



**ANALISIS ENERGI DAN BIAYA OPERASI
BAHAN BAKAR METANOL PADA KAPAL
*OIL CHEMICAL TANKER 4000 DWT***

SKRIPSI

**ABYAN ARIAPUTRA AZIZ
1910313029**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN
2023**



**ANALISIS ENERGI DAN BIAYA OPERASI
BAHAN BAKAR METANOL PADA KAPAL
*OIL CHEMICAL TANKER 4000 DWT***

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

ABYAN ARIAPUTRA AZIZ

1910313029

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERKAPALAN

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh :

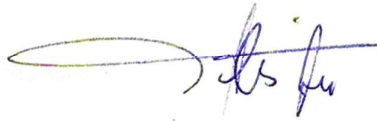
Nama : Abyan Ariaputra Aziz

NIM : 1910313029

Program Studi : Teknik Perkapalan

Judul Skripsi : Analisis Energi dan Biaya Operasi Bahan Bakar Metanol pada Kapal *Oil Chemical Tanker* 4000 DWT

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.



Dr. Wiwin Sulistyawati, ST. MT

Penguji Utama




Dr. Amir Marasabessy, ST. MT. IPM

Penguji Anggota

Dr. Henry B. H. Sitorus, ST. MT

Dekan Fakultas Teknik



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

Penguji Pembimbing



Dr. Wiwin Sulistyawati, ST. MT

Kepala Program Studi

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 21 Juni 2023


HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS ENERGI DAN BIAYA OPERASI BAHAN BAKAR METANOL
PADA KAPAL *OIL CHEMICAL TANKER* 4000 DWT

Disusun Oleh :
ABYAN ARIAPUTRA AZIZ
1910313029


Menyetujui,

Pembimbing I



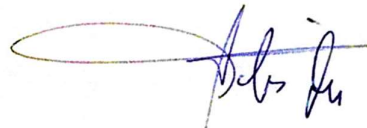
Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, ST. MT

Pembimbing II



Ir. Amir Marasabessy, ST. MT. IPM

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 : Abyan Ariaputra Aziz

NIM : 1910313029

Program Studi : Teknik Perkapalan

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

Jakarta, 20 Juni 2023

Yang Menyatakan,



Abyan Ariaputra Aziz

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Abyan Ariaputra Aziz
NIM : 1910313029
Fakultas : Teknik
Program Studi : S1 Teknik Perkapalan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya 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 ENERGI DAN BIAYA OPERASI BAHAN BAKAR METANOL
PADA KAPAL OIL CHEMICAL TANKER 4000 DWT”**

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 Peneliti/pencipta dan sebagai pemilih Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada Tanggal : 20 Juni 2023
Yang Menyatakan,



Abyan Ariaputra Aziz

ANALISIS ENERGI DAN BIAYA OPERASI BAHAN BAKAR METANOL PADA KAPAL *OIL CHEMICAL TANKER 4000 DWT*

ABYAN ARIAPUTRA AZIZ

ABSTRAK

Organisasi Maritim Internasional (IMO) telah memperkenalkan regulasi bahwa industri perkapalan harus menurunkan Emisi Gas Rumah Kaca setidaknya sebesar 50% di tahun 2050 dibandingkan tahun 2008. Di waktu yang bersamaan, IMO memprediksi Emisi Pelayaran Kapal di dunia meningkat sampai 250% di tahun 2050. Oleh karenanya, Industri Perkapalan perlu membenahi permasalahan ini dengan mereduksi emisi karbon. Pemilihan Bahan Bakar Metanol pada kapal merupakan bahan bakar alternatif kapal yang hemat biaya, rendah emisi, ramah lingkungan, dan terbaharukan. Metanol dapat mereduksi emisi SO_x hingga 99%, emisi NO_x hingga 60%, dan Partikulat Khusus sampai dengan 95%. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis ketersediaan bahan bakar Metanol di dunia perkapalan dikaitkan dengan peraturan keamanan untuk kapal berbahan bakar Metanol, melakukan penyesuaian mesin utama berbahan bakar metanol, melakukan perhitungan energi, biaya operasi, harga *retrofit* mesin utama, dan periode pengembalian pada kapal *Oil Chemical Tanker 4000 DWT* dengan metode Pelayaran Pulang Pergi dengan Variasi Rute, Komposisi, dan Harga Bahan Bakar. Dari pembahasan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan energi, biaya operasi, dan harga *retrofit* pada kapal *Oil Chemical Tanker 4000 DWT* dengan pelayaran rute Amerika sebesar 3,467,320 MJ, Rp. 1,565,684,341.-, dan 2.4 tahun periode pengembalian, rute Eropa sebesar 3,137,099 MJ, Rp. 1,352,844,897.-, dan 2.8 tahun periode pengembalian, dan rute Asia Pasifik sebesar 3,274,914 MJ, Rp. 1,069,629,506.-, dan 3.5 tahun periode pengembalian, serta harga *retrofit* mesin utama yang mencapai Rp. 7,574,435,035.-.

Kata Kunci : Metanol, Emisi, dan *Oil Chemical Tanker 4000 DWT*

***ENERGY ANALYSIS AND OPERATING COSTS OF
METHANOL FUEL ON 4000 DWT
OIL CHEMICAL TANKER VESSEL***

ABYAN ARIAPUTRA AZIZ

ABSTRACT

The International Maritime Organization (IMO) has introduced regulations that the shipping industry must reduce Greenhouse Gas Emissions by at least 50% by 2050 compared to 2008. At the same time, IMO predicts that shipping emissions in the world will increase by 250% by 2050. Therefore, the shipping industry needs to fix this problem by reducing carbon emissions. The selection of Methanol Fuel on ships is an alternative fuel for ships that is cost-effective, low emission, environmentally friendly, and renewable. Methanol can reduce SO_x emissions by up to 99%, NO_x emissions by up to 60%, and Particular Matters by up to 95%. The purpose of this study is to analyze the availability of Methanol fuel in the shipping world associated with safety regulations for Methanol-fueled ships, make adjustments to the main methanol-fueled engine, calculate energy and operating costs on 4000 DWT Oil Chemical Tanker ships with the One Trip Voyage method with Route Variations, Composition, and Fuel Cost. From the discussion of this study, it can be concluded that the results of energy calculations, operating costs, and retrofit prices on the 4000 DWT Oil Chemical Tanker ship with American route shipping amounted to 3,467,320 MJ, Rp. 1,565,684,341. -, and 2.4-years payback period, European routes amounted to 3,137,099 MJ, Rp. 1,352,844,897. -, and 2.8-years payback period, and Asia Pacific routes amounting to 3,274,914 MJ, Rp. 1,069,629,506. -, and 3.5-years payback period, as well as the main engine retrofit price reaching Rp. 7,574,435,035.-.

Keyword : *Methanol, Emissions, and Oil Chemical Tanker 4000 DWT*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Puji dan syukur Peneliti panjatkan kepada Allah ﷻ karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan Gelar Sarjana Teknik. Adapun topik dari skripsi yang diajukan oleh Peneliti adalah “Analisis Energi dan Biaya Operasi Bahan Bakar Metanol pada Kapal *Oil Chemical Tanker* 4000 DWT”.

Skripsi ini bertujuan untuk mengetahui, menggali, menghitung *market* (pasar), energi dan biaya operasi menggunakan HFO dan Metanol, perhitungan biaya *retrofit* mesin utama dan mesin bantu, perhitungan periode pengembalian terhadap biaya *retrofit*, serta memanfaatkan potensi bahan bakar Metanol sebagai bahan bakar alternatif kapal di dunia perkapalan dan Indonesia. Dengan perhitungan biaya yang terkait dan sistem rancangannya, maka potensi bahan bakar Metanol akan dikenal luas dan dapat digunakan di Industri Perkapalan.

Dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini, Peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Subhanahu Wata’ala ﷻ karena mengizinkan dan memudahkan Peneliti dalam mengerjakan skripsi ini.
2. Nabi Muhammad ﷺ karena solawat serta salam atas keharibaannya membawa Peneliti ke jalan yang terang benderang saat ini.
3. Bapak Dr. Anter Venus, MA, Comm. selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
4. Bapak Dr. Henry B. H. Sitorus, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional Jakarta.
5. Ibu Dr. Wiwin Sulistyawati, ST. MT selaku Kepala Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
6. Bapak Dr. Ir. Fajri Ashfi Rayhan, ST, MT selaku dosen pembimbing utama yang telah berkenan memberikan pengarahan dan membimbing dalam penyusunan skripsi ini.

7. Bapak Ir. Amir Marasabessy, ST, MT, IPM selaku dosen pembimbing kedua yang telah berkenan memberikan pengarahan dan membimbing dalam penyusunan skripsi ini.
8. Ibu Ita Herawati, A. Md. Par, selaku Ibu Peneliti yang selalu mendoakan dan memberikan restu kepada Peneliti selama menyusun skripsi.
9. Aulia Atari Aziza, S. Tr. Par selaku Kakak Peneliti yang selalu mendoakan dan menyemangati Peneliti selama menyusun skripsi.
10. Dela Vebriani, S. Ak selaku pasangan Peneliti yang menemani, menyemangati, memotivasi, mendukung, dan mencintai Peneliti.
11. Pak Suranto selaku mantan Dosen Teknik Perkapalan UPN di awal tahun pembentukan Program Studi Teknik Perkapalan yang mendoakan Peneliti dan menjadi inspirasi Peneliti.
12. Bang Aprilianto 71, Bang Amiruddin 77, Bang Bar 78, Bang Sirius 86, Bang Hari 89, Bang Komar 89, Bang Osva 91, Bang Maryadi 92, Bang Odo 94, Bang Zul 94, Bang Supri 96, Bang Ade Ujang 96, Bang Iyung 96, Bang Iwan Cupang 97, Bang Reki 98, Bang Damar 2000, Bang Teguh 2000, Bang Fahmi 2000, Bang Cenos 2000, Bang Evi 2000, Bang Bijak 2009, Bang Alfa 2009, Bang Deo 2010, Bang Mufid 2011, Bang Putra 2013, Bang Giri 2014, Bang Adam 2015, Bang Pungkas 2015, Abang Mba Angkatan 2016, Abang Mba 2017, Abang Mba 2018 selaku Alumni sekaligus sosok abang dan mba yang telah banyak mengajari Peneliti, memberi nasehat, dan menjadi inspirasi Peneliti.
13. Pak Yusuf (*Hull Head Sect.*), Pak Rendra (*Hull Vice Head Sect.*), Pak Catur (*Piping Head Sect.*), Pak Ari (*Mechaical Head Sect.*), Pak Simon (*Crane Man*), Pak Ilham (*Electrical Engineer*), Pak Tarigan (*Safety*), Pak Yusman (*Electrical*), Pak Syamsul (*Hull Engineer*), Pak Ucok (*Hull*), Pak Martin (*Piping*), Bang Joko (*Senior Welder*), Bang Riski (*Piping*), Bang Winata (*Welding Inspector QC*), Bang Aga (*Welding Inspector QC*) selaku bapak dan abang yang membimbing dan mengajari peneliti selama Praktik Kerja Lapangan di PT. *Batamec Shipyards*
14. Saudara dan Saudari Maritim 2019 yang senantiasa bersama dalam suka & duka, berbagi ilmu yang dimiliki, dan memberikan semangat serta dukungan kepada Peneliti.

15. Adik – adik Angkatan 2020, 2021, dan 2022 yang membantu peneliti dan menjadi tempat melepas kepenatan dan bercengkerama bersama
16. Rasa terima kasih juga diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu Peneliti, yang tidak dapat Peneliti sebutkan satu per satu.

Peneliti menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, Peneliti membutuhkan dan membuka kritik dan saran yang bersifat membangun. Hal ini diperlukan untuk keperluan perbaikan serta penyempurnaan pada saat pengerjaan skripsi.

Peneliti berharap skripsi ini dapat diterima dan bermanfaat bagi Peneliti maupun pembaca. Tidak hanya sebagai bukti pengajuan skripsi, namun juga sebagai sumber ilmu atau referensi untuk penelitian/skripsi di masa mendatang, khususnya di bidang Teknik Perkapalan. Semoga Allah ﷻ selalu menyertai Langkah Peneliti.

Depok, Juni 2023

Peneliti

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.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Hipotesis.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengertian Metanol sebagai Bahan Bakar Alternatif	6
2.1.1 Ciri – Ciri Metanol dan Penanganan yang Aman	7
2.1.2 Emisi yang dihasilkan Metanol sebagai Bahan Bakar Kapal.....	9
2.1.3 Manfaat Penggunaan Metanol sebagai Bahan Bakar Kapal	11
2.2 Jenis – Jenis Metanol.....	13
2.3 Ketersediaan dan Metode Produksi Metanol.....	14
2.3.1 Ketersediaan Metanol.....	14
2.3.2 Aplikasi Metanol.....	16
2.3.3 Kebutuhan Metanol Global dan Indonesia.....	19
2.3.4 Proses Manufaktur Metanol	21

2.3.5	Metode Produksi Metanol.....	23
2.4	Ketentuan Kontrol Kualitas dan Keamanan Proses <i>Bunkering</i> Metanol.....	28
2.4.1	Kontrol Kualitas dari Proses <i>Bunkering</i> Metanol	28
2.4.2	Transportasi Metanol	30
2.4.3	Potensi Bahaya Metanol dan Tindakan Pengamanan	30
2.4.4	Penyimpanan Metanol pada Kapal.....	37
2.5	Peraturan Keamanan untuk Kapal berbahan bakar Metanol	38
2.6	Pencocokan Mesin Utama Kapal menggunakan Metanol.....	39
2.6.1	Teknologi Mesin Utama.....	40
2.6.2	Sistem Suplai Bahan Bakar.....	40
2.6.3	Modifikasi Pelindung Silinder	42
2.6.4	Rencana Penyevelan dan Kontrol Minyak.....	45
2.6.5	Sistem Injeksi Bahan Bakar	45
2.6.6	Sistem <i>Inert</i> Nitrogen dan <i>Blanketing</i>	47
2.6.7	Instalasi Pompa Bertekanan Tinggi	48
2.6.8	Instalasi Pipa Bertekanan Tinggi	49
2.6.9	Tangki Penyimpanan Metanol	50
2.6.10	<i>Grounding</i> dan <i>Bonding</i>	53
2.6.11	Sistem Deteksi dan Alarm.....	53
2.7	Opsi Kebijakan untuk Dekarbonisasi pada Industri Pelayaran	54
2.8	Projek – Projek Kapal dan Aplikasi Komersial yang menggunakan bahan bakar Metanol.....	57
2.9	Konsep Pembakaran di Mesin Utama menggunakan Metanol	64
2.9.1	Metanol-Diesel-Emulsi Aditif (MD95) <i>Combustion Strategy</i>	65
2.9.2	PFI-SI Methanol <i>Combustion Strategy</i>	65
2.9.3	HCCI <i>Combustion Strategy</i>	66
2.9.4	<i>Dual Fuel Combustion Strategy</i>	66
2.9.5	RCCI <i>Combustion Strategy</i>	67
2.9.6	DISI <i>Combustion Strategy</i>	68
2.9.7	PPC <i>Combustion Strategy</i>	68
2.10	Perbandingan Bahan Bakar Metanol dengan Bahan Bakar Alternatif lainnya di Dunia Perkapalan.....	69
2.11	Harga Pasar Metanol di Dunia dan di Indonesia	71
2.12	Kapal <i>Oil Chemical Tanker</i>	74
2.13	Pengembangan Teknologi Konversi Bahan Bakar Konvensional menuju Bahan Bakar Metanol pada Kapal Modern	75

2.13.1	Kapal <i>Retrofit</i>	75
2.13.2	Ketersediaan Metanol untuk Kapal dan Rencana Bunkering	75
2.13.3	Konsumsi Bahan Bakar Metanol dan Rencana Penyimpanan	76
2.13.4	Perbandingan Harga Bahan Bakar	79
2.13.5	Estimasi Harga <i>Retrofit</i> Mesin Utama Kapal.....	81
2.13.6	Periode Pengembalian <i>Retrofit</i> Mesin Utama Kapal	82
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		83
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	83
3.2	Garis Besar Diagram Alir.....	84
3.2.1	Mulai	84
3.2.2	Identifikasi dan Perumusan Masalah	84
3.2.3	Studi Literatur dan Validasi Jurnal	85
3.2.4	Pengumpulan Data	85
3.2.5	Pemodelan Geometri Lambung Kapal <i>Oil Chemical Tanker 4000 DWT</i>	87
3.2.6	Analisis Perhitungan Konsumsi dan Volume Bahan Bakar.....	87
3.2.7	Analisis Rencana Tangki Kapal <i>Oil Chemical Tanker 4000 DWT</i>	88
3.2.8	Analisis Perhitungan Energi.....	88
3.2.9	Analisis Perhitungan Konsumsi Metanol dan MGO.....	88
3.2.10	Analisis Perhitungan Volume Metanol dan MGO	88
3.2.11	Analisis Perhitungan <i>Bunkering</i> Metanol dan MGO Pilot.....	88
3.2.12	Analisis Perhitungan Biaya Bahan Bakar pada Mode Operasi Normal	89
3.2.13	Analisis Perhitungan Biaya Bahan Bakar pada Mode Bahan Bakar Ganda	89
3.2.14	Analisis Estimasi Biaya <i>Engine Retrofit</i> Kapal <i>Oil Chemical Tanker 4000 DWT</i>	89
3.2.15	Analisis Periode Pengembalian <i>Engine Retrofit</i>	89
3.2.16	Evaluasi dan Pembahasan	90
3.2.17	Kesimpulan dan Saran.....	90
3.2.18	Selesai	90
3.3	Pengambilan Data.....	90
3.4	Metode Pengambilan Data	91
3.5	<i>Maxsurf Modeler Advanced</i>	92
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		95
4.1	Pemodelan Geometri Lambung Kapal <i>Oil Chemical Tanker 4000 DWT</i>	95

4.1.1	Data Utama Kapal <i>Oil Chemical Tanker</i> 4000 DWT	95
4.1.2	Linesplan Kapal <i>Oil Chemical Tanker</i> 4000 DWT.....	96
4.1.3	General Arrangement Kapal <i>Oil Chemical Tanker</i> 4000 DWT.....	96
4.1.4	Pemodelan Geometri Lambung Kapal	97
4.2	Pemilihan Rute Pelayaran Kapal <i>Oil Chemical Tanker</i> 4000 DWT	97
4.3	Analisis Perhitungan Konsumsi dan Volume Bahan Bakar	103
4.4	Analisis Rencana Tangki Kapal <i>Oil Chemical Tanker</i> 4000 DWT	106
4.5	Analisis Perhitungan Energi	108
4.6	Analisis Perhitungan Konsumsi Metanol dan MGO	111
4.7	Analisis Perhitungan Volume Metanol dan MGO	117
4.8	Analisis Perhitungan <i>Bunkering</i> Metanol dan MGO.....	121
4.9	Analisis Perhitungan Biaya Bahan Bakar pada Mode Operasi Normal	129
4.10	Analisis Perhitungan Biaya Bahan Bakar pada Mode Bahan Bakar Ganda 131	
4.11	Analisis Ringkasan Kalkulasi Biaya Bahan Bakar.....	134
4.12	Analisis Estimasi Biaya <i>Retrofit</i> Mesin Utama Kapal <i>Oil Chemical Tanker</i> 4000 DWT.....	137
4.13	Analisis Periode Pengembalian <i>Retrofit</i> Mesin Utama	141
4.14	Analisis Perhitungan Biaya Penambahan Tangki Metanol	147
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		157
5.1	Kesimpulan.....	157
5.2	Saran	160
DAFTAR PUSTAKA		
RIWAYAT HIDUP		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Metanol	7
Tabel 2.2 Potensi Pemanasan Global dari CH ₄ dan N ₂ O.....	9
Tabel 2.3 Faktor Emisi dari Pembakaran Metanol pada Mesin Kapal	10
Tabel 2.4 Perbandingan antara Bahan Bakar Alternatif Kapal	69
Tabel 2.5 Kesiapan Teknologi Bahan Bakar Alternatif (● Tinggi - ● Medium - ● Rendah)	70
Tabel 2.6 Harga Metanol, HFO, MGO	80
Tabel 3.1 Data Umum Kapal	85
Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin Utama	86
Tabel 3.3 Spesifikasi Mesin Bantu Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	87
Tabel 4.1 Data Umum Kapal	95
Tabel 4.2 Rute Pelayaran Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	101
Tabel 4.3 Konsumsi dan Volume HFO dan MGO Rute Amerika	104
Tabel 4.4 Konsumsi dan Volume HFO dan MGO Rute Eropa	104
Tabel 4.5 Konsumsi dan Volume HFO dan MGO Rute Asia Pasifik.....	104
Tabel 4.6 Volume Tangki HFO Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	107
Tabel 4.7 Volume Tangki MGO Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT.....	108
Tabel 4.8 Kalkulasi Energi Pelayaran Rute Amerika	109
Tabel 4.9 Kalkulasi Energi Pelayaran Rute Eropa.....	109
Tabel 4.10 Kalkulasi Energi Pelayaran Rute Asia Pasifik.....	109
Tabel 4.11 Energi Metanol dan MGO Rute Amerika	112
Tabel 4.12 Energi Metanol dan MGO Rute Eropa	112
Tabel 4.13 Energi Metanol dan MGO Rute Asia Pasifik.....	112
Tabel 4.14 Kalkulasi Bahan Bakar Metanol dan MGO untuk Pelayaran Rute Amerika.....	114
Tabel 4.15 Kalkulasi Bahan Bakar Metanol dan MGO untuk Pelayaran Rute Eropa	115
Tabel 4.16 Kalkulasi Bahan Bakar Metanol dan MGO untuk Pelayaran Rute Asia Pasifik.....	115
Tabel 4.17 Kalkulasi Volume Metanol dan MGO untuk Pelayaran Pulang Pergi Rute Amerika	118
Tabel 4.18 Kalkulasi Volume Metanol dan MGO untuk Pelayaran Pulang Pergi Rute Eropa.....	118
Tabel 4.19 Kalkulasi Volume Metanol dan MGO untuk Pelayaran Pulang Pergi Rute Asia Pasifik.....	118
Tabel 4.20 Rangkuman Pelayaran Pulang Pergi Rute Amerika untuk Operasi Normal dan Operasi Bahan Bakar Ganda	121
Tabel 4.21 Rangkuman Pelayaran Pulang Pergi Rute Eropa untuk Operasi Normal dan Operasi Bahan Bakar Ganda	123
Tabel 4.22 Rangkuman Pelayaran Pergi Rute Asia Pasifik untuk Operasi Normal dan Operasi Bahan Bakar Ganda	126
Tabel 4.23 Kalkulasi Biaya Bahan Bakar untuk Mode Operasi Normal Rute Amerika.....	130
Tabel 4.24 Kalkulasi Biaya Bahan Bakar untuk Mode Operasi Normal Rute Eropa	130

Tabel 4.25 Kalkulasi Biaya Bahan Bakar untuk Mode Operasi Normal Rute Asia Pasifik.....	130
Tabel 4.26 Kalkulasi Biaya Bahan Bakar (Bunkering di – Amerika).....	133
Tabel 4.27 Kalkulasi Biaya Bahan Bakar (Bunkering di Italia - Eropa)	133
Tabel 4.28 Kalkulasi Biaya Bahan Bakar (Bunkering di Jepang – Asia Pasifik).....	133
Tabel 4.29 Tabel Ringkasan Total Biaya Bahan Bakar HFO dan Metanol semua Rute	135
Tabel 4.30 Korelasi Ukuran Mesin Utama dan Biaya Retrofit.....	139
Tabel 4.31 Tabel Ringkasan Total Biaya Retrofit Kapal OCT 4000 DWT.....	140
Tabel 4.32 Tabel Periode Pengembalian Biaya Rute Amerika.....	142
Tabel 4.33 Tabel Periode Pengembalian Biaya Rute Eropa	142
Tabel 4.34 Tabel Periode Pengembalian Biaya Rute Asia Pasifik	142
Tabel 4.35 Perhitungan Biaya Penambahan Tangki Metanol.....	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metanol (CH ₃ OH)	6
Gambar 2.2 Simbol Hazard untuk Metanol ditunjukkan di European Chemicals Agency Website Substance Card for Metanol	8
Gambar 2.3 Reduksi Emisi yang dihasilkan dari Pembakaran Metanol.....	11
Gambar 2.4 Infografik Jenis Metanol	14
Gambar 2.5 Ketersediaan Metanol Global.....	14
Gambar 2.6 Kapasitas Metanol Global per Daerah Bagian	15
Gambar 2.7 Estimasi Kapasitas Metanol Global	15
Gambar 2.8 Sumber dan Aplikasi Metanol.....	17
Gambar 2.9 Permintaan Metanol Global berdasarkan Penggunaan.....	18
Gambar 2.10 Permintaan Global dan Produksi Metanol berdasarkan per tahun..	18
Gambar 2.11 Permintaan dan Kapasitas Metanol Global	20
Gambar 2.12 Grafik Kebutuhan Metanol di Indonesia.....	21
Gambar 2.13 Alur Produksi Metanol	24
Gambar 2.14 Bahaya Metanol.....	31
Gambar 2.15 Detektor Uap Metanol GT-903	34
Gambar 2.16 Palang Keamanan Metanol.....	36
Gambar 2.17 Mesin Utama bertekanan tinggi berbasis Metanol.....	40
Gambar 2.18 Jalur Sistem Perpipaan Metanol pada Mesin MAN ME-LGI	42
Gambar 2.19 Penutup Silinder MAN B&W ME-LGI	43
Gambar 2.20 Mesin Utama MAN B&W ME-LGI	43
Gambar 2.21 Prinsip Kerja BFIV.....	44
Gambar 2.22 Siklus Pembakaran Bahan Bakar Ganda (Metanol-Diesel) 2-Tak..	46
Gambar 2.23 Tekanan Suplai Minyak dan Bahan Bakar untuk Mesin Metanol ..	48
Gambar 2.24 Pompa Metanol Hammelmann.....	49
Gambar 2.25 Sistem Bahan Bakar Metanol.....	49
Gambar 2.26 Sistem Perpipaan Mesin Metanol Wartsila	50
Gambar 2.27 Konversi Mesin Diesel ke Mesin Metanol Sebelum dan Sesudah..	50
Gambar 2.28 Kapal COSCO	62
Gambar 2.29 Kapal FJ. Lauritzen	63
Gambar 2.30 Kapal Product Tankers Finlandia.....	64
Gambar 2.31 Skema Pembakaran pada Mesin Utama Berbahan Bakar Metanol.	65
Gambar 2.32 Sejarah Harga Metanol.....	72
Gambar 2.33 Harga Metanol Real Time	72
Gambar 2.34 Harga Metanol 2023.....	73
Gambar 2.35 Harga Metanol 2023.....	73
Gambar 2.36 Kapal Oil Chemical Tanker.....	74
Gambar 2.37 Lokasi Produksi Metanol Perusahaan Methanex	75
Gambar 2.38 Ketersediaan Metanol di Pelabuhan Seluruh Dunia.....	76
Gambar 2.39 Grafik Harga Bahan Bakar Kapal (Tahun 2023)	80
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	84
Gambar 3.2 Jenis Maxsurf	92
Gambar 3.3 Salah satu contoh gambar memasukkan Screenshot Linesplan pada Kapal	93
Gambar 3.4 Penyelesaian AP Screenshot pada AP Model Kapal	93

Gambar 3.5 Penyamaraan FP Screenshot pada FP Model Kapal	93
Gambar 3.6 Hasil Pemodelan Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	94
Gambar 3.7 Perhitungan Tangki Kapal OCT sesuai Model pada Autocad	94
Gambar 3.8 Tampak Samping Tangki pada Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT.....	94
Gambar 4.1 Lines Plan Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	96
Gambar 4.2 General Arrangement Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT.....	96
Gambar 4.3 Pemodelan Kapal OCT 4000 DWT di Maxsurf.....	97
Gambar 4.4 Fasilitas Methanex di dunia	97
Gambar 4.5 Rute Port of Lisas (Trinidad) – Georgia Ports Authority (Amerika Serikat) (Benua Amerika)	98
Gambar 4.6 Rute Damietta Port Authority (Mesir) – Port of Barcelona (Spanyol)	98
Gambar 4.7 Rute Container Terminal West (Hong Kong) – Kanazawa Port (Japan) (Asia Pasifik).....	99
Gambar 4.8 Jalur Perdagangan Metanol di Dunia	100
Gambar 4.9 Grafik Jarak Tempuh Pelayaran (Mil Laut)	102
Gambar 4.10 Jam Pelayaran per Rute	103
Gambar 4.11 Grafik Konsumsi dan Volume HFO dan MGO (Amerika Utara). 105	
Gambar 4.12 Grafik Konsumsi dan Volume HFO dan MGO (Eropa)	105
Gambar 4.13 Grafik Konsumsi dan Volume HFO dan MGO (Asia Pasifik)	105
Gambar 4.14 Tampak Samping Tangki Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	106
Gambar 4.15 Perubahan Tangki Water Ballast menjadi Tangki MGO (Tampak Samping).....	106
Gambar 4.16 Perubahan Tangki Water Ballast menjadi Tangki MGO (Tampak Atas)	107
Gambar 4.17 Keterangan Tangki Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT.....	107
Gambar 4.18 Grafik Perhitungan Energi HFO dan MGO (Amerika Utara).....	110
Gambar 4.19 Grafik Perhitungan Energi HFO dan MGO (Eropa)	110
Gambar 4.20 Grafik Perhitungan Energi HFO dan MGO (Asia Pasifik)	111
Gambar 4.21 Grafik Perhitungan Energi Metanol dan MGO (Amerika Utara) .	113
Gambar 4.22 Grafik Perhitungan Energi Metanol dan MGO (Eropa).....	113
Gambar 4.23 Grafik Perhitungan Energi Metanol dan MGO (Asia Pasifik).....	114
Gambar 4.24 Grafik Perhitungan Konsumsi Metanol dan MGO (Amerika Utara)	115
Gambar 4.25 Grafik Perhitungan Konsumsi Metanol dan MGO (Eropa)	116
Gambar 4.26 Grafik Perhitungan Konsumsi Metanol dan MGO (Asia Pasifik) 116	
Gambar 4.27 Grafik Perhitungan Volume Metanol dan MGO (Amerika Utara) 119	
Gambar 4.28 Grafik Perhitungan Volume Metanol dan MGO (Eropa).....	119
Gambar 4.29 Grafik Perhitungan Volume Metanol dan MGO (Asia Pasifik)....	120
Gambar 4.30 Grafik Rangkuman Perhitungan Operasi Normal	121
Gambar 4.31 Grafik % Tangki yang Terisi.....	122
Gambar 4.32 Grafik Rangkuman Perhitungan Operasi Ganda.....	122
Gambar 4.33 Grafik % Tangki yang Terisi.....	123
Gambar 4.34 Grafik Rangkuman Perhitungan Operasi Normal	124
Gambar 4.35 Grafik % Tangki yang Terisi.....	124
Gambar 4.36 Grafik Rangkuman Perhitungan Operasi Ganda.....	125

Gambar 4.37 Grafik % Tangki yang terisi.....	125
Gambar 4.38 Grafik Rangkuman Perhitungan Operasi Normal	126
Gambar 4.39 Grafik % Tangki yang Terisi.....	127
Gambar 4.40 Grafik Rangkuman Perhitungan Operasi Ganda.....	127
Gambar 4.41 Grafik % Tangki yang Terisi.....	128
Gambar 4.42 Grafik Biaya HFO dan MGO per Rute	131
Gambar 4.43 Grafik Total Biaya Metanol dan MGO per Rute.....	134
Gambar 4.44 Grafik Perbandingan Total Biaya Metanol dan HFO per Rute.....	136
Gambar 4.45 Grafik Persentase Besar Biaya Metanol terhadap Biaya HFO.....	136
Gambar 4.46 Grafik Korelasi Ukuran Mesin dan Biaya Retrofit	139
Gambar 4.47 Grafik Total Biaya Retrofit Mesin Utama Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	140
Gambar 4.48 Daerah Kontrol Emisi (Emission Control Area) di Dunia	143
Gambar 4.49 Kode Warna mendefinisikan sebagai Interval Periode Pengembalian	143
Gambar 4.50 Skenario Periode Pengembalian Retrofit dengan harga MGO rendah	144
Gambar 4.51 Skenario Periode Pengembalian Retrofit dengan harga MGO tinggi	144
Gambar 4.52 Grafik Periode Pengembalian Biaya Retrofit Mesin Utama Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT	145

DAFTAR NOTASI

B	Lebar Kapal [m]
H	Tinggi Kapal [m]
LPP	<i>Length Between Perpendicular</i> [m]
LOA	<i>Length Overall</i> [m]
LWL	<i>Length Water Line</i> [m]
T	Sarat Air Kapal [m]
V _s	Kecepatan Kapal [knot]
C _B	Koefisien Blok [-]
E	Energi [MJ]
C	Konsumsi Bahan Bakar [ton]
NCV	<i>Net Calorific Value</i> [MJ/ton]
V	Volume [m ³]
FC	<i>Fuel Cost</i> [Rp]
FP	<i>Fuel Price</i> [Rp]
Bar	Tekanan Injeksi [bar]
ρ	Massa jenis fluida [kg/m ³]
Y	Persamaan Garis Lurus
Rp	Rupiah
€	Euro
\$	Dollar Amerika Serikat
kW	<i>Kilowatt</i>
MW	<i>Megawatt</i>
ABS	<i>American Bureau Shipping</i>
BV	<i>Bureau Veritas</i>
DNV GL	<i>Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
CCC	<i>Committee on Carriage of Cargoes and Containers</i>
IGF Code	<i>International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels</i>
IGC Code	<i>International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk</i>

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Linesplan Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT
- Lampiran 2 General Arrangement Kapal Oil Chemical Tanker 4000 DWT
- Lampiran 3 Perhitungan Tangki menggunakan Maxsurf
- Lampiran 4 Perhitungan Rumus Konsumsi dan Volume Bahan Bakar per Rute
- Lampiran 5 File Excel Perhitungan Energi dan Biaya Operasi Kapal OCT 4000 DWT
- Lampiran 6 Lembar Konsultasi Pembimbing I
- Lampiran 7 Lembar Konsultasi Pembimbing II
- Lampiran 8 Lembar Revisi Penguji
- Lampiran 9 Hasil Turnitin