Studi

Ditetapkan di : Depok

Tanggal Ujian : 10 Januari 2025

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**  
**STUDI TERMO-EKONOMI *COMBINED GAS TURBINE CYCLE* PADA**  
**KAPAL HZ LNG**

Disusun Oleh:  
Andriani Atmawardini  
2110313054

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

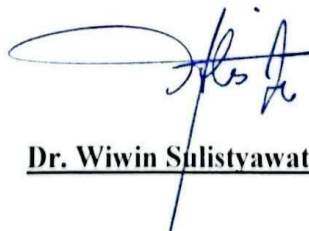


Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, ST. MT.



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

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 : Andriani Atmawardini

NIM : 2110313054

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.

Depok, 10 Januari 2025

Yang menyatakan,


Andriani Atmawardini

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Andriani Atmawardini

NIM : 2110313054

Fakultas : Teknik

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:

**“STUDI TERMO-EKONOMI *COMBINED GAS TURBINE CYCLE* PADA  
KAPAL HZ LNG”**

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 : Depok

Pada tanggal : 10 Januari 2025

Yang menyatakan,



Andriani Atmawardini

# STUDI TERMO-EKONOMI *COMBINED GAS TURBINE CYCLE* PADA KAPAL HZ LNG

Andriani Atmawardini

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis termo-ekonomi sistem *combined gas turbine cycle* pada kapal LNG HZ menggunakan berbagai fluida kerja, seperti CO<sub>2</sub>, R600a, R32, R717, R1234yf, dan R290. Fokus utama penelitian ini adalah untuk menghitung dan menganalisis efisiensi termal, kebutuhan daya, serta kelayakan ekonomi menggunakan indikator NPV, IRR, dan PBP. Hasil menunjukkan bahwa R717 memberikan efisiensi termal tertinggi sebesar 45,40% pada suhu 403 K, sedangkan R600a mencapai keseimbangan optimal antara efisiensi termal sebesar 43,98% dan daya rendah senilai 50,73 kWh. Sistem tanpa tambahan *loop* lebih ekonomis pada tarif sewa rendah, dengan NPV \$100,505 juta dan IRR 15,18% pada tarif \$40.000/hari. Sebaliknya, sistem dengan tambahan *loop* lebih menguntungkan pada tarif sewa tinggi dengan NPV \$64,171 juta dan IRR 12,21% pada tarif \$60.000/hari. Penelitian ini menyimpulkan bahwa fluida R600a cocok untuk sistem yang memprioritaskan efisiensi energi dan biaya operasional, sementara R717 ideal untuk aplikasi skala besar. Sistem *combined gas turbine cycle* secara keseluruhan terbukti meningkatkan performa energi dan ekonomi dibandingkan sistem konvensional, terutama dalam konteks efisiensi termal dan penghematan operasional.

**Kata kunci:** termo-ekonomi, siklus turbin gas gabungan, efisiensi termal, kapal LNG

# ***THERMO-ECONOMIC STUDY OF COMBINED GAS TURBINE CYCLE ON HZ LNG CARRIER***

**Andriani Atmawardini**

## **ABSTRACT**

*This study aims to analyze the thermo-economics of the combined gas turbine cycle system on an HZ LNG ship using various working fluids, such as CO<sub>2</sub>, R600a, R32, R717, R1234yf, and R290. The main focus of this research is to calculate and analyze thermal efficiency, power requirements, as well as economic feasibility using NPV, IRR, and PBP indicators. Results show that R717 provides the highest thermal efficiency of 45.40% at 403 K, while R600a achieves an optimal balance between thermal efficiency of 43.98% and low power of 50.73 kWh. The system without the additional loop is more economical at low rental rates, with an NPV of \$100.505 million and an IRR of 15.18% at a rate of \$40,000/day. In contrast, the system with the additional loop is more profitable at high rental rates with an NPV of \$64.171 million and an IRR of 12.21% at a rate of \$60,000/day. The study concludes that R600a fluid is suitable for systems that prioritize energy efficiency and operating costs, while R717 is ideal for large-scale applications. The combined gas turbine cycle system as a whole was shown to improve energy and economic performance compared to conventional systems, especially in the context of thermal efficiency and operational savings.*

**Keywords :** *thermo-economic, combined gas turbine cycle, thermal efficiency, LNG carrier*



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrohim*

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Studi Thermo-Ekonomi *Combined Gas Turbine Cycle* pada Kapal HZ LNG”. 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 kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun skripsi hingga selesai.
2. Ibu Dr. Wiwin Sulistyawati, S.T. M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
3. Bapak Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, S.T. M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah membantu dan mengarahkan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Fakhri Akbar Ayub, S.T. M.Eng. Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah membantu dan mengarahkan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Ibu Darlina Supriyadi selaku mamah tercinta (mamah xl) yang telah memberikan doa, restu, dan *supportnya* kepada penulis dalam menyusun skripsi.
6. Bang MZS (037) yang senantiasa selalu mendukung, mendoakan, dan menemani penulis selama menyusun skripsi.
7. Saudara dan saudari Maritim 2021 yang senantiasa dalam suka dan duka serta berbagi ilmu yang dimiliki serta memberi semangat dan dukungan.
8. Serta seluruh pihak baik teman dan keluarga yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah memberi bantuan dan dukungan kepada penulis.

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.

Tangerang Selatan, Januari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Perumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Hipotesis</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>1.6 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>1.7 Sistematika Penelitian</b> .....	<b>5</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 Kapal LNG</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.1 Kapal LNG Tangki <i>Membrane</i></b> .....	<b>6</b>

2.1.2	Kapal LNG Tangki <i>Spherical</i> (Tangki Bola) .....	6
2.1.3	Kapal LNG Tangki <i>Prismatic Independent</i> .....	7
<b>2.2.</b>	<b>Komponen Mesin .....</b>	<b>7</b>
2.2.1	Kompresor .....	8
2.2.2	Ruang Pembakaran .....	8
2.2.3	Pompa .....	9
2.2.4	<i>Pre-heater</i> .....	9
2.2.5	Kondensor.....	10
2.2.6	Gas funnel.....	11
2.2.7	Turbin .....	12
2.2.8	Heater.....	12
<b>2.3.</b>	<b>Fluida Kerja.....</b>	<b>13</b>
2.3.1	Metana (CH <sub>4</sub> ) .....	13
2.3.2	Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) .....	13
2.3.3	Propana (R290).....	14
2.3.4	Amonia (R717).....	14
2.3.5	Iso-butana (R600a).....	15
2.3.6	Difluorometana (R32) .....	15
2.3.7	Tetrafluoropropana (R1234yf).....	16
<b>2.4.</b>	<b>Persamaan Termodinamika .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.</b>	<b>Persamaan Ekonomi .....</b>	<b>18</b>
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>22</b>
3.1	Diagram Alir .....	22
3.2	Skema Mesin .....	23
3.3	Variasi .....	26
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>30</b>

4.1.	Validasi.....	30
4.2.	Kerja Turbin .....	32
4.3.	Kalor Masuk .....	34
4.4.	Efisiensi Termal .....	36
4.5.	Daya Kompresor dan Pompa.....	40
4.6.	Analisis Ekonomi .....	43
4.7.	Korelasi Antara Daya dan Ekonomi.....	46
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>		<b>49</b>
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	50

**DAFTAR PUSTAKA**

**RIWAYAT HIDUP**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Estimasi harga komponen mesin pada combined gas turbine cycle ...	26
<b>Tabel 3. 2</b> Harga fluida kerja.....	26
<b>Tabel 3. 3</b> Variasi loop 1 .....	27
<b>Tabel 3. 4</b> Variasi loop 2 .....	27
<b>Tabel 3. 5</b> Variasi loop 3 .....	28
<b>Tabel 3. 6</b> Variasi studi termo-ekonomik pada combined gas turbine cycle .....	29
<b>Tabel 4. 1</b> Mean Deviation dari data simulasi dan eksperimen termodinamika ..	31
<b>Tabel 4. 2</b> Mean Deviation data ekonomi simulasi dan Budiyanto dkk. ....	32

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Kapal LNG tangki membrane.....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Kapal LNG tangki spherical (tangki bola) .....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Kapal LNG tangki prismatic independent .....	7
<b>Gambar 2. 4</b> Kompresor .....	8
<b>Gambar 2. 5</b> Ruang Pembakaran .....	9
<b>Gambar 2. 6</b> Marine Pump .....	9
<b>Gambar 2. 7</b> Marine Pre-heater .....	10
<b>Gambar 2. 8</b> Kondensor.....	11
<b>Gambar 2. 9</b> Gas funnel.....	11
<b>Gambar 2. 10</b> Marine Turbine .....	12
<b>Gambar 2. 11</b> Heater .....	13
<b>Gambar 2. 12</b> Iso-butana .....	15
<b>Gambar 2. 13</b> Difluorometana.....	16
<b>Gambar 2. 14</b> Tetrafluoropropene .....	16
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir penelitian .....	22
<b>Gambar 3. 2</b> Skema mesin.....	24
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik validasi termodinamika .....	31
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik validasi ekonomi .....	32
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik kerja turbin .....	33
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik kalor masuk .....	35
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik efisiensi termal .....	38
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik daya kompresor dan pompa .....	42
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik analisis ekonomi.....	44
<b>Gambar 4. 8</b> Perbandingan antara daya dan harga fluida kerja per kg.....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Konsultasi Pembimbing 1

Lampiran 2 Lembar Konsultasi Pembimbing 2



## DAFTAR NOTASI

$h$	=	Entalpi	[kJ/kg]
$Q$	=	Kalor	[kJ/kg]
$W$	=	Kerja	[kJ/kg]
$T$	=	Temperatur	[K]
$p$	=	Tekanan	[kPa]
$P$	=	Daya	[kWh]
Simbol			
$\eta$	=	Efisiensi Termal	[%]
$\dot{m}$	=	<i>Mass Flow Rate</i>	[kg/s]
Singkatan			
LNG	=	<i>Liquified Natural Gas</i>	
CO <sub>2</sub>	=	<i>Carbon Dioxide</i>	
CNG	=	<i>Compressed Natural Gas</i>	
GWP	=	<i>Global Warming Potential</i>	
ODP	=	<i>Ozone Depletion Potential</i>	
NPV	=	<i>Net Present Value</i>	
IRR	=	<i>Internal Rate of Return</i>	
PBP	=	<i>Payback Period</i>	
Subskrip			
Total	=	Keseluruhan <i>Loop</i>	
in	=	Masuk ke <i>Loop</i>	
out	=	Keluar <i>Loop</i>	
Air	=	Udara	
SCO <sub>2</sub>	=	<i>Supercritical CO<sub>2</sub></i>	
TCO <sub>2</sub>	=	<i>Transcritical CO<sub>2</sub></i>	
$l$	=	LNG	
0	=	<i>Ambient</i>	
T	=	Turbin	
C	=	Kompresor	
Comb	=	<i>Combustion</i>	
H	=	Pemanas	
P	=	Pompa	
Cond	=	Kondensator	
PH	=	<i>Pre-heater</i>	
A	=	<i>Loop 1</i>	
S	=	<i>Loop 2</i>	
T	=	<i>Loop 3</i>	
L	=	<i>Loop 4</i>	