



**TUGAS AKHIR - FINAL PROJECT - MS 234801**

**Desain Konseptual Kapal Pengangkut BBM untuk Wilayah Kepulauan  
3T: Studi Kasus Kabupaten Maluku Barat Daya**

**Lintang Al Hilal Fitri**

**NRP 5021201018**

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Tri Achmadi, Ph.D.**

**Ir. Muhammad Riduwan, S.Kom., M.Kom.**

**DEPARTEMEN TEKNIK TRANSPORTASI LAUT**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2024**



**TUGAS AKHIR - FINAL PROJECT - MS 234801**

**Desain Konseptual Kapal Pengangkut BBM untuk Wilayah Kepulauan  
3T: Studi Kasus Kabupaten Maluku Barat Daya**

**Lintang Al Hilal Fitri**

**NRP 5021201018**

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Tri Achmadi, Ph.D.**

**Ir. Muhammad Riduan, S.Kom., M.Kom.**

**DEPARTEMEN TEKNIK TRANSPORTASI LAUT**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2024**



**FINAL PROJECT - MS 234801**

**Conceptual Design of a Fuel Transport Vessel for the 3T Archipelago Areas: Case Study of Southwest Maluku Regency**

**Lintang Al Hilal Fitri**

**NRP 5021201018**

**Advisors**

**Ir. Tri Achmadi, Ph.D.**

**Ir. Muhammad Riduwan, S.Kom., M.Kom.**

**DEPARTMENT OF MARINE TRANSPORTATION ENGINEERING**

**Faculty of Marine Technology**

**Sepuluh Nopember Institute of Technology**

**Surabaya 2024**

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## ABSTRAK

Nama : Lintang Al Hilal Fitri  
Judul : Desain Konseptual Kapal Pengangkut BBM untuk Wilayah Kepulauan 3T:  
Studi Kasus Kabupaten Maluku Barat Daya  
Pembimbing : 1. Ir. Tri Achmadi, Ph.D.  
2. Ir. Muhammad Riduwan, S.Kom., M.Kom

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kelangkaan bahan bakar minyak (BBM) di Kabupaten Maluku Barat Daya (MBD), sebuah daerah kepulauan terluar di Indonesia. Tantangan distribusi muncul akibat gangguan cuaca yang sering menghambat pasokan BBM. Penelitian ini mengeksplorasi solusi melalui perancangan pola operasi dan moda transportasi laut yang efisien. Pola operasi akan ditentukan berdasarkan analisis kebutuhan distribusi, sedangkan desain konseptual moda transportasi laut disesuaikan dengan kondisi lingkungan Kabupaten MBD. Kapal yang sudah ada ada dievaluasi dari segi stabilitas dan kemampuan *sea-keeping*, dengan hasil evaluasi tersebut dijadikan kriteria dasar untuk merancang kapal baru. Kapal baru dirancang menggunakan spesifikasi yang dihasilkan dari simulasi Monte Carlo, yang mempertimbangkan ketidakpastian permintaan BBM dan durasi gangguan cuaca, sehingga dapat memastikan distribusi yang andal dalam berbagai skenario. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar untuk meningkatkan ketersediaan BBM dan infrastruktur transportasi laut, serta mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan di Kabupaten Maluku Barat Daya.

Kata Kunci: Desain Kapal, Distribusi BBM, Transportasi Laut

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## ABSTRACT

*Name* : Lintang Al Hilal Fitri

*Title* : *"Conceptual Design of a Fuel Transport Vessel for the 3T Archipelago Areas: Case Study of Southwest Maluku Regency"*

*Advisors* : 1. Ir. Tri Achmadi, Ph.D.

2. Ir. Muhammad Riduwan, S.Kom., M.Kom

This study aims to address the scarcity of fuel oil (BBM) in Maluku Barat Daya (MBD) Regency, a remote archipelagic region in Indonesia. Distribution challenges arise due to frequent supply disruptions caused by adverse weather conditions. This research explores solutions through the design of efficient operational patterns and maritime transportation modes. The operational patterns will be determined based on distribution needs analysis, while the conceptual design of maritime transportation modes will be tailored to the environmental conditions of MBD Regency. Existing vessels will be evaluated in terms of stability and seakeeping performance, with the evaluation results serving as the baseline criteria for designing new vessels. The new vessels will be designed based on specifications derived from Monte Carlo simulations, which consider the uncertainties in BBM demand and weather disruption duration, ensuring reliable distribution across various scenarios. The results of this study are expected to provide a foundation for improving BBM availability and maritime transportation infrastructure, thereby supporting sustainable economic growth in Maluku Barat Daya Regency.

*Keywords:* *Ship Design, Fuel Distribution, Marine Transportation.*

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul "**Desain Konseptual Kapal Pengangkut BBM untuk Wilayah Kepulauan 3T: Studi Kasus Kabupaten Maluku Barat Daya**". Penelitian ini disusun dalam rangka pemenuhan bidang riset di Departemen Teknik Transportasi Laut, serta digunakan sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan S1.

Dalam penyusunan buku ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Keluarga yang telah memberikan dorongan spiritual dan material dalam penyelesaian penelitian ini. Terutama kepada Ibu atas dukungannya kepada penulis, Terimakasih telah sabar dan tak pernah lelah memberikan semangat.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Tri Achmadi, Ph.D dan Muhammad Riduwan, S.Kom., M.Kom atas arahan dan bimbingan selama penggerjaan penelitian tugas akhir ini. Serta kepada Bapak-Ibu dosen pengajar Departemen Teknik Transportasi Laut atas pengajaran dan perhatian yang diberikan kepada penulis selama ini.

Dan terakhir, terima kasih kepada rekan-rekan Kos Qur'an 9 atas pengalamannya kepada penulis. dan kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Transportasi Laut 2020, AK-SAVANA T-18.

Kesempurnaan hanya milik Allah SWT, untuk itu penulis memohon segenap kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, aamiin.

Surabaya, Januari 2025

Lintang Al Hilal Fitri

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>KATA PENGANTAR</b>	vii
<b>DAFTAR ISI</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b>	xv
<b>1 PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	3
1.3 Tujuan . . . . .	3
1.4 Batasan Masalah . . . . .	4
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
2.1 Penelitian Terkait . . . . .	5
2.2 Perancangan Kapal . . . . .	6
2.2.1 Sejarah Singkat Perancangan Kapal . . . . .	6
2.2.2 Tahapan Utama Perancangan Kapal . . . . .	6
2.2.3 Tujuan dari <i>Preliminary Design</i> . . . . .	7
2.2.4 Prosedur Perancangan Kapal . . . . .	8
2.3 Simulasi Monte Carlo . . . . .	9
2.4 Bahan Bakar Minyak . . . . .	11
2.4.1 Bensin . . . . .	11
2.4.2 Minyak Tanah . . . . .	12
2.4.3 Solar . . . . .	14

2.5	Teori Gerak Kapal . . . . .	15
2.5.1	Macam-Macam Gerakan Kapal . . . . .	15
2.5.2	Frekuensi Alami Bangunan Laut . . . . .	16
2.5.3	Kriteria <i>Seakeeping</i> Kapal . . . . .	17
2.6	Spektrum Gelombang . . . . .	19
2.6.1	Analisis Fourier . . . . .	19
2.6.2	Bretschneider-1959 . . . . .	21
2.6.3	JONSWAP . . . . .	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>23</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian . . . . .	23
3.2	Tahap Persiapan . . . . .	24
3.3	Pengujian Hipotesis . . . . .	24
3.3.1	Analisis <i>Seakeeping</i> dan Stabilitas . . . . .	24
3.3.2	Simulasi Pemasokan BBM . . . . .	25
3.3.3	Penentuan Biaya Publik . . . . .	25
3.4	Tahap Simulasi dan Optimasi . . . . .	25
3.4.1	Tahap Simulasi . . . . .	26
3.4.2	Tahap Optimasi . . . . .	27
3.5	Tahap Perancangan Kapal . . . . .	29
3.6	Tahap Penutup . . . . .	30
<b>4</b>	<b>ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	<b>31</b>
4.1	Gambaran Umum . . . . .	31
4.1.1	Model Permintaan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya . . . . .	31
4.1.2	Sistem Penyaluran BBM Kabupaten Maluku Barat Daya . . . . .	32
4.2	Pembuktian Hipotesis . . . . .	34
4.2.1	Pengaruh Ukuran Utama terhadap Operasional Kapal . . . . .	35
4.2.2	Hasil Uji <i>Seakeeping</i> . . . . .	35
4.2.3	Hasil Simulasi Pemasokan . . . . .	37
4.3	Analisis Sisi Pasokan . . . . .	37

4.3.1	Batasan Sarat Pelabuhan . . . . .	37
4.3.2	Variasi Durasi Gangguan Cuaca . . . . .	38
4.3.3	Usulan Rute Pemasokan Baru . . . . .	38
4.4	Hasil Simulasi dan Optimasi . . . . .	39
4.4.1	Ukuran Utama Kapal Terpilih . . . . .	39
4.4.2	Distribusi Ekspektasi Biaya Tahunan . . . . .	39
4.4.3	Analisis Kemungkinan Jumlah Perjalanan Tahunan . . . . .	39
4.4.4	Analisis Kemungkinan Kelangkaan BBM . . . . .	41
4.4.5	Perhitungan Kebutuhan Tangki Tambahan . . . . .	41
4.5	Perancangan Kapal . . . . .	43
4.5.1	Perhitungan Koefisien Utama Kapal . . . . .	43
4.5.2	Perhitungan Hambatan . . . . .	44
4.5.3	Perhitungan Propulsi . . . . .	44
4.5.4	Perhitungan <i>Deadweight</i> Kapal . . . . .	45
4.5.5	Perhitungan <i>Lightweight</i> Kapal . . . . .	45
4.5.6	Perhitungan Tonase Kapal . . . . .	45
4.5.7	Perhitungan Stabilitas . . . . .	46
4.5.8	Rencana Garis . . . . .	46
4.5.9	Rencana Umum . . . . .	46
4.6	Analisis Kesenjangan . . . . .	48
<b>5</b>	<b>PENUTUP</b>	<b>49</b>
5.1	Kesimpulan . . . . .	49
5.2	Saran . . . . .	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>53</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>55</b>
<b>Biodata Penulis</b>		<b>57</b>

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR GAMBAR

1.1	Grafik Pendapatan Domestik Bruto Indonesia per unit energi yang dikonsumsi (World Bank Group Archives, 2024). . . . .	1
1.2	Grafik Komposisi Konsumsi Energi Indonesia (IEA, 2024). . . . .	2
1.3	Antrian Panjang Warga di satu-satunya SPBU yang menjual BBM di Kota Tiakur (Kurniati, 2024). . . . .	3
2.1	Proses Perancangan Kapal (Levander, 2003). . . . .	7
2.2	Proses Desain Spiral (Taggart, 1980). . . . .	9
2.3	Penggunaan <i>Microsoft Excel</i> untuk melakukan simulasi (Macarty, 2013) . . .	10
2.4	Ilustrasi penggunaan Bahasa R untuk Simulasi (Rendyk, 2021) . . . . .	11
2.5	Ilustrasi BBM Jenis Bensin . . . . .	11
2.6	Ilustrasi Pengendara Motor Membeli Bensin di SPBU Pertamina (Gridoto.com)	12
2.7	Potret Penduduk sedang Mengantre Minyak Tanah (Radiodms, 2021) . . . .	13
2.8	Penggunaan Minyak Tanah untuk Memasak (Jumahudin, 2021) . . . . .	14
2.9	Potret Salah Satu Stasiun Pengisian Bio Solar (Rizky, 2022) . . . . .	15
2.10	Ilustrasi 6 Jenis Gerak Kapal . . . . .	16
2.11	Gelombang acak terbentuk dari superposisi gelombang-gelombang reguler dalam jumlah tak berhingga . . . . .	21
3.1	Diagram Alir Penelitian . . . . .	23
3.2	Diagram Alir Simulasi . . . . .	26
3.3	Diagram Alir Perancangan Kapal . . . . .	29
4.1	Peta Administrasi Kabupaten Maluku Barat Daya (PTI, 2014) . . . . .	31
4.2	Grafik Pemasokan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya berdasarkan Titik Pemasokan . . . . .	32
4.3	Grafik Distribusi Kumulatif Konsumsi Harian BBM . . . . .	33
4.4	Grafik Kuota dan Realisasi BBM Kabupaten Maluku Barat Daya Tahun 2021 (Pertamina, 2021) . . . . .	33
4.5	Pola Operasi Pemasokan BBM Kabupaten MBD Saat Ini . . . . .	34

4.6	Grafik Pemasokan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya Tahun 2023 berdasarkan kapal . . . . .	35
4.7	Hasil Uji <i>Seakeeping</i> Model Kapal . . . . .	36
4.8	Hasil Uji Gerak <i>Pitch</i> Kapal saat ini . . . . .	36
4.9	Hasil Uji Gerak <i>Heave</i> Kapal saat ini . . . . .	36
4.10	Hasil Uji Gerak <i>Roll</i> Kapal saat ini . . . . .	37
4.11	Grafik Distribusi Kumulatif Ketinggian Gelombang Laut Banda . . . . .	38
4.12	Gambar Ilustrasi Rute Pemasokan Baru . . . . .	39
4.13	Hasil Simulasi Biaya . . . . .	40
4.14	Hasil Simulasi Frekuensi . . . . .	41
4.15	Grafik Distribusi Kumulatif <i>Load Factor</i> dan <i>Over Capacity</i> BBM . . . . .	42
4.16	Grafik Distribusi Kumulatif <i>Load Factor</i> Kapal Keseluruhan . . . . .	42
4.17	Rencana Garis Kapal yang Sudah Dibuat . . . . .	47
4.18	Rencana Garis Kapal yang Sudah Dibuat . . . . .	47
1	Permintaan BBM yang Tidak Terpenuhi Saat Ini . . . . .	55
2	Hasil Simulasi Biaya Saat Ini . . . . .	56

## **DAFTAR TABEL**

2.1	Kriteria seakeeping untuk kapal militer (Olson, 1978) . . . . .	18
4.1	Tabel Variasi Input untuk Konsumsi Harian BBM . . . . .	34
4.2	Ukuran Kapal yang Dievaluasi . . . . .	35
4.3	Tabel Ringkasan Statistik Simulasi . . . . .	37
4.4	Data Kedalaman Pelabuhan . . . . .	38
4.5	Ringkasan Hasil Simulasi Skenario . . . . .	40
4.6	Tabel Ukuran Utama Hasil Optimasi . . . . .	40
4.7	Rekapitulasi Tambahan Tangki yang Dibutuhkan . . . . .	43
4.8	Tabel Kriteria Stabilitas IMO . . . . .	46
4.9	Perbandingan Biaya (dalam juta rupiah) . . . . .	48
4.10	Perbandungan Operasional . . . . .	48

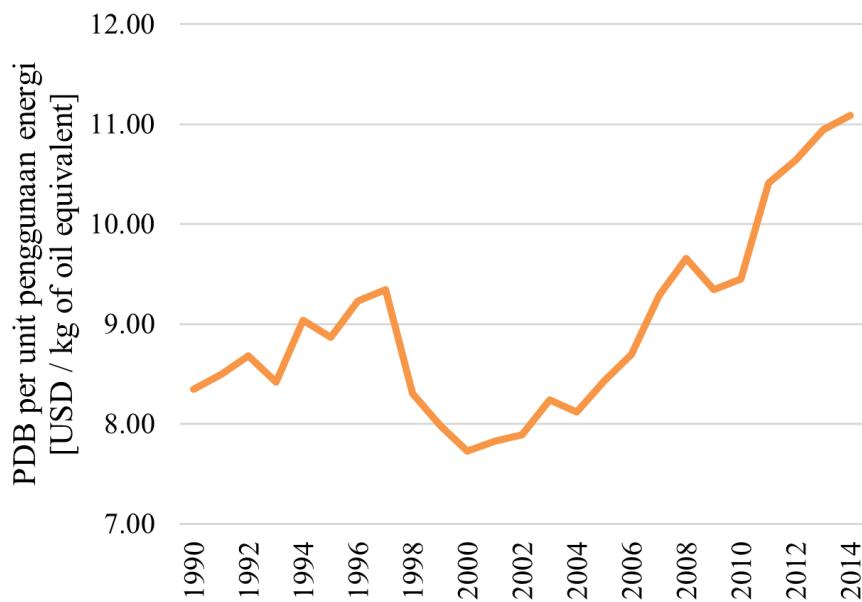
*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

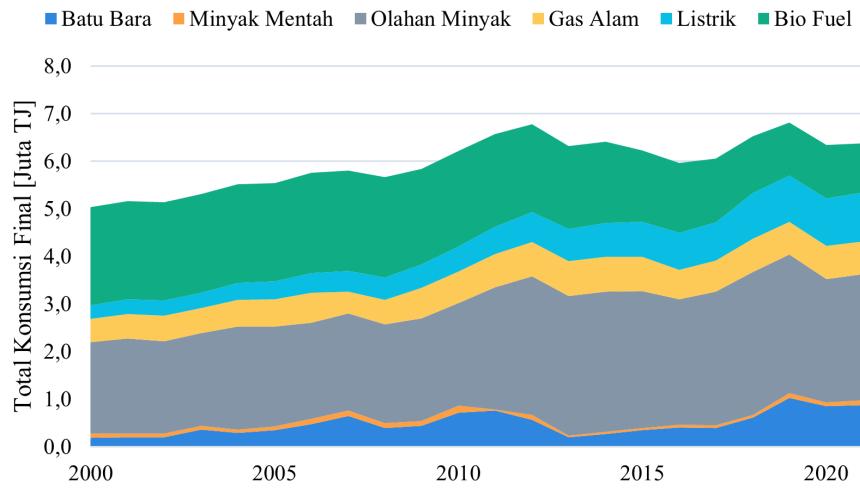
Konsumsi energi dan perkembangan ekonomi sangat berkaitan satu dengan yang lain (Burke et al., 2018). Meskipun masih menjadi perdebatan di kalangan peneliti tentang hubungan kausalitas antar keduanya. Namun sejarah telah membuktikan bukti yang nyata, bahwa peningkatan aktivitas ekonomi selalu diikuti dengan meningkatnya konsumsi energi (Jack, 2024). Sebelum revolusi industri, aktivitas ekonomi masih dibatasi oleh sumber energi organik seperti tenaga manusia, hewan ternak atau sinar matahari, akan tetapi setelah ditemukannya mesin uap aktivitas ekonomi berekspansi besar-besaran dengan dimungkinkannya penggunaan alat dan sistem produksi yang baru. Kelaziman tersebut juga terjadi di Indonesia dengan naiknya PDB per unit energi yang dikonsumsi tahun per tahun, hal tersebut dapat dilihat pada grafik 1.1.



Gambar 1.1: Grafik Pendapatan Domestik Bruto Indonesia per unit energi yang dikonsumsi (World Bank Group Archives, 2024).

Seperti yang ditampilkan pada grafik 1.2 produk olahan minyak tetap menjadi jenis energi dominan yang dikonsumsi di Indonesia, diikuti oleh listrik dan biofuel (IEA, 2024). Bensin dan solar adalah jenis BBM yang paling banyak digunakan di negara ini. Namun, dominasi minyak dalam komposisi konsumsi energi menghadirkan tantangan tersendiri dalam sektor energi bagi Indonesia. Selain karena sumber energi ini tidak berkelanjutan, aksesibi-

litas atau kemampuan masyarakat untuk mengakses energi tersebut juga menjadi masalah.



Gambar 1.2: Grafik Komposisi Konsumsi Energi Indonesia (IEA, 2024).

Meskipun BBM merupakan jenis energi yang paling banyak digunakan, akses masyarakat terhadapnya masih tertinggal dibandingkan dengan listrik. Rasio elektrifikasi Indonesia mencapai 99,79% pada tahun 2023 (Syofiqiadi, 2024), sementara aksesibilitas BBM masih jauh dari merata, mendorong pemerintah untuk berupaya mengejar ketertinggalan dan memeratakan akses BBM ke seluruh penjuru Indonesia (Kontan, 2024). Kondisi geografis Indonesia yang berupa pegunungan dan kepulauan, bersama dengan karakteristik BBM yang memerlukan distribusi dari titik produksi ke titik konsumsi, menjadi faktor utama kesenjangan akses terhadap BBM. Di sisi lain, listrik dapat diproduksi hampir di mana saja dengan adanya sumber energi dan mesin pembangkit, membuat pemerataan akses listrik lebih mudah.

Kabupaten Maluku Barat Daya (MBD), sebuah kepulauan di sisi barat daya Kepulauan Maluku, masih bergulat dengan kesulitan akses Bahan Bakar Minyak (BBM). Kondisi kepulauan dengan jarak antar pulau yang terbentang jauh, ditambah letaknya yang lebih dekat dengan Timor Leste dibandingkan Ambon (ibukota provinsi), menjadikan MBD sebagai daerah 3TP (Tertinggal, Terluar, Terdepan, dan Perbatasan).

Akses Bahan Bakar Minyak (BBM) di Kabupaten Maluku Barat Daya (MBD) menghadapi tantangan utama pada akses perairan. Perairan MBD merupakan perairan lepas yang berbatasan langsung dengan Laut Timor dan Samudera Hindia, sehingga tidak semua kapal dapat berlayar di wilayah tersebut. Hal ini menjadikan akses melalui perairan, yang merupakan akses utama, semakin rumit. Kelangkaan BBM di MBD kerap terjadi, terutama saat cuaca memburuk. Pada bulan Maret 2024, kelangkaan BBM kembali terjadi akibat ombak tinggi dan angin kencang yang menghambat pelayaran kapal pemasok BBM (RRI, 2024).

Dengan memperhatikan kompleksitas geografis Kabupaten Maluku Barat Daya yang terdiri dari pulau-pulau terpencil dan akses darat yang terbatas, menjadi penting untuk



Gambar 1.3: Antrian Panjang Warga di satu-satunya SPBU yang menjual BBM di Kota Tiakur (Kurniati, 2024).

merancang strategi penyaluran BBM yang efisien dan dapat diandalkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang pola penyaluran BBM dan moda transportasi laut yang sesuai dengan karakteristik geografis Kabupaten MBD. Diharapkan hasil dari tugas akhir ini dapat menjadi pertimbangan untuk meningkatkan ketersediaan BBM dan memperbaiki infrastruktur transportasi laut guna mendukung perkembangan ekonomi yang berkelanjutan di Kabupaten Maluku Barat Daya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diangkat pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja kapal pengangkut BBM yang ada saat ini mendukung sistem penyaluran BBM di Kabupaten Maluku Barat Daya?
2. Bagaimana desain kapal pengangkut BBM yang lebih optimal untuk Kabupaten Maluku Barat Daya?
3. Bagaimana perbandingan sistem pengangkutan baru dengan sistem yang sudah ada dari sisi biaya?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah didapatkan maka didapatkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mengetahui kinerja desain kapal yang sudah ada dalam mengangkut BBM untuk Kabupaten Maluku Barat Daya.

2. Merancang desain kapal pengangkut BBM yang optimal untuk Kabupaten Maluku Barat Daya.
3. Mengetahui biaya sistem pengangkutan BBM baru serta selisihnya dengan biaya sistem yang sudah ada.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan permasalahan yang diangkat, maka penelitian ini dilakukan dengan batasan dan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Penyaluran BBM yang dimaksud adalah penyaluran dari TBBM Saumlaki menuju titik pemasokan yang ada di Kabupaten Maluku Barat Daya
2. Luaran desain kapal yang dilakukan adalah rencana garis dan rencana umum.
3. Pemilihan kriteria optimal didasarkan pada rata-rata ekspektasi biaya tahunan terkecil serta ekspektasi terkecil terhadap ketidakmampuan memenuhi permintaan BBM.
4. Evaluasi desain dilakukan dari sisi stabilitas dan seakeeping kapal.
5. Analisis penawaran terbatas pada sisi kapal dan pola operasi pemasokan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Beberapa pendahulu penulis di Departemen Teknik Transportasi Laut Fakultas Teknologi Kelautan ITS telah menghasilkan sejumlah tugas akhir yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas distribusi bahan bakar minyak (BBM) melalui transportasi laut di wilayah Indonesia. Tugas-tugas akhir tersebut mengangkat distribusi BBM sebagai fokus penelitian yang mendalam. Melalui penelitian-penelitian sebelumnya, berbagai aspek terkait dengan distribusi BBM telah diteliti dengan tujuan untuk mengidentifikasi solusi-solusi inovatif dalam mengatasi tantangan distribusi BBM di wilayah Indonesia.

Penelitian oleh Nabila Hidni (Hidni, 2016) menyoroti tantangan dalam mempertahankan pasokan BBM yang memadai di wilayah tujuan ketika armada kapal tanker inti sedang tidak tersedia. Kendala ini memicu permasalahan dalam keamanan pasokan, terutama di wilayah Indonesia Timur, karena sulitnya mencari kapal pengganti dengan harga sewa yang terjangkau dan dalam waktu yang singkat. Irfatil Karimah (Karimah, 2016) menjelaskan upaya optimalisasi kepemilikan armada tanker untuk memastikan distribusi BBM yang paling ekonomis, dengan mengidentifikasi model kepemilikan dan pola operasi yang paling efisien.

Selanjutnya, penelitian oleh Ni Putu Intan Pratiwi (Pratiwi and Hadi, 2013) menekankan pentingnya internalisasi biaya eksternal dalam perhitungan unit cost pengangkutan BBM. Penelitian ini mencoba memodelkan dampak jika biaya-biaya eksternal seperti demurrage, biaya polusi, dan biaya kongesti dimasukkan secara langsung dalam perhitungan biaya transportasi laut. Internalisasi biaya-biaya ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih akurat tentang biaya sebenarnya dalam distribusi BBM dan mendorong pemangku kepentingan untuk mencari solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Terakhir, penelitian oleh Putra Alhamda (Alhamda, 2016) menggali alternatif distribusi BBM di wilayah kepulauan, dengan fokus pada Nusa Tenggara Barat (NTB). Studi ini membandingkan biaya logistik BBM antara penggunaan kapal tanker dan kapal petikemas, serta pembangunan kapal petikemas baru. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan kapal petikemas dapat menjadi pilihan yang lebih ekonomis dengan syarat infrastruktur pelabuhan mendukung, menunjukkan peran pentingnya infrastruktur dalam menentukan efisiensi sistem distribusi BBM.

## 2.2 Perancangan Kapal

### 2.2.1 Sejarah Singkat Perancangan Kapal

Pada masa lalu, perancangan kapal lebih bergantung kepada pengalaman dan intuisi dari seorang insinyur perancang kapal daripada metode sains. Desainer menggunakan pendekatan heuristik dan *trial-and-error* selama bertahun-tahun. Kemudian dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, metode ini secara perlahan digantikan dengan metode semi-empiris dan berdasarkan data statistik kapal-kapal yang sudah dibangun.

Pada masa ini, perancangan kapal adalah proses yang kompleks. Merancang kapal berarti mampu melihat kapal sebagai sebuah integrasi dari berbagai macam subsistem, seperti penanganan muatan, propulsi kapal dan akomodasi awak. Pendekatan desain modern mempertimbangkan seluruh siklus hidup kapal, dari konsep dan pembangunan hingga saat operasi dan kapal di-*scrap* (Papanikolaou, 2014). Pendekatan holistik ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja kapal sepanjang siklus hidupnya, dengan mempertimbangkan berbagai faktor dan batasan.

Desain kapal melibatkan masalah optimasi yang kompleks, menyeimbangkan persyaratan yang bertentangan dari berbagai pemangku kepentingan seperti pemilik kapal, pembangun, dan regulator. Desain harus mencapai biaya konstruksi rendah, kapasitas angkut tinggi, efisiensi operasional, keselamatan, perlindungan lingkungan, dan faktor lainnya. Persyaratan desain awal merupakan hasil dari negosiasi dan kompromi di antara pengambil keputusan yang berpengalaman.

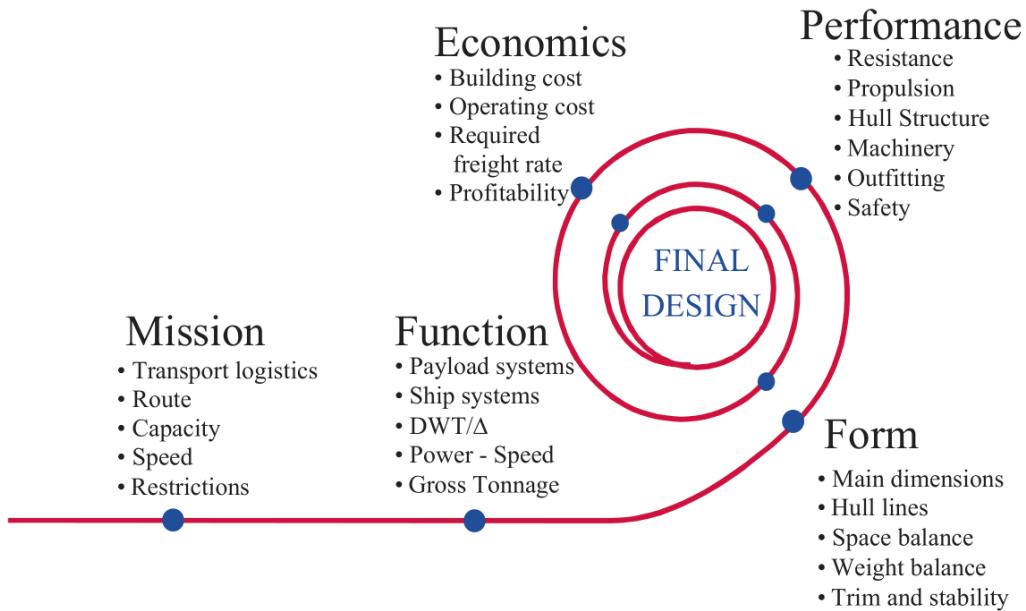
### 2.2.2 Tahapan Utama Perancangan Kapal

Secara tradisional, perancangan kapal dapat dibagi menjadi empat tahap utama yaitu:

- a. *Concept design*
- b. *Preliminary design*
- c. *Contract design*
- d. *Detailed design*

Dua tahap pertama juga dikenal dengan *basic design*. Gambar 2.1 menunjukkan tahapan-tahapan perancangan kapal yang bertujuan untuk mempertemukan antara tujuan khusus dari kapal tersebut, menjadi sebuah fungsi tertentu, bentuk, volume, berat, performa teknis dan karakteristik ekonomi dari kapal yang dirancang.

*Preliminary design* adalah tahapan desain dimana persyaratan atau spesifikasi yang dinginkan oleh pemilik kapal diterjemahkan menjadi karakteristik ekonomi dan karakteristik



Gambar 2.1: Proses Perancangan Kapal (Levander, 2003).

teknis dari kapal dengan metode optimasi. Optimasi disini bertujuan untuk menentukan biaya pembangunan kapal tersebut agar semakin kecil atau dalam operasionalnya nanti yang paling menguntungkan.

### 2.2.3 Tujuan dari *Preliminary Design*

*Preliminary design* atau Desain kapal awal mencakup tujuan-tujuan yang lebih rinci berikut ini:

- Pemilihan dimensi utama kapal
- Pengembangan bentuk lambung kapal (bagian terendam dan bagian di atas air)
- Spesifikasi jenis dan ukuran mesin utama serta sistem propulsi (penggerak)
- Perkiraan jenis dan daya mesin bantu
- Desain tata letak umum ruang utama dan ruang bantu (ruang kargo, ruang mesin, dan akomodasi)
- Spesifikasi peralatan penanganan kargo
- Desain elemen struktural utama untuk kekuatan longitudinal dan transversal
- Pengendalian kemampuan mengapung, stabilitas, trim, dan freeboard (regulasi stabilitas dan garis muat)
- Pengukuran tonase (GT)

Harus Dipahami bahwa penentuan semua elemen desain kapal di atas harus mematuhi spesifikasi berbagai aturan dan peraturan maritim nasional dan internasional, yang diberlakukan oleh otoritas nasional dan internasional (negara bendera dan negara pelabuhan, IMO) atau oleh lembaga klasifikasi internasional yang diakui. Dalam kasus kekurangan spesifikasi regulasi, dipahami bahwa kapal yang dirancang dan dibangun harus sesuai dengan keadaan terkini dalam ilmu dan teknologi pembuatan kapal.

Desain kapal awal adalah studi kelayakan teknno-ekonomi, yang berfokus pada kapal sebagai elemen kunci dalam sistem transportasi maritim global. Proses ini melibatkan pertimbangan perkembangan terbaru dalam teknologi pembuatan kapal dan kelautan, serta persyaratan fisik, teknis, dan ekonomi dari pemilik kapal, serta mematuhi peraturan nasional dan internasional.

Kompleksitas desain kapal muncul dari kebutuhan untuk menyeimbangkan berbagai persyaratan dan peraturan keselamatan yang sering kali bertentangan. Kondisi operasi unik kapal, termasuk interaksinya dengan air dan udara, dan beban dinamis yang dari kapal itu sendiri dan muatan yang diangkut menghadirkan tantangan ilmiah dan teknologi yang unik.

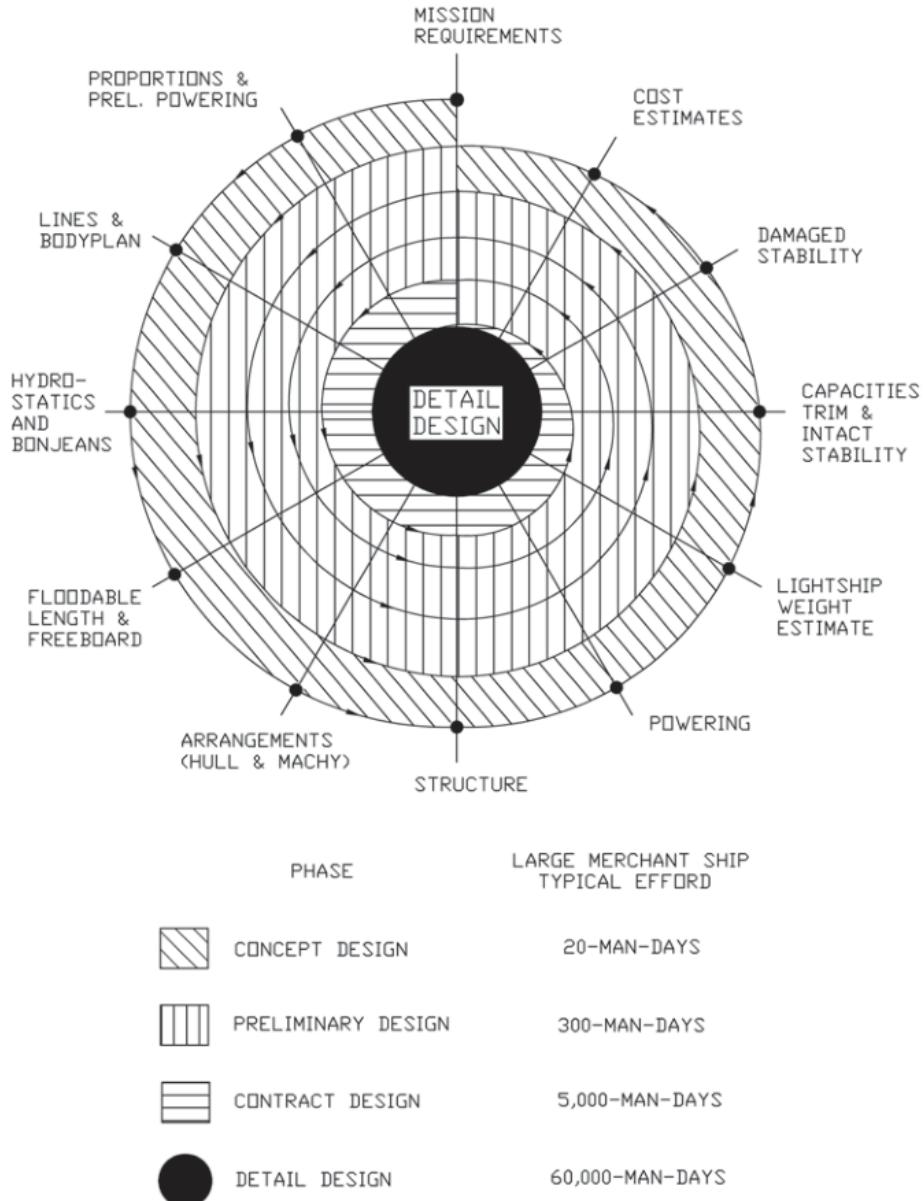
Desain kapal sering kali melampaui teknologi dan sains murni, menggabungkan elemen seni, terutama dalam desain jenis kapal tertentu seperti kapal pesiar penumpang dan yacht. Banyak masalah desain diselesaikan menggunakan intuisi dan pengalaman arsitek kapal daripada hanya mengandalkan alat dukungan keputusan modern, terutama karena keterbatasan waktu dan kompleksitas masalah (Papanikolaou, 2014). Meskipun demikian, kemajuan terbaru dalam teknologi informasi membuat adaptasi insinyur baru lebih mudah kedalam seluruh tahapan perancangan kapal.

#### **2.2.4 Prosedur Perancangan Kapal**

Prosedur atau pola pikir yang biasa digunakan dalam perancangan kapal adalah desain spiral. Dikatakan desain spiral karena proses desain antar tahapan maupun bagiannya harus dilakukan dengan urut dan saling bertimbali balik. Ketika ada persyaratan yang tidak dapat dipenuhi pada suatu tahapan desain baik dari sisi spesifikasi yang diinginkan pemilik kapal maupun regulator, dilakukan evaluasi pada proses sebelumnya sehingga dikatakan desain spiral.

Spiral desain secara efektif menggambarkan urutan proses desain kapal melalui berbagai langkah desain, prosedur iteratif yang berulang untuk penentuan dimensi kapal dan sifat-sifat lainnya, dan akhirnya, pendekatan bertahap menuju tahap akhir desain kapal yang detail. Dalam gambar 2.2, diberikan beberapa standar atau beban dalam hari kerja untuk penyelesaian setiap tahap desain kapal, grafik tersebut disesuaikan proses desain kapal niaga besar pada akhir 1950-an.

### **2.3 Simulasi Monte Carlo**



Gambar 2.2: Proses Desain Spiral (Taggart, 1980).

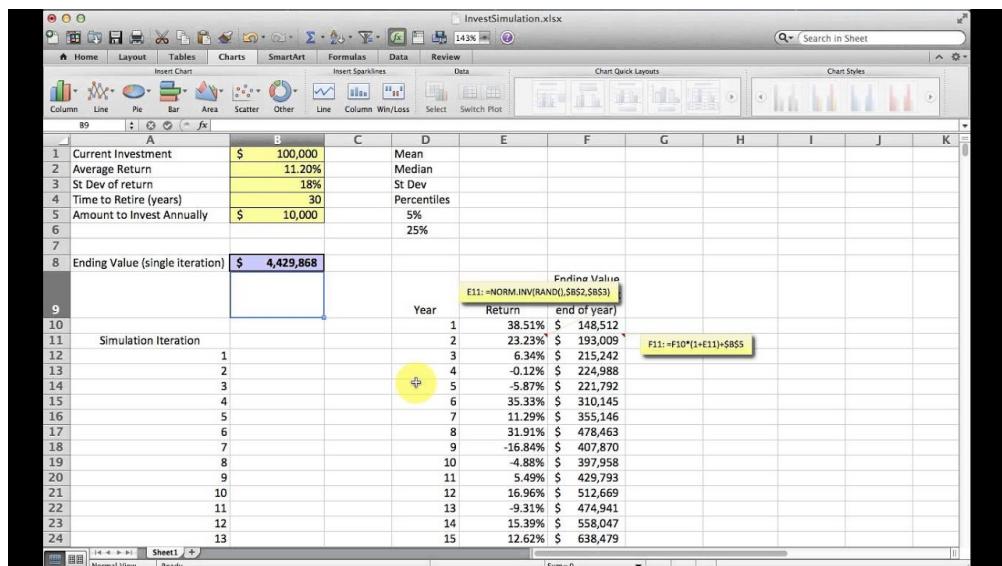
Simulasi Monte Carlo adalah teknik untuk memperkirakan nilai suatu fungsi ketika perhitungan langsung sulit atau tidak mungkin dilakukan. Teknik ini menggunakan sampling acak untuk menetapkan batasan pada nilai dan kemudian memberikan hasil yang mendekati. Kemajuan dalam komputasi telah merevolusi simulasi stokastik atau Monte Carlo. Dinamai menurut kasino perjudian Monte Carlo di Monaco, metode ini, yang juga dikenal sebagai metode percobaan statistik, menggabungkan teori probabilitas dari proses acak, seperti gerakan Brownian, dengan teori potensial, yang memeriksa keadaan keseimbangan dalam medium homogen. Metode ini menyelesaikan masalah secara mendekati menggunakan deret angka acak dengan menemukan analog probabilistik dan mendapatkan jawaban mendekati melalui sampling eksperimental (Muqri, 2020).

Metode Monte Carlo dapat dikenali dari tiga karakteristik utamanya:

- Pembuatan sampel yang acak
- Penentuan distribusi input yang diketahui
- Percobaan secara numerik

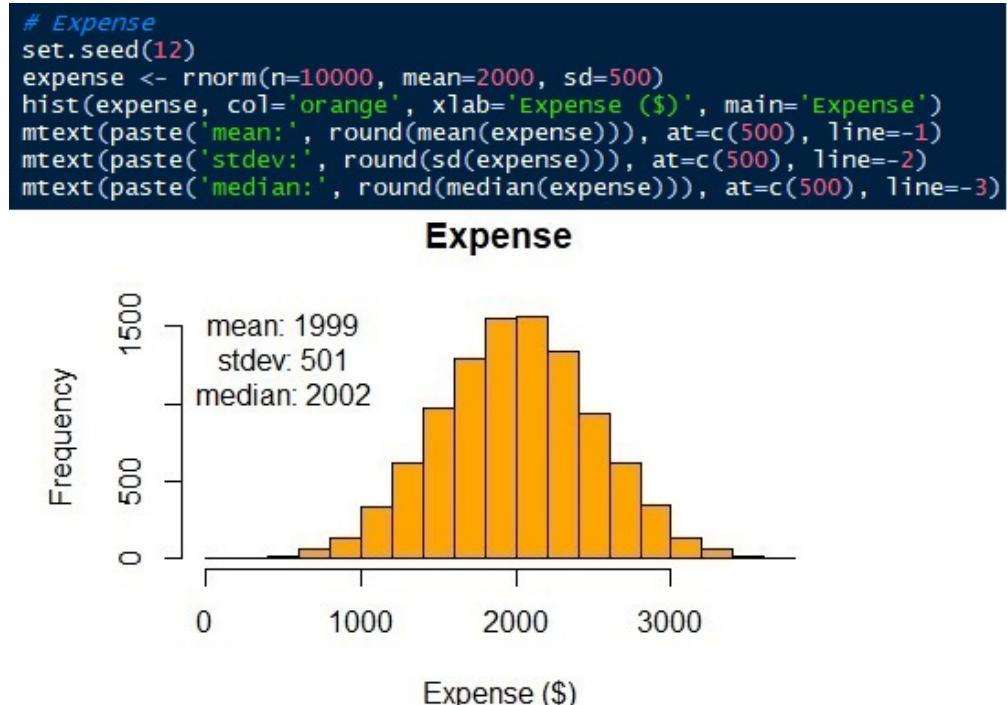
Output utama dari simulasi Monte Carlo adalah generasi sampel acak, sementara output kinerja atau statistik lainnya bergantung pada aplikasi spesifik. Berbagai percobaan numerik dapat dilakukan, termasuk distribusi probabilitas, yang mengidentifikasi kemungkinan setiap nilai dari variabel acak yang tidak diketahui (diskret) atau kemungkinan nilai tersebut jatuh dalam interval tertentu (kontinu). Untuk variabel acak kontinu, probabilitas dari nilai spesifik adalah nol. Contoh distribusi kontinu termasuk distribusi normal, seragam kontinu, beta, dan gamma (Muqri, 2020).

Metode Monte Carlo sangat penting untuk menganalisis instrumen keuangan, portofolio, aset, berbagai jalur harga, dan perhitungan nilai opsi akhir. Metode ini unggul dalam menangani persamaan kompleks, membantu dalam perhitungan nilai yang tidak pasti, yang membantu dalam menganalisis nilai akhir dari instrumen atau aset. Karena nilai input juga bisa dikehendaki maka analis dapat melakukan percobaan sesuai dengan derajat keyakinan mereka atau memodelkan pendapatan sesuai dengan penanganan resiko yang mereka anut.



Gambar 2.3: Penggunaan *Microsoft Excel* untuk melakukan simulasi (Macarty, 2013)

Simulasi Monte Carlo adalah alat yang tepat untuk memprediksi hasil masa depan dengan menghitung formula berulang kali dengan input acak yang berbeda. Penggunaan metode ini di bidang bisnis untuk memprediksi nilai masa depan dapat dilakukan dengan menghitung formula beberapa kali dengan input acak untuk saat ini dapat dilakukan di



Gambar 2.4: Ilustrasi penggunaan Bahasa R untuk Simulasi (Rendyk, 2021)

Excel dengan VBA atau plugin pihak ketiga, menggunakan alternatif seperti *numpy* dan *pandas* untuk membangun model dan menghasilkan berbagai hasil relatif mudah jika kita memiliki keterampilan dasar dalam bahasa Python. Selain itu, analis dapat menjalankan berbagai skenario dengan mengubah input, memungkinkan pemodelan yang lebih kompleks di masa depan sesuai kebutuhan.

## 2.4 Bahan Bakar Minyak

### 2.4.1 Bensin



Gambar 2.5: Ilustrasi BBM Jenis Bensin

Bensin adalah cairan yang sangat mudah terbakar dan volatil yang terdiri dari hidrokarbon, yang terutama diproduksi melalui penyulingan minyak bumi. Bensin terutama digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin penyala percikan, yang umum ditemukan pada

mobil dan beberapa pesawat terbang. Properti penting yang mempengaruhi kinerja mesin termasuk volatilitasnya (diukur dengan tekanan uap Reid), angka oktan, dan kandungan panas. Tekanan uap Reid (RVP) adalah faktor penting dalam menentukan bagaimana bensin berfungsi di mesin (Hsu and Robinson, 2017).

Peraturan lingkungan saat ini membatasi zat-zat yang berkontribusi pada pembentukan asap, melarang penggunaan tetraetil timbal (TEL), dan mengontrol tingkat sulfur, olefin, benzena, dan oksigenat dalam bensin. Bensin diproduksi di kilang dari berbagai bahan campuran menggunakan proses seperti distilasi minyak mentah, reformasi katalitik, pemecahan katalitik fluida (FCC), pemecahan termal, hidrokrediksi, alkilasi, isomerisasi, dan polimerisasi katalitik.

Untuk memastikan bensin memenuhi standar pasar, aditif sering kali ditambahkan untuk mencegah oksidasi dan korosi, menetralkan logam sisa, mengurangi penumpukan karbon pada katup masuk dan ruang pembakaran, serta menghindari pembentukan es di saat cuaca dingin (Hsu and Robinson, 2017).

Bensin di Indonesia sebagian besar dipasok oleh PT. Pertamina (Persero) dengan nama Pertalite. Meskipun sekarang sudah banyak pemasok bahan bakar lain dari swasta namun pembelian bensin lewat SPBU Pertamina masih disukai masyarakat karena mendapatkan subsidi dari Pemerintah.



Gambar 2.6: Ilustrasi Pengendara Motor Membeli Bensin di SPBU Pertamina (Gridoto.com)

#### 2.4.2 Minyak Tanah

Minyak tanah telah menjadi bahan bakar rumah tangga yang penting sejak pertengahan abad ke-19, namun penggunaannya telah mengalami penurunan signifikan di negara-negara maju akibat elektrifikasi. Sebaliknya, negara-negara berkembang masih banyak menggunakan minyak tanah untuk memasak dan penerangan. Beberapa studi sudah menyoroti

ketergantungan yang terus berlanjut pada minyak tanah di negara-negara berkembang, emisi yang dihasilkannya, dan bahaya terkait.



Gambar 2.7: Potret Penduduk sedang Mengantri Minyak Tanah (Radiodms, 2021)

Minyak tanah sering dianggap sebagai alternatif yang lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar padat seperti biomassa dan batu bara untuk memasak, dan umumnya digunakan dalam lampu di tempat-tempat yang tidak memiliki akses listrik. Sekitar 500 juta rumah tangga di seluruh dunia masih menggunakan minyak tanah untuk penerangan. Namun, penelitian tentang dampaknya masih terbatas dan tidak konsisten. Bahaya yang diketahui dari minyak tanah termasuk keracunan, kebakaran, dan ledakan, dengan beberapa perangkat mengeluarkan tingkat partikel halus, karbon monoksida, oksida nitrogen, dan sulfur dioksida yang tinggi. Emisi ini dapat mengganggu fungsi paru-paru dan meningkatkan risiko penyakit menular, asma, dan kanker (Lam et al., 2012).

Mengingat penggunaan yang luas dan potensi bahayanya, diperlukan lebih banyak studi epidemiologi. Pemerintah seharusnya mempertimbangkan untuk mempromosikan teknologi yang lebih bersih untuk memasak dan penerangan alih-alih melanjutkan subsidi minyak tanah.

Menanggapi hal tersebut sejak tahun 2007, pemerintah Indonesia telah berupaya untuk mengalihkan rumah tangga dari minyak tanah ke gas. Meskipun akses ke gas cukup mudah, beberapa rumah tangga urban di Indonesia masih terus menggunakan minyak tanah untuk memasak. Salah satu daerah yang menjadi bukti nyata hal ini adalah Kabupaten Maluku Barat Daya. Data kuota BBM bersubsidi yang disalurkan oleh Pertamina untuk Kabupaten MBD menunjukkan bahwa sekitar 60% dari BBM yang disalurkan adalah minyak tanah.

Menurut data Susenas Maret 2018 dari BPS, terdapat 15.143 rumah tangga urban yang masih bergantung pada minyak tanah, dengan 80,20 persen di antaranya menggunakannya



Gambar 2.8: Penggunaan Minyak Tanah untuk Memasak (Jumahudin, 2021)

sebagai bahan bakar utama untuk memasak. Analisis regresi linier berganda mengungkapkan bahwa harga minyak tanah dan jenis kelamin kepala rumah tangga berdampak negatif terhadap intensitas penggunaan minyak tanah. Sebaliknya, pendapatan per kapita, usia kepala rumah tangga, jumlah anggota rumah tangga, dan tingkat pendidikan kepala rumah tangga berdampak positif terhadap intensitas penggunaan minyak tanah (Soraya and Afiatno, 2021).

### 2.4.3 Solar

Bio Solar atau sekarang biasa dikenal dengan Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai tanaman kaya minyak seperti kedelai, bunga matahari, dan kelapa, yang sering disebut sebagai RME (Rapeseed Methyl Ester). Proses esterifikasi adalah metode yang efisien biaya yang mengubah minyak nabati menjadi molekul yang mirip dengan hidrokarbon diesel, meskipun biodiesel tetap lebih mahal daripada diesel. Dengan sifat yang sangat mirip dengan bahan bakar diesel, biodiesel dapat digunakan dalam kendaraan diesel yang ada dan dicampur dengan diesel fosil dalam proporsi berapa pun. Meskipun memiliki kandungan energi sekitar 8% lebih rendah dibandingkan diesel, biodiesel memiliki densitas yang lebih tinggi dan kualitas penyalaan yang lebih baik berkat angka cetane yang lebih tinggi (Rifa'i, 2020).

Biodiesel, yang merupakan bahan bakar terbarukan dan biodegradable, juga dapat diproduksi dari minyak nabati, lemak hewan, atau lemak restoran daur ulang. Ini berfungsi sebagai alternatif yang lebih bersih daripada bahan bakar diesel dan memenuhi sifat-sifat utama yang diperlukan untuk bahan bakar mesin CI seperti yang diuraikan dalam Standar Bahan Bakar Terbarukan. Kinerja biodiesel dalam cuaca dingin tergantung pada rasio campuran dan bahan baku yang digunakan, dengan persentase biodiesel yang lebih rendah umumnya memiliki kinerja yang lebih baik pada suhu dingin.

Industri biodiesel berbasis minyak kelapa sawit nasional mengalami pertumbuhan sig-



Gambar 2.9: Potret Salah Satu Stasiun Pengisian Bio Solar (Rizky, 2022)

nifikan pada tahun 2018, didorong oleh ekspansi program B20 ke sektor transportasi non-publik dan permintaan internasional yang tinggi. Permintaan domestik diperkirakan akan meningkat tajam di sektor transportasi dan manufaktur dalam beberapa tahun mendatang, sementara ekspor diperkirakan tetap kuat karena permintaan yang terus berlanjut dari UE dan China. Beberapa studi menunjukkan bahwa produksi biodiesel di Indonesia layak, dan para peneliti percaya bahwa biodiesel dapat digunakan baik sebagai bahan bakar tunggal maupun dicampur untuk digunakan dalam transportasi dan industri, termasuk bahan bakar untuk kapal nelayan dan mesin pertanian Rifa'i (2020).

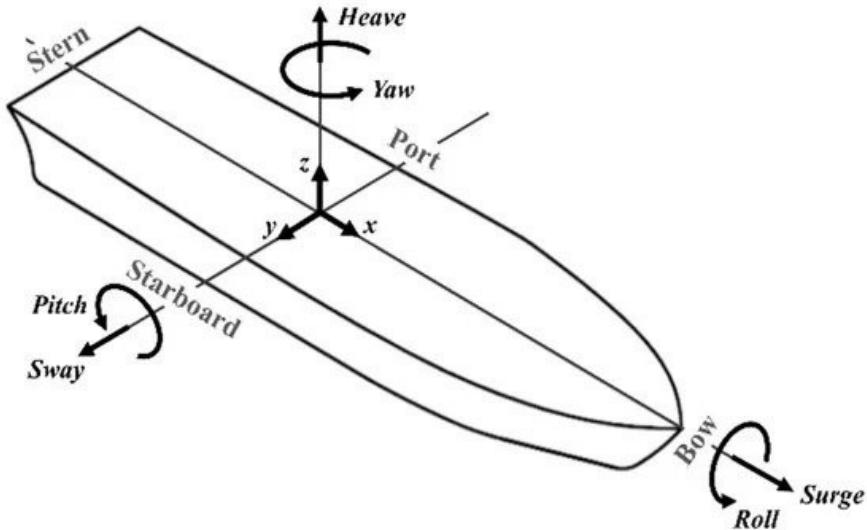
## 2.5 Teori Gerak Kapal

### 2.5.1 Macam-Macam Gerakan Kapal

Gerakan kapal dapat dibagi berdasarkan gaya apa yang mempengaruhi gerakan tersebut. Gerakan yang dipengaruhi oleh gaya pengembali atau momen untuk mengembalikan kapal pada titik setimbangnya disebut dengan gerakan murni kapal. Gerakan yang termasuk gerakan murni kapal adalah (*heave, roll* dan *pitch*). Gerakan lainnya (*sway, surge* dan *yaw*) tidak memiliki gaya pengembali dan tidak ada pengaruh dari luar yang menyebabkan eksistensi gerakan tersebut (Bhattacharyya, 1978).

Gerakan kapal memiliki enam mode gerakan bebas (*six degree of freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu tiga mode gerakan translasi dan tiga mode gerakan rotasi dalam tiga arah sumbu seperti Gambar 2.10. Keenam mode gerakan tersebut adalah:

1. Mode gerakan translasi
  - a. *Surging*: gerakan osilasi translasi terhadap sumbu *x*
  - b. *Swaying*: gerakan osilasi translasi terhadap sumbu *y*



Gambar 2.10: Ilustrasi 6 Jenis Gerak Kapal

- c. *Heaving*: gerakan osilasi translasi terhadap sumbu  $z$
- 2. Mode gerakan rotasi
  - a. *Rolling*: gerakan osilasi rotasi terhadap sumbu  $x$
  - b. *Pitching*: gerakan osilasi rotasi terhadap sumbu  $y$
  - c. *Yawing*: gerakan osilasi rotasi terhadap sumbu  $z$

Sebuah bangunan apung akan mencapai kesetimbangan antara gaya apung dan gravitasi pada kondisi setimbang. Jika berat struktur lebih besar daripada gaya apungnya, bangunan apung akan bergerak terus-menerus sampai kembali ke posisi awalnya. Pada titik tertentu, gerakan struktur terjadi karena berat struktur lebih besar daripada gaya apungnya. Sampai ada keseimbangan, kecepatan akan berkurang. Karena momentum bangunan apung akan bergerak lebih jauh dari posisi semula dalam situasi ini, gaya apung akan sama dengan berat struktur. Tanpa adanya gaya redaman *damping effect* yang bekerja berlawanan dengan arah gerakan, gerakan bangunan apung tidak dapat dikendalikan.

### 2.5.2 Frekuensi Alami Bangunan Laut

Sangat penting untuk mengetahui frekuensi alami gerakan pada sistem dinamis yang bergerak dalam metode osilasi, seperti kapal di atas gelombang atau bangunan apung yang mengapung bebas tanpa pengikatan. Mode gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch* adalah satu-satunya mode gerakan yang memiliki frekuensi alami. Mode gerakan lainnya tidak memiliki frekuensi alami karena secara teknis mereka tidak memiliki mekanismekekakuan sendiri. Menurut (Djatmiko, 2012), persamaan frekuensi natural adalah sebagai berikut.

Frekuensi alami gerakan heave:

$$\omega_{n_z} = \sqrt{\frac{k_{33}}{m + a_{33}}} = \sqrt{\frac{\rho g A_w}{m + a_{33}}} \quad (2.1)$$

Frekuensi alami gerakan roll:

$$\omega_{n_\phi} = \sqrt{\frac{k_{44}}{I_{44} + a_{44}}} = \sqrt{\frac{\rho g V G M_T}{I_{44} + a_{44}}} \quad (2.2)$$

Frekuensi alami gerakan pitch:

$$\omega_{n_\theta} = \sqrt{\frac{k_{55}}{I_{55} + a_{55}}} = \sqrt{\frac{\rho g V G M_L}{I_{55} + a_{55}}} \quad (2.3)$$

dengan:

$k_{33}$  = kekakuan gerakan heave (kN)

$k_{44}$  = kekakuan gerakan roll (kN)

$k_{55}$  = kekakuan gerakan pitch (kN)

$m$  = massa atau displasmen bangunan apung (ton)

$I_{44}$  = momen inersia massa untuk gerakan roll (ton.m<sup>2</sup>)

$I_{55}$  = momen inersia massa untuk gerakan pitch (ton.m<sup>2</sup>)

$a_{33}$  = massa tambah untuk gerakan heave (ton)

$a_{44}$  = massa tambah untuk gerakan roll (ton)

$a_{55}$  = massa tambah untuk gerakan pitch (ton)

$\rho$  = massa jenis air laut (1.025 ton/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (9.81 m/det<sup>2</sup>)

$A_w$  = luas garis air (m<sup>2</sup>)

$V$  = volume displasement bangunan apung (m<sup>3</sup>)

$G M_T$  = tinggi metasentra melintang (m)

$G M_L$  = tinggi metasentra memanjangnya (m)

### 2.5.3 Kriteria *Seakeeping* Kapal

Kualitas suatu sarana atau wahana, yang biasanya disebut sebagai bangunan laut, untuk tetap mampu menjalankan operasinya dalam kondisi lingkungan yang cukup buruk biasanya disebut sebagai *seakindliness*. Desain bangunan laut yang baik mengupayakan kemampuan selamat, atau kemampuan untuk menghindari kondisi kegagalan operasional,

yang diistilahkan dengan kemampuan *survivability*.

Kemampuan bertahan suatu struktur laut bergantung pada dua aspek penting: efektivitas operasional dan ketahanan dalam menghadapi kondisi lingkungan yang ekstrem. Kedua aspek ini dipengaruhi oleh dua kelompok faktor utama: faktor dari dalam (internal) dan faktor dari luar (eksternal). Berbicara tentang faktor internal, ini mencakup berbagai aspek teknis dari struktur laut tersebut. Mulai dari desain dan tata letak keseluruhan, mutu material dan kehandalan konstruksi, hingga sistem operasional yang meliputi peralatan, perlengkapan, mesin-mesin, serta sistem penambatan jika diperlukan. Sementara itu, faktor eksternal berkaitan dengan kondisi lingkungan tempat struktur laut tersebut beroperasi. Faktor ini terutama melibatkan berbagai gaya alami seperti pergerakan arus laut, hembusan angin, dan yang terpenting adalah gaya gelombang. Interaksi struktur dengan gaya-gaya eksternal ini menghasilkan berbagai pergerakan dan respons struktural, yang dalam dunia kelautan dikenal dengan istilah *seakeeping* atau kemampuan menghadapi kondisi laut.

Setiap sistem teknik buatan manusia memiliki batas kemampuan operasional, baik yang berasal dari sistem itu sendiri maupun dari interaksinya dengan komponen terkait. Contohnya, meskipun struktur utama bangunan laut mampu menahan tekanan hingga  $200\text{N/mm}^2$ , peralatan di atasnya mungkin sudah mengalami gangguan atau kerusakan pada saat struktur baru mencapai 75% dari kapasitas maksimalnya. Pembebatan berlebih pada bangunan laut dapat terjadi karena beberapa faktor. Penyebab utamanya adalah gerakan berlebihan yang dipicu oleh gelombang laut. Selain itu, beban ekstrem juga bisa muncul akibat benturan dengan kapal atau helikopter saat proses pendaratan, atau bahkan dari kejadian internal seperti ledakan akibat kegagalan sistem mesin (Djatmiko, 2012).

Tabel 2.1: Kriteria seakeeping untuk kapal militer (Olson, 1978)

<b>General Criteria:</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. <math>12^\circ</math> single amplitude average roll</li><li>2. <math>3^\circ</math> single amplitude average pitch</li><li>3. Significant heave acceleration <math>\leq 0.4g</math> (no people working on deck)</li><li>4. Significant heave acceleration <math>\leq 0.2g</math> (people working on deck)</li></ol>
<b>Helicopter Criteria:</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>5. <math>12.8^\circ</math> double amplitude significant roll</li><li>6. 2.55m double amplitude significant vertical displacement at the flight deck due to pitch</li><li>7. 2.13m/s significant vertical velocity at the flight deck</li></ol>

Dalam merancang sistem rekayasa kelautan, seorang desainer perlu menetapkan parameter operasional yang komprehensif. Parameter ini tidak hanya mempertimbangkan kapasitas sistem utama, tetapi juga harus memperhatikan kemampuan dari setiap komponen pendukung hingga batasan kemampuan sumber daya manusia yang mengoperasikannya.

Standar operasional ini dapat dirumuskan melalui beberapa sumber: pengalaman praktis jangka panjang dari berbagai operator, pembelajaran dari analisis insiden kecelakaan, serta hasil penelitian yang menggunakan metodologi dan peralatan modern yang terpercaya. Penting untuk dicatat bahwa standar yang dikembangkan bersifat spesifik untuk setiap sistem, sehingga mungkin tidak dapat diterapkan secara langsung pada sistem lain meskipun memiliki karakteristik yang mirip. Penelitian ini akan menggunakan kriteria *seakeeping* yang dirumuskan oleh Olson pada tahun 1978 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.1.

## 2.6 Spektrum Gelombang

Gelombang laut merupakan fenomena alam yang memiliki dua sisi berbeda - dapat tampil sebagai pemandangan yang memesona di satu waktu, namun juga bisa menjadi kekuatan yang mengancam di waktu lain. Pembentukan gelombang di laut umumnya dipicu oleh aktivitas angin. Prosesnya dimulai ketika angin berkecepatan rendah menciptakan riak-riak kecil (*ripple*) di permukaan air. Seiring dengan peningkatan kecepatan angin dan hembusan yang berkelanjutan, riak-riak ini berkembang menjadi gelombang kecil, yang kemudian bergabung satu sama lain melalui proses superposisi hingga akhirnya membentuk gelombang yang lebih besar.

Secara matematis, gelombang laut dapat dijelaskan dengan cara yang mirip dengan sinyal acak dalam bidang elektronika atau getaran periodik pada sistem mekanis. Fenomena yang dikenal sebagai proses acak ini umumnya dapat direpresentasikan menggunakan deret Fourier, yang terdiri atas komponen-komponen periodik dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar (Djatmiko, 2012).

### 2.6.1 Analisis Fourier

Secara matematis gelombang laut dapat dijelaskan sebagaimana halnya dengan sinyal acak di bidang elektronika ataupun getaran sistem periodik dalam sistem mekanika (Djatmiko, 2012). Kondisi yang secara umum disebut sebagai proses acak tersebut dapat direpresentasikan oleh deret Fourier yang memuat komponen-komponen periodik dengan frekuensi-frekuensi yang merupakan multiplikasi dari frekuensi dasar  $\omega$ . Menurut referensi tersebut elevasi gelombang acak dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t) + B_n \sin(\omega_n t) \quad (2.4)$$

di mana komponen-komponen frekuensi tersebut adalah:

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{T_R} \text{ (rad/det) untuk } n = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad (2.5)$$

dengan  $T_R$  sebagai rentang waktu keseluruhan proses.  $A_n$  dan  $B_n$  adalah koefisien-koefisien yang dapat diberikan dalam bentuk persamaan:

$$A_n = \frac{2}{T_R} \int_0^{T_R} \zeta(t) \cos(\omega_n t) dt \quad (2.6)$$

$$B_n = \frac{2}{T_R} \int_0^{T_R} \zeta(t) \sin(\omega_n t) dt \quad (2.7)$$

Dengan demikian pers. (2.4) dapat dituliskan kembali dalam bentuk gabungan fungsi periodik berikut:

$$\zeta(t) = \bar{\zeta} + \sum_{n=1}^{\infty} \zeta_n \cos(\omega_n t + \epsilon_n) \quad (2.8)$$

dengan amplitudo sebesar:

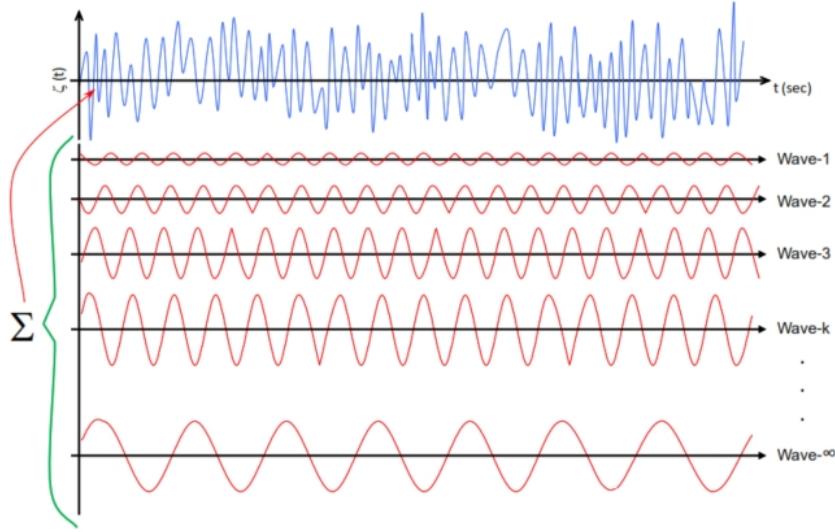
$$\zeta_n = \sqrt{(A_n^2 + B_n^2)} \quad (2.9)$$

serta sudut fase sebesar:

$$\epsilon_n = \arctan(-B_n/A_n) \quad (2.10)$$

Persamaan (2.4), dan selanjutnya pers. (2.8), pada dasarnya menunjukkan bahwa gelombang acak adalah tersusun dari superposisi gelombang-gelombang reguler yang jumlah yang secara teoritis sebenarnya adalah tidak berhingga. Penerapan persamaan tersebut dalam bidang rekayasa perkapanan terkhusus dalam pembentukan gelombang dapat dilihat pada gambar 2.11.

Pendekatan yang digunakan dalam menganalisis dan mengubah data gelombang menjadi spektrum energi merupakan adaptasi dari teknik yang umum digunakan dalam elektronika dan mekanika getaran. Inti dari proses ini adalah penggunaan deret Fourier untuk mentransformasikan data gelombang dari domain waktu ke domain frekuensi. Secara singkat proses pemodelan dimulai dengan mengambil data gelombang dari stasiun pengukuran kemudian dimodelkan dalam bentuk persamaan matematis dan dilakukan *fitting* hingga persamaan yang dihasilkan mendekati hasil pengukuran. Hal ini menyebabkan keterbatasan keakuratan dan penggunaan setiap spektra gelombang. Berikut dijelaskan beberapa model spektra yang biasa digunakan.



Gambar 2.11: Gelombang acak terbentuk dari superposisi gelombang-gelombang reguler dalam jumlah tak berhingga

### 2.6.2 Bretschneider-1959

Formula spektra gelombang yang dipublikasikan oleh Bretschneider (1959) adalah merupakan spektra dengan dua parameter, yakni tinggi gelombang signifikan  $H_s$  dan frekuensi puncak spektra  $\omega_0$ . Persamaan ini sesuai untuk perairan terbuka, dan kondisi gelombang fully develop, dengan bentuk:

$$S_\zeta(\omega) = \frac{1.25\omega_0^4}{4\omega^5} H_s^2 \exp\left\{-1.25\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^4\right\} \quad (2.11)$$

Frekuensi modal, atau frekuensi puncak spektra, dalam persamaan (2.11) dapat diperoleh sebagai fungsi tinggi gelombang signifikan, sebagai berikut:

$$\omega_0 = \sqrt{0.161g/H_s} \quad (2.12)$$

### 2.6.3 JONSWAP

JONSWAP adalah merupakan singkatan dari *Joint North Sea Wave Project*, yakni proyek yang dilakukan secara bersama-sama oleh sejumlah negara untuk melakukan penelitian gelombang di perairan Laut Utara. Menurut laporan dari Hasselman dkk (1973, 1978) formulasi spektra JONSWAP adalah merupakan modifikasi dari spektra P-M, dengan memasukkan parameter-parameter yang akan mengakomodasi karakteristik gelombang perairan tertutup, atau kepulauan. Persamaan spektra JONSWAP mempunyai bentuk yang lebih kompleks bila dibandingkan dengan persamaan-persamaan spektra lain, sebagai berikut:

$$S_\zeta(\omega) = \alpha \omega^{-5} \exp\left\{-1.25(\omega/\omega_b)^{-4}\right\} \gamma^{\exp\left\{-\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2\sigma^2\omega_0^2}\right\}} \quad (2.13)$$

di mana:

$$\alpha = 0.076(X_*)^{-0.22}$$

$$X_* = gX/U_*^2$$

$X$  = panjang fetch

$U_*$  = kecepatan angin

$\alpha = 0.0081$  jika  $X$  tidak diketahui

$\sigma$  = parameter kemiringan atau *peakedness parameter*, yang harganya dapat bervariasi antara 1.0 sampai dengan 7.0. Untuk Laut Utara mempunyai harga 3.3

$\tau$  = parameter bentuk atau *shape parameter*

$\tau = 0.07$  jika  $\omega \leq \omega_0$

$\tau = 0.07$  jika  $\omega > \omega_0$

$$\tau = 2g^2(X_*)^{-0.33}$$

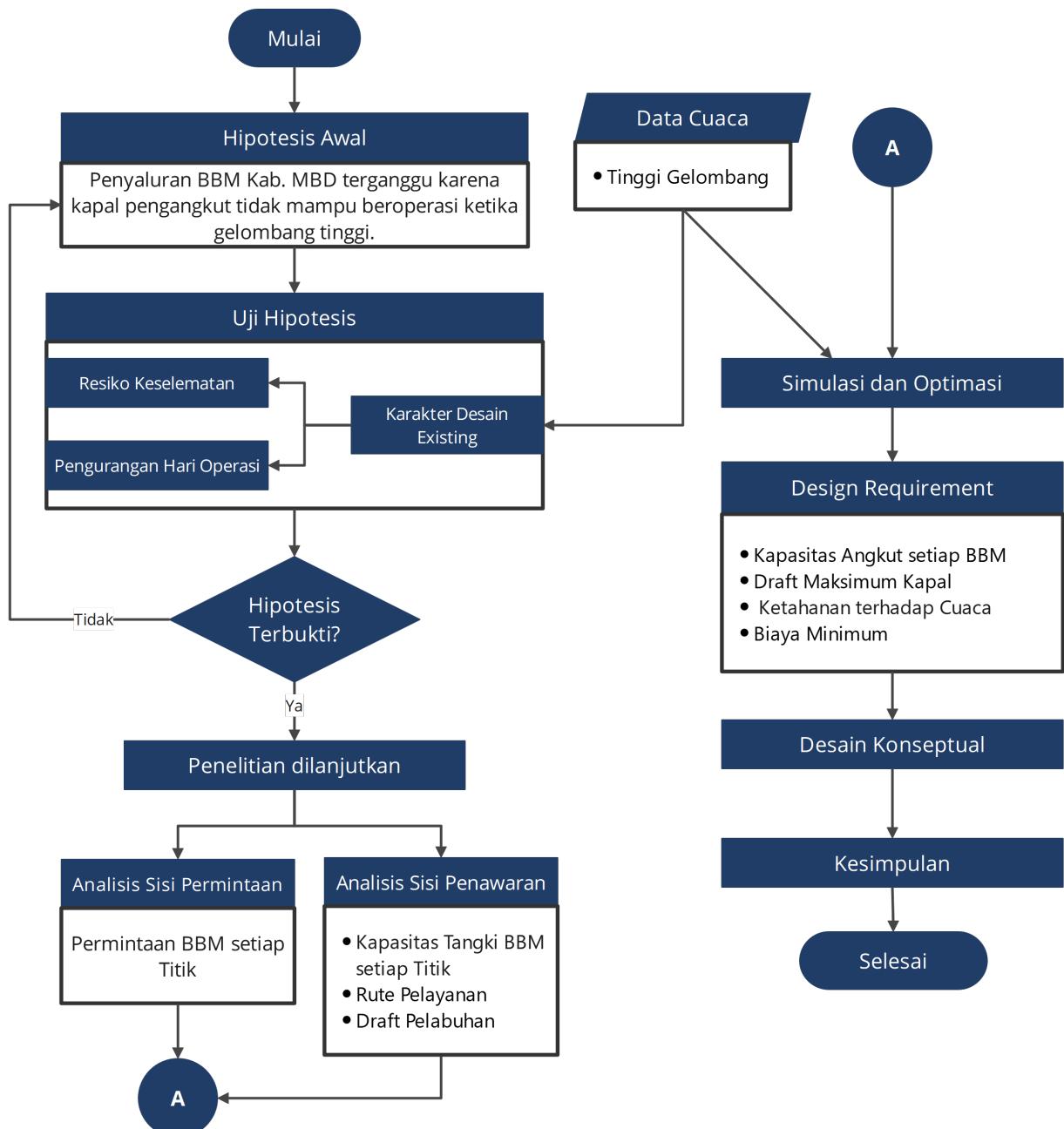
Formulasi spektra JONSWAP akhir-akhir ini banyak dipakai dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal ini cukup dapat dimengerti karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah merupakan perairan kepulauan atau perairan tertutup.

## BAB III

# METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Proses penggerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian

## **3.2 Tahap Persiapan**

Seperti yang ditampilkan pada gambar 3.1 penelitian ini dimulai dengan perumusan masalah yang menjadi fokus utama penggerjaan tugas akhir. Perumusan masalah ini dilakukan melalui diskusi intensif dengan dosen pembimbing untuk mendapatkan arahan dan masukan yang tepat. Setelah permasalahan dirumuskan secara matang, langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur yang mendalam. Tujuannya adalah untuk mempelajari berbagai metode dan teori yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi. Hal ini diharapkan dapat memberikan landasan yang kuat dalam menyelesaikan penelitian dan menghasilkan karya tulis yang berkualitas.

Selain studi literatur, penulis juga berencana melakukan studi lapangan. Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang kondisi lapangan permasalahan yang dihadapi. Melalui observasi langsung dan pengumpulan data primer, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih jelas dan akurat mengenai situasi dan kondisi yang sebenarnya di lapangan. Namun setelah melakukan beberapa korespondensi dengan beberapa instansi terkait, studi lapangan ini tidak dapat dilaksanakan, sehingga penelitian ini dicukupkan dengan data sekunder yang dapat diperoleh.

Rumusan masalah penelitian dan hipotesis awal yang menjadi landasan penelitian ini dilaksanakan disusun pada tahap ini. Perumusan kedua hal tersebut dilakukan dengan diskusi bersama dosen pembimbing. Setelah muncul hipotesis dan rumusan masalah yang akan diangkat diperlukan batasan masalah agar penelitian dapat lebih terfokus dan dapat dikerjakan secara maksimal.

## **3.3 Pengujian Hipotesis**

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa terjadinya kelangkaan BBM di Kabupaten Maluku Barat Daya disebabkan karena desain moda pemasokan BBM yang sudah ada kurang optimal. Hipotesis ini perlu dibuktikan agar penyelesaian yang diusulkan sesuai dengan permasalahan yang terjadi. Uji hipotesis ini akan memanfaatkan dua metode yaitu uji gerakan kapal dan metode simulasi monte-carlo.

### **3.3.1 Analisis *Seakeeping* dan Stabilitas**

Langkah pertama dalam menguji hipotetis ini adalah menentukan batasan operasional kapal terhadap cuaca. Parameter yang digunakan adalah kemampuan olah gerak kapal dalam kondisi ketinggian gelombang tertentu. Gerakan kapal yang dilihat adalah *itch*, *roll* dan *heave*. Salah satu kapal yang sudah ada kemudian akan disimulasikan dan diuji gerakannya apakah memenuhi standar *seakeeping* yang aman.<sup>4</sup>

Pengujian akan dimulai dengan memodelkan lambung kapal yang sudah ada dengan bantuan perangkat lunak *Maxsurf*. Parameter selanjutnya yang diperlukan adalah *range*

gelombang yang digunakan. Ketinggian gelombang tersebut kemudian dimodelkan menggunakan *spectra* gelombang yang sudah disediakan oleh *Maxsurf Motion*. Akhirnya dilakukan simulasi dan perhitungan untuk mengetahui batasan gerak kapal yang diuji.

### 3.3.2 Simulasi Pemasokan BBM

Variabel yang akan dievaluasi untuk mengetahui kinerja pemasokan di Kabupaten Maluku Barat Daya adalah potensi terjadinya permintaan BBM yang tidak terpenuhi. Interaksi antara tinggi gelombang, batasan operasional kapal dan permintaan BBM di setiap titik akan dipotret dalam sebuah simulasi persediaan BBM. Jangka waktu pemodelan dengan durasi satu tahun dengan dasar distribusi data yang digunakan adalah BMKG untuk distribusi ketinggian BBM dan Pertamina untuk distribusi permintaan BBM disetiap titiknya.

### 3.3.3 Penentuan Biaya Publik

$$\min \left\{ E \left[ \sum_{m \in M} \sum_{i \in N} [Z_{m,i}(SO_{m,i})] \right] \right\} \quad (3.1)$$

Persamaan di atas bertujuan untuk meminimalkan nilai harapan dari total biaya kelangkaan BBM pada semua jenis BBM ( $m \in M$ ) dan semua titik pemasokan ( $i \in N$ ). Biaya kelangkaan BBM ( $Z_{m,i}$ ) bergantung pada jumlah permintaan BBM jenis  $m$  di titik  $i$  yang tidak terpenuhi ( $SO_{m,i}$ ).

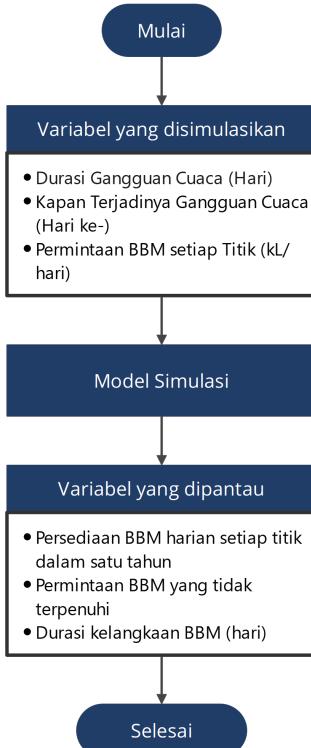
Adapun deskripsi dari simbol-simbol dalam formula tersebut adalah sebagai berikut:

- $Z_{m,i}$ : Biaya kelangkaan BBM jenis  $m$  di titik  $i$ .
- $M$ : Himpunan jenis BBM yang tersedia.
- $N$ : Jumlah titik pemasokan BBM.
- $SO_{m,i}$ : Permintaan BBM jenis  $m$  di titik  $i$  yang tidak terpenuhi.

Nilai  $Z_{m,i}$  diperoleh berdasarkan harga jual masing-masing jenis BBM di Kabupaten Maluku Barat Daya. Biaya publik ini yang akan dioptimasi dalam langkah penggerjaan selanjutnya.

## 3.4 Tahap Simulasi dan Optimasi

Simulasi dilakukan untuk menguji kondisi sistem pemasokan yang sudah ada. Metode ini dipilih untuk mencoba memotret kondisi lapangan yang ada dan melakukan analisis terhadapnya. Selain untuk mengevaluasi sistem yang sudah ada pada proses perancangan kapal yang baru juga dilakukan simulasi untuk parameter desain dilengkapi dengan model optimasi.



Gambar 3.2: Diagram Alir Simulasi

### 3.4.1 Tahap Simulasi

Informasi yang sudah didapat dari studi literatur dan studi lapangan kemudian dijadikan bahan untuk membuat model. Penulis sendiri membagi pengerjaan menjadi dua model; model perancangan kapal dan model skenario penyaluran BBM.

Model perancangan kapal berisi berbagai macam langkah perhitungan yang digunakan untuk merancang kapal dari *owner requirement* hingga menjadi desain awal sebuah kapal. Pembuatan model ini bertujuan sebagai batasan ruang lingkup saat nanti akan dilakukan proses optimasi. Batasan yang diterapkan dalam model ini adalah kaidah-kaidah dasar perancangan kapal.

Model kedua adalah model perancangan skenario penyaluran BBM. Model ini mencakup rencana operasional dan pemodelan finansial kapal yang dirancang. Interaksi atau hubungan antara sisi teknis, operasional dan finansial ini yang akan menjadi proses optimasi perancangan kapal. Model kedua ini juga membahas masalah penentuan tambahan kapasitas penyimpanan BBM jika diperlukan oleh suatu titik.

Sisi simulasi monte carlo akan dilakukan dengan cara menentukan masukan yang akan divariasikan kedalam model. *Input* yang akan divariasikan dalam penelitian ini adalah data konsumsi BBM perhari untuk setiap titik dan durasi gangguan cuaca tiap tahunnya. Harapannya dengan variasi dari masukan tersebut dapat memotret kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan.

Variasi *input* dilakukan dengan cara memetakan distribusi dari *input* yang ingin divariasikan. Disini, penulis menggunakan data historis yang didapat penulis untuk mengidentifikasi distribusi dari *input* yang diinginkan. Metode peramalan yang digunakan penulis adalah *Three Point Estimate* dengan alasan utama, metode dan distribusi peluang tersebut mudah dipahami dan diterapkan.

*Input* yang sudah divariasikan tersebut kemudian diintegrasikan kedalam model kedua, yakni model perencanaan operasional kapal. Proses berikutnya adalah menetapapkan variabel apa yang akan dijadikan sebagai luaran dari proses simulasi. Sesuai dengan tujuan penelitian luaran yang akan dipantau adalah ekspektasi biaya tahunan, kemungkinan permintaan BBM yang tidak terpenuhi dan kemungkinan terjadi kelangkaan BBM di suatu titik.

Model kemudian diuji coba dengan iterasi yang ditentukan untuk mendapatkan data kumulatif frekuensi dari luaran yang dipantau. Proses iterasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan *Palisade @RISK Platform*. Jika model sudah berjalan dengan lancar, penggeraan dapat dilanjut pada tahap berikutnya.

### 3.4.2 Tahap Optimasi

Metode optimasi digunakan untuk mencari nilai paling optimum dari kompromi berbagai macam batasan yang muncul saat proses perancangan kapal secara teknis maupun ekonomis. Fungsi tujuan optimasi yang dilakukan dapat dilihat pada formulasi matematis berikut.

$$\min \sum_{p \in P} \sum_{i \in N} A_{i,p} + \sum_{x \in X} \sum_{i \in N} Y_{i,t} + OC + FC + SOC + PC \quad (3.2)$$

dengan memenuhi batasan-batasan berikut:

$$5.1 \leq \frac{L}{B} \leq 7.1 \quad (3.3)$$

$$2.4 \leq \frac{B}{T} \leq 3.2 \quad (3.4)$$

$$10 \leq \frac{L}{T} \leq 30 \quad (3.5)$$

$$0.669 \leq \frac{T}{D} \leq 0.799 \quad (3.6)$$

$$1.9 \leq \frac{B}{D} \leq 2.1 \quad (3.7)$$

$$D \geq \frac{L}{16} \quad (3.8)$$

$$(3.9)$$

$$e_{0,30^\circ} \geq 0.06 \quad (3.10)$$

$$e_{0,40^\circ} \geq 0.09 \quad (3.11)$$

$$e_{30,40^\circ} \geq 0.03 \quad (3.12)$$

$$h_{30^\circ} \geq 0.20 \quad (3.13)$$

$$\phi_{max} \geq 25 \quad (3.14)$$

$$GM_0 \geq 0.15 \quad (3.15)$$

$$D - T > \text{Freeboard}_{\min} \quad (3.16)$$

$$0.5\%W_{\text{total}} \leq \Delta_{\text{Displ}} \leq 5\%W_{\text{total}} \quad (3.17)$$

$$0.5\%V_{\text{payload}} \leq \Delta_{\text{Volume}} \leq 5\%V_{\text{payload}} \quad (3.18)$$

$$-1.5\%L_{\text{PP}} \leq \text{Trim} \leq 1.5\%L_{\text{PP}} \quad (3.19)$$

$$\text{Seatime} + \text{Porttime} > \text{Leadtime} \quad (3.20)$$

$$\text{Required Time} > \text{Comission Days} \quad (3.21)$$

Fungsi tujuan dibuat untuk mencari biaya total paling minimum.  $P$  melambangkan himpunan pelabuhan yang disinggahi.  $N$  melambangkan titik pemasokan.  $A$  melambangkan biaya pelabuhan yang muncul akibat kapal beroperasi.  $X$  adalah himpunan ukuran tangki.  $Y$  adalah biaya pembangunan tangki yang sudah dikonversi menjadi bentuk biaya tahunan.  $OC$  melambangkan biaya operasional kapal atau biaya tetap kapal yang dikeluarkan tahunan.  $FC$  adalah biaya BBM yang keluar akibat operasional kapal dalam setahun.  $SOC$  dan  $PC$  masing-masing adalah biaya penalti yang muncul jika terjadi kelangkaan BBM dan muatan yang tidak mampu diangkut oleh kapal.

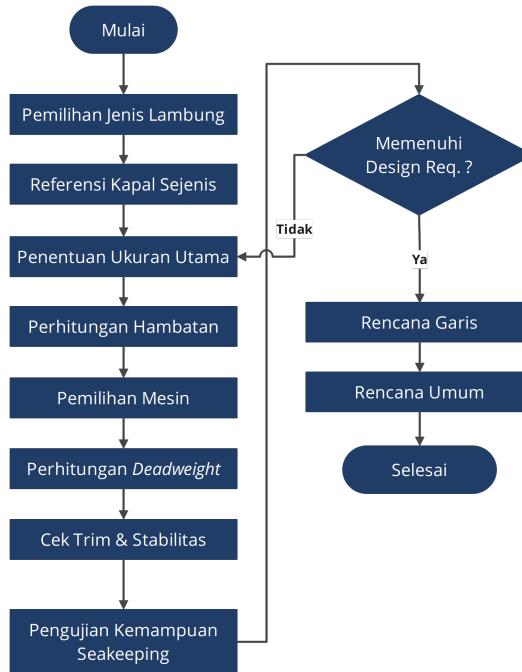
Variabel peubah yang digunakan adalah  $L$  sebagai panjang kapal,  $B$  melambangkan lebar kapal,  $D$  sebagai tinggi kapal,  $T$  sebagai sarat kapal dan  $V_s$  sebagai kecepatan dinas kapal. Kemudian kapasitas masing-masing tangki untuk setiap BBM yang diangkut yaitu bensin, minyak tanah dan solar.

Rumus 3.3 hingga 3.8 membatasi kemungkinan kombinasi ukuran utama kapal agar tetap sesuai dengan kaidah perancangan kapal. Rumus 3.10 hingga 3.15 membatasi agar ukuran utama yang ditemukan sesuai dengan kriteria *Intact Stability* oleh IMO tentang stabilitas kapal. Lambung timbul kapal dibatasi oleh rumus 3.16. Trim atau selisih antara sarat kapal di haluan dengan sarat kapal di buritan dibatasi dengan oleh rumus 3.19. Kemudian rumus 3.18 membatasi agar volume kapal yang tersedia cukup untuk muatan yang direncanakan. Kondisi kapal mengapung di batasi oleh 3.17 agar *Displacement* kapal harus lebih besar daripada berat kapal namun tidak terlalu besar agar kapal tetap optimum. Rumus 3.20 dan 3.21 membatasi agar waktu operasional kapal tetap masuk akal.

Optimasi ini dilakukan agar mendapatkan *owner requirement* kapal yang paling optimum ditandakan dengan biaya tahunan terkecil. Fungsi biaya penalti dimasukkan untuk

membantu menentukan volume tangki kapal yang harus disediakan untuk masing-masing jenis BBM.

### 3.5 Tahap Perancangan Kapal



Gambar 3.3: Diagram Alir Perancangan Kapal

Luaran tahap berikutnya merupakan spesifikasi kapal yang akan di desain. Proses pertama yang dilakukan adalah merencanakan bentuk lambung kapal melalui pembuatan rencana garis. Perencanaan bentuk lambung ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Maxsurf Modeler*. Faktor yang-yang harus diperhatikan adalah *Displacement* dan ukuran-ukuran utama yang telah dihitung sebelumnya tetap sesuai dengan bentuk lambung kapal yang dirancang.

Setelah rencana garis selesai, ruangan-ruangan yang ada di kapal dirancang agar sesuai dengan perhitungan dan dilakukan koreksi-koreksi agar desain kapal sesuai. Volume muatan yang dibawa, jumlah akomodasi yang dibutuhkan, ukuran ruang mesin dan kaidah konstruksi kapal menjadi patokan utama dalam penentuan dan penataan ruangan yang ada di kapal.

Kriteria *sea keeping* dan stabilitas akan menjadi sorotan utama dalam penelitian ini. Kapal yang dirancang harus mampu beroperasi didalam kondisi lingkungan sesuai dengan pola operasi yang direncanakan berdasarkan hasil simulasi dan optimasi. Hal ini dikarenakan cakupan penelitian ini adalah apakah bisa mengatasi masalah kelangkaan BBM yang ada dengan cara mengganti moda pemasokan.

Koreksi dilakukan dalam penentuan volume tangki yang ada, hal ini karena peletakan

batasan antar tangki harus diletakkan di gading besar. Koreksi berikutnya menentukan letak tangki-tangki bagian *consumables* agar trim kapal memenuhi peraturan yang berlaku.

Setelah penataan ruangan hal yang harus direncakan berikutnya adalah peralatan keselamatan yang harus dimiliki oleh kapal yang dirancang. Jumlah kru kapal, muatan yang dibawa, ukuran kapal dan regulasi SOLAS menjadi hal yang mempengaruhi peralatan dan perlengkapan apa yang harus dibawa oleh kapal.

### 3.6 Tahap Penutup

Tahap terakhir dari tugas akhir ini setelah merancang kapal adalah melakukan analisis kesenjangan dan sensitivitas dari model sistem penyeluran BBM baru yang dirancang. Analisis kesenjangan atau *gap analysis* dilakukan dengan cara membandingkan dan mencari selisih antara biaya tahunan kondisi saat ini dengan sistem baru yang usulkan.

Selain biaya tahunan faktor lain yang dibandingkan adalah, *load factor* kapal dan frekuensi trip per tahun. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing sistem penyeluran BBM.

Analisis kedua yang dilakukan adalah sensitivitas untuk mengetahui interaksi antar variabel. Variabel yang akan dianalisis adalah waktu maksimal durasi gangguan cuaca dan bentuk distribusi yang digunakan dan pengaruhnya terhadap biaya, dan utamanya terhadap potensi kelangkaan BBM.

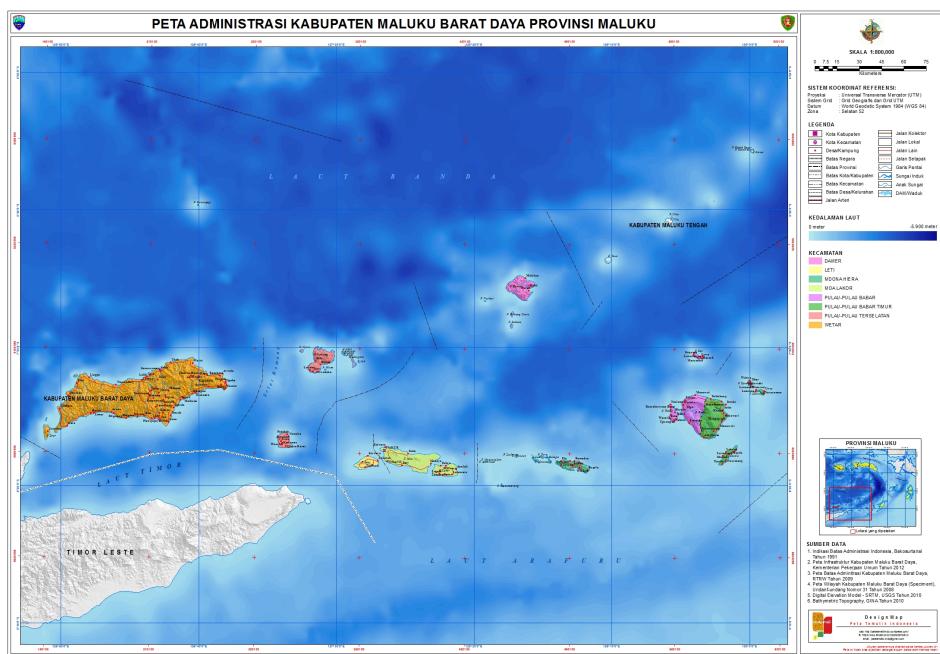
Penelitian ini akan ditutup dengan kesimpulan yang tersusun atas spesifikasi kapal yang dirancang, hasil analisis kesenjangan dan analisis sensitivitas. Kesimpulan tersebut sekaligus menjadi rekomendasi untuk peningkatan sistem penyeluran BBM.

# BAB IV

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambaran Umum

Kabupaten Maluku Barat Daya adalah salah satu kabupaten dari Provinsi Maluku. Lokasinya yang jauh dari pusat provinsi (Kota Ambon) dan lebih dekat ke Timor Leste membuatnya tercakup dalam daerah 3T (Tertinggal, Terdepan dan Terluar). Jumlah penduduk Kabupaten MBD sekitar 91.387 jiwa dengan PDRB per kapita sebesar 23,96 Juta per tahun.



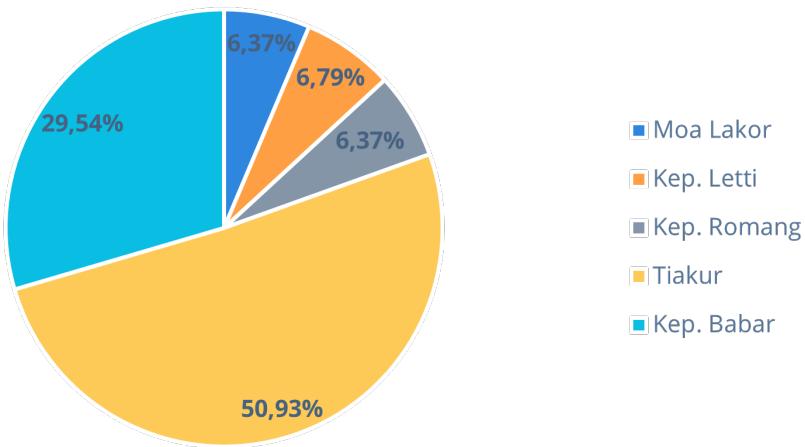
Gambar 4.1: Peta Administrasi Kabupaten Maluku Barat Daya (PTI, 2014)

#### 4.1.1 Model Permintaan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya

Kondisi angka konsumsi harian BBM yang tidak tetap akan dipotret dengan cara memodelkannya menjadi sebuah distribusi kumulatif. Data yang digunakan adalah data realisasi pemasokan BBM pada tahun 2021 sebagaimana yang ditampilkan pada gambar 4.4. Kemudian dikalikan dengan persentase konsumsi tiap titiknya yang diasumsikan *flat* sesuai dengan volume BBM yang dipasok disetiap titiknya sebagaimana gambar 4.2.

Hasil pengolahan dan parameter variasi input dapat dilihat pada tabel 4.1. Fungsi distribusi yang digunakan ada dua jenis. Fungsi *Pert* memberikan luaran berupa kurva

**Grafik Pemasokan BBM berdasarkan Titik Pemasokan**



Gambar 4.2: Grafik Pemasokan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya berdasarkan Titik Pemasokan

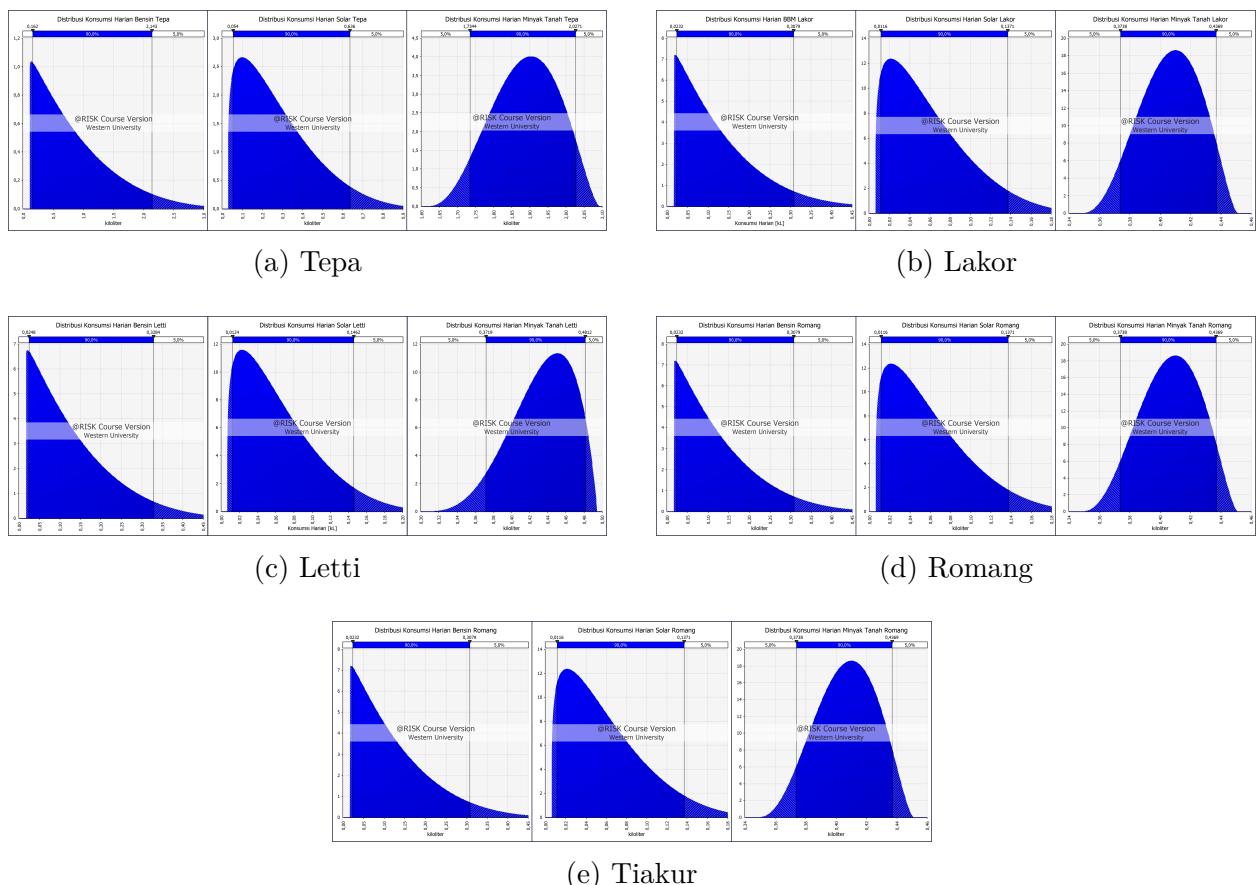
normal yang biasa dengan parameter *minimum*, *most likely* dan *maximum*. Fungsi *PertAlt* memberikan luaran yang sama dengan *Pert* namun diberikan pilihan untuk mengatur letak tiap nilai melalui persentil yang diinginkan. Fungsi *PertAlt* digunakan untuk memodelkan konsumsi solar dan bensin karena bentuk distribusi yang condong ke nilai yang lebih kecil dengan dasaran nilai realiasi konsumsi yang kecil. Konsumsi minyak tanah dimodelkan dengan fungsi *Pert* karena keyakinan bahwa angka konsumsi harian tidak berbeda jauh dengan hasil estimasi sesuai data pasokan dan realisasi BBM Kabupaten Maluku Barat Daya.

#### **4.1.2 Sistem Penyaluran BBM Kabupaten Maluku Barat Daya**

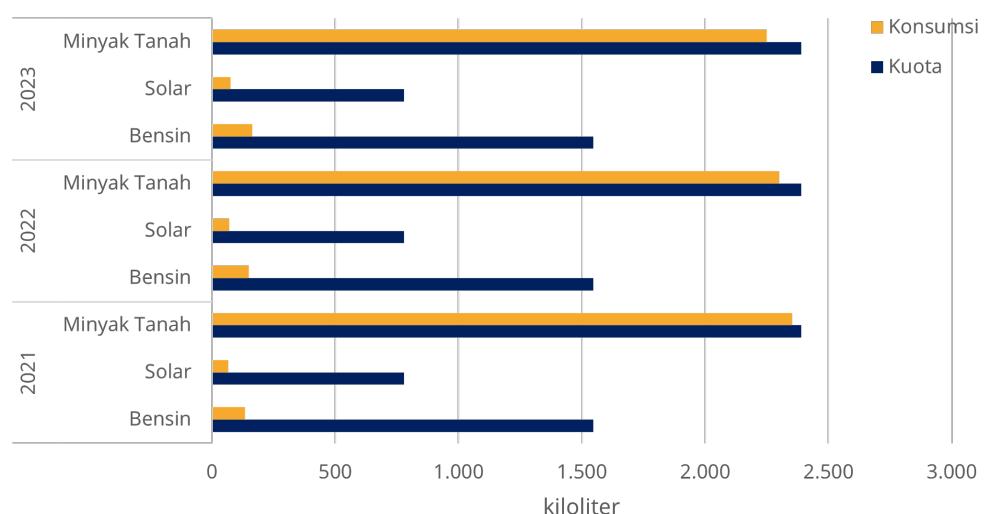
Kebutuhan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya dilayani oleh Terminal Bahan Bakar Minyak Saumlaki didalam cakupan PT. Pertamina Patra Niaga Regional Maluku Papua. Berdasarkan SK Kepala BPH Migas No 55 Tahun 2019 dan realisasi pemasokan yang dilakukan oleh PT. Pertamina (Persero) didapatkan data pasokan BBM seperti gambar 4.4.

Pemasokan BBM Kabupaten MBD saat ini dilayani oleh tiga kapal yaitu SPOB Handil Tirusan, SPOB Cinta Damai dan LCT Buma III. Sistem penyaluran bersifat *direct* dari TBBM Saumlaki menuju 5 titik pemasokan yaitu Tiakur, Tepa, Lakor, Letti dan Romang. Ilustrasi rute dapat dilihat pada gambar 4.5. Warna merah muda melambangkan kapal SPOB Handil Tirusan, Hijau adalah SPOB Cinta Damai dan Biru adalah LCT BUMA III.

SPOB Cinta Damai melayani tiga titik pasokan yaitu Letti, Romang dan Lakor dengan rata-rata muatan 75 kiloliter. SPOB Handil Tirusan melayani titik Tiakur dengan rata-rata muatan 50 kiloliter. LCT BUMA III melayani titik Tepa dengan rata-rata muatan 50



Gambar 4.3: Grafik Distribusi Kumulatif Konsumsi Harian BBM



Gambar 4.4: Grafik Kuota dan Realisasi BBM Kabupaten Maluku Barat Daya Tahun 2021 (Pertamina, 2021)

Tabel 4.1: Tabel Variasi Input untuk Konsumsi Harian BBM

Daerah	Komoditas	Fungsi Distribusi	Minimal [kL]	Most Likely [kL]	Max [kL]
Lakor	Bensin	PertAlt	0.020	0.023	0.256
	Solar	PertAlt	0.009	0.012	0.116
	Minyak Tanah	Pert	0.349	0.410	0.451
Letti	Bensin	PertAlt	0.021	0.025	0.273
	Solar	PertAlt	0.010	0.012	0.124
	Minyak Tanah	Pert	0.372	0.437	0.481
Romang	Bensin	PertAlt	0.020	0.023	0.256
	Solar	PertAlt	0.009	0.012	0.116
	Minyak Tanah	Pert	0.349	0.410	0.451
Tiakur	Bensin	PertAlt	0.237	0.279	3.067
	Solar	PertAlt	0.074	0.093	0.930
	Minyak Tanah	Pert	2.789	3.281	3.609
Tepa	Bensin	PertAlt	0.137	0.162	1.779
	Solar	PertAlt	0.043	0.054	0.539
	Minyak Tanah	Pert	1.618	1.903	2.093



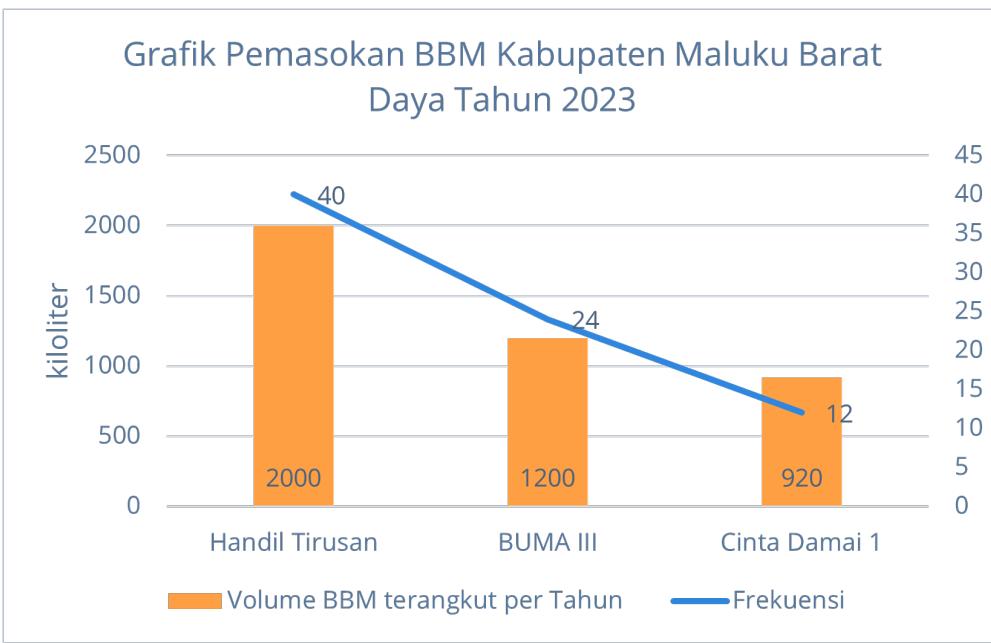
Gambar 4.5: Pola Operasi Pemasukan BBM Kabupaten MBD Saat Ini

kiloliter. Ringkasan penyaluran BBM berdasarkan moda kapal dapat dilihat pada gambar

Sistem pemasukan ini masih menggunakan kapal jenis SPOB (*Self Propelled Oil Barge*) dan LCT (*Landing Craft Tank*) dimana kedua karakteristik kedua jenis kapal tersebut mempunyai ketinggian *freeboard* yang rendah. Konsekuensi *freeboard* yang rendah ini akan membatasi cuaca dimana kapal ini dapat beroperasi. Batasan operasional dan dampaknya terhadap pemasukan BBM akan dibahas pada bab selanjutnya.

## 4.2 Pembuktian Hipotesis

Dugaan awal yang mendasari penelitian ini adalah pemasukan BBM di Kabupaten Maluku Barat Daya belum optimal karena kapal yang digunakan tidak mampu beropeasi pada saat gelombang tinggi.



Gambar 4.6: Grafik Pemasokan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya Tahun 2023 berdasarkan kapal

#### 4.2.1 Pengaruh Ukuran Utama terhadap Operasional Kapal

Langkah awal yang dilakukan adalah membuktikan bahwa ukuran kapal berpengaruh terhadap kemampuan operasional pada ketinggian gelombang tertentu. Pengujian dilakukan dengan dasar model lambung kapal *ship pro* yang disertakan pada perangkat lunak *Maxsurf*. Lambung kapal tersebut kemudian diskalakan dan diuji kemampuan olah geraknya dalam *Maxsurf Motions*. Hasil uji olah gerak kemudian dievaluasi berdasarkan kriteria yang sudah dibahas pada bab 2.5.3.

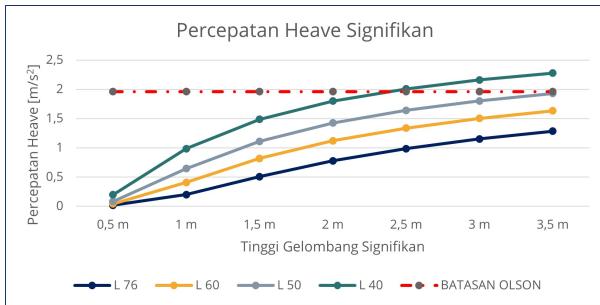
Tabel 4.2: Ukuran Kapal yang Dievaluasi

Ship Name	L 76	L 60	L 50	L 40
Lpp [m]	76,8	60	50	40
Beam [m]	13,50	10,55	8,79	7,03
Depth [m]	7,75	6,05	5,05	4,04
Draft [m]	4,57	3,57	2,98	2,38

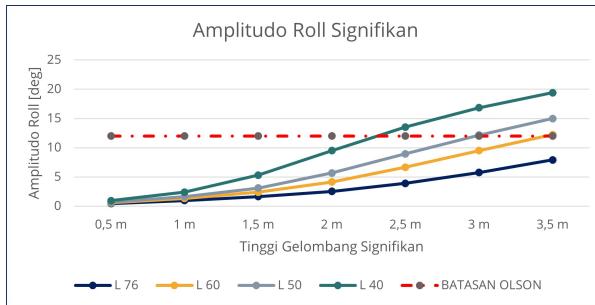
Dapat dilihat pada gambar 4.7a hingga 4.7c bahwa semakin besar ukuran kapal semakin tahan terhadap gangguan kapal. Hasil ini akan dijadikan pertimbangan dalam merancang kapal baru.

#### 4.2.2 Hasil Uji *Seakeeping*

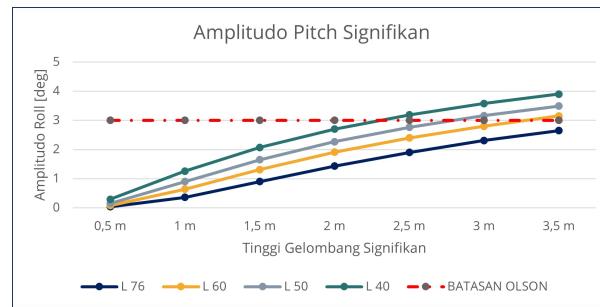
Penentuan batas ketinggian gelombang dimana kapal yang sudah ada saat ini dapat beroperasi dilakukan dengan cara menguji kemampuan olah gerak kapal yang sudah ada saat ini dengan gelombang yang mungkin muncul di jalur pemasokan BBM Kabupaten MBD.



(a) Hasil Uji Gerak *Heave*



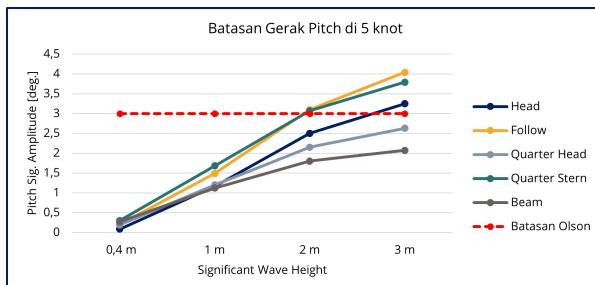
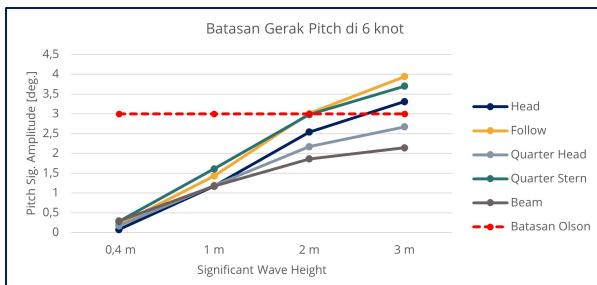
(b) Hasil Uji Gerak *Roll*



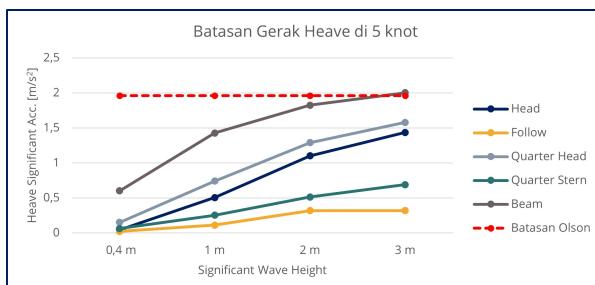
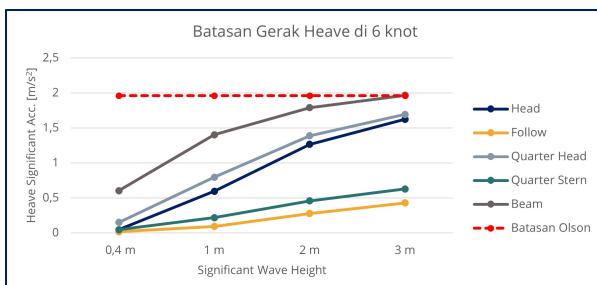
(c) Hasil Uji Gerak *Pitch*

Gambar 4.7: Hasil Uji *Seakeeping* Model Kapal

Pengujian dilakukan dengan dua variasi kecepatan (5 dan 6 knot) dan garis air setinggi 2 meter.

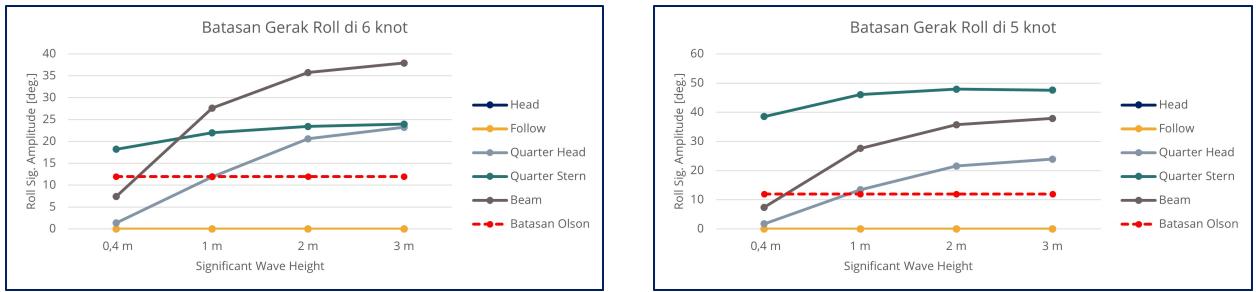


Gambar 4.8: Hasil Uji Gerak *Pitch* Kapal saat ini



Gambar 4.9: Hasil Uji Gerak *Heave* Kapal saat ini

Berdasarkan hasil uji *seakeeping* yang dapat dilihat pada gambar 4.8 hingga 4.10 ter-



Gambar 4.10: Hasil Uji Gerak *Roll* Kapal saat ini

lihat pada beberapa arah kedatangan gelombang kapal yang ada saat ini hanya mampu beroperasi pada ketinggian gelombang signifikan 1 meter. Batasan ini yang akan dijadikan dasar simulasi persediaan BBM.

### 4.2.3 Hasil Simulasi Pemasokan

Simulasi dilakukan untuk mencari berapa permintaan BBM yang tidak terpenuhi, hingga biaya tahunan yang saat ini digunakan. Interaksi antara gelombang dengan kemampuan layar kapal akan memunculkan keadaan dimana persediaan BBM yang ada disetiap titik sudah habis namun tidak dapat dilakukan pemasokan. Hal ini yang ingin dipotret dan dijadikan sebagai masalah utama dalam penelitian ini.

Tabel 4.3: Tabel Ringkasan Statistik Simulasi

Variabel	Satuan	Min	Mean	Max	Std. Dev.
Kekurangan Bensin	kiloliter	0	24,78	100,13	20,54
Kekurangan Minyak Tanah	Kiloliter	0	112	245	57,86
Kekurangan Solar	kiloliter	0	1,1	17	3,01
Biaya Tahunan	Juta Rupiah	7.332	8.310	9.401	389,77
Public Cost	Juta Rupiah	0	2.882	7.187	444,5

Setelah dilakukan ternyata didapatkan hasil bahwa kemungkinan terjadinya permintaan BBM yang tidak terpenuhi masih sangat besar khususnya minyak tanah. Rata-rata ekspektasi biaya publik yang muncul sebesar 2,8 miliar rupiah.

## 4.3 Analisis Sisi Pasokan

### 4.3.1 Batasan Sarat Pelabuhan

Salah satu aspek utama yang harus diperhatikan dalam merencakan armada transportasi laut adalah kedalaman pelabuhan. Kebanyakan pelabuhan di Maluku Barat Daya memiliki kedalaman rendah. Kemudian karena faktor pelabuhan pesisir maka kedalaman yang ada harus diberi *margin* untuk mengantisipasi ketika terjadi surut sehingga kedalaman pelabuhan berkurang.

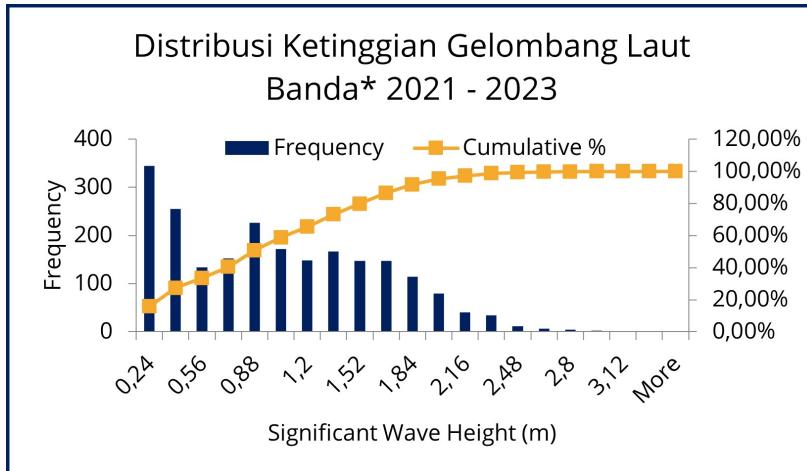
Tabel 4.4: Data Kedalaman Pelabuhan

Nama Pelabuhan	<i>Draft</i> (m)
TBBM Saumlaki	10
Pelabuhan Kaiwatu	7
Pelabuhan Moa	6.6
Pelabuhan Lakor	5
Pelabuhan Romang	4.9
Pelabuhan Letti	5.2

#### 4.3.2 Variasi Durasi Gangguan Cuaca

Elemen kedua dari model yang divariasi adalah durasi gangguan cuaca. Variabel ini dan interaksinya dengan konsumsi harian akan memberikan indikator jika terjadi *stock out* BBM di suatu titik. Data historis yang dijadikan penentuan distribusi durasi gangguan cuaca adalah data yang penulis dapat dari situs berita mengenai lama gangguan cuaca beberapa tahun terakhir di Kabupaten Maluku Barat Daya.

Fungsi yang digunakan untuk memodelkan durasi gangguan cuaca adalah *Riskcumulative* dengan masukan berupa distribusi kumulatif ketinggian gelombang. Kemudian dicocokkan dengan batasan operasional kapal yang sudah ada. Sehingga diambil peluang semua nilai adalah sama. Grafik distribusi kumulatif gangguan cuaca dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11: Grafik Distribusi Kumulatif Ketinggian Gelombang Laut Banda

#### 4.3.3 Usulan Rute Pemasokan Baru

Sistem pemasokan BBM baru yang diusulkan menggunakan sistem *multiport* dengan cara menyinggahi seluruh titik pemasokan dalam satu perjalanan. Kompromi yang harus dilakukan kapasitas kapal harus besar karena membawa seluruh kebutuhan BBM untuk semua titik. Namun, *trade off* yang muncul adalah berkurangnya jumlah frekuensi pemasokan yang berdampak pada berkurangnya biaya BBM dan biaya pelabuhan yang harus dikeluarkan.



Gambar 4.12: Gambar Ilustrasi Rute Pemasukan Baru

Rute baru yang dirancang dimulai dari TBBM Saumlaki menuju Tepa, Lakor, Tiakur, Letti dan Romang kemudian kembali lagi ke Saumlaki. Rute ini mempunyai jarak totak 522.6 Nm. Namun dibandingkan dengan sistem *direct* dari TBBM Saumlaki akan sangat jauh karena lokasi TBBM Saumlaki yang berada jauh di timur lokasi pemasukan.

## 4.4 Hasil Simulasi dan Optimasi

Proses optimasi dilakukan secara simultan dengan simulasi variasi durasi gangguan cuaca dan variasi konsumsi harian BBM. Standar simulasi yang dilakukan dalam penggerjaan tugas akhir ini adalah 1000 iterasi untuk satu kali simulasinya. Skenario yang dilakukan ada dua jenis, yaitu usulan sistem pemasukan baru tanpa pengembangan tangki dan dengan pengembangan tangki penyimpanan di pelabuhannya. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.5, sedangkan untuk bentuk distribusi masing-masing variabel dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.

### 4.4.1 Ukuran Utama Kapal Terpilih

Hasil dari optimasi yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.6. Ukuran utama ini yang akan digunakan untuk proses desain.

### 4.4.2 Distribusi Ekspektasi Biaya Tahunan

Perubahan nilai tiap iterasi dari variabel konsumsi harian akan berdampak pada volume muatan yang harus dibawa, persediaan BBM di setiap titik dan berujung pada biaya penalti yang muncul akibat koreksi. Jumlah permintaan yang meningkat juga akan mempengaruhi biaya yang muncul akibat frekuensi perjalanan kapal bertambah.

### 4.4.3 Analisis Kemungkinan Jumlah Perjalanan Tahunan

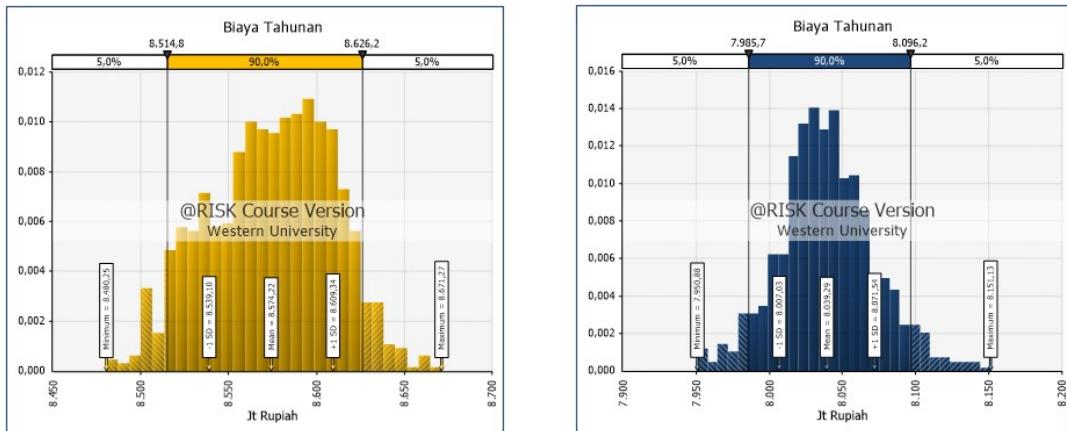
Frekuensi perjalanan setiap tahun dipengaruhi oleh angka konsumsi BBM harian dari setiap jenisnya. Model yang dibuat menentukan angka frekuensi berdasarkan ketika salah satu setiap jenis BBM habis dikonsumsi di salah satu titik maka harus diadakan pemasukan. Frekuensi tahunan akan mempengaruhi biaya tahunan dari sisi tambahan biaya perjalan

Tabel 4.5: Ringkasan Hasil Simulasi Skenario

TANPA TANGKI					
Variabel	Satuan	Min.	Mean	Max.	STD. DEV.
Biaya Tahunan	Juta Rupiah	8.480,25	8.574,22	8.671,27	35,12
Biaya Publik	Juta Rupiah	43,47	882,86	2.988,31	162,39
Frekuensi	Trip	15	15,80	17	0,49
Port Calls	Kunjungan	66	70,14	74	1,58
Kekurangan Bensin	kiloliter	0,20	16,06	54,32	8,82
Kekurangan Minyak Tanah	kiloliter	0	27,26	104,86	24,13
Kekurangan Solar	kiloliter	0	1,02	10,63	1,44
DENGAN TANGKI					
Biaya Tahunan	Juta Rupiah	8.051,64	8.140,05	8.251,89	32,25
Biaya Publik	Juta Rupiah	0	410,04	2.417,93	115,40
Frekuensi	Trip	7	7,75	8	0,43
Port Calls	Kunjungan	27	31,60	34	1,11
Kekurangan Bensin	kiloliter	0	7,63	44,66	6,68
Kekurangan Minyak Tanah	kiloliter	0	9,99	90,21	16,22
Kekurangan Solar	kiloliter	0	1,02	10,63	1,44

Tabel 4.6: Tabel Ukuran Utama Hasil Optimasi

LPP [m]	53,42
Beam [m]	8,52
Depth [m]	4,11
Draught [m]	3,04
Speed [Knot]	6,75
Tangki Bensin [ $m^3$ ]	253,72
Tangki Solar [ $m^3$ ]	202,7
Tangki Minyak Tanah [ $m^3$ ]	396,74

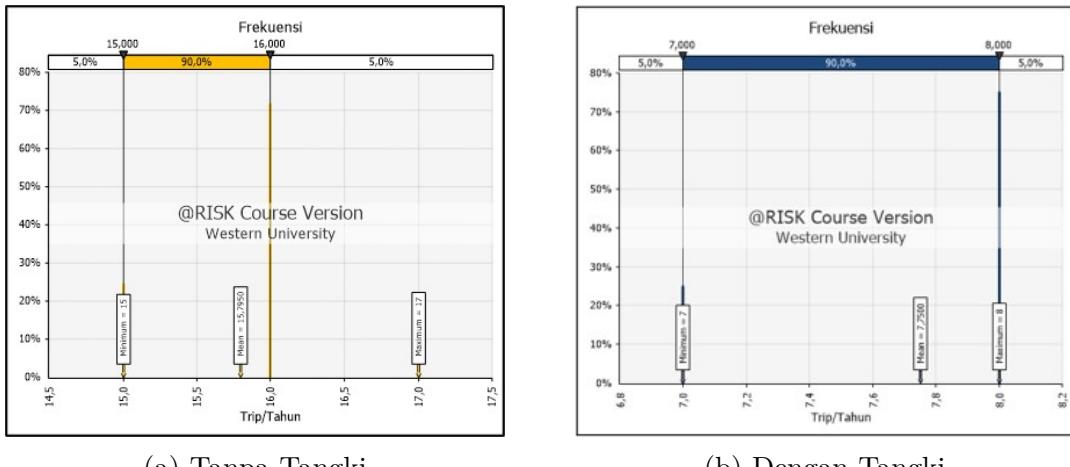


(a) Tanpa Tangki

(b) Dengan Tangki

Gambar 4.13: Hasil Simulasi Biaya

yang muncul ketika kapal mengadakan pemasokan.



Gambar 4.14: Hasil Simulasi Frekuensi

Gambar 4.14 memperlihatkan bahwa kemungkinan terbesar perjalanan setiap tahunnya ada 9 perjalanan diikuti oleh 8 dan 10 untuk batas nilai kepercayaan 90%. Meskipun begitu masih terlihat kemungkinan walaupun sangat kecil di angka 19 perjalanan dalam satu tahun, hal ini mungkin terjadi ketika terjadi peningkatan konsumsi secara tiba-tiba pada setiap titik secara bergantian. Namun, seperti yang dimodelkan peluangnya sangat kecil.

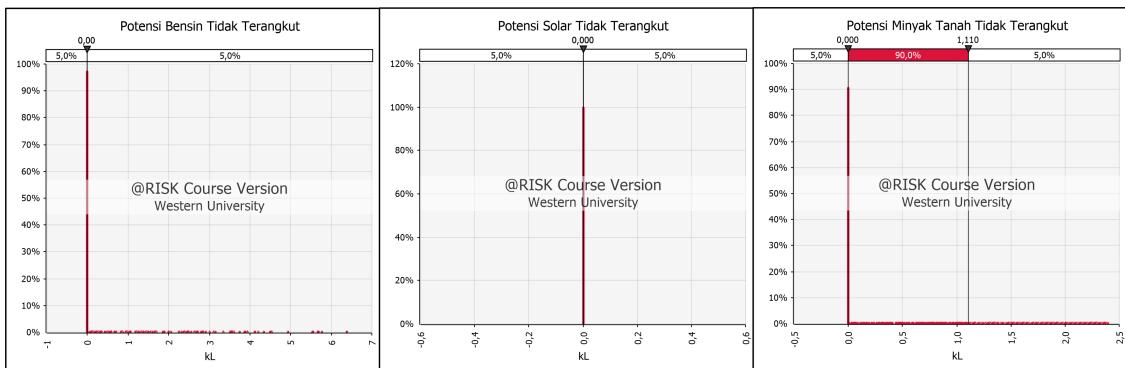
#### 4.4.4 Analisis Kemungkinan Kelangkaan BBM

Gambar 4.15a menggambarkan seperti apa kemungkinan terjadinya BBM tidak mampu diangkut oleh kapal. Hal ini mungkin terjadi ketika angka konsumsi tinggi sehingga volume tangki yang tersedia di kapal tidak mencukupi. BBM jenis solar terlihat tidak mungkin terjadi muatan tidak terbawa, jika kita lihat pada kapasitas tangki yang tersedia dan distribusi konsumsi harian solar maka grafik tersebut menjadi masuk akal. Jenis BBM yang mempunyai kemungkinan besar untuk tidak terangkut adalah minyak tanah, dikonfirmasi oleh gambar 4.15b yang memperlihatkan kemungkinan *load factor* minyak tanah yang lebih dari 100%.

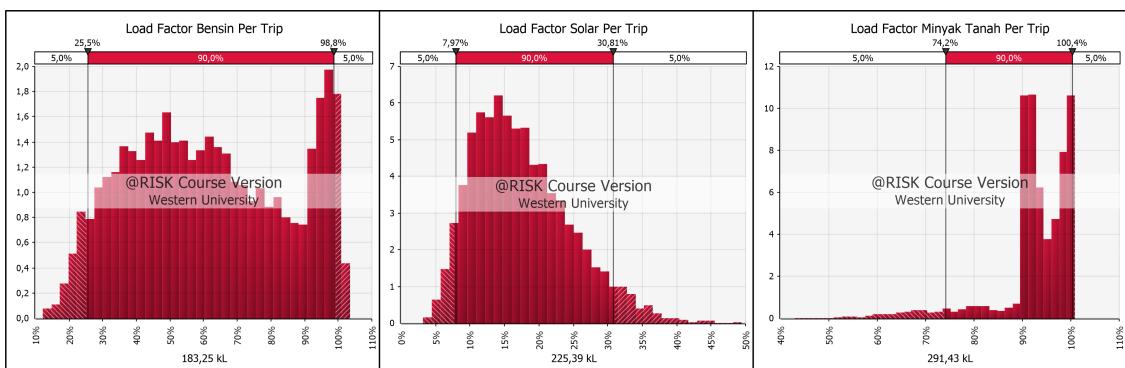
Namun yang menjadi catatan menarik adalah jika dilihat dari sisi keseluruhan volume yang tersedia maka nilai *load factor* kapal terbilang rendah (gambar 4.16). Hal ini berbanding lurus dengan distribusi konsumsi harian solar dan bensin (gambar 4.3) yang cenderung condong ke kiri ke nilai yang lebih kecil sedangkan minyak tanah cenderung normal atau berada di titik paling mungkin.

#### 4.4.5 Perhitungan Kebutuhan Tangki Tambahan

Konsekuensi dari sistem yang diusulkan yakni mengurangi frekuensi kunjungan kapal adalah adanya persediaan BBM yang cukup antar kedatangan kapal. Formulasi yang digunakan untuk menghitung kebutuhan tangki adalah penyimpanan tersedia saat ini dikurangi perkalian dari jeda hari antar pemasukan dengan konsumsi harian kemudian dibulatkan ke-

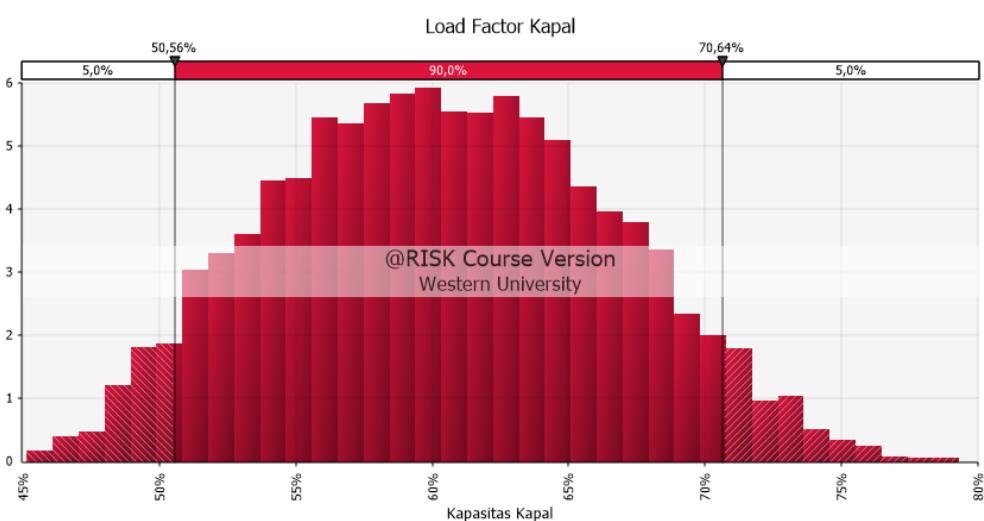


(a) Distribusi Kumulatif Volume BBM tidak Terangkut oleh Kapal



(b) Load Factor setiap Jenis BBM

Gambar 4.15: Grafik Distribusi Kumulatif Load Factor dan Over Capacity BBM



Gambar 4.16: Grafik Distribusi Kumulatif Load Factor Kapal Keseluruhan

atas menyesuaikan ukuran tangki yang tersedia. Rekapitulasi kebutuhan tangki tambahan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7: Rekapitulasi Tambahan Tangki yang Dibutuhkan

Lokasi	Minyak Tanah [kL]	Solar [kL]	Bensin [kL]
Lakor	50	0	0
Letti	50	0	0
Romang	50	0	0
Tiakur	170	50	0
Tepa	70	10	0

## 4.5 Perancangan Kapal

Tahapan berikutnya adalah merancang kapal sesuai dengan *owner requirement* yang telah didapatkan dari hasil optimasi dan simulasi yang tercantum pada tabel 4.6. Data-data tersebut akan dikembangkan hingga menjadi sebuah desain konseptual.

### 4.5.1 Perhitungan Koefisien Utama Kapal

**Froude Number** Bilangan Froude adalah sebuah bilangan tak bersatuan yang digunakan untuk mengukur resistensi dari sebuah benda yang bergerak melalui air, dan membandingkan benda-benda dengan ukuran yang berbeda-beda (Lewis et al., 1988). *Froude number* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Fn = V_s / \sqrt{g \times LWL} \quad (4.1)$$

Dengan nilai  $V_s$  (kecepatan kapal) sebesar 9,25 knot dan  $g$  sebesar 9,81 m/s maka nilai *froude number* sebesar 0,21

**Koefisien Blok** Koefisien yang merupakan perbandingan volume kapal dengan volume balok. Rumus untuk menghitung koefisien blok digunakan rumus berikut (Parsons, 2001):

$$C_B = -4,22 + 27,8\sqrt{Fn} - 39,1Fn + 46,6Fn^2 \quad (4.2)$$

Koefisien kapal yang dirancang sebesar 0,741

**Koefisien Midship** Koefisien Midship adalah perbandingan antara luas penampang gading besar yang terendam air dengan luas suatu penampang yang lebarnya =  $B$  dan tingginya =  $T$ . Rumus untuk menghitung koefisien *midship* sebagai berikut Parsons (2001):

$$C_M = 0,977 + 0,085(C_B - 0,6) \quad (4.3)$$

Dari perhitungan didapat harga  $C_M$  sebesar 0,989

**Perhitungan Bidang Garis Air** Koefisien *waterplan* adalah perbandingan antara volume badan kapal yang ada dibawah permukaan air dengan volume sebuah prisma dengan luas penampang pada  $LWL$  dan tinggi =  $T$ . Rumus untuk menghitung koefisien bidang garis air sebagai berikut (Parsons, 2001):

$$C_{WP} = 0,18 + 0,085C_P \quad (4.4)$$

Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat harga  $C_{WP}$  sebesar 0,842

#### 4.5.2 Perhitungan Hambatan

Perhitungan hambatan digunakan metode holtrop, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$R_T = \frac{1}{2}\rho V^2 S_{total}[C_F(1+k) + C_A] + \frac{R_W}{W}W \quad (4.5)$$

Dari perhitungan didapatkan nilai  $R_T$  sebesar 18,054 kN.

#### 4.5.3 Perhitungan Propulsi

Hambatan total yang telah dihitung dapat digunakan untuk melakukan estimasi daya mesin utama yang dibutuhkan. Berikut ini merupakan langkah perhitungannya:

$$EHP = R_T \times V_s \quad (4.6)$$

Pertama dihitung effective horse power, dimana hambatan sudah didapatkan pada perhitungan subbab sebelumnya, dan  $V_s$  sebesar 9,25 knot atau sama dengan 4,75 m/s. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *delivered power power*.

$$DHP = EHP \times \eta D \quad (4.7)$$

Perhitungan didapat dari perkalian EHP dengan *quasi propulsive coefficient*, sedangkan SHP didapat dari perkalian DHP dengan *shaft efficiency* yang biasanya bernilai 0,981 – 0,985.

$$SHP = DHP \times \eta S \quad (4.8)$$

*Brake horse power* dihitung dari perkalian SHP dengan *reduction gear efficiency*. Se-mentara itu penentuan kebutuhan power sebenarnya ditambahkan 10% dari BHP atau biasa disebut dengan  $BHP_{MCR}$ .

$$BHP = SHP \times \eta R \quad (4.9)$$

Dari langkah-langkah perhitungan kebutuhan daya mesin, diperoleh kebutuhan daya mesin kapal yaitu 190,11 kW. Kemudian dicari spesifikasi mesin yang sesuai di pasaran. Mesin yang terpilih diproduksi oleh *Cummins* dengan seri QSB7 dengan daya 210 kW

#### 4.5.4 Perhitungan *Deadweight* Kapal

*Deadweight* merupakan berat yang dapat dipindahkan dari kapal. Rincian unsur *deadweight* sebagai berikut:

- *Payload*: Berat muatan kapal
- *Consumable*: Berat Perbekalan, bahan bakar dan air tawar
- *Crew and Effect*: Berat kru dan barang bawaan

Setelah dihitung mulai dari berat bahan bakar yang dibutuhkan hingga berat kru dan barang bawaannya, didapatkan nilai *deadweight* sebesar 592,94 ton

#### 4.5.5 Perhitungan *Lightweight* Kapal

*Lightweight* merupakan berat yang dapat dipindahkan dari kapal. Rincian unsur *lightweight* sebagai berikut:

- *Steel*: Berat rangka atau konstruksi kapal tersebut
- *Outfit and Equipment*: Berat peralatan dan perlengkapan yang ada di kapal
- *Machinery*: Berat permesinan dan sistem propulsi yang digunakan oleh kapal

Setelah dihitung mulai dari berat bahan bakar yang dibutuhkan hingga berat kru dan barang bawaannya, didapatkan nilai *lightweight* sebesar 324,14 ton

#### 4.5.6 Perhitungan Tonase Kapal

Tonase kapal dibagi menjadi dua yaitu Net Tonnage (NT) dan Gross Tonnage (GT). GT digunakan untuk menentukan persyaratan-persyaratan regulasi, misalnya biaya masuk kanal, biaya pemanduan kapal, persyaratan keselamatan, peralatan teknis, jumlah kru, dan asuransi. Perhitungan tonase kapal dapat dihitung sesuai dengan standar yang telah ditentukan oleh IMO (Organization, 1983). Sebagai mana dalam *International Convention on Tonnage Measurement of Ships* didapatkan nilai GT kapal sebesar 115

#### 4.5.7 Perhitungan Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak lurus ketika mendapat gaya eksternal yang menyebabkan kapal miring. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh lengan dinamis ( $GZ$ ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen stabilitas terdiri dari  $GZ$ ,  $KG$  dan  $GM$ . Interaksi dari variabel tersebut ditentukan kriterianya oleh IMO dalam *International Code of Intact Stability* (Organization, 2009). Kriteria stabilitas kapal yang dirancang dapat dilihat pada tabel 4.8

$e_{0,30^\circ}$	$\geq$	0,055 0,148	m rad
$e_{0,40^\circ}$	$\geq$	0,09 0,219	m rad
$e_{30,40^\circ}$	$\geq$	0,03 0,071	m rad
$h_{30^\circ}$	$\geq$	0,2 0,403	m
$\varphi_{GZmax}$	$\geq$	25 45	$^\circ$
$GM_0$	$\geq$	0,15 0,721	m

Tabel 4.8: Tabel Kriteria Stabilitas IMO

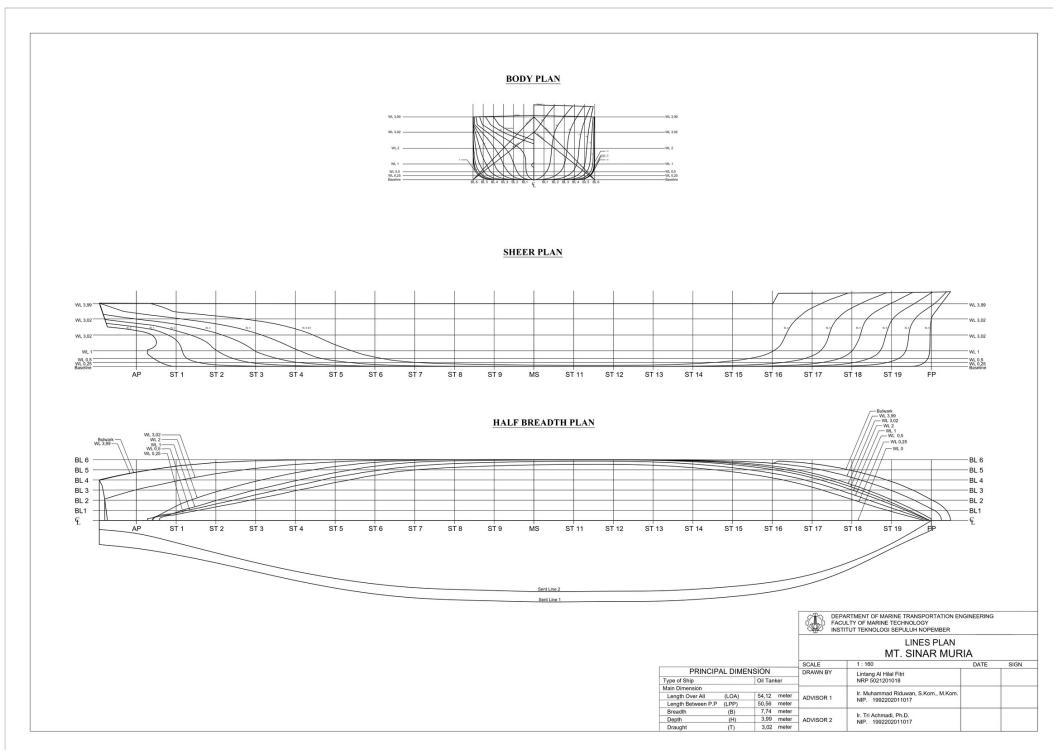
#### 4.5.8 Rencana Garis

Ukuran utama yang sudah didapatkan selanjutnya diterjemahkan kedalam bentuk lambung kapal yang sesuai. Bentuk lambung kapal tersebut digambarkan dalam proyeksi tiga dimensi yang disebut dengan rencana garis. Lambung kapal yang dibuat harus mampu mengakomodasi hasil perhitungan yang sudah ada, seperti ketersediaan ruang muat dan ketersediaan gaya apung dalam bentuk sisa *displacement*. Rencana garis yang sudah dibuat dapat dilihat pada gambar 4.17.

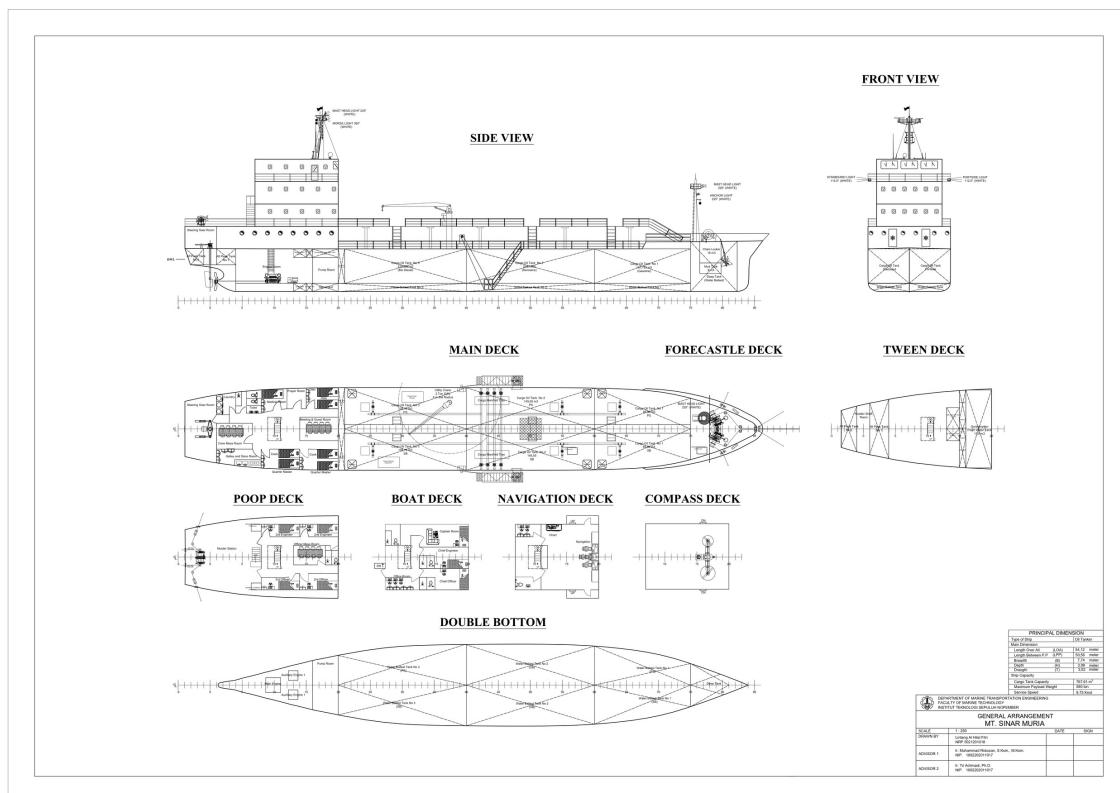
#### 4.5.9 Rencana Umum

Bentuk lambung yang sudah ada kemudian harus dibagi atau ditentukan penggunaannya dengan tepat. perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya ini disebut dengan rencana umum atau *general arrangement* (Taggart, 1980). Beberapa ruangan yang penting diperhatikan adalah ruang muat, kamar mesin dan akomodasi kru kapal. Rencana umum yang dirancang dapat dilihat pada gambar 4.18

### 4.6 Analisis Kesenjangan



Gambar 4.17: Rencana Garis Kapal yang Sudah Dibuat



Gambar 4.18: Rencana Garis Kapal yang Sudah Dibuat

Perbandingan biaya yang dikeluarkan antara kondisi yang ada dengan sistem penyaluran baru yang diusulkan dapat dilihat pada tabel 4.9. Perbedaan struktur biaya terlihat jelas dimana biaya tetap yang harus dikeluarkan untuk sistem baru lebih besar, Namun jika dilihat biaya BBM yang dibutuhkan jauh lebih sedikit. Hal ini merupakan efek langsung dari pengurangan frekuensi pemasokan. Potensi penghematan yang bisa didapatkan sebesar 5,3 miliar rupiah, jika berganti ke sistem pemasokan baru.

	Biaya BBM	Biaya Tangki Timbun	Biaya Tetap
Kondisi Saat Ini	10.552,91	0,00	1.229,81
Usulan Baru	322,29	75,20	6.074,63

Tabel 4.9: Perbandingan Biaya (dalam juta rupiah)

Sistem baru walaupun *load factor* rata-rata masih jauh dari kata optimum karena ketimpangan konsumsi antar jenis BBM. Namun, jika dilihat masih lebih tinggi dibandingkan dengan kapal yang saat ini digunakan. Perbandingan operasional dapat dilihat pada tabel 4.10

Nama Kapal	Frekuensi	Avg. Load Factor
Handil Tirusan	40	33,33%
BUMA III	24	16,67%
Cinta Damai 1	12	22,86%
Sistem Baru	9	59,32%

Tabel 4.10: Perbandingan Operasional

## **BAB V**

## **PENUTUP**

Pada bab ini akan dipaparkan kesimpulan dari hasil pengujian yang akan menjadi jawaban dari permasalahan yang diangkat oleh penelitian ini. Selain itu akan dipaparkan juga saran mengenai hal yang bisa dilakukan untuk mengembangkan penelitian ini ke arah yang lebih lanjut.

### **5.1 Kesimpulan**

1. Hasil simulasi persediaan BBM menunjukkan moda transportasi laut saat ini belum mampu memenuhi permintaan BBM Kabupaten Maluku Barat Daya dengan ekspektasi rata-rata permintaan yang tidak terpenuhi selama satu tahun untuk bensin sebesar 24,79 kL, minyak tanah sebesar 112 kL dan solar sebesar 1,11 kL.
2. Moda transportasi laut yang dirancang memiliki panjang sebesar 53,42 meter, lebar 8,52 meter, tinggi 4,11 meter, dan sarat air sebesar 3,17 meter. Kecepatan kapal adalah 7,75 knot. Kapal ini dilengkapi dengan tangki bensin berkapasitas 252,72 kL, tangki solar dengan kapasitas 202,7 kL, dan tangki minyak tanah yang berkapasitas 396,74 kL
3. Potensi penghematan jika menggunakan sistem baru yaitu dengan sistem pengiriman *multiport* dan penambahan kapasitas penyimpanan sebesar 280 juta rupiah pertahun

### **5.2 Saran**

Pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini bisa dilakukan dengan meningkatkan keakuratan data permintaan harian dan durasi gangguan cuaca agar lebih akurat. akurasi biaya penalti yang ditimbulkan ketika terjadi kelangkaan BBM dan *load factor* kapal dapat diteliti lebih lanjut dari sisi *inventory cost* dan *opportunity cost*.

Pendekatan secara agregat untuk seluruh kebutuhan logistik kepulauan 3T perlu dilakukan agar dapat merencanakan fasilitas transportasi laut yang lebih komprehensif.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- Alhamda, P. (2016). *Optimalisasi Sistem Pengiriman Products Oil Untuk Wilayah Kepulauan: Studi Kasus Nusa Tenggara Barat*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. John Wiley & Sons.
- Burke, P. J., Stern, D. I., and Bruns, S. B. (2018). The Impact of Electricity on Economic Development: A Macroeconomic Perspective. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 12(1):85–127.
- Djatmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di atas Gelombang Acak*, volume 1. ITS Press, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 1 edition.
- Hidni, N. (2016). *Model Keputusan Perencanaan Armada Tanker Cadangan Distribusi Bahar Bakar Minyak Pelayaran Domestik: Studi Kasus Wilayah Pemasaran VII*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Hsu, C. S. and Robinson, P. R. (2017). *Gasoline Production and Blending*, page 551–587. Springer.
- IEA (2024). World Energy Statistics and Balances. Technical report, International Energy Agency, Paris. [Online; accessed 2024-05-04].
- Jack, K. (2024). How much do we know about the development impacts of energy infrastructure? <https://blogs.worldbank.org/en/energy/how-much-do-we-know-about-development-impacts-energy-infrastructure>.
- Jumahudin (2021). Elpiji di banjarmasin masih langka, kasih: Untung masih punya kompor minyak. *Sonora.id*.
- Karimah, I. (2016). *Optimalisasi Penguasaan Armada Tanker Distribusi Bbm Pelayaran Domestik: Studi Kasus Wilayah VII*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Kontan (2024). Pemerintah akan bangun 100 spbu bbm satu harga tahun 2024. *Kontan.co.id*.
- Kurniati, P. (2024). Antrean panjang warga maluku barat daya demi dapatkan bbm. *KOMPAS.com*.

- Lam, N. L., Smith, K. R., Gauthier, A., and Bates, M. N. (2012). Kerosene: A review of household uses and their hazards in low- and middle-income countries. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews*, 15(6):396–432.
- Levander, K. (2003). *INNOVATIVE SHIP DESIGN—can innovative ships be designed in a methodological way*. International Marine Design Conference, Athens.
- Lewis, E. V., Engineers, S. o. N. A., and Marine (1988). *Principles of Naval Architecture*. Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Macarty, M. (2013). Basic monte carlo simulation of a stock portfolio in excel.
- Muqri, M. (2020). Carlo simulations. *2020 ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings*.
- Olson, S. R. (1978). An evaluation of the seakeeping qualities of naval combatants. *Naval Engineers Journal*, 90(1):23–40.
- Organization, I. M. (1983). *International Conference on Tonnage Measurement of Ships, 1969*. IMO Publishing.
- Organization, I. M. (2009). *International Code on Intact Stability, 2008*. IMO.
- Papanikolaou, A. (2014). *Ship Design: Methodologies of Preliminary Design*. Springer.
- Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design*. University of Michigan, Departement of Naval Architecture and Marine Engineering.
- Pertamina (2021). Kuota dan realisasi biosolar pertamina per kota kabupaten tahun 2021 - update september 2021 — pertamina.
- Pratiwi, N. P. I. and Hadi, F. (2013). Internalisasi Biaya Eksternal Pada Angkutan Laut BBM Domestik. *Jurnal Teknik ITS*, 2(1).
- PTI (2014). Administrasi kabupaten maluku barat daya.
- Radiodms (2021). Kelangkaan minyak tanah berlanjut dalam kota masohi - radio dms ambon. *Radio DMS Ambon*.
- Rendyk (2021). How to perform monte carlo simulation?
- Rifa'i, A. (2020). Lpg – cng - biofuel for land transportation fuel in indonesia: Overview, opportunities, and challenges. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7):3784–3790.
- Rizky, T. (2022). Konsumen dibatasi rp 100 ribu per hari beli biosolar bagi yang belum daftar mypertamina. *TribunPekanbaru Travel*.

RRI (2024). Cuaca buruk, penyebab penyaluran bbm terhambat di maluku barat daya. *Radio Republik Indonesia*.

Soraya, N. and Afiatno, B. E. (2021). Analysis of factors affecting the demand for kerosene in urban households in indonesia. *International Journal of Economics, Business and Accounting Research (IJEBAR)*, 5(4).

Syofiadi, R. (2024). Sepanjang 2023, Pemerintah Melalui PMN Terangi 76.900 Desa Kelurahan di Seluruh Indonesia dengan Listrik PLN - PT PLN (Persero). <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2024/01/sepanjang-2023-pemerintah-melalui-pmn-terangi-76-900-desa-kelurahan-di-seluruh-indonesia-dengan-listrik-pln/>.

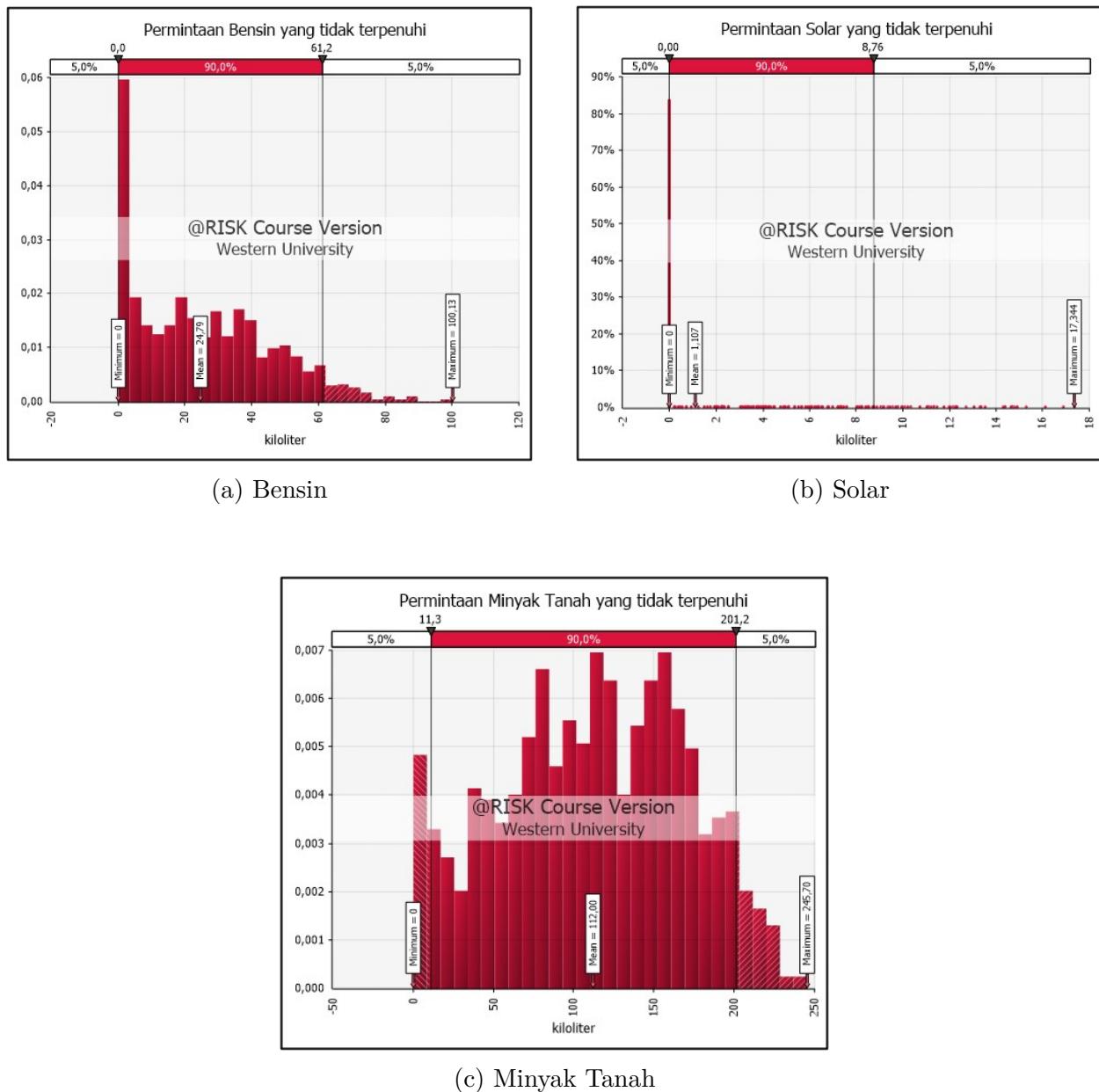
Taggart, R. (1980). *Ship design and construction*. SNAME.

World Bank Group Archives (2024). Gdp per unit of energy use (constant 2017 PPP \$ per kg of oil equivalent). Technical report, The World Bank, Washington, United States. [Online; accessed 2024-05-09].

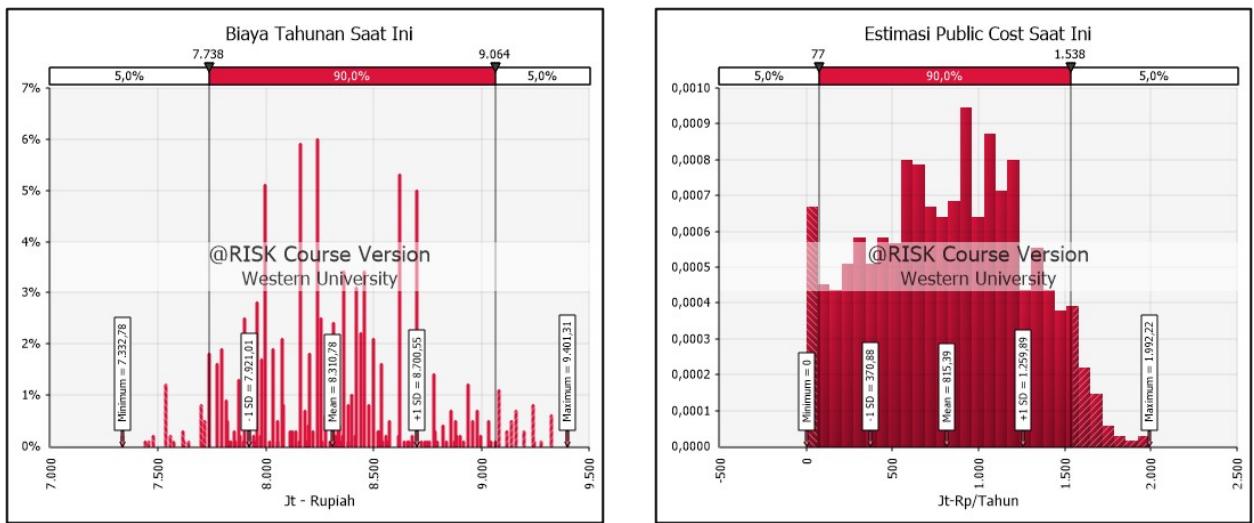
*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# LAMPIRAN

## Hasil Simulasi Saat Ini



Gambar 1: Permintaan BBM yang Tidak Terpenuhi Saat Ini



Gambar 2: Hasil Simulasi Biaya Saat Ini

## Biodata Penulis



Lintang Al Hilal Fitri lahir di Jepara pada 18 Desember 2001. Pendidikan formal dimulai dari TK hingga SMA, yang diawali di Jepara hingga selesai pendidikan dasar, dilanjutkan dengan pendidikan menengah di Kabupaten Nganjuk, dan ditutup dengan lulus dari MATIQ As Surkati Salatiga pada tahun 2020. Setelah itu, penulis diterima di Departemen Teknik Transportasi Laut, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN. Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai KPU Himaseatrans 2022, divisi propaganda PPU Pemilu ITS 2021 dan staff divisi acara pada *Transportation Festival 2021*. Selain organisasi intra kampus, penulis juga aktif sebagai *supervisor* di Kos Quran dari tahun 2022 hingga 2024. Pada tahun 2023 penulis berkesempatan untuk mengikuti program MSIB Jilid 5 di Samudera Indonesia, disana penulis belajar tentang operasional kapal dan pelabuhan melalui divisi keagenan SAI cabang Surabaya. Penulis memiliki ketertarikan dalam bidang ekonomi makro dan perancangan kapal, dan melalui tugas akhir ini, penulis berusaha menerapkan studi kasus di bidang tersebut. Untuk diskusi lebih lanjut penulis dapat dihubungi melalui email di [qonquerorhilal@gmail.com](mailto:qonquerorhilal@gmail.com).