



TUGAS AKHIR

TEKNOLOGI REKAYASA KONSTRUKSI PERKAPALAN

***ANALISIS CARGOLOSSES LIQUID CARGO PADA SAAT PROSES
DISCHARGE MUATAN ETHYLENE PROPENE MENGGUNAKAN
METODE ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA)***

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Terapan

Disusun oleh :

Muhammad Alif Fadhil Rizqi

40040421650020

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONSTRUKSI PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

2025

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Alif Fadhil Rizqi
NIM : 40040421650020
Judul Tugas Akhir : Analisis Cargolosses Liquid Cargo Pada Saat Proses Discharge Muatan *Ethylene Propene* Menggunakan Metode *Root Cause Analysis* (RCA)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulis Laporan Tugas Akhir ini berdasarkan hasil penelitian, dan pemaparan asli saya sendiri. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena Tugas Akhir ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Diponegoro.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Semarang, 23 Oktober 2025
Yang membuat pernyataan



M. ALIF FADHIL RIZQI
40040421650020

HALAMAN PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR

**ANALISIS *CARGOLOSSES LIQUID CARGO* PADA SAAT PROSES
DISCHARGE MUATAN *ETHYLENE PROPENE* MENGGUNAKAN
METODE *ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA)***

Laporan Tugas Akhir ini diajukan kepada
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Oleh :
Muhammad Alif Fadhil Rizqi
40040421650020

Diajukan pada
Sidang Laporan Tugas Akhir
Tanggal 23 Oktober 2025

Dinyatakan Lulus / Tidak Lulus
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Dr. Zulfaidah Ariany, S.T., M.T.

Pembimbing

.....


Muhammad Sawal Baital., S.T., M.T.

Penguji 1

.....


Dr. Tuswan, S.T.

Penguji 2

.....


Mengetahui,

Ketua Program Studi

Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro



Dr. Mohd. Ridwan, S.T., M.T.

NIP 197008271999031002

ABSTRAK

Pemindahan muatan *Ethylene Propene* dari kapal *LPG/C* ke tangki darat (*shore tank*) merupakan operasi yang kompleks dalam industri pelayaran kargo cair *kriogenik*, di mana ketelitian pengukuran, kendali suhu, dan sistem perpipaan memainkan peran penting dalam menjaga kuantitas muatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fenomena *cargolosses* yang terjadi selama proses *Discharge* muatan *Ethylene Propene* dengan pendekatan *Root Cause Analysis (RCA)* sebagai metode identifikasi akar masalah. Studi dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dan teknis terhadap data *sounding* awal dan akhir di kapal serta hasil pengukuran *shore tank*, yang kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excell*. Berdasarkan hasil perhitungan dan validasi dokumen operasional, ditemukan selisih muatan sebesar -2,294%, yang menunjukkan adanya potensi kehilangan muatan selama proses pemindahan. Faktor utama penyebab *cargolosses* meliputi: *Evaporasi* atau *boil-off gas* yang tidak dapat ditangkap kembali secara optimal akibat sistem *vapor return* yang tidak efisien; Retensi muatan dalam sistem perpipaan (*line losses*) yang tidak dilakukan *stripping* maksimal; Inkonsistensi prosedur pengukuran antara kapal dan terminal; serta ketidaksesuaian koreksi suhu terhadap densitas aktual. Penelitian juga dilengkapi dengan penyusunan *fishbone diagram* dan *cause-effect matrix* guna memetakan hubungan antara faktor penyebab dan terjadinya losses. Rekomendasi utama dari hasil analisis ini adalah peningkatan akurasi sistem pengukuran menggunakan *Automatic Tank Gauge (ATG)*, pemanfaatan *software* perhitungan berbasis densitas terkoreksi, serta penerapan prosedur *vapor recovery* dan *line stripping* berbasis standar *ISGOTT* dan *OCIMF*. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam pengendalian kerugian muatan *Ethylene Propene* serta menjadi dasar pengembangan alat bantu perhitungan muatan yang lebih akurat dan terstandarisasi.

Kata kunci: *Ethylene Propene, Cargolosses, Discharge Losses, Cryogenic Cargo, Root Cause Analysis, Boil-Off Gas, Measurement Discrepancy, Vapor Return System, ATG.*

ABSTRACT

The transfer of Ethylene Propene cargo from LPG/C vessels to shore tanks is a complex operation in the cryogenic liquid cargo shipping industry, where measurement accuracy, temperature control, and piping systems play an important role in maintaining cargo quantity. This study aims to analyse the cargo losses phenomenon that occurs during the Discharge process of Ethylene Propene cargo using Root Cause Analysis (RCA) as the root cause identification method. The study was conducted through a quantitative and technical approach to the initial and final sounding data on the ship and the results of shore tank measurements, which were then processed using Microsoft Excel software. Based on the results of calculations and validation of operational documents, a cargo difference of -2.294% was found, indicating the potential for cargo loss during the transfer process. The main factors causing cargo losses include: Evaporation or boil-off gas that cannot be optimally recaptured due to an inefficient vapor return system; Retention of cargo in the piping system (line losses) that is not maximally stripped; Inconsistency of measurement procedures between the ship and terminal; and (4) mismatch of temperature correction to actual density. The research was also complemented by the preparation of a fishbone diagram and cause-effect matrix to map the causal relationship between the causal factors and the occurrence of losses. The main recommendations from the results of this analysis are to improve the accuracy of the measurement system using Automatic Tank Gauge (ATG), utilise corrected density-based calculation software, and implement vapour recovery and line stripping procedures based on ISGOTT and OCIMF standards. This research makes a practical contribution to the control of Ethylene Propene cargo losses and serves as a basis for the development of more accurate and standardised cargo calculation tools and procedures.

Keywords: Ethylene Propene, Cargo losses, Discharge Losses, Cryogenic Cargo, Root Cause Analysis, Boil-Off Gas, Measurement Discrepancy, Vapor Return System, ATG.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, serta segala puji bagi-Nya, penulis menyampaikan penghargaan dan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, petunjuk, dan kekuatan yang telah melimpahkan keberhasilan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini disusun sebagai bagian dari pemenuhan syarat untuk meraih gelar Sarjana Terapan pada Diploma Empat Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Universitas Diponegoro.

Kelancaran penulisan Proyek Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu:

1. Allah SWT. Yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal usulan tugas akhir ini dengan baik dan lancar.
2. Bapak Dr. Mohd Ridwan, S.T., M.T. selaku Ketua program studi D4 Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
3. Ibu Zulfaidah Ariany, ST., MT., selaku Pembimbing "Proyek Tugas Akhir" pada program studi D4 Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
4. Dosen-dosen Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan yang telah memberikan banyak ilmu, wawasan dan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.
5. Keluarga yang selalu memberikan dukungan dalam segala hal khususnya selama proses pengerjaan "Proyek Tugas Akhir" dan umumnya selama penulis hidup di dunia.
6. Teman-teman Angkatan 2021 "Lecturnal" Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan yang telah banyak membantu penulis khususnya dalam menyelesaikan proposal usulan tugas akhir ini dan umumnya selama penulis berkuliah di Universitas Diponegoro

Dalam penyusunan Proyek Tugas Akhir ini tentunya masih banyak terdapat kekurangan, kesalahan dan kekhilafan karena keterbatasan kemampuan penulis, untuk itu sebelumnya penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi perbaikan yang bersifat membangun atas laporan ini.

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga laporan Proyek Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat menjadi referensi baik bagi pembaca khususnya mahasiswa yang hendak meneliti lebih lanjut terkait sistem perpipaian.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Semarang, 23 Oktober 2025



M. ALIF FADHIL RIZQI
40040421650020

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| ABSTRAK..... | iii |
| ABSTRACT | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| DAFTAR NOTASI..... | x |
| DAFTAR ISTILAH | xi |
| DAFTAR RUMUS DAN PERSAMAAN | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian Tugas Akhir | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Hipotesis | 3 |
| 1.6 Luaran Tugas Akhir | 3 |
| BAB II TEORI PENUNJANG DAN KAJIAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Landasan Teori..... | 5 |
| 2.1.1 Cargo Losses..... | 5 |
| 2.1.2 Perhitungan Muatan..... | 6 |
| 2.1.3 Discrepancy | 7 |
| 2.1.4 Discharge | 8 |
| 2.1.5 Loading | 9 |
| 2.1.6 Jetty..... | 9 |
| 2.1.7 Shore Tank | 10 |
| 2.1.8 Automatic Tank Gauge (ATG)..... | 10 |
| 2.2 Kajian Penelitian Terkait Ethylene Propene | 10 |
| 2.3 Kajian Penelitian Terdahulu | 11 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 13 |
| 3.1 Rencana Penelitian | 13 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 Alat | 14 |
| 3.3 Metode Penelitian | 14 |
| 3.3.1 Root Cause Analysis Metode..... | 14 |
| 3.4 Variabel Penelitian | 15 |
| 3.5 Flowchart Penelitian | 16 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 19 |
| 4.1 Spesifikasi Muatan | 19 |
| 4.2 Standar Operasional Prosedur Discharge | 19 |
| 4.3 Pemeriksaan Document | 20 |
| 4.4 Pemeriksaan Perhitungan Muatan | 25 |
| 4.5 Pemeriksaan Perhitungan Muatan Losses | 38 |
| 4.6 Pembuatan <i>Fishbone Diagram</i> (Diagram Sebab – Akibat)..... | 53 |
| 4.7 Pembuatan <i>Caust Effect Matrix</i> | 55 |
| 4.8 Studi Kasus Pemanding | 57 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 67 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 67 |
| DAFTAR PUSTAKA | 69 |
| Lampiran 1..... | 73 |
| Lampiran 2..... | 78 |
| Lampiran 3..... | 79 |
| Lampiran 4..... | 80 |
| Lampiran 5..... | 93 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|-----------|
| <i>Gambar 2. 1 Table tank shore Ethylene Propene</i> | <i>6</i> |
| <i>Gambar 2. 3 Jetty</i> | <i>10</i> |
| <i>Gambar 4 1 NoR.....</i> | <i>20</i> |
| <i>Gambar 4 2 Inspection Certification.....</i> | <i>21</i> |
| <i>Gambar 4 3 B/L.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Gambar 4 4 CoA.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Gambar 4 5 Ship Particular</i> | <i>24</i> |
| <i>Gambar 4 6 Innitial Shore Tank Calculation</i> | <i>27</i> |
| <i>Gambar 4 7 Final Shore Calculation</i> | <i>30</i> |
| <i>Gambar 4 8 Innitial Ship Calculation</i> | <i>31</i> |
| <i>Gambar 4 9 Innitial Ship Calculate</i> | <i>34</i> |
| <i>Gambar 4 10 Final Ship Calculation</i> | <i>37</i> |
| <i>Gambar 4 11 Checklist APD.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Gambar 4 12 Checklist Document</i> | <i>45</i> |
| <i>Gambar 4 13 SOF Discharge.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Gambar 4 14 Cargo Operation Plan.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Gambar 4 15 Discharging Report</i> | <i>48</i> |
| <i>Gambar 4 16 LoP Waiting Time</i> | <i>49</i> |
| <i>Gambar 4 17 LoP Slow Discharge.....</i> | <i>50</i> |
| <i>Gambar 4 18 LoP Quantity</i> | <i>51</i> |
| <i>Gambar 4 19 Certification of Measurement.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Gambar 4 20 Fishbone Diagram</i> | <i>53</i> |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Alur Proses <i>Discharge</i> | 9 |
| Tabel 3. 1 <i>Flow Chart</i> Penelitian..... | 17 |
| Tabel 4. 1 Spesifikasi Muatan..... | 19 |
| Tabel 4. 2 Total Muatan Kapal | 36 |
| Tabel 4. 3 <i>Investigation Report</i> | 38 |
| Tabel 4. 4 Identifikasi Faktor Penyebab (Input Proses / X)..... | 55 |
| Tabel 4. 5 Penilaian Hubungan (Skor: 0 = tidak ada, 1 = lemah, 3 = sedang, 9 = kuat) | 55 |
| Tabel 4. 6 Analisis Prioritas | 56 |
| Tabel 4. 7 Fungsi Data Pembanding | 58 |

DAFTAR NOTASI

| Simbol / Notasi | Keterangan | Satuan |
|-------------------------|--|-------------------|
| V | Volume muatan | m ³ |
| V_L | Volume cair (<i>liquid volume</i>) | m ³ |
| V_v | Volume uap (<i>vapour volume</i>) | m ³ |
| V_{obs} | Volume terukur (<i>Observed Volume</i>) | m ³ |
| V_{corr} | Volume terkoreksi (<i>Corrected Volume</i>) | m ³ |
| VCF | <i>Volume Correction Factor</i> (Faktor Koreksi Volume) | — |
| ρ | Massa jenis cairan (<i>density</i>) | kg/m ³ |
| M | Massa total muatan | MT (metric ton) |
| M_L | Massa muatan cair (<i>liquid mass</i>) | MT |
| M_v | Massa uap (<i>vapour mass</i>) | MT |
| M_T | Massa total (<i>liquid + vapour</i>) | MT |
| α | Koefisien muai bahan (<i>thermal expansion coefficient</i>) | 1/°C |
| T | Suhu tangki (<i>temperature</i>) | °C |
| t | Suhu pengamatan (<i>observed temperature</i>) | °C |
| P | Tekanan uap (<i>pressure</i>) | bar atau kPa |
| S | <i>Shrinkage Factor</i> (Faktor Penyusutan) | — |
| G_f | <i>Gas Factor Ethylene</i> | — |
| MW | <i>Molecular Weight</i> (berat molekul <i>Ethylene Propene</i>) | g/mol |
| ΔV | Selisih volume antara kapal dan <i>shore tank</i> | m ³ |
| ΔM | Selisih massa muatan (<i>cargo losses</i>) | MT |
| RPN | <i>Risk Priority Number</i> (hasil matriks SOD dalam RCA) | — |

DAFTAR ISTILAH

| | |
|--|---|
| <i>Cargo Losses</i> | Kehilangan muatan yang terjadi selama proses pemindahan dari kapal ke terminal akibat penguapan, kesalahan pengukuran, atau retensi di pipa transfer. |
| <i>Discharge</i> | Proses pembongkaran muatan dari kapal ke fasilitas darat (<i>shore tank</i>) melalui sistem perpipaan dan pompa. |
| <i>Loading</i> | Proses pengisian muatan dari shore tank ke kapal sebelum pelayaran. |
| <i>Ethylene Propene</i> | Muatan kimia cair <i>kriogenik (LPG-type)</i> dengan sifat mudah menguap (<i>volatile</i>), disimpan pada suhu sekitar -104°C dan tekanan rendah. |
| <i>Boil-Off Gas (BOG)</i> | Gas hasil penguapan alami dari muatan <i>kriogenik</i> yang terbentuk akibat kenaikan suhu atau penurunan tekanan. |
| <i>Vapor Return Line</i> | Jalur pipa yang digunakan untuk mengembalikan gas hasil penguapan (<i>vapour</i>) dari tangki penerima ke kapal untuk mencegah tekanan berlebih dan mengurangi losses. |
| <i>Line Losses</i> | Muatan yang tertinggal di jalur pipa (<i>pipeline</i>) setelah proses transfer selesai, biasanya diatasi dengan <i>line blowing</i> . |
| <i>Line Blowing / Stripping</i> | Proses peniupan jalur pipa menggunakan udara atau gas <i>inert</i> untuk memastikan tidak ada sisa muatan cair tertinggal setelah <i>Discharge</i> . |
| <i>Automatic Tank Gauge (ATG)</i> | Sistem pengukuran otomatis yang memantau level cairan dan suhu di dalam tangki secara <i>kontinu</i> dan <i>real-time</i> . |
| <i>Ullage / Sounding</i> | Metode manual untuk menentukan tinggi cairan dalam tangki dengan menggunakan <i>Automatic Tank Gauge (ATG)</i> dan sensor suhu. |
| <i>Discrepancy</i> | Perbedaan hasil perhitungan antara data kapal dan data terminal (<i>shore</i>) akibat perbedaan metode, alat ukur, atau kondisi pengukuran. |
| <i>Root Cause Analysis (RCA)</i> | Metode sistematis untuk mengidentifikasi akar penyebab suatu masalah melalui pendekatan <i>Fishbone Diagram</i> , <i>Cause-Effect Matrix</i> , dan <i>metode 5 Why</i> . |
| <i>Fishbone Diagram</i> | Diagram sebab-akibat yang digunakan untuk memetakan faktor penyebab masalah ke dalam kategori seperti manusia, metode, mesin, material, dan lingkungan. |
| <i>Cause and Effect Matrix (C&E Matrix)</i> | Alat <i>RCA</i> yang digunakan untuk menentukan prioritas penyebab masalah berdasarkan tingkat pengaruh (<i>severity</i>), frekuensi (<i>occurrence</i>), dan kemampuan deteksi (<i>detection</i>). |

| | |
|---|--|
| <i>Shrinkage Factor</i> | Faktor koreksi yang digunakan untuk menyesuaikan perubahan volume muatan akibat perbedaan suhu dari kondisi pengukuran ke kondisi standar. |
| <i>Volume Correction Factor (VCF)</i> | Faktor koreksi yang digunakan untuk mengonversi volume terukur pada suhu aktual menjadi volume standar (biasanya pada 15°C). |
| <i>Reliquefaction System</i> | Sistem pada kapal yang berfungsi untuk mengembunkan kembali gas hasil penguapan agar dapat disimpan kembali dalam bentuk cair. |
| <i>Venting</i> | Proses pelepasan gas berlebih ke <i>atmosfer</i> atau <i>sistem flare</i> untuk menjaga tekanan tangki tetap aman. |
| <i>Shore Tank</i> | Tangki penyimpanan di darat yang digunakan untuk menerima muatan cair dari kapal dan menampung sementara sebelum distribusi. |
| <i>Jetty</i> | Struktur dermaga yang menjorok ke laut, digunakan untuk tambat kapal dan sebagai lokasi transfer muatan antara kapal dan terminal. |
| <i>ISGOTT</i> | <i>International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals</i> standar internasional untuk keselamatan operasi kapal tanker dan terminal. |
| <i>OCIMF</i> | <i>Oil Companies International Marine Forum</i> organisasi yang mengeluarkan panduan teknis keselamatan dan operasional kapal tanker. |
| <i>Cryogenic Cargo</i> | Muatan cair yang disimpan pada suhu sangat rendah untuk menjaga fase cairnya (misalnya <i>LNG & LPG</i>). |
| <i>Metric Ton (MT)</i> | Satuan massa muatan yang setara dengan 1.000 kilogram. |
| <i>Sounding Table / Tank Calibration Table</i> | Tabel referensi yang digunakan untuk menentukan volume muatan berdasarkan tinggi permukaan cairan dalam tangki. |

DAFTAR RUMUS DAN PERSAMAAN

| | |
|---|---|
| Rumus <i>Shrinkage Factor</i> (Faktor Pemuaiian)..... | 6 |
| Rumus <i>Observation Volume</i> | 7 |
| Rumus <i>Massa Liquid</i> | 7 |
| Rumus <i>Volume Vapor</i> | 7 |
| Rumus <i>Gas Factor Ethylene</i> | 7 |
| Rumus <i>Massa Vapor</i> | 7 |
| Rumus <i>Massa Total</i> | 7 |