



***EXERGY DAN EFISIENSI TERMAL PADA SISTEM KAPAL
HZ LNG CARRIER TERHADAP VARIASI SUHU DAN
TEKANAN FLUIDA KERJA KARBON DIOKSIDA, R290, DAN
R717***

SKRIPSI

ARYA KHAIRULLAH AKBAR

2010313036

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



***EXERGY DAN EFISIENSI TERMAL PADA SISTEM
KAPAL HZ LNG CARRIER TERHADAP VARIASI
SUHU DAN TEKANAN FLUIDA KERJA KARBON
DIOKSIDA, R290, DAN R717***

SKRIPSI

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

ARYA KHAIRULLAH AKBAR

2010313036

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

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Arya Khairullah Akbar

NIM : 2010313036

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : *Exergy* dan efisiensi termal pada sistem kapal *hz lng carrier* terhadap variasi suhu dan tekanan fluida kerja karbon dioksida, R290, dan R717

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



Fakhri Akbar Ayub, ST M.Eng Ph. D

Penguji Lembaga



Fathin M. Mahdhudhu, ST B.Eng

M.Sc

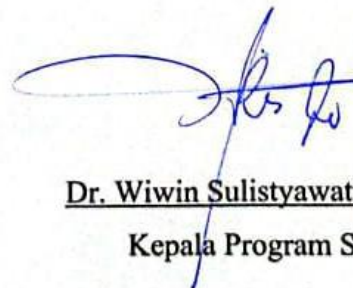
Penguji I (Pembimbing)



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 : 12 Juli 2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

EXERGY DAN EFISIENSI TERMAL PADA SISTEM KAPAL HZ LNG CARRIER TERHADAP VARIASI SUHU DAN TEKANAN FLUIDA KERJA KARBON DIOKSIDA, R290, DAN R717

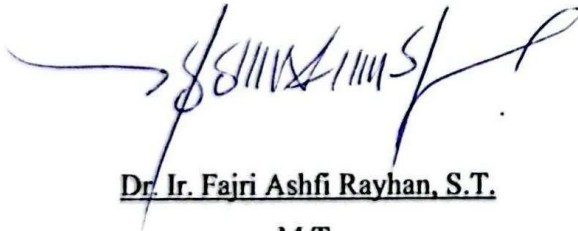
Disusun Oleh:

ARYA KHAIRULLAH AKBAR

2010313036

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, S.T.

M.T.

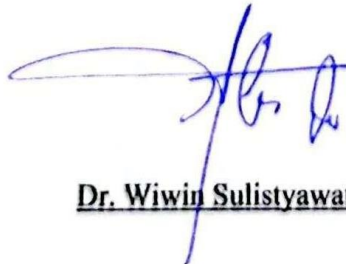
Pembimbing II



Fathin Muhammad Mahdhudhu,

S.T. 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 : Arya Khairullah Akbar

NIM : 2010313036

Program Studi : Teknik Perkapalan

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

Jakarta, 25 Juli 2024

Yang menyatakan,



Arya Khairullah Akbar

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Arya Khairullah Akbar

NIM : 2010313036

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:

**“EXERGY DAN EFISIENSI TERMAL PADA SISTEM KAPAL HZ LNG
CARRIER TERHADAP VARIASI SUHU DAN TEKANAN FLUIDA
KERJA KARBON DIOKSIDA, R290, DAN R717”**

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,



Arya Khairullah Akbar

**EXERGY DAN EFISIENSI TERMAL PADA SISTEM KAPAL
HZ LNG CARRIER TERHADAP VARIASI SUHU DAN
TEKANAN FLUIDA KERJA KARBON DIOKSIDA, R290, DAN
R717**

Arya Khairullah Akbar

ABSTRAK

Teknologi *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* adalah sebuah sistem yang digunakan untuk menghasilkan daya propulsi dan listrik pada kapal dengan efisiensi tinggi dan kinerja yang baik. Ini melibatkan penggunaan dua tahap utama, yaitu turbin gas dan turbin uap, untuk memenuhi kebutuhan daya kapal. Teknologi *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade* diprediksi dapat mengatasi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar fosil, fluktuasi harga minyak bahan bakar, dan tingkat efisiensi yang relatif rendah dalam penggunaan minyak bahan bakar. Penelitian ini berfokus pada 2 objektif yaitu efisiensi termal dan efisiensi *exergy* sistem ini. Pada penelitian ini terdapat 4 *loop* yang bekerja, namun berfokus pada perhitungan di 3 *loop* saja yaitu *loop* 1, 2, dan 3. Variasi pada penelitian meliputi variasi temperatur, variasi tekanan, dan variasi fluida kerja. Untuk temperatur dan tekanan memiliki 5 variasi yang berbeda menyesuaikan komponen mesin yang ada di masing-masing *loop*. Untuk fluida kerja memiliki 3 variasi yaitu CO₂, R290, dan R717. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa untuk *loop* 1 nilai kerja turbin tertingginya ada di angka 43 kJ/kg di temperatur 403K, kerja turbin di *loop* 2 tertinggi berada di angka 124 kJ/kg di temperatur 360K pada fluida R717, di *loop* 3, nilai kerja turbin tertinggi ada di angka 48,4 kJ/kg di temperatur 340K pada fluida R717. Untuk nilai kalor masuk di *loop* 1 nilai kalor masuk tertingginya ada di angka 85 kJ/kg di temperatur 403K, kalor masuk di *loop* 2 tertinggi berada di angka 133,3 kJ/kg di temperatur 360K pada fluida R717. Di *loop* 3 nilai kalor masuk tertinggi ada di angka 95,6 kJ/kg di temperatur 340K pada fluida R717. Nilai efisiensi termal *loop* 1 tertinggi ada di angka 39% di temperatur 403K, efisiensi termal di *loop* 2 tertinggi berada di angka 64% di temperatur 360K pada fluida R290 dan fluida R717, untuk nilai tertinggi *loop* 3 ada di angka 43% di temperatur 329K pada fluida CO₂, hasil efisiensi termal keseluruhan menunjukkan angka terbesar yaitu 45% di temperatur 403K pada fluida R717. Efisiensi *exergy* memiliki nilai tertinggi di angka 56% di temperatur 403K yang posisinya berada di temperatur tertinggi pada fluida R290. Dapat ditarik kesimpulan jika fluida R717 adalah penghasil nilai efisiensi termal tertinggi di *loop* keseluruhan dan fluida R290 adalah penghasil nilai efisiensi *exergy* tertinggi. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan pemahaman tentang efek penggunaan teknologi *combined gas turbine cycle* dan *carbon dioxide cascade*

ditambah dengan variasi temperatur, tekanan, dan fluida kerja pada sebuah sistem di kapal. Diharapkan penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan teknologi alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Kata Kunci: *combined gas turbine cycle; cascade; efisiensi*

***EXERGY AND THERMAL EFFICIENCY ON HZ LNG
CARRIER SHIP'S SYSTEM TO TEMPERATURE AND
PRESSURE VARIATION WORK FLUID CARBON DIOXIDE,
R290, DAN R717***

Arya Khairullah Akbar

ABSTRACT

Combined gas turbine cycle and carbon dioxide cascade technology is a system used to produce propulsion and electricity on ships with high efficiency and good performance. It involves the use of two main stages, namely a gas turbine and a steam turbine, to meet the power requirements of the ship. The combined gas turbine cycle and carbon dioxide cascade technology is predicted to be able to overcome the environmental impacts resulting from the use of fossil fuels, fluctuations in fuel oil prices, and the relatively low level of efficiency in the use of fuel oil. This research focuses on 2 objectives, namely thermal efficiency and exergy efficiency of this system. In this research, there are 4 working loops, but it focuses on calculations in only 3 loops, namely loops 1, 2, and 3. Variations in the research include temperature variations, pressure variations, and working fluid variations. There are 5 different variations for temperature and pressure depending on the engine components in each loop. The working fluid has 3 variations, namely CO₂, R290, and R717. The research results reveal that for loop 1 the highest turbine work value is 43 kJ/kg at a temperature of 403K, the turbine work in loop 2 is highest at 124 kJ/kg at a temperature of 360K on R717 fluid, in loop 3, the highest turbine work value is 48.4 kJ/kg at a temperature of 340K in R717 fluid. For the heat inlet value in loop 1, the highest heat inlet value is 85 kJ/kg at a temperature of 403K, the highest heat inlet value in loop 2 is 133.3 kJ/kg at a temperature of 360K in R717 fluid. In loop 3 the highest heat inlet value is 95.6 kJ/kg at a temperature of 340K in R717 fluid. The highest thermal efficiency value for loop 1 is 39% at a temperature of 403K, the highest thermal efficiency for loop 2 is 64% at a temperature of 360K on R290 fluid and R717 fluid, for loop 3 the highest value is 43% at a temperature of 329K on CO₂ fluid, the overall thermal efficiency results show the largest figure, namely 45% at a temperature of 403K for R717 fluid. Exergy efficiency has the highest value at 56% at a temperature of 403K which is at the highest temperature for the R290 fluid. It can be concluded that R717 fluid is the producer of the highest thermal efficiency value in the entire loop and R290 fluid is the producer of the highest exergy efficiency value. Thus, this research can provide an understanding of the effects of using combined gas turbine cycle and carbon dioxide cascade technology coupled with variations in temperature, pressure and working fluid in a system on a ship. It is hoped that this research can contribute to the development of alternative technology to reduce the use of fossil fuels.

Keywords: combined gas turbine cycle; cascade; efficiency

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 “*Exergy dan efisiensi termal pada sistem kapal *hz lng carrier* terhadap variasi suhu dan tekanan fluida kerja karbon dioksida*”. 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. Dr. Wiwin Sulistyawati, S.T. M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
2. Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, S.T. M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah membantu dan mengarahkan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Fathin Muhammad Mahdhudhu, S.T. M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah membantu dan mengarahkan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Saudara dan saudari Maritim 2020 yang senantiasa dalam suka dan duka serta berbagi ilmu yang dimiliki serta memberi semangat dan dukungan.
5. Terima kasih juga kepada Eiichiro Oda, yang telah memberikan motivasi hidup kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

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

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Hipotesis.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Kapal LNG.....	7
2.2 Komponen Mesin	7
2.2.1 Kompresor.....	7
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 <i>Gas Funnel</i>	10
2.2.7 Turbin.....	11
2.2.8 <i>Heater</i>	12

2.2.9 Sistem <i>Cascade</i>	13
2.3 Fluida Kerja.....	13
2.3.1 Metana.....	13
2.3.2 Karbon Dioksida (CO ₂).....	14
2.3.3 Propana (R290)	15
2.3.4 Amonia (R717)	16
2.4 Istilah Termodinamika	17
2.4.1 <i>Enthalpy</i>	17
2.4.2 <i>Entropy</i>	17
2.4.3 <i>Exergy</i>	18
2.4.4 <i>Exergy Destruction</i>	19
2.5 Sistem <i>Brayton</i>	20
2.6 Sistem <i>Rankine</i>	21
2.7 Persamaan Termodinamika.....	22
2.8 EES.....	26
2.9 REFPROP	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	28
3.1 Diagram Alir Penelitian	28
3.2 Skema Mesin.....	29
3.3 Variasi	31
3.4 Tahapan Simulasi EES.....	32
3.5 Tahapan Simulasi Refprop.....	35
3.6 Validasi	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Kerja Turbin	43
4.2 Kalor Masuk.....	45
4.3 Efisiensi Termal	48
4.4 Efisiensi <i>Exergy</i>	53
BAB 5 PENUTUP.....	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	
RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variasi pada loop 1.....	31
Tabel 3.2 Variasi pada loop 2.....	31
Tabel 3.3 Variasi pada loop 3.....	32
Tabel 3.4 Mean Deviation dari data simulasi dan data validasi	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal LNG.....	7
Gambar 2.2 Marine air compressor	8
Gambar 2.3 Ruang pembakaran	8
Gambar 2.4 Marine pump.....	9
Gambar 2.5 Marine pre heating unit.....	10
Gambar 2.6 Marine condenser.....	10
Gambar 2.7 Ship gas funnel	11
Gambar 2.8 Marine turbine	12
Gambar 2.9 Marine heater	12
Gambar 2.10 Contoh refrigeration system cascade	13
Gambar 2.11 Metana	14
Gambar 2.12 CO ₂	15
Gambar 2.13 R290.....	16
Gambar 2.14 R717.....	16
Gambar 2.15 Open-cycle gas-turbine engine	21
Gambar 2.16 Closed-cycle gas-turbine engine.....	21
Gambar 2.17 Simple ideal rankine cycle.....	22
Gambar 2.18 Engineering equation solver	26
Gambar 2.19 Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties.....	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	28
Gambar 3.2 Skema sistem permesinan.....	29
Gambar 3.3 Menu untuk merubah satuan EES.....	33
Gambar 3.4 Tampilan untuk merubah satuan EES.....	33
Gambar 3.5 Tampilan equation window	33
Gambar 3.6 Tampilan function info	34
Gambar 3.7 Pengecekan equation input	34
Gambar 3.8 Tombol penghitungan equation input.....	35
Gambar 3.9 Tampilan hasil perhitungan	35
Gambar 3.10 Menu untuk merubah satuan Refprop.....	36
Gambar 3.11 Tampilan untuk merubah satuan Refprop.....	36
Gambar 3.12 Menu untuk memilih fluida Refprop	37
Gambar 3.13 Tampilan untuk memilih fluida Refprop	37
Gambar 3.14 Menu untuk memilih grafik Refprop.....	38
Gambar 3.15 Menu batasan grafik Refprop	38
Gambar 3.16 Tampilan grafik Refprop	39
Gambar 3.17 Menu untuk variasi temperatur dan tekanan khusus.....	39
Gambar 3.18 Tampilan hasil data keseluruhan	40
Gambar 3.19 Grafik Perbandingan data validasi dan simulasi a) Budiyanto dengan simulasi b) Yue Cao dengan simulasi	41
Gambar 4.1 a) Kerja turbin pertama vs. temperatur yang masuk ke turbin pertama b) Kerja turbin kedua vs. temperatur yang masuk ke turbin kedua c) Kerja turbin kedua vs. tekanan yang masuk ke turbin kedua d) Kerja turbin ketiga vs. temperatur	

yang masuk ke turbin ketiga e) Kerja turbin ketiga vs. tekanan yang masuk ke turbin ketiga.....	44
Gambar 4.2 a) Q_{in} loop 1 vs. temperatur yang masuk ke turbin pertama b) Q_{in} loop 2 vs. temperatur yang masuk ke turbin kedua c) Q_{in} loop 2 vs. tekanan yang masuk ke turbin kedua d) Q_{in} loop 3 vs. temperatur yang masuk ke turbin ketiga e) Q_{in} loop 3 vs. tekanan yang masuk ke turbin ketiga	46
Gambar 4.3 a) Efisiensi termal <i>loop</i> 1 vs. temperatur yang masuk ke turbin pertama b) Efisiensi termal <i>loop</i> 2 vs. temperatur yang masuk ke turbin kedua c) Efisiensi termal <i>loop</i> 2 vs. tekanan yang masuk ke turbin kedua d) Efisiensi termal <i>loop</i> 3 vs. temperatur yang masuk ke turbin ketiga e) Efisiensi termal <i>loop</i> 3 vs. tekanan yang masuk ke turbin ketiga f) Efisiensi termal <i>overall</i> vs. temperatur yang masuk ke turbin pertama	50
Gambar 4.4 Efisiensi exegy vs. temperatur yang masuk ke turbin pertama	53

DAFTAR NOTASI

h	=	Entalpi	[kJ/kg]
s	=	Entropi	[kJ/kg.K]
Q	=	Kalor	[kJ/kg]
W	=	Kerja	[kJ/kg]
T	=	Temperatur	[K]
P	=	Tekanan	[kPa]
Ex	=	<i>Exergy</i>	
Simbol			
η	=	Efisiensi Termal	[%]
η_{Ex}	=	Efisiensi <i>Exergy</i>	[%]
Singkatan			
CGT	=	<i>Combined Gas Turbine</i>	
LNG	=	<i>Liquified Natural Gas</i>	
CO ₂	=	<i>Carbon Dioxide</i>	
CNG	=	<i>Compressed Natural Gas</i>	
GWP	=	<i>Global Warming Potential</i>	
ODP	=	<i>Ozone Depletion Potential</i>	
Subskrip			
Total	=	Keseluruhan <i>Loop</i>	
in	=	Masuk ke <i>Loop</i>	
out	=	Keluar <i>Loop</i>	
Air	=	Udara	
SCO ₂	=	<i>Supercritical CO2</i>	
TCO ₂	=	<i>Transcritical CO2</i>	
l	=	LNG	
0	=	<i>Ambient</i>	
T	=	Turbin	
C	=	Kompresor	
Comb	=	<i>Combustion</i>	
H	=	Pemanas	
P	=	Pompa	
Cond	=	Kondensor	
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>	