



TUGAS AKHIR - MS184801

DESAIN KONSEPTUAL INOVASI PERALATAN BONGKAR MUAT CURAH CAIR

Sita Nuraini
NRP. 0441154 000 0003

Dosen Pembimbing
Ir. Tri Achmadi, Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK TRANSPORTASI LAUT
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



TUGAS AKHIR - MS 184801

**DESAIN KONSEPTUAL INOVASI PERALATAN
BONGKAR MUAT CURAH CAIR**

Sita Nuraini
NRP. 0441154 000 0003

Dosen Pembimbing
Ir. Tri Achmadi, Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK TRANSPORTASI LAUT
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



FINAL PROJECT - MS 184801

**DESIGN CONCEPTUAL OF INNOVATION LIQUID
BULK LOADING AND UNLOADING EQUIPMENT**

Sita Nuraini
NRP. 0441144 000 0003

Supervisors
Ir. Tri Achmadi, Ph.D.

DEPARTMENT OF MARINE TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN KONSEPTUAL INOVASI PERALATAN
BONGKAR MUAT CURAH CAIR

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program S1 Departemen Teknik Transportasi Laut
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SITA NURAINI
NRP 0441154 000 0003

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Ir. Tri Achmadi, Ph.D.

NIP. 196501101988031001

18/08/20

SURABAYA, AGUSTUS 2020

LEMBAR REVISI

DESAIN KONSEPTUAL INOVASI PERALATAN BONGKAR MUAT CURAH CAIR

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir

Tanggal 18 Agustus 2020

Program S1 Departemen Teknik Transportasi Laut

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

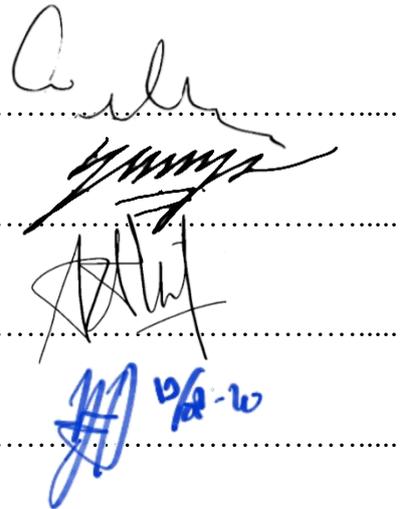
Oleh :

SITA NURAINI

NRP 0441154000003

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir :

1. Dr. –Ing Setyo Nugroho
2. Christino Boyke S. P., S.T.,M.T.
3. Achmad Mustakim, S.T., M.T., MBA.
4. Hasan Iqbal Nur, S.T., M.T.


.....
.....
.....
.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

5. Ir. Tri Achmadi, Ph.D.


.....

SURABAYA, AGUSTUS 2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Desain Konseptual Inovasi Peralatan Bongkar Muat Curah Cair**” ini dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, kepada :

1. Kedua orang tua dan adik, yaitu Bapak Aminin, Ibu Ngasmiatin, serta Adik Andra Egidia Rahmadani yang selalu memberikan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Tri Achmadi, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Eka Wahyu Ardhi, S.T., M.T. selaku Dosen Wali atas dukungan dan arahnya selama masa perkuliahan hingga pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Tim Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Staff Departemen Teknik Transportasi Laut atas ilmu dan bantuannya selama masa perkuliahan hingga pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Pak Witono yang tergabung dalam *Indonesian National Shipowners Association (INSA)* atas kesediaannya untuk berbagi ilmu dan informasi.
7. Biboy, Bang Nopal, Ditul, Enjun, Njo, dkk yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik secara langsung maupun tidak.
8. Teman-teman angkatan P55 T13 Brigantine atas dukungan dan kebersamaannya selama masa perkuliahan.
9. Semua pihak yang membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga laporan ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DESAIN KONSEPTUAL INOVASI PERALATAN BONGKAR MUAT CURAH CAIR

Nama Mahasiswa : Sita Nuraini
NRP : 0441154000003
Departemen / Fakultas : Teknik Transportasi Laut / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Tri Achmadi, Ph.D.

ABSTRAK

Kegiatan bongkar muat curah cair dengan kapal tanker pada umumnya dilaksanakan di dermaga melalui selang yang terhubung ke tangki di area pelabuhan dengan dibantu beberapa alat bongkar muat lainnya. Secara umum, kapal tanker memiliki ukuran yang lebih besar jika dibandingkan dengan kapal-kapal jenis lainnya. Sedangkan kedalaman rata-rata pelabuhan di Indonesia cukup rendah, bahkan sering mengalami pendangkalan. Akibatnya penyewa kapal kerap kali terkena denda *demurrage* karena terlambat dalam mengembalikan kapal. Sehingga diciptakanlah beberapa metode bongkar muat curah cair lainnya seperti menggunakan *jetty*, *ship to ship transfer*, *single* maupun *multi point mooring*, dan sebagainya. Akan tetapi permasalahan lain pun muncul dari masing-masing metode bongkar muat ini. Maka diperlukan inovasi metode bongkar muat curah cair yang mampu menepis berbagai permasalahan ini. Inovasi ini yaitu sebuah alat bongkar muat curah cair berupa *barge*. Dimana *barge* ini memiliki ukuran utama LOA \approx LPP yaitu 14,50 meter karena bentuknya menyerupai kubus, lebar (B) 6,00 meter, tinggi (H) 2,40 meter, dan sarat (T) 1,00 meter dengan biaya pembangunan sebesar Rp20.306.522.348,39. *Barge* ini layak secara teknis dan ekonomis untuk segera dibangun. Karena biaya pembuatannya setara dengan *demurrage cost* selama tiga bulan, serta setara dengan *provit* dari tarif bongkar muat nantinya selama kurang dari satu tahun.

Kata Kunci — *barge*, bongkar muat curah cair, *demurrage cost*, *provit*.

DESIGN CONCEPTUAL OF INNOVATION LIQUID BULK LOADING AND UNLOADING EQUIPMENT

Author : Sita Nuraini
ID No. : 04411540000003
Dept. / Faculty : Marine Transportation Engineering / Marine Technology
Supervisors : Ir. Tri Achmadi, Ph.D.

ABSTRACT

Liquid bulk loading and unloading activities on tankers are generally carried out at the pier through a hose connected to the tank in the port area by several other loading and unloading equipment. In general, tankers have a larger size compared to other types of vessels. Meanwhile, the average depth of ports in Indonesia is quite low, even oftensilting up. As a result, ship charterers are often subject to demurrage fines for being late in returning the ships. So that created several other methods of loading and unloading liquid bulk such as using jetty, ship to ship transfer, single or multi point mooring, and so on. However, other problems arise from each of these loading and unloading methods. So it takes innovation in the method of loading and unloading liquid bulk that is able to cover off these problems. This innovation is a liquid bulk loading and unloading tool in the form of a *barge*. Which has a main dimention LOA \approx LPP which is 14.50 meters because of its shape resembling a cube, breath (B) 6.00 meters, height (H) 2.40 meters, and draft (T) 1.00 meter with a construction cost of Rp20,306,522,348.39. This *barge* is technically and economically feasible to build immediately. Because the manufacturing costs are equivalent to the demurrage cost for three months, either as well as the provit of the loading and unloading rate later for less than one year.

Keywords - barge, loading and unloading of liquid bulk, demurrage cost, provit.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR REVISI.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR SIMBOL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Hipotesis.....	4
1.6 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pelabuhan Curah Cair	5
2.1.1 Fasilitas Terminal Curah Cair.....	6
2.1.2 Jenis Muatan Curah Cair.....	6
2.1.3 Kapal Curah Cair	8
2.2 Terminal Curah Cair	10
2.2.1 Jenis Terminal.....	10
2.2.2 Karakteristik Terminal	15
2.2.3 Operasional Terminal	20
2.3 Dermaga Curah Cair	21
2.3.1 <i>Jetty</i>	22
2.3.2 <i>Berthing Dolphin</i>	23
2.3.3 <i>Mooring Dolphin</i>	24
2.4 Metode Lain Bongkar Muat Curah Cair	26
2.4.1 <i>Tandem Offloading</i>	26
2.4.2 <i>Ship to Ship Loading</i>	27

2.5	Tempat Penyimpanan Curah Cair	28
2.6	<i>Barge</i>	29
2.6.1	Jenis <i>Barge</i>	29
2.6.2	Kelebihan dan Kekurangan <i>Barge</i>	30
2.7	Teori Desain	31
2.7.1	Tujuan Desain	31
2.7.2	Tahapan Desain	31
2.8	Tinjauan Teknis Mendesain Kapal	34
2.8.1	Ukuran Utama Kapal	34
2.8.2	Perbandingan Rasio Ukuran Utama Kapal	35
2.8.3	Koefisien Bentuk Kapal	35
2.8.4	Hambatan Kapal	36
2.8.5	Propulsi Kapal	37
2.8.6	Berat dan Titik Berat Kapal	39
2.8.7	Freeboard	40
2.8.8	Trim	41
2.8.9	Stabilitas Kapal	41
2.8.10	Biaya Pembangunan Kapal	43
2.9	Biaya Bongkar Muat Curah Cair	44
2.9.1	Biaya Layanan	44
2.9.2	Biaya <i>Demurrage</i>	44
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1	Diagram Alir Penelitian	45
3.2	Tahap Pengerjaan	46
BAB 4	KONDISI STUDI KASUS SAAT INI	49
4.1	Kondisi Geografis	49
4.2	Alur Pelayaran	50
4.3	Kolam Pelabuhan	51
4.4	Fasilitas Pelabuhan	51
4.5	Metode Bongkar Muat Curah Cair	52
4.6	Analisis Potensi CPO	52
4.7	Biaya <i>Demurrage</i> Kapal	52

BAB 5	DESAIN KONSEPTUAL INOVASI PERALATAN BONGKAR MUAT CURAH CAIR	55
5.1	Konsep Desain	55
5.2	Penentuan <i>Owner Requirement</i>	55
5.2.1	Kapal Tanker yang Dilayani	56
5.2.2	Peralatan dan Perlengkapan Bongkar Muat	57
5.2.3	Kecepatan Dinas	64
5.3	Desain Konseptual <i>Barge</i>	64
5.3.1	Ukuran Utama	64
5.3.2	Kecepatan Dinas	65
5.3.3	Koefisien Bentuk	65
5.3.4	Hambatan	66
5.3.5	Powering	66
5.3.6	Pemilihan Generator dan Propulsi	67
5.3.7	Berat dan Titik Berat	68
5.3.8	Stabilitas	69
5.4	Biaya Pembangunan <i>Barge</i>	71
5.5	Layout <i>Barge</i>	72
5.6	Perencanaan Sistem Bongkat Muat	72
5.7	Perbandingan <i>Arrangement</i> Menggunakan <i>Barge</i> dan Metode Konvensional	74
5.8	Kelebihan dan Kekurangan <i>Barge</i> Dibandingkan Metode Konvensional	76
5.9	Tinjauan Kelayakan	77
5.9.1	Kelayakan Teknis	77
5.9.2	Kelayakan Ekonomis	78
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	81
6.1	Kesimpulan	81
6.2	Saran	81
	DAFTAR PUSTAKA	83
	LAMPIRAN	85
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Estimasi Perhitungan <i>Demurrage Cost</i>	53
Tabel 5.1 Data Kapal MT Mid Falcon.....	56
Tabel 5.2 Peralatan dan Perlengkapan Bongkar Muat.....	57
Tabel 5.3 Spesifikasi Teknis <i>Crane</i>	58
Tabel 5.4 Spesifikasi <i>Mooring System</i>	61
Tabel 5.5 Spesifikasi <i>Flexible Hose</i>	62
Tabel 5.6 Rasio Ukuran Utama <i>Barge</i>	64
Tabel 5.7 Penentuan <i>Main Dimension</i> Awal <i>Barge</i>	65
Tabel 5.8 Pengecekan Penentuan <i>Main Dimension</i> Awal <i>Barge</i>	65
Tabel 5.9 Koefisien Bentuk Kapal.....	66
Tabel 5.10 Spesifikasi Generator Terpilih	67
Tabel 5.11 Spesifikasi Propulsi Terpilih.....	68
Tabel 5.12 Perhitungan Biaya Pembangunan <i>Barge</i>	71
Tabel 5.13 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan <i>Barge</i> Dibanding <i>Jetty</i> Konvensional	77
Tabel 5.14 Peninjauan Kelayakan Teknis.....	77
Tabel 5.15 Perbandingan <i>Demurrage to Barge</i>	78
Tabel 5.16 Tinjauan Akhir <i>Demurrage to Barge</i>	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ekspor Minyak Sawit dan Turunannya berdasarkan Negara Tujuan Utama	2
Gambar 2.1 Rantai Pasok Minyak Bumi	7
Gambar 2.2 Rantai Pasok Minyak Kelapa Sawit.....	8
Gambar 2.3 <i>Oil Tanker</i>	9
Gambar 2.4 Jenis Ukuran Kapal Tanker.....	10
Gambar 2.5 Dermaga <i>Dolphin</i>	11
Gambar 2.6 <i>Jetty</i> Konvensional.....	12
Gambar 2.7 <i>Single Point Mooring (SPM)</i>	13
Gambar 2.8 <i>Multy Buoy Mooring (MBM)</i>	14
Gambar 2.9 Tipikal Tata Letak Terminal Curah Cair	15
Gambar 2.10 Tangki Penyimpanan Minyak	16
Gambar 2.11 Sketsa Skematis Lapisan Tangki LNG	17
Gambar 2.12 Skematis Bongkar Muat MLA.....	18
Gambar 2.13 Perhitungan Kapasitas <i>Bund Wall</i>	19
<i>Sumber: Christino, 2019</i> Gambar 2.14 Skematis <i>Jetty</i> Curah Cair	22
Gambar 2.15 Tipikal Horizontal <i>Mooring Layout</i>	23
Gambar 2.16 Tipikal Vertikal <i>Mooring Layout</i>	23
Gambar 2.17 Contoh Analisa Grafis untuk Penentuan Posisi <i>Berthing Dolphin</i>	24
Gambar 2.18 <i>Quick Release Hook</i>	25
Gambar 2.19 Contoh Analisa Grafik untuk Penentuan Posisi <i>Mooring Dolphin</i>	25
Gambar 2.20 <i>Tandem Offloading</i>	26
Gambar 2.21 LNG <i>Ship to Ship Offloading</i>	27
Gambar 2.22 <i>Spiral Design</i>	32
Gambar 2.23 Stabilitas Positif	41
Gambar 2.24 Stabilitas Netral.....	42
Gambar 2.25 Stabilitas Negatif.....	42
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	46
Gambar 4.1 Posisi Pelabuhan Belawan di Selat Malaka	49
Gambar 4.2 Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan.....	50
Gambar 5.1 MT. Mid Falcon	56

Gambar 5.2 Harga 3 Ton Knuckle Boom Pickup Hydraulic Mini Truck Mounted Crane	58
Gambar 5.3 <i>Technical Drawing Crane</i>	58
Gambar 5.4 <i>Overall Dimension Crane</i>	59
Gambar 5.5 Penyambungan Floating Hose	59
Gambar 5.6 Ukuran per <i>Piece Floating Hose</i>	60
Gambar 5.7 Harga <i>Mooring System</i>	61
Gambar 5.8 <i>Flexible Hose</i>	62
Gambar 5.9 <i>Floating hose connection and cargo manifold</i>	63
Gambar 5.10 <i>Access Ladder</i>	63
Gambar 5.11 Generator Caterpillar C4.4.....	67
Gambar 5.12 Propulsi Max CT 325	68
Gambar 5.13 Kurva GZ	70
Gambar 5.14 <i>Layout Akhir Barge</i>	72
Gambar 5.15 Bagan Alur Bongkar Muat Curah Cair	73
Gambar 5.16 Posisi <i>Barge</i> dan Kapal Tanker saat Kegiatan Bongkar Muat (<i>Top View</i>)	73
Gambar 5.17 Posisi <i>Barge</i> dan Kapal Tanker saat Kegiatan Bongkar Muat (<i>Profile View</i>)	74
Gambar 5.18 Posisi <i>Barge</i> dan Kapal Tanker saat Kegiatan Bongkar Muat (<i>Front View</i>)	74
Gambar 5.19 Proses Bongkar Muat Curah Cair pada <i>Jetty</i> Konvensional	75
Gambar 5.20 Proses Bongkar Muat Curah Cair Menggunakan <i>Barge</i>	75
Gambar 5.21 Pola Operasi Peralatan Bongkar Muat Curah Cair Menggunakan <i>Barge</i>	76

DAFTAR SIMBOL

L	= Panjang kapal (m)
LoA	= <i>Length Overall</i> (m)
Lpp	= <i>Length of Perpendicular</i> (m)
Lbp	= <i>Length Between Perpendicular</i> (m)
B	= Lebar keseluruhan kapal (m)
T	= Sarat kapal (m)
H	= Tinggi lambung kapal (m)
Vs	= Kecepatan dinas kapal (knot)
Fn	= <i>Froud Number</i>
Rn	= <i>Reynolds Number</i>
CB	= Koefisien Blok
CP	= Koefisien Prismatic
CM	= Koefisien Midship
CWP	= Koefisien <i>Water Plane</i>
ρ	= Massa jenis (kg/m^3)
Δ	= <i>Displacement Kapal</i> (ton)
LCB	= <i>Longitudinal Centre of Boyancy</i> (m)
VCG	= <i>Vertical Centre of Gravity</i> (m)
LCG	= <i>Longitudinal Centre of Gravity</i> (m)
LWT	= <i>Light Weight Tonnage</i> (ton)
DWT	= <i>Dead Weight Tonnage</i> (ton)
RT	= Hambatan total kapal (N)
WSA	= Luasan permukaan basah (m^2)

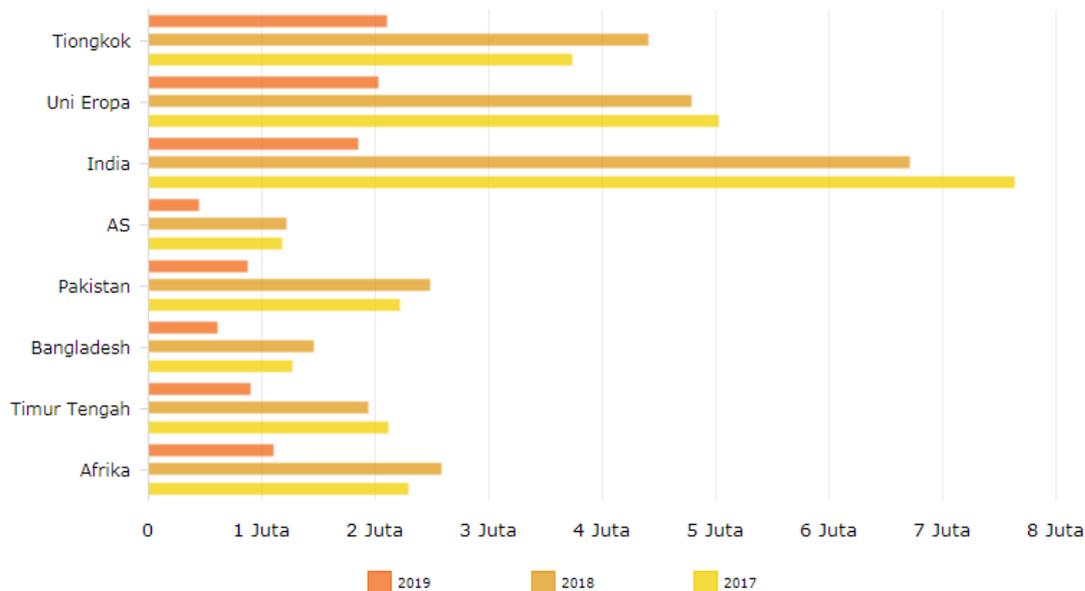
BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang yang menjadi dasar dalam melakukan penelitian serta perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini, hipotesis dari penelitian tugas akhir ini, serta batasan masalah dalam tugas akhir ini. Pembahasan mengenai permasalahan akan dibahas pada sub bab rumusan masalah. Kemudian sub bab tujuan dan manfaat akan menjelaskan mengenai apa saja yang akan diperoleh dalam pengerjaan tugas akhir ini. Dari permasalahan yang diangkat tersebut, diperlukan ruang lingkup atau batasan masalah agar pembahasan tidak menyimpang jauh dari pembahasan utama yang dituliskan dalam sub bab batasan masalah.

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan yang dipersatukan oleh wilayah lautan dengan luas seluruh wilayah teritorial adalah 8 juta km² dan mempunyai panjang garis pantai mencapai 81.000 km. Luas wilayah perairan mencapai 5,8 juta km² atau sama dengan 2/3 dari luas wilayah Indonesia, terdiri dari Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) 2,7 juta km² dan wilayah laut teritorial 3,1 juta km² (mgi.esdm.go.id, 2016). Dimana memiliki 4 diantara 10 lokasi paling strategis di dunia untuk menjadi pusat kegiatan industri dan perdagangan yaitu Selat Malaka, Selat Sunda, Selat Lombok dan Selat Makassar menjadikan Indonesia sebagai calon poros maritim dunia (BPS, 2016). Di sisi lain, Indonesia memiliki masalah geografis nasional, yaitu dangkalnya pelabuhan di Indonesia. Meski secara umum Laut Indonesia memiliki rata-rata kedalaman mencapai 200 meter, namun rata-rata kedalaman pelabuhan di Indonesia hanya 9 meter. Angka ini terpaut cukup jauh apabila dibandingkan dengan negara-negara tetangganya seperti Malaysia dan Singapura yang memiliki kedalaman hingga 14,5 meter. Akibatnya bobot kapal yang masuk Indonesia hanya jenis kapal dengan rata-rata volume 500 TEUs, sedangkan Malaysia dan Singapura mampu melipat gandakan volume tersebut hingga 20 kali lipat (dephub.go.id, 2017). Dalam hal ini, masalah pengangkutan yang paling berpengaruh yaitu sektor migas. Karena migas diangkut oleh kapal tanker yang umumnya berukuran besar. Selain itu, Indonesia juga merupakan salah satu negara dengan ekspor migas terbesar, terutama komoditas minyak kelapa sawit berupa *Crude Palm Oil* (CPO).



Sumber: <https://databoks.katadata.co.id>, 2019

Gambar 1.1 Ekspor Minyak Sawit dan Turunannya berdasarkan Negara Tujuan Utama

Berdasarkan grafik di atas, pada 2019 total ekspor CPO dan minyak inti kelapa sawit (*palm kernel oil*/PKO) sebesar 13 juta ton, dimana CPO sebesar 12,1 juta ton dan PKO sebesar 926,99 ribu ton. Jika dilihat tren dari tahun sebelumnya, pada 2018 ekspor minyak sawit Indonesia secara keseluruhan (CPO dan produk turunannya) sebesar 34,71 juta ton, meningkat 8% dari 32,18 juta ton pada 2017. Meski volume ekspor CPO diproyeksikan akan terus mengalami peningkatan, namun jika kedalaman pelabuhan di Indonesia tetap sedangkal ini atau bahkan lebih dangkal lagi maka dapat menghambat proses pengangkutan. Seperti halnya yang kerap terjadi di Pelabuhan Belawan, Medan. Pelabuhan ini merupakan salah satu diantara 4 Pelabuhan Utama di Indonesia yaitu Tanjung Priok, Tanjung Perak, dan Makassar. Pelabuhan Belawan memiliki kedalaman kolam pelabuhan sekitar 6 – 10 mLWS. Padahal SVP Sekretariat Perusahaan Pelindo I M. Eriansyah (2020) memaparkan bahwa PT Pelabuhan Indonesia I (Persero) atau Pelindo I mengoptimalkan pengoperasian terminal curah cair melalui Pelabuhan Belawan. Layanan terminal curah cair sangat prospektif dengan potensi ekspor komoditas minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*/CPO) yang terus meningkat. Terlebih, produk tersebut menjadi salah satu kontributor utama terhadap kinerja ekspor nasional. Sepanjang 2019, Pelabuhan Belawan melakukan ekspor CPO dan turunannya sebanyak 3.273.978 ton, dimana angka ini tumbuh 12,60% dibandingkan dengan 2018 yang sejumlah 2.907.383 ton.

Untuk mengatasi masalah dangkalnya pelabuhan di Indonesia, seperti yang terjadi di Pelabuhan Belawan di atas, hingga saat ini telah terdapat beberapa metode bongkar muat curah cair baik secara *onshore* –seperti pembangunan *jetty*, *berthing dolphin*, dan *mooring dolphin*– maupun *offshore* –seperti *ship to ship*–. Namun terdapat berbagai kelemahan seperti metode *onshore* memakan banyak biaya dan terbatasnya ukuran kapal yang mampu dilayani, sedangkan metode *offshore* memiliki berbagai risiko yang besar serta kurang efisien. Selain itu, muncul permasalahan lain yang kerap terjadi yaitu biaya *demurrage* (denda atas keterlambatan penyandaran kapal). Maka dari itu, diperlukan alternatif lain untuk melakukan proses bongkar muat (*loading unloading*) kapal tanker berukuran besar yang terbatas/tidak mampu dilayani oleh pelabuhan Belawan saat ini yaitu dengan menggunakan *barge*. Dimana *barge* ini menyalurkan selang-selang yang akan digunakan untuk melakukan proses *loading* dan *unloading* dengan harapan dapat melayani kapal tanker berukuran besar, mempercepat layanan bongkar muat, serta mereduksi biaya bongkar muat akibat timbulnya *demurrage cost*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dangkalnya Pelabuhan Belawan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi bongkar muat curah cair pada Pelabuhan Belawan saat ini?
2. Bagaimana konsep desain dari inovasi peralatan bongkar muat curah cair untuk Pelabuhan Belawan?
3. Seberapa besar kelayakan teknis dan ekonomis dari inovasi peralatan bongkar muat curah cair yang ditawarkan terhadap biaya *demurrage*?

1.3 Tujuan

Sesuai dengan rumusan masalah di atas, maka tujuan dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi bongkar muat curah cair pada Pelabuhan Belawan saat ini.
2. Membuat perancangan konsep desain dari inovasi peralatan bongkar muat curah cair untuk Pelabuhan Belawan.
3. Mengetahui seberapa besar kelayakan teknis dan ekonomis dari inovasi peralatan bongkar muat curah cair yang ditawarkan terhadap biaya *demurrage*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagi pihak otoritas Pelabuhan Belawan, mendapatkan gambaran alat inovasi untuk melakukan bongkar muat yang mampu mengakomodasi kebutuhan.
2. Bagi penulis, melakukan eksplorasi ilmu dan ide untuk menghasilkan peralatan inovasi bongkar muat sesuai kebutuhan di Pelabuhan Belawan.

1.5 Hipotesis

Kegiatan bongkar muat curah cair di Pelabuhan Belawan saat ini masih terbilang cukup merepotkan. Dengan adanya inovasi ini, maka akan tersedia alat bongkar muat curah cair yang mampu mereduksi biaya bongkar muat curah cair dengan menghilangkan biaya *demurrage* serta mempercepat proses bongkar muat tersebut, sehingga tidak terjadi penumpukan antrean kapal untuk bersandar.

1.6 Batasan Masalah

Agar dalam melakukan penelitian tugas akhir ini lebih fokus, dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Lingkup penelitian ini adalah Pelabuhan Belawan, Medan.
2. Penelitian ini fokus membahas inovasi yang di tawarkan, tidak membahas secara detail mengenai konstruksinya.
3. Jenis muatannya adalah curah cair berupa *Crude Palm Oil* (CPO).
4. Kondisi perairan laut dianggap sebagai air tenang atau *stil water*.
5. Perhitungan kelayakan alat ini hanya dikaitkan dengan biaya *demurrage* kapal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai literatur apa saja yang dijadikan referensi oleh penulis. Diantaranya mengenai pelabuhan dan terminal curah cair, kapal tanker, *barge*, bongkar muat curah cair, tempat penyimpanan curah cair, teori desain secara umum, tinjauan teknis dalam mendesain kapal, dan pustaka lain serta peraturan-peraturan yang digunakan untuk mendukung pengerjaan tugas akhir ini. Semua literatur ini nantinya akan dijadikan acuan dan referensi dalam pengerjaan tugas akhir ini.

2.1 Pelabuhan Curah Cair

Menurut *Undang-Undang Republik Indonesia No. 17 Tahun 2008*, Pelabuhan didefinisikan sebagai tempat yang terdiri atas daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan perusahaan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang, berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai perpindahan intra dan antar moda transportasi. Pembagian jenis pelabuhan menurut PP No. 69 Tahun 2001 antara lain :

a) **Pelabuhan Umum**

Pelabuhan yang diselenggarakan untuk kepentingan pelayanan masyarakat umum. Penyelenggara pelabuhan ini adalah Unit Pelaksana Teknis/Satuan Kerja Pelabuhan (unit organisasi Pemerintah, Pemerintah Propinsi dan Pemerintah Kabupaten/Kota) atau Badan Usaha Pelabuhan (Badan Usaha Milik Negara atau Badan Usaha Milik Daerah yang khusus didirikan untuk mengusahakan jasa kepelabuhanan di pelabuhan umum).

b) **Pelabuhan Khusus**

Pelabuhan yang dikelola untuk kepentingan sendiri guna menunjang kegiatan tertentu, baik instansi pemerintah maupun badan usaha swasta. Pengelola pelabuhan ini adalah Pemerintah, Pemerintah Propinsi, Pemerintah Kabupaten/Kota atau Badan Hukum Indonesia yang memiliki izin untuk mengelola pelabuhan khusus. Badan Hukum Indonesia adalah badan usaha yang dimiliki oleh negara dan/atau daerah dan/atau swasta dan/atau koperasi. Pelabuhan ini tidak

boleh digunakan untuk kepentingan umum, kecuali dalam keadaan tertentu dengan ijin pemerintah.

Sedangkan jika ditinjau dari segi penggunaannya, pelabuhan dibagi menjadi beberapa macam, seperti Pelabuhan Ikan, Minyak, Barang, Penumpang, dan Militer. Namun jenis pelabuhan yang akan diteliti kali ini yaitu Pelabuhan Curah Cair. Untuk keamanan, pelabuhan ini harus diletakkan agak jauh dari keperluan umum. Pelabuhan ini biasanya tidak memerlukan dermaga atau pangkalan yang harus dapat menahan muatan vertikal yang besar, melainkan cukup membuat jembatan perancah atau tambahan yang dibuat menjorok ke laut untuk mendapatkan kedalaman air yang cukup besar. Selain itu, bongkar muat dilakukan dengan pipa-pipa dan pompa.

2.1.1 Fasilitas Terminal Curah Cair

Terminal Curah Cair merupakan terminal yang melayani jasa bongkar muat dan penyimpanan curah cair. Terminal ini memiliki beberapa karakteristik khusus antara lain adalah :

- a. Muatan yang dilayani sebagian besar merupakan barang berbahaya (*hazardous*), sehingga tingkat keamanan pada terminal ini sangat tinggi.
- b. Proses bongkar muat terjadi pada central manifold yang letaknya pada bagian tengah kapal. Sehingga tidak dibutuhkan alat bongkar muat yang dapat bergerak sepanjang kapal untuk menjangkau ruang muat. Oleh sebab itu, tidak dibutuhkan dermaga yang panjang. Fasilitas bongkar muat kapal seperti loading arm umumnya cukup diletakkan pada dermaga dengan ukuran kecil.

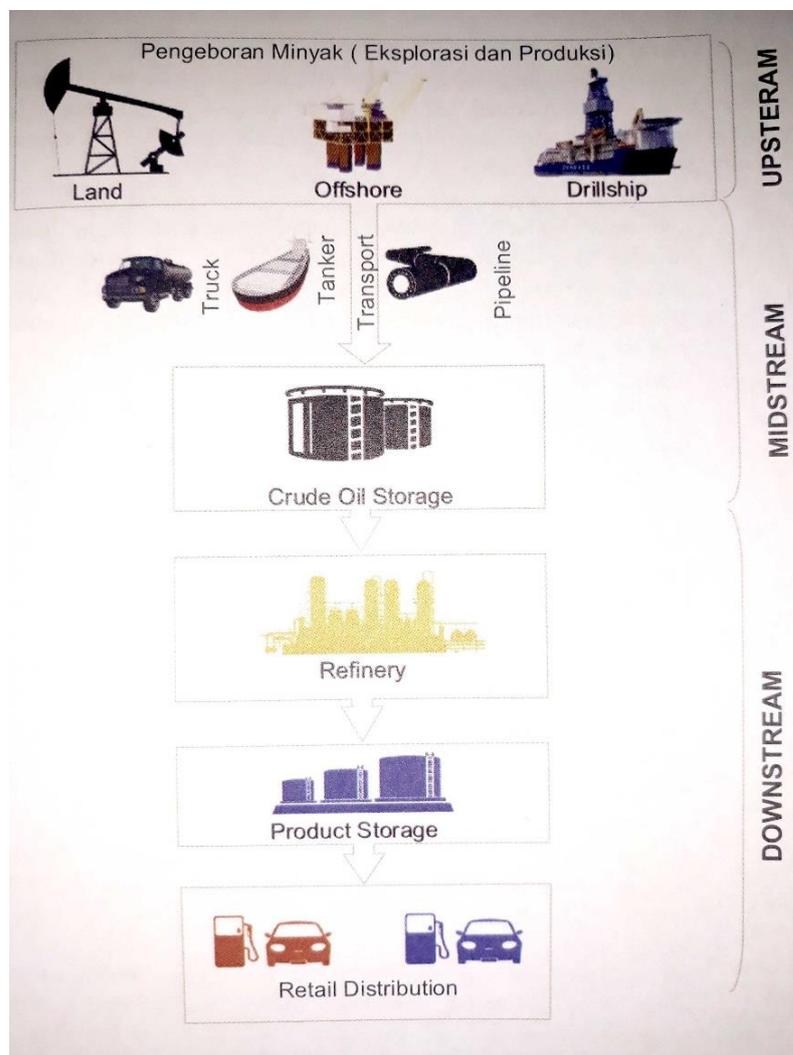
2.1.2 Jenis Muatan Curah Cair

Muatan curah cair adalah jenis muatan yang berbentuk cairan. Proses bongkar muatnya tidak dilakukan dalam bentuk kemasan (kotak, drum, kantong plastik, dan sebagainya), melainkan dalam bentuk cairan dengan volume besar. Cairan ini dibongkar dengan cara pemompaan ke dalam tangki penyimpanan. Muatan curah cair dapat dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu :

- Produk Minyak (minyak mentah, BBM, dan lain-lain)
- Bahan Kimia (methanol, xylene, dan lain-lain)
- Bio – *fuels* dan minyak sayur
- Bahan pangan
- *Liquefied Natural Gas* (LNG)

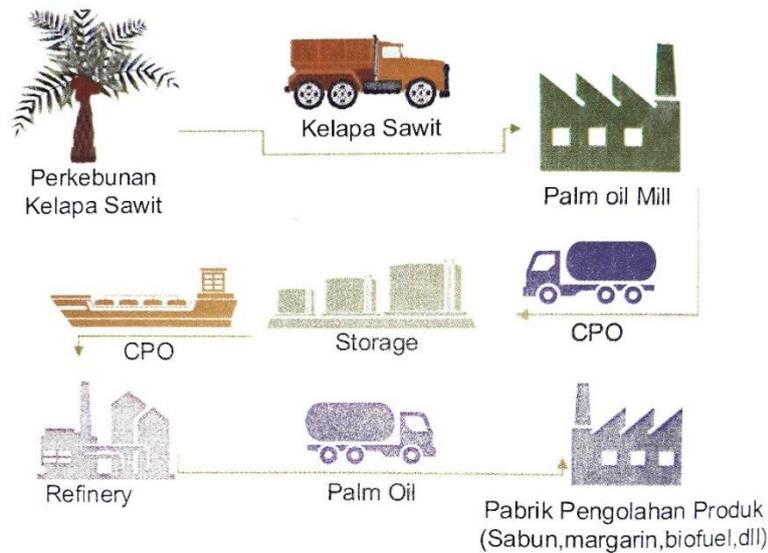
- *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

Muatan curah cair memiliki jalur logistik yang berbeda-beda sesuai dengan jenis komoditasnya. Tetapi secara umum jalur logistik berawal dari tempat produksi atau eksplorasi dari bumi. Kemudian muatan curah cair dapat disimpan ditempat penyimpanan sementara pada area produksi sebelum dikirim pada terminal tujuan. Dari terminal tujuan, muatan curah cair dapat langsung dikirim pada pengguna (*end-user*) atau dikirim pada fasilitas pengolahan (*processing plan*). Alur rantai pasok dari muatan curah cair ini berbeda-beda sesuai dengan karakteristik tiap muatan. Secara umum beberapa alur distribusi dan produksi beberapa jenis curah cair dapat dilihat pada gambar berikut :



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.1 Rantai Pasok Minyak Bumi



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.2 Rantai Pasok Minyak Kelapa Sawit

2.1.3 Kapal Curah Cair

Secara umum, kapal pengangkut muatan curah cair disebut Tanker. Kapal Tanker merupakan kapal yang dirancang atau didesain khusus untuk membawa muatan dalam wujud cairan. Kapal Tanker pertama kali digunakan untuk membawa minyak bahan bakar dari kilang minyak ke konsumen ataupun dari tempat pengeboran minyak ke kilang minyak dalam industri minyak. Beberapa jenis tanker berdasar jenis muatannya antara lain :

a) *Oil Tanker*

Oil Tanker biasa digunakan untuk menyebut kapal yang digunakan untuk mengangkut minyak bumi. *Oil tanker* dapat berupa *Crude Tanker* dan *Product Tanker*. *Crude Tanker* mengangkut minyak mentah yang belum diolah, biasanya langsung diambil dari tempat pengeboran minyak diangkut menuju kilang atau *Refinery Unit*. Sedangkan *Product Tanker* mengangkut produk hasil penyulingan minyak bumi dan bisa digunakan seperti Pertamina, Pertalite, dan bahan bakar lainnya. Biasanya *Product Tanker* berasal dari kilang minyak kemudian berlayar ke pelabuhan-pelabuhan pemasaran. *Crude Tanker* biasanya memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan *Product Tanker* dengan berat muatan yang sama karena perbedaan massa jenis dari *Crude Oil* dan *Product Oil*, dimana *Crude Oil* memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan *Product Oil*. Jenis kapal inilah yang nantinya akan diteliti oleh penulis.



Sumber: *hellenicshippingnews.com*

Gambar 2.3 *Oil Tanker*

b) *Chemical Tanker*

Chemical Tanker merupakan kapal yang digunakan untuk mengangkut segala jenis bahan kimia. Kapal ini dirancang untuk dapat menjaga kondisi muatan dalam keadaan aman dan tidak terganggu. Kapal ini dapat digunakan untuk membawa beberapa jenis muatan bahan kimia pada saat bersamaan. Dikarenakan tiap ruang muat dilengkapi dengan pompa dan jalur pemipaan sendiri.

c) *Liquefied Gas Tanker*

Merupakan jenis tanker yang khusus mengangkut gas yang dicairkan. Dalam perjalanan, gas selalu dijaga dalam bentuk cair dengan cara memberi tekanan tinggi dan suhu yang rendah. Jenis muatan yang diangkut dapat berupa LNG atau LPG dan gas hidrogen cair.

d) *Juice Tanker*

Merupakan kapal yang digunakan untuk mengangkut jus buah-buahan dalam skala besar. Salah satu contohnya adalah *Carlos Fischer, Juice Tanker* asal Brazil.

e) *Wine Tanker*

Merupakan kapal yang digunakan untuk mengangkut *wine* dalam skala besar. Salah satu contohnya adalah *Cesare, Wine Tanker* asal Italia.

Sedangkan jenis tanker berdasarkan kapasitas muatnya adalah sebagai berikut :

a. *ULCC (Ultra Large Crude Carriers)*

Adalah kapal tanker terbesar di dunia, dengan ukuran kapal 320.000 – 550.000 DWT.

b. *VLCC (Very Large Crude Carriers)*

Memiliki ukuran besar, mencapai 200.000 – 320.000 DWT.

c. *Suezmax*

Merupakan jenis kapal dengan lebar yang dapat melewati Terusan Suez. Memiliki ukuran 120.000 – 200.000 DWT.

d. *Aframax*

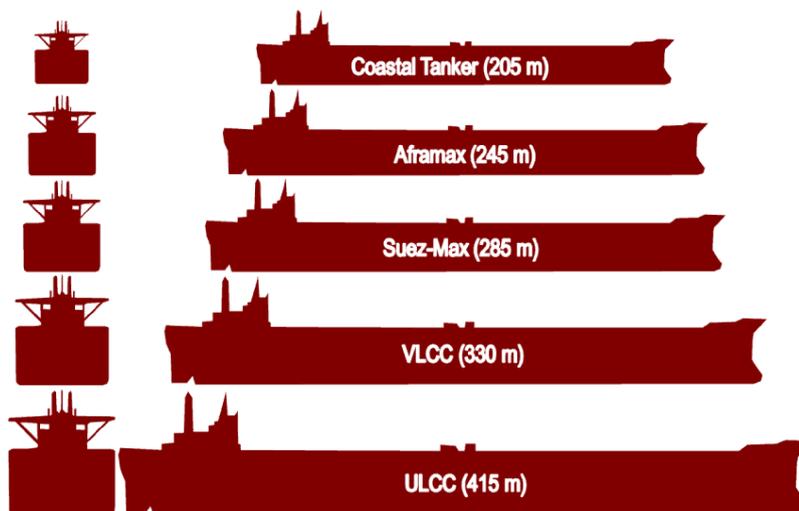
Merupakan jenis tanker yang banyak digunakan di perairan Mediterania, Laut China, dan Laut Hitam. Memiliki ukuran 80.000 – 120.000 DWT.

e. *Panamax*

Merupakan jenis kapal dengan lebar yang dapat melewati Terusan Panama. Memiliki ukuran 60.000 – 80.000 DWT.

f. *Product Tanker*

Merupakan jenis kapal yang mengangkut produk olahan minyak bumi. Memiliki ukuran 10.000 – 60.000 DWT.



Sumber: transportgeography.org

Gambar 2.4 Jenis Ukuran Kapal Tanker

2.2 Terminal Curah Cair

2.2.1 Jenis Terminal

Jenis, bentuk, dan dimensi dari Terminal Curah Cair sangat tergantung dari fungsi terminal tersebut. Beberapa jenis fungsi dari terminal curah cair adalah sebagai berikut :

- Tempat *transshipment* dan penyimpanan
- Tempat bongkar untuk keperluan kilang minyak dan tempat distribusi produk dari kilang tersebut
- Kombinasi dari kedua fungsi tersebut

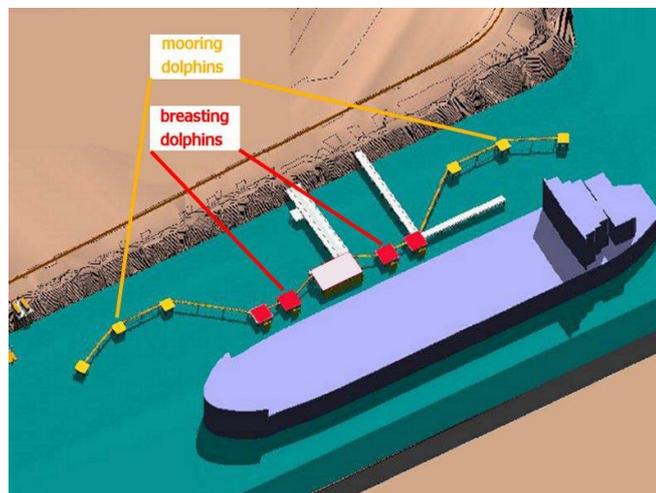
Dalam menentukan jenis terminal, terdapat beberapa hal yang menjadi dasar pertimbangan berupa :

- Aspek Biaya
- Aspek Keselamatan
- Aspek Daya Tahan

Jenis terminal curah cair dapat dibagi menjadi beberapa bentuk, yaitu :

a) Dermaga *Dolphin*

Jenis terminal ini merupakan struktur tambahan pada dermaga yang dikhususkan untuk *mooring* kapal-kapal dengan ukuran besar yang dapat bersandar di dermaga secara langsung karena kedalaman air di dermaga yang besar sehingga memungkinkan kapal untuk bersandar di tepi dermaga.



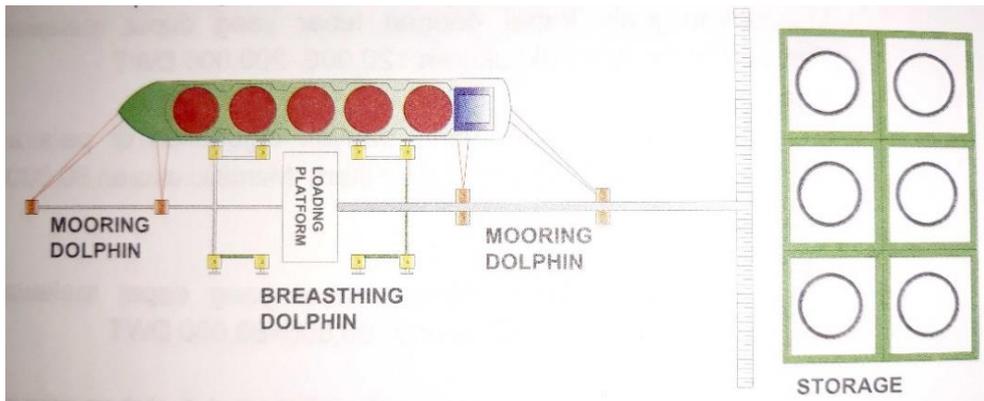
Sumber: oceanandairtechnology.wordpress.com, 2013

Gambar 2.5 Dermaga *Dolphin*

Dermaga ini terdiri dari 3 komponen yaitu *jetty* dengan ukuran kecil, *breasting dolphin*, dan *mooring dolphin*. *Jetty* berfungsi untuk menyalurkan pipa-pipa yang digunakan untuk aktifitas bongkar muat, *breasting dolphin* adalah tempat sandar kapal, sedangkan *mooring dolphins* merupakan struktur untuk menambatkan kapal atau *mooring kapal* yang bersandar di dermaga. Keuntungan dari dermaga ini adalah memudahkan kapal yang bersandar untuk melakukan aktifitas tambat dan bongkar muat relatif cepat. Namun tidak semua dermaga bisa menggunakan struktur ini, karena kedalaman air di tiap dermaga berbeda. Untuk kedalaman yang cukup besar atau ukuran kapal yang bersandar kecil, dermaga jenis ini lebih efektif dalam melakukan aktifitas bongkar muat.

b) *Jetty* dan penyimpanan konvensional

Jenis ini biasa dibangun pada perairan yang terlindung dan aman untuk disandari.



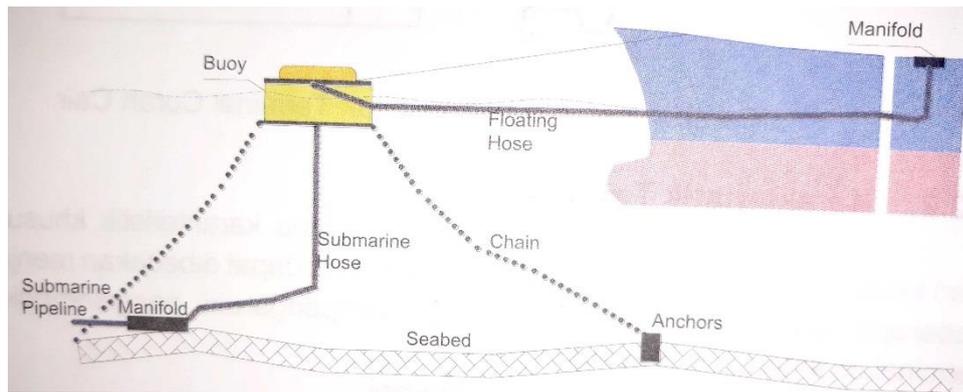
Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.6 Jetty Konvensional

Jetty Konvensional dari *trestle*, *dolphin*, dan platform untuk penempatan alat bantu bongkar muat (Christino, 2019). *Jetty* membentang sepanjang beberapa km dari daratan pelabuhan tergantung kondisi dari perairan yang ada didaerah dermaga. *Jetty* yang cukup panjang biasanya karena daerah perairan sekitar dermaga yang dangkal, namun bisa juga karena menghindari kapal-kapal yang lain agar tidak terpengaruh oleh bahaya dari bongkar muat kapal tanker (McConnell, Allsop, & Cruickshank, 2004). *Jetty* memiliki struktur dibawah air yang kuat dan dalam dan disangga oleh tiang-tiang yang ditancapkan ke dasar air. Tiang-tiang ini mampu menahan gaya hidrostatis yang disebabkan oleh tekanan air laut, serta dapat menahan beban buckling yang terjadi akibat berat *jetty* dan berat peralatan bongkar muat. Karena struktur yang kuat dan pemasangan pondasi bawah laut yang cukup susah, ditambah panjang *jetty* yang cukup panjang menyebabkan harga pembangunan struktur dermaga ini cukup mahal, bahkan lebih mahal dari pada harga pembangunan dermaga dolphin.

c) *Offshore Mooring*

Metode *offshore mooring* digunakan oleh kapal curah cair untuk bertambat dan melakukan proses bongkar muat, jika tidak terdapat dermaga untuk bersandar. Fasilitas tambat ini dapat. Berupa *Single Buoy Mooring* (SBM) atau dikenal juga sebagai *Single Point Mooring* (SPM) dan juga dapat berupa *Multi Buoy Mooring* (MBM).



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.7 Single Point Mooring (SPM)

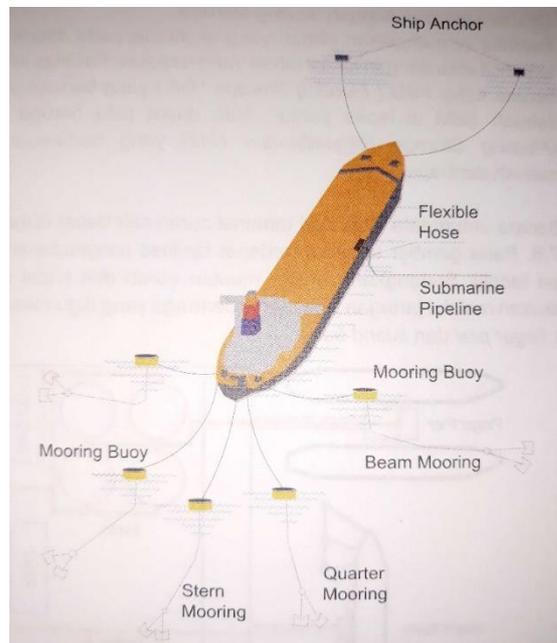
Single Point Mooring (SPM) adalah pelampung apung/jangkar di lepas pantai untuk memungkinkan penanganan kargo cair seperti produk minyak bumi untuk kapal tanker (Wichers, 2013). SPM berupa *Mooring Buoy* tunggal yang dilengkapi dengan koneksi pipa bawah laut sebagai sarana bongkar/muat curah cair. SPM banyak digunakan pada area laut dalam, terutama digunakan di area dimana fasilitas khusus untuk memuat atau menurunkan muatan cair tidak tersedia. SPM terletak pada jarak beberapa kilometer dari fasilitas pantai dan terhubung menggunakan pipa bawah laut dan sub-minyak. Bahkan SPM dapat menangani kapal dengan kapasitas besar seperti VLCC. Selain itu, SPM juga berfungsi sebagai penghubung antara fasilitas darat dan tanker untuk memuat atau melepas muatan cair dan gas. Beberapa manfaat utama menggunakan SPM adalah:

1. Kemampuan menangani kapal ekstra besar
2. Tidak memerlukan kapal untuk datang ke pelabuhan sehingga menghemat bahan bakar dan waktu
3. Kapal dengan draught tinggi dapat ditambatkan dengan mudah
4. Kualitas kargo yang besar dapat dengan mudah ditangani

Sistem penambatan dan penahan serta pelampung dan sistem transfer produk adalah bagian utama dari SPM. SPM ditambatkan ke dasar laut menggunakan pengaturan tambat yang mencakup jangkar, rantai jangkar, penghenti rantai, dll. Pengaturan tambat didesain sedemikian rupa, sehingga memungkinkan pelampung bergerak bebas dalam batas yang ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi angin, ombak, arus, dan kapal tanker. Pelampung ditambatkan ke dasar laut menggunakan rantai jangkar (kaki) yang melekat pada titik jangkar berdasarkan gravitasi atau

menumpuk di dasar laut. Penyumbat rantai digunakan untuk menghubungkan rantai ke pelampung, ditunjukkan pada gambar 2.13 (Raunek, 2013).

Bagian dari *Single Point Mooring System* yang mengambang di atas air memiliki bagian yang berputar yang terhubung ke tangki kapal. Bagian yang berputar memungkinkan kapal tanker untuk menjadi stabil pada posisi yang diinginkan di sekitar pelampung. Kapal tanker ini biasanya ditambatkan ke pelampung dengan cara pengaturan *hawser*, yang terdiri dari tali nilon atau poliester yang diikat ke pengait pada dek pelampung. *Chafe chain* terhubung di ujung tanker *hawser* untuk mencegah kerusakan dari *fairlead* milik tanker. Sistem tambat yang digunakan untuk operasi lepas pantai tersebut mengikuti standar yang diajukan oleh *Oil Companies International Marine Forum (OCIMF)* (Raunek, 2013).



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.8 *Multy Buoy Mooring (MBM)*

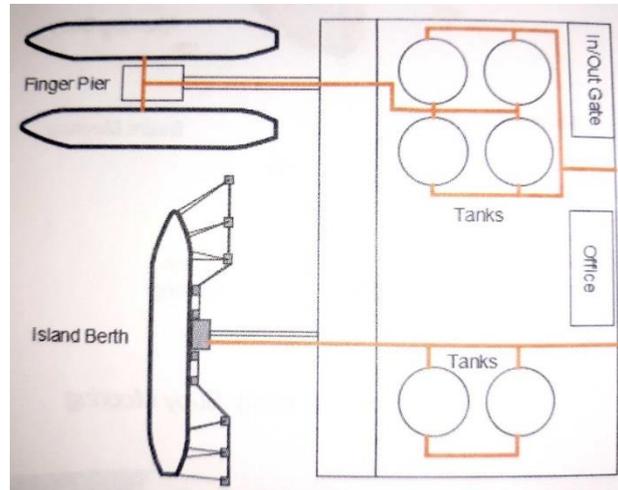
Sedangkan MBM terdiri dari 3 – 6 *mooring buoy* dengan konfigurasi tertentu sebagai sarana bertambat kapal curah cair. MBM lebih banyak digunakan pada area yang lebih dangkal.

d) *Offshore terminal* dengan *floating storage*

Fasilitas ini merupakan pilihan yang ekonomis pada daerah yang terpencil atau dengan lokasi lahan yang terbatas. Fasilitas ini dapat berupa kapal FSU (*Floating Storage Unit*) yang bertambat pada sebuah SBM di lepas pantai. Atau dapat pula

berupa FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*) yang bertambat pada sebuah dermaga.

Secara umum, tata letak dari terminal curah cair dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.9 Tipikal Tata Letak Terminal Curah Cair

Pada gambar tersebut terdapat fasilitas penyimpanan curah cair berupa tangki. Sedangkan transfer muatan curah dari kapal menuju tangki dilakukan melalui jaringan pipa. Jenis dermaga yang digunakan dapat berbentuk *finger pier* dan *island berth*.

2.2.2 Karakteristik Terminal

Terminal Curah Kering memiliki beberapa karakteristik khusus. Dari karakteristik inilah, jenis terminal curah kering dapat dibedakan menjadi beberapa jenis. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengelompokan terminal ini antara lain adalah jenis produk yang dilayani, kapasitas, peralatan, kepemilikan, pengguna jasa, dan jenis kapal yang dilayani.

A. Fungsi Terminal

Terminal curah cair memiliki karakteristik khusus yang membedakan terminal tersebut dengan jenis terminal yang lain. Karakteristik tersebut antara lain :

- Melayani muatan jenis curah cair
- Penyimpanan muatan dilakukan pada tangki, dimana tangki dibuat terpisah bergantung dari jenis curah cair yang disimpan
- Proses penyimpanan sangat memperhatikan keamanan dan keselamatan muatan, karena muatannya sering kali merupakan barang berbahaya dan mudah terbakar

- Diperlukan peralatan khusus untuk proses bongkar muat, seperti *loading arm*, pompa, dan pipa
- Jenis alat bongkar muat tidak hanya tergantung dari jenis muatannya, tapi bisa juga tergantung dari jenis kapal yang dilayani
- Lokasi bongkar muat biasanya terjadi pada *manifold* yang terletak di bagian tengah kapal, hal ini menyebabkan kapasitas tambatan tidak fleksibel
- Fasilitas transfer muatan dari kapal ke tempat penyimpanan membutuhkan peralatan khusus
- Jenis pipa yang mentransfer muatan dari dermaga menuju tangki penyimpanan dibuat berbeda-beda tergantung dari jenis muatan yang dilayani
- Kedatangan kapal sangat dipengaruhi oleh proses pengolahan minyak dan tingkat konsumsi minyak pada satu wilayah

Dari beberapa karakteristik di atas, dapat disimpulkan jika perencanaan terminal curah cair membutuhkan studi yang lebih detail mengenai karakteristik muatan dan kapal yang bersandar, alat bongkar muat, hingga jenis tempat penyimpanan.

B. Fasilitas

Beberapa fasilitas utama yang terdapat pada terminal curah cair antara lain :

- Tangki curah cair

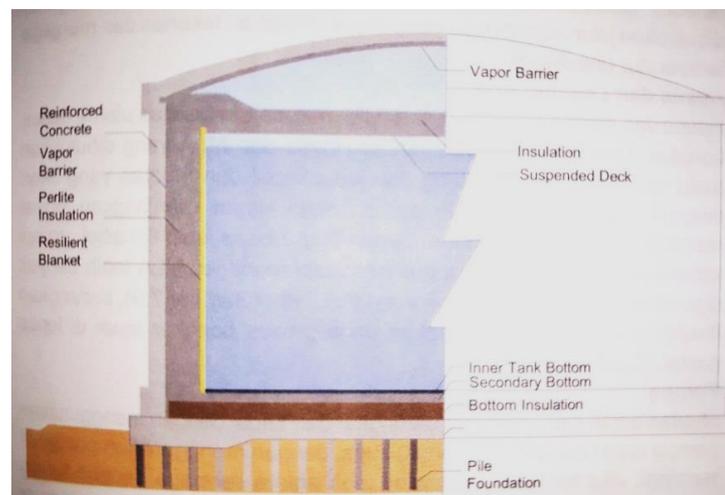


Sumber: esdm.go.id, 2017

Gambar 2.10 Tangki Penyimpanan Minyak

Muatan curah cair umumnya disimpan dalam tangki. Satu tangki dipergunakan untuk menyimpan satu jenis muatan. Jika tangki tersebut akan dipergunakan untuk menyimpan jenis muatan lain, maka proses pembersihan harus lebih dahulu dilakukan. Hal ini untuk mencegah tercampurnya satu jenis muatan curah dengan jenis lain. Untuk muatan bahan kimia, terdapat beberapa ketentuan khusus yang harus dipenuhi seperti temperatur penyimpanan yang terkontrol. Untuk

penyimpanan LNG, tangki khusus yang mampu menahan tekanan tinggi dengan suhu hingga -160°C harus dipersiapkan.



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.11 Sketsa Skematis Lapisan Tangki LNG

- *Jetty*

Jetty konvensional terdiri dari *mooring dolphins*, *berthing dolphin*, dan *loading platform* (Gambar 2.3). curah cair ditransfer menuju darat melalui pipa fleksibel yang dapat mengakomodasi jika terjadi gerakan kapal saat bongkar muat berlangsung. Dari fleksibel *hose* ini, curah cair kemudian dialirkan menuju tangki penyimpanan menggunakan pipa. Jika *Jetty* ini digunakan untuk bongkar muat beberapa jenis muatan curah cair, maka biasanya tersedia beberapa jenis jalur pipa yang berbeda pula.

- *Buoys*

Salah satu fasilitas untuk bertambat kapal curah cair adalah *Single Point Mooring* (Gambar 2.5) dan *Multy Buoy Mooring* (Gambar 2.4). fasilitas ini biasanya dipasang pada daerah lepas pantai, sehingga daerah pelabuhan menjadi lebih aman karena proses bongkar muat tanker terjadi pada area yang jauh dari pelabuhan. *Buoy* digunakan jika kedalaman pelabuhan tidak mencukupi untuk kapal bertambat dan dibutuhkan biaya yang mahal untuk membangun *Jetty* pada kedalaman yang diinginkan.

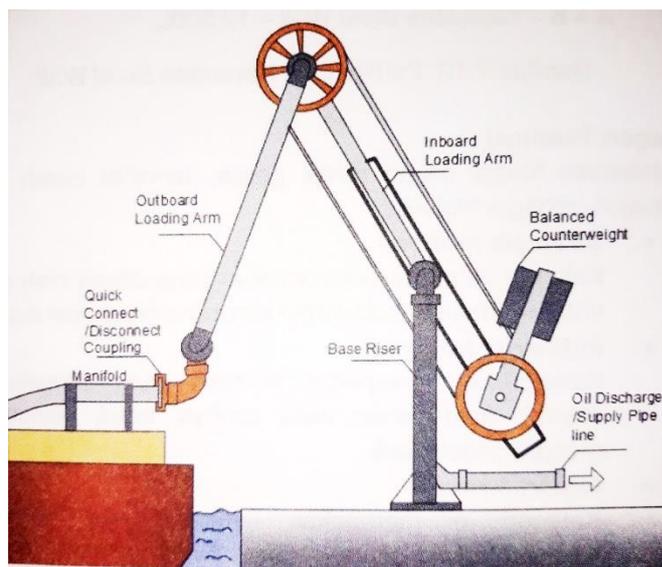
- Jalur Pipa

Sistem pipa digunakan untuk menyalurkan muatan dari kapal ke tangki penyimpanan. Pada terminal curah dengan muatan bahan kimia, pipa khusus harus disediakan untuk jenis bahan kimia tertentu. Hal ini dilakukan untuk menghindari

terjadinya reaksi kimia yang tidak diinginkan jika bahan kimia yang berbeda tercampur. Untuk terminal minyak dan BBM, jalur pipa dapat digunakan bergantian untuk melayani beberapa jenis minyak. Sebelum dipergunakan untuk melayani jenis minyak yang lain, jalur pipa tersebut harus melalui proses pembersihan terlebih dahulu. Untuk jalur pipa yang melayani LPG dan LNG, dibutuhkan jalur pipa khusus yang dapat menahan tekanan dan menjaga temperatur (*insulated*).

- *Hoses dan Loading Arm*

Hoses dan Marine Loading Arm (MLA) merupakan fasilitas utama dalam bongkar muat. Perencanaan jumlah *Hoses* dan *MLA* yang dibutuhkan pada satu terminal tergantung dari jenis kapal dan muatan yang akan dilayani. *MLA* bersifat lebih statis, tetapi dapat menjangkau posisi *manifold*. *MLA* lebih banyak digunakan pada proses bongkar muat di *Jetty* (Gambar 2.9), sedangkan *flexible hoses* banyak digunakan pada proses bongkar muat di lepas pantai (Gambar 2.5).



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.12 Skematis Bongkar Muat MLA

- *Loading Station*

Untuk menghubungkan terminal curah cair dengan area hinterland darat, dibutuhkan sebuah *loading station*. Dalam fasilitas ini terdapat peralatan untuk proses bongkar muat dari tangki penyimpanan menuju truk tangki atau kereta tangki yang akan membawa muatan menuju hinterland.

- Pompa

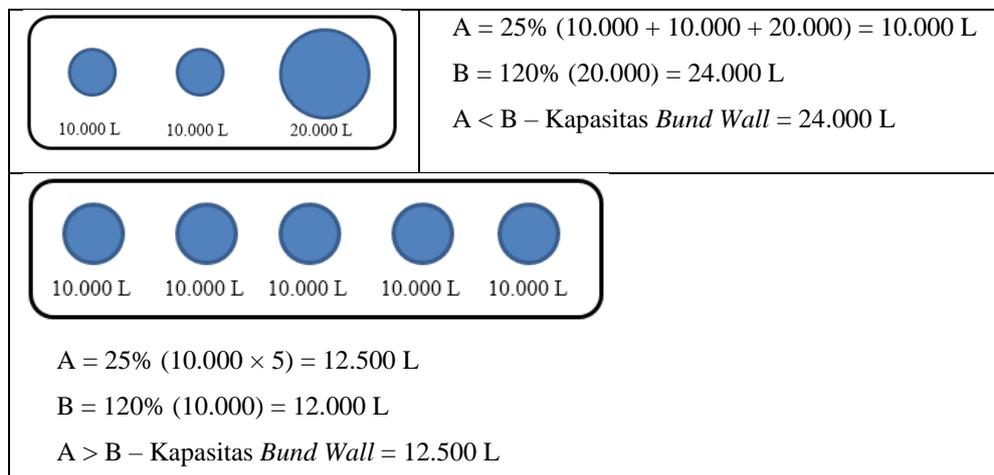
Muatan curah cair umumnya dibongkar dari kapal dengan menggunakan pompa

kapal dan dimuat menuju kapal dengan menggunakan pompa di terminal. Jika terdapat jarak yang jauh antara dermaga dengan tangki penyimpanan, *booster pump* dapat dapat digunakan untuk memperkuat tekanan pompa pada proses B/M.

- Fasilitas Penunjang

Untuk memenuhi kebutuhan penanganan muatan curah cair yang beragam, beberapa fasilitas penunjang harus disediakan, antara lain :

- *Waste Water Treatment* sebagai tempat pengolahan limbah cair
- Fasilitas Pemadam Kebakaran, untuk menanggulangi risiko kebakaran
- *Pigging Station* untuk pembersihan dan perawatan jalur pipa
- *Bund Wall*, merupakan fasilitas berupa dinding yang dipasang pada sekeliling tangki. Fasilitas ini digunakan untuk mencegah pencemaran lingkungan dan bahaya lain yang timbul jika terjadi kebocoran pada tangki. Ketinggian *bund wall* berkisar antara 0,5 – 1,5 m tergantung dari kapasitas yang dibutuhkan. Kapasitas yang harus disediakan adalah sebesar 120% dari kapasitas tangki terbesar. Jika muatan adalah cairan yang mudah terbakar, maka kapasitas *bund wall* harus ditingkatkan hingga 133%. Jika beberapa tangki terdapat pada satu *bund wall*, maka kapasitas yang dibutuhkan adalah hasil terbesar dari 25% total kapasitas semua tangki dibandingkan dengan 120% kapasitas tangki terbesar. Contoh perhitungan dapat dilihat pada gambar 2.10.



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.13 Perhitungan Kapasitas *Bund Wall*

C. Kategori Terminal

Berdasarkan fungsi dalam rantai pasok, terminal curah cair dapat dibedakan sebagai berikut :

- *Strategic Terminal*
Kategori ini merupakan terminal yang dibuat oleh pemerintah untuk memenuhi kebutuhan konsumsi curah cair suatu wilayah.
- *Industrial Terminal*
Kategori ini merupakan terminal yang menerima minyak mentah atau bahan baku lainnya, untuk kemudian diolah menjadi produk jadi.
- *Import Terminal*
Kategori ini merupakan terminal yang menerima dan mengumpulkan curah cair dalam jumlah yang besar. Perencanaan kedatangan kapal dan konsumsi harus seimbang, hal ini untuk menjaga agar kapasitas tangki penyimpanan yang ada tidak terlampaui.
- *Export Terminal*
Kategori ini merupakan terminal yang mendistribusikan muatan curah cair dalam jumlah besar.
- *Make Bulk Terminal*
Kategori ini merupakan terminal yang mengumpulkan muatan dari kapal-kapal kecil, untuk dilakukan alih muat ke kapal besar. Dari sisi logistik, hal ini dapat menguntungkan terutama untuk pengiriman jarak jauh dalam jumlah besar.
- *Break Bulk Terminal*
Kategori ini berlawanan fungsi dengan *make bulk terminal*, dimana muatan dari kapal besar dipindah pada kapal-kapal lebih kecil untuk dapat dikirim ke tujuan.

2.2.3 Operasional Terminal

Sebagian besar muatan curah cair merupakan barang berbahaya yang berarti barang mudah terbakar, mudah meledak, bersifat beracun, dan dapat mencemari lingkungan. Sehingga untuk penanganan muatan ini dibutuhkan standar keamanan yang tinggi. Beberapa ketentuan internasional yang dipergunakan dalam operasional terminal curah cair antara lain :

- *General Cargo: IMDG Code (International Maritime Dangerous Goods Code) of Solas Convention*
- Produk kimia dan minyak bumi: *IBC Code (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk)*
- Peraturan mengenai pencegahan pencemaran air laut dari kapal – *Marpol 73/78*
- *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)*

Beberapa ketentuan terkait kegiatan operasional pada terminal curah cair disusun berdasarkan peraturan tersebut. Berikut merupakan contoh aturan yang diterapkan pada proses bongkar muat terminal curah cair :

- Daerah aman sekitar dermaga
- Pemberitahuan muatan yang disimpan dalam tangki di lingkungan pelabuhan
- Kedatangan kapal dan proses sandar
- Bongkar muat

2.3 Dermaga Curah Cair

Lokasi terminal curah cair dapat terletak pada lepas pantai maupun perairan yang terlindung. Penentuan lokasi juga turut ditentukan oleh tinggi gelombang dan arus yang terjadi pada lokasi tersebut. Untuk *Jetty*, tinggi gelombang maksimum yang dibatasi yaitu 1,0 – 1,5 m saat proses bersandar dan 2,0 – 3,0 m saat proses bongkar muat berlangsung. Kecepatan angin yang berhembus pada dermaga juga harus menjadi perhatian, bilamana berhembus lebih dari 15 m/s saat proses bongkar muat berlangsung, dapat membahayakan kapal dan dermaga. Untuk alasan keselamatan, dermaga yang melayani minyak dan gas harus dipisahkan dari fasilitas terminal umum lainnya.

Hal yang perlu menjadi perhatian saat menentukan panjang dermaga adalah jarak antar kapal curah cair yang bersandar. Untuk alasan keselamatan, jarak tersebut harus diambil sama dengan lebar kapal terbesar yang bersandar. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah posisi *manifold* pada kapal curah cair tidak selalu berada tepat di tengah kapal. Posisi tersebut dapat bergeser 10 – 15 m dari tengah kapal, sehingga jarak antar kapal dapat diambil sebesar lebar kapal ditambah 15 m (Christino, 2019).

Kebutuhan jumlah tambatan dapat dicari dengan formula umum berikut :

$$n = \frac{C}{Cb} \quad (\text{Persamaan 1})$$

dimana :

n : jumlah kebutuhan tambatan

C : kebutuhan muatan yang harus dilayani dalam satu tahun (ton/tahun)

Cb : kapasitas rencana tambatan (ton/tahun)

Nilai Cb dapat dicari dengan formula berikut :

$$Cb = P_{berth} \cdot Nhy \cdot Mb \quad (\text{Persamaan 2})$$

dimana :

P_{berth} : rata-rata produktivitas pompa per tambatan (ton/jam)

Perlu diperhatikan bahwa dalam *loading platform* terdapat beberapa *loading arm* dan pompa. Produktivitas tambatan yang dihitung di sini merupakan kombinasi kapasitas dari beberapa pompa yang digunakan bersamaan saat bongkar muat

Nhy : jumlah hari kerja dalam satu tahun (jam/tahun)

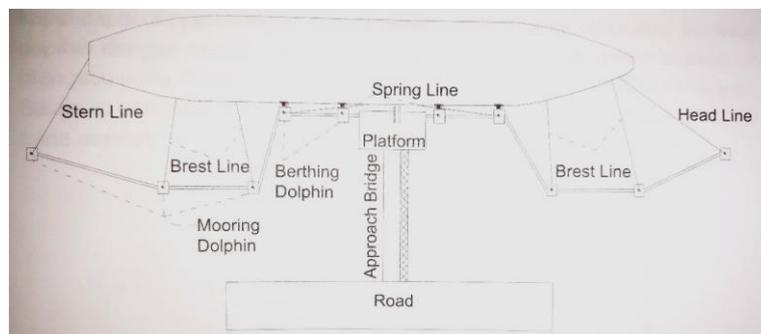
Mb : *Berth occupancy factor*

Faktor lain yang harus diperhatikan dalam penentuan jumlah pompa, kapasitas pompa, maupun jumlah tambatan adalah maksimum *service time*. Beberapa literatur menyebutkan bahwa *service time* standar yang ada pada terminal curah cair adalah 1 – 1,5 hari (Christino, 2019).

2.3.1 Jetty

Jetty yang melayani minyak dan gas biasanya terdiri dari beberapa fasilitas berikut :

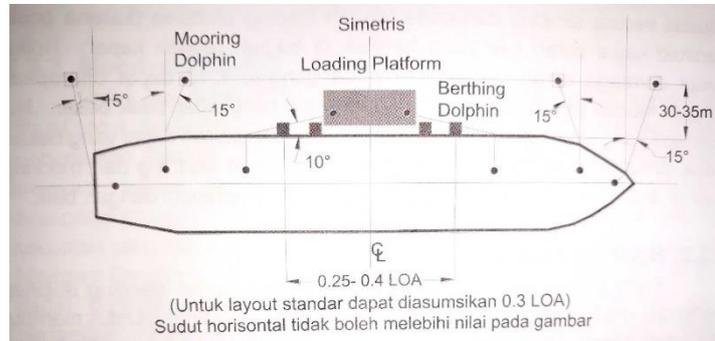
- *Approach bridge* dengan lebar 2,5 – 3 m dan jalur pipa, penerangan jalan, serta *guard rails*. Panjang *approach bridge* tergantung dari jarak platform dari daratan.
- *Jetty head*, terdiri dari platform yang dilengkapi dengan :
 - o *Loading arm*
 - o *Service building*
 - o *Jetty crane*
 - o *Firefighting tower*
 - o *Gangway*
- *Berthing* atau *breasting dolphin* yang berfungsi :
 - o Meredam energi kinetik saat kapal bersandar
 - o Sebagai tempat pengikatan tali tambat kapal
- *Mooring dolphin* yang berfungsi sebagai tempat pengikatan tali tambat kapal



Sumber: Christino, 2019

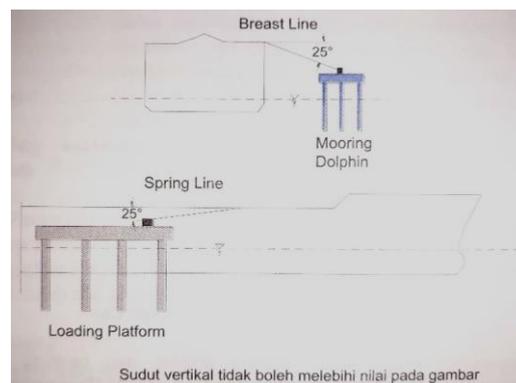
Gambar 2.14 Skematis *Jetty* Curah Cair

Penyusunan *layout jetty, mooring dolphin, dan berthing dolphin* didasarkan pada rekomendasi dan panduan dari *Oil Companies Marine Forum (OCIMF, 2008)* dengan judul *Mooring Equipment Guidelines*. Rekomendasi *layout* tersebut adalah sebagai berikut :



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.15 Tipikal Horizontal *Mooring Layout*



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.16 Tipikal Vertikal *Mooring Layout*

Penyusunan *layout jetty, mooring dolphin, dan berthing dolphin* disusun secara simetris dari garis tengah *loading platform* (karena posisi *manifold* kapal curah cair yang terletak di bagian tengah kapal). Tipikal *layout* dermaga curah cair seperti pada gambar di atas dapat diterapkan dengan mudah jika variasi ukuran kapal yang bersandar tidak besar. Jika dermaga yang akan direncanakan memiliki variasi ukuran kapal yang besar, maka dimungkinkan untuk melakukan penambahan *berthing* dan *mooring dolphin* agar kapal dengan beragam ukuran dapat terlayani dengan baik.

2.3.2 *Berthing Dolphin*

Pada bagian sebelumnya telah dijelaskan bahwa *berthing dolphin* berfungsi untuk meredam energi kinestetik saat kapal bersandar, maka *berthing dolphin* harus memiliki fleksibilitas yang cukup. Fleksibilitas ini dapat dicapai melalui kemampuan deformasi

elastis dari struktur dolphin, atau melalui karet fender yang dipasang pada dolphin tersebut. Proses sandar kapal pada dolphin harus dilakukan dengan hati-hati.

Penyusunan konfigurasi jumlah dan posisi *berthing dolphin* harus memperhatikan dimensi dari berbagai kapal yang akan dilayani. Jika diperlukan dapat dilakukan penambahan *berthing dolphin*, sehingga semua kapal dapat dilayani dengan baik. Berikut contoh analisa kebutuhan *berthing dolphin* dengan metode grafis. Batasan yang digunakan dalam analisa ini mengacu pada OCIMF yaitu jarak antar fender antara 0,25 – 0,4 LOA kapal. Selain itu perlu diperhatikan pula posisi aman lambung kapal saat bertambat pada *dolphin*.



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.17 Contoh Analisa Grafis untuk Penentuan Posisi *Berthing Dolphin*

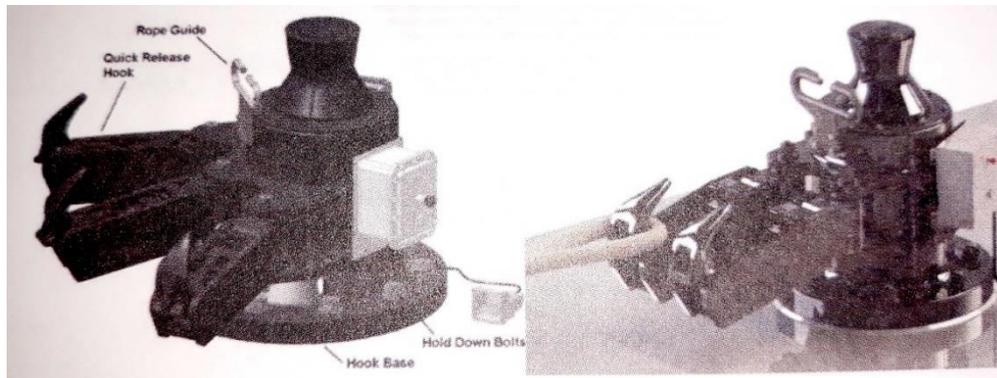
2.3.3 Mooring Dolphin

Untuk tiap jenis ukuran kapal, konfigurasi tali tambat kapal harus dibuat untuk menjamin keamanan kapal saat bertambat. Konfigurasi ini akan menentukan berapa jumlah *mooring dolphin* yang dibutuhkan untuk melayani semua jenis kapal rencana. Tiap jenis *mooring dolphin* direncanakan untuk melayani beberapa tali tambat dengan ukuran, jenis, dan kekuatan yang berbeda. Kekuatan tali tambat kapal dapat dilihat dari data *Minimum Breaking Load* (MBL) yang dimiliki tiap jenis tali. Kekuatan tali akan dapat berkurang seiring dengan usia dan jumlah pemakaian yang bertambah. Untuk tali tambat yang digunakan oleh kapal tanker, beban maksimum yang dilayani dapat diambil sebesar 0,55 MBL.

Untuk mencegah *mooring dolphin* mengalami kerusakan karena beban berlebih, maka beberapa hal berikut dapat dijadikan pertimbangan dalam perencanaan :

- *Winches* yang ada pada kapal memiliki mekanisme pengaman yang akan bekerja saat gaya tarik pada tali tambat sudah melampaui 0,6 MBL.
- *Mooring dolphin* harus didesain berdasarkan beban = jumlah tali tambat yang dilayani \times MBL \times faktor keamanan sesuai standar yang berlaku.

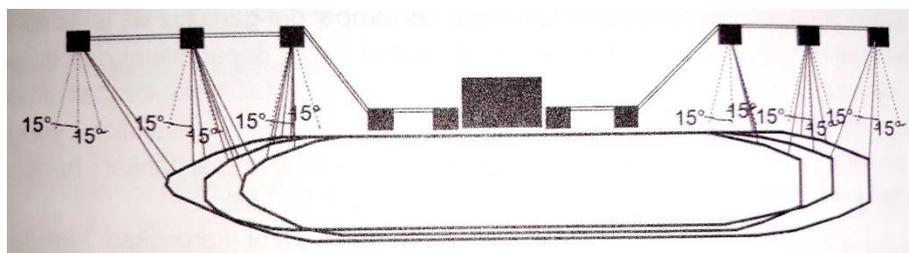
Beberapa *mooring dolphin* sudah dilengkapi dengan mekanisme *Quick Release Hook (QRH)* yang dapat diprogram untuk melepaskan tali tambat jika gaya tarik tali sudah melebihi MBL yang direncanakan.



Sumber: Trelleborg Ready Moor QRH Catalogs

Gambar 2.18 *Quick Release Hook*

Untuk mendapatkan konfigurasi *mooring dolphin* yang optimal dan memenuhi syarat keamanan dari OCIMF, maka dapat dilakukan simulasi dengan metode grafis. Simulasi bertujuan untuk memastikan sudut-sudut tali tambat kapal terhadap posisi *mooring dolphin* tidak melebihi batas yang direkomendasikan.



Sumber: Christino, 2019

Gambar 2.19 Contoh Analisa Grafik untuk Penentuan Posisi *Mooring Dolphin*

Penentuan konfigurasi tersebut didasarkan dari rekomendasi OCIMF, dimana dari hasil analisa didapatkan bahwa sudut yang dimiliki oleh *breast line* tidak melebihi 15° . Sedangkan sudut yang dimiliki oleh *head line* memiliki aturan yang lebih fleksibel, karena kurang efektif dalam menahan kapal.

Untuk melakukan verifikasi terhadap beban tali tambat dan pergerakan kapal yang terjadi saat tambat, dapat dilakukan simulasi numerik dengan bantuan perangkat lunak. Untuk dermaga dengan kondisi perairan yang buruk dan konfigurasi *mooring dolphin* yang kompleks, simulasi model fisik tetap diperlukan.

2.4 Metode Lain Bongkar Muat Curah Cair

Untuk melakukan proses bongkar muat, digunakan peralatan khusus untuk menangani muatan curah cair yaitu pipa dan pompa yang digunakan sebagai alat transportasi bagi muatan tanker untuk disalurkan ke kilang minyak yang ada di dermaga. Akan tetapi tidak semua kapal tanker dapat bersandar di dermaga, sehingga dibutuhkan struktur tambahan pada dermaga atau dipasang pada daerah dermaga untuk membantu bongkar muat kapal tanker yang tidak dapat bersandar di dermaga. Bergantung pada struktur apa yang digunakan, sistem yang digunakan dalam melakukan bongkar muat pun juga berbeda. Selain itu ada juga kapal tanker yang melakukan bongkar muat ditengah laut dengan menggunakan *shuttle tanker*.

2.4.1 Tandem Offloading



Sumber: youtube.com

Gambar 2.20 Tandem Offloading

Tandem loading yang ditunjukkan pada gambar di atas adalah posisi kapal tanker yang menjaga jarak agak jauh di belakang FPSO, misalnya 80 m. Kedua kapal secara fisik terhubung dengan hawser dan selang pembongkaran untuk mentransfer minyak kargo dari FPSO ke kapal tanker (Zhao, 2016). *Shuttle tanker* dapat menjaga jarak dan relatif stabil karena *Dynamic Positioning System* (DP) miliknya sendiri, dan *hawser* tidak dalam ketegangan (dalam mode DP), atau dengan memberikan kekuatan tertentu untuk mempertahankan ketegangan yang kecil pada hawser. *Shuttle tanker* dengan sistem DP memiliki kinerja dan daya tahan yang baik di lingkungan yang keras. Pada prinsipnya ada lima fase operasi untuk FPSO dan DP untuk operasi tanker.

- Fase 1: Pendekatan: tanker mendekati buritan FPSO dan berhenti pada jarak yang telah ditentukan
- Fase 2: Koneksi: saluran *hawser*, dan selang pemuatan terhubung

- Fase 3: Memuat: minyak ditransfer dari FPSO ke tanker
- Fase 4: *Manifold* memerah, lalu pemuatan selang dan hawser terputus
- Fase 5: Tanker berbalik dari buritan FPSO sambil mengirim kembali hawser, dan akhirnya berlayar menjauh dari daerah FPSO.

Operasi pembongkaran tandem adalah operasi laut yang memakan waktu lama dan rumit. Ini dapat bervariasi dari 3 hingga 5 hari karena tingkat pembongkaran, kapasitas penyimpanan FPSO, dan kapasitas muatan *shuttle tanker*. Periode waktu operasi adalah 24 jam terus menerus pada kondisi lingkungan yang disyaratkan.

2.4.2 Ship to Ship Loading

Kapal-kapal seperti *oil tanker* dan *gas carrier* yang membawa muatan dalam jumlah besar tidak harus melakukan bongkar (*unloading*) hanya dalam satu pelabuhan, tetapi di beberapa pelabuhan yang berbeda. Bahkan beberapa operator seperti VLCC dan ULCC yang berukuran besar tidak dapat berlabuh di pelabuhan atau dermaga untuk operasi bongkar muat, karena terbatasnya kedalaman air atau sarat kapal yang terlalu besar. Dalam kondisi seperti itu, bongkar muat *ship to ship* (kapal ke kapal) digunakan.

Ship to ship transfer menjadi sangat ekonomis karena kapal tidak harus berlabuh di dermaga, terutama untuk kapal tanker yang berukuran besar. Hal ini dapat menghilangkan biaya berlabuh di pelabuhan dan juga mempersingkat waktu untuk berlabuh dan *mooring operation*. Tetapi biaya pencemaran lingkungan yang tinggi dan risiko kebakaran karena kemungkinan kebocoran dalam operasi selalu ada, terutama di laut terbuka ketika kapal tidak ditambat atau bergerak.



Sumber: researchimpact.uwa.edu.au

Gambar 2.21 LNG Ship to Ship Offloading

Ship to ship (STS) transfer pada gambar di atas, mengacu pada pemindahan kargo kapal –bisa berupa kargo minyak atau gas– antara dua kapal tanker pedagang yang diposisikan berdampingan atau antara FPSO atau FSRU dengan *shuttle tanker*. Operasi

STS bisa dilakukan saat kapal diam atau operasi STS juga dapat dilakukan saat kapal sedang berjalan. Tetapi membutuhkan koordinasi, peralatan, dan persetujuan yang tepat untuk melakukan operasi semacam itu. Kedua pemilik kapal bertanggung jawab atas seluruh operasi STS (Anish, 2016).

2.5 Tempat Penyimpanan Curah Cair

Jumlah dan ukuran tempat penyimpanan curah cair baik minyak atau gas pada sebuah terminal dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut :

- Ukuran kapal yang bersandar
- Jadwal dan interval kedatangan kapal
- Jenis muatan curah cair yang dilayani terminal tersebut
- Kebutuhan *safety stock*, yaitu kapasitas sisa yang harus disediakan untuk menjaga operasional tetap berjalan ketika pasokan minyak terganggu
- Dimensi tangki penyimpanan
- Tingkat konsumsi curah cair pada tangki penyimpanan

Beberapa faktor di atas dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan simulasi dan optimalisasi pada penjadwalan kapal dan kebutuhan tempat penyimpanan curah cair. Selain dengan menggunakan simulasi, kebutuhan tempat penyimpanan curah cair dapat dicari dengan cara :

$$n = \frac{V_{st}}{V_{tnk}} \quad (\text{Persamaan 3})$$

dimana :

n : Jumlah tangki penyimpanan (buah)

V_{st} : Kebutuhan volume penyimpanan per jenis muatan (m^3)

V_{tnk} : Volume satu tangki penyimpanan (m^3)

Kebutuhan volume penyimpanan muatan curah cair dapat dicari dengan cara :

$$V_{st} = \frac{Ci \times td}{\rho c \times 365 \times ms} \quad (\text{Persamaan 4})$$

dimana :

Ci : jumlah muatan curah cair yang dilayani per tahun per jenis komoditas curah (ton/tahun)

td : rata-rata *dwel time* curah cair dalam tangki (hari)

ρc : rata-rata massa jenis muatan (ton/m^3)

ms : *storage occupancy*.

Rata-rata volume muatan per tahun dalam satu tangki dibagi kapasitas tangki per tahun. Dapat diambil (0,6 – 0,7)

Setelah diketahui dimensi dan jumlah tangki, maka dapat dicari kebutuhan tempat penumpukan yaitu luas tangki ditambah dengan luas *bundwall*, jalur pipa, dan jalan akses.

Secara umum, tempat penyimpanan harus mampu menampung jumlah muatan tertentu dalam satu waktu. Ligteringen & Velsink (2012) merekomendasikan sebesar satu bulan konsumsi terminal. Yang artinya *throughput* terminal dalam satu bulan harus mampu ditampung oleh tempat penyimpanan dalam satu waktu. PIANC merekomendasikan sebesar 3 – 4 % dari *throughput* terminal per tahun. Sedangkan Agerschou (2004) merekomendasikan sebesar 3 – 4 kali muatan kapal terbesar yang bersandar harus mampu dilayani oleh tempat penyimpanan dalam satu waktu.

2.6 Barge

Barge –dalam bahasa Indonesia lebih sering disebut Tongkang atau Ponton– adalah suatu jenis kapal yang dengan lambung datar atau suatu kotak besar yang mengapung, yang biasanya digunakan untuk mengangkut barang dan ditarik dengan kapal tunda atau digunakan untuk mengakomodasi pasang-surut seperti pada dermaga apung. Tongkang sendiri pada umumnya tidak memiliki sistem pendorong (propulsi) akan tetapi di era sekarang banyak tongkang yang memiliki sistem propulsi sendiri yang biasanya disebut dengan *Self Propelled Barge*. Pembuatan kapal tongkang juga berbeda dengan kapal pada umumnya karena hanya konstruksi saja, tanpa sistem seperti kapal pada umumnya, sistem yang dimaksud disini adalah sistem perkapalan yang meliputi perpipaan, sistem ballast, dan sistem sistem lainnya yang ada di kapal. Tongkang sendiri umumnya digunakan untuk mengangkut muatan dalam jumlah yang besar seperti kayu, batubara, pasir dan lain-lain.

2.6.1 Jenis Barge

Meskipun biasanya hanya berbentuk kotak besar dan digunakan untuk membawa binaan atau muatan yang sangat banyak, ada beberapa jenis *barge* yang sudah dibuat dan dikembangkan selama ini tergantung daripada fungsi dan tujuan pembuatan *barge*. Berikut adalah berbagai jenis *barge* yang telah dibuat hingga saat ini:

1. *Flat Top Barge*

Flat Top Barge adalah tongkang yang berbentuk paling sederhana (seperti kotak korek api) dan dibagian atasnya berbentuk *Flat* atau datar. Seperti tongkang pada

umumnya, *barge* ini tidak memiliki sistem propulsi sendiri sehingga untuk menggerakkannya dibutuhkan kapal *tug boat*. *Flat Top Barge* biasanya digunakan untuk membantu aktifitas konstruksi dan pembangunan bangunan-bangunan yang ada di air.

2. *Cargo Barge*

Cargo Barge adalah tongkang yang berbentuk seperti kapal biasa, akan tetapi tidak ada kamar untuk mesin, karena kapal ini tidak bermesin induk. Seperti *barge* lainnya, untuk menggerakkannya dibutuhkan *tug boat* untuk menarik atau mendorongnya. Dikatakan sama dengan kapal biasa, karena mempunyai kamar kargo atau palka.

3. *Oil Barge*

Oil Barge adalah jenis *barge* yang digunakan khusus untuk mengangkut minyak. *Barge* jenis ini ada juga yang bersifat ganda, yaitu dibagian bawahnya digunakan untuk membawa minyak, sedangkan di atas *deck* untuk jenis cargo lainnya, tetapi biasanya *oil barge* ini memang benar-benar khusus untuk membawa muatan curah cair.

4. *Construction Barge*

Construction Barge merupakan jenis *Flat Top Barge* yang digunakan untuk menunjang pekerjaan *Erection* di lepas pantai. Di atas *deck* dari *barge* ini biasanya dilengkapi juga dengan kamar akomodasi (*Living Quarter*) untuk para pekerja. *Barge* tipe ini digunakan untuk melakukan pembangunan ataupun reparasi dari *platform* ataupun *rig* di tengah laut.

5. *Self-Propelled Barge*

Tongkang ini berbeda dengan tongkang yang lain, karena memiliki tenaga penggerak sendiri. Bentuk lambung *barge* ini basisnya sama dengan kapal tongkang. *Self-Propelled Barge* biasanya dioperasikan pada perairan dangkal maupun sungai.

2.6.2 Kelebihan dan Kekurangan *Barge*

Terdapat beberapa keunggulan dan kekurangan dari *barge* jika dibandingkan dengan bentuk kapal konvensional pada umumnya mulai dari segi produksi, bentuk lambung, fungsi, propulsi, manuvering dan *parametric design* dari *barge* itu sendiri sehingga dapat dijadikan dasar pemilihan penggunaan *barge* sebagai moda transportasi yang tepat. Beberapa keunggulan dan kekurangan dari *barge* adalah sebagai berikut:

Keunggulan

- 1) Memiliki bentuk *overhull* yang sederhana sehingga meminimalkan harga produksi biasanya hanya berbentuk *rectangular* tanpa ada lekukan-lekukan.

- 2) Bentuk lambung yang besar sehingga memiliki kestabilan melintang yang bagus.
- 3) Memiliki *Coefficient Block* yang besar sehingga gaya angkat besar.
- 4) Memiliki ruang muat yang besar akibat *Coefficient Block* yang besar sehingga dapat memaksimalkan muatan yang dibawa.

Kekurangan

- 1) Nilai *manueverability* yang kurang bagus.
- 2) Dengan dimensi yang sama dengan kapal pada umumnya *barge* memiliki hambatan yang sangat besar. Sehingga efisiensi energi rendah sehingga hanya cocok untuk kecepatan rendah.

2.7 Teori Desain

Dalam mendesain berdasarkan latar belakang dari sesuatu yang didesain, dibedakan menjadi dua. Yang pertama yaitu “*invension*”, yang merupakan eksploitasi dari ide-ide asli untuk menciptakan suatu produk yang baru atau sebuah produk yang belum pernah ada sebelumnya; yang kedua yaitu “*innovation*” yaitu sebuah pembaharuan atau rekayasa desain terhadap produk yang sudah ada sebelumnya (Putra & Kurniawati, 2017). Proses mendesain merupakan proses yang berulang dimana seluruh perencanaan dan analisis dilakukan secara berulang agar didapatkan hasil yang maksimal. Biasanya sebuah desain dalam pembuatannya melalui tahapan-tahapan tertentu dimana dijelaskan pada *spiral design* bahwa ada 4 tahapan dalam mendesain yaitu, *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design* (Pribadi, Wahidi, & Baihaqi, 2018).

2.7.1 Tujuan Desain

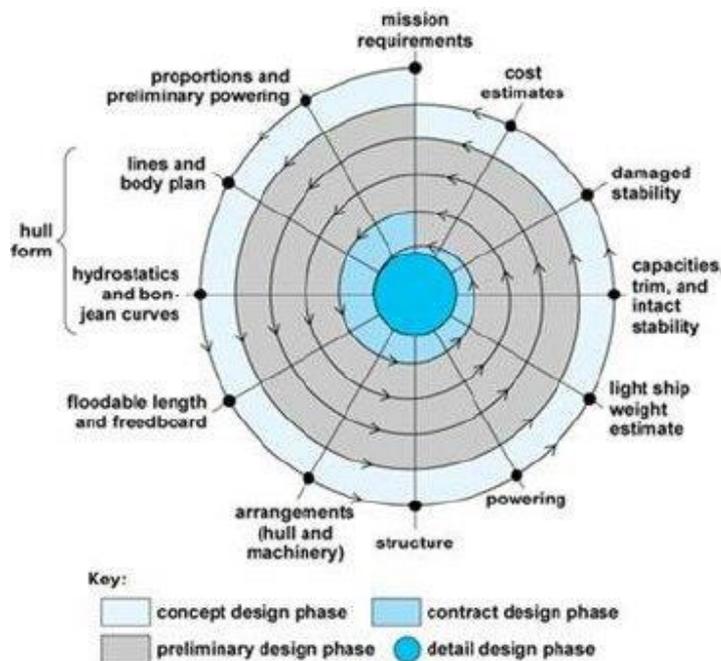
Dalam proses awal mendesain sebuah kapal diperlukan adanya tujuan atau kegunaan dari kapal yang akan di desain, sebagai acuan awal yang dipakai oleh *desainer* dalam mendesain dan menentukan pilihan-pilihan yang rasional ketika mendesain. Selain itu, diperlukan data permintaan dari *owner* selaku pemilik kapal mengenai jenis kapal apa yang akan di desain, rute pelayaran, muatan dan kapasitas kapal. Data dari pihak *owner* ini nantinya akan diolah oleh desainer dan diterjemahkan menjadi sebuah data kompleks mengenai kapal yang akan di desain.

2.7.2 Tahapan Desain

Mendesain kapal berbeda dengan mendesain benda-benda atau kendaraan lainnya. Desain kapal merupakan proses yang terjadi terus menerus, yang berarti dalam

tiap tahapan desainnya akan mengalami koreksi secara terus menerus sampai kapal tersebut berhasil dibangun. Tahapan desain dibagi menjadi *Concept Design*, *Preliminary Design*, *Contract Design*, dan *Detail Design*. Keempat tahapan ini biasanya digambarkan dengan bentuk spiral sehingga dapat disebut sebagai *spiral design* (Priyadi, Wahidi, & Baihaqi, 2018).

Konsep *spiral design* terdiri dari empat tahapan seperti yang dijelaskan sebelumnya, dimana pada setiap tahap terdiri dari beberapa bagian kerja yang berurutan dan berkesinambungan yang meliputi *owner requirement*, *propulsion and powering*, *lines plan*, *hydrostatic and bonjean curve*, *freeboard*, *hull and machinery arrangements*, *structure*, *lightship weight estimation*, *capacities, trim and intact stability*, *damage stability*, dan *cost estimate*. Ilustrasi dari spiral design dapat dilihat pada gambar berikut.



Sumber: researchgate.net

Gambar 2.22 *Spiral Design*

1) Tahap *Concept Design*

Fase ini merupakan tahap awal dari pembuatan desain kapal. Pada tahap ini, permintaan pemilik kapal (*owner requirement*) berupa tonase kapal, tipe kapal, kecepatan kapal, daerah pelayaran, dan jenis muatan diterjemahkan oleh desainer kapal dalam bentuk konsep. Perhitungan-perhitungan dalam fase ini merupakan perhitungan yang masih umum dimana hanya berfokus pada batasan-batasan yang harus diperhatikan secara umum, seperti keselamatan kapal, kinerja kapal, dan faktor ekonomi pembangunan kapal.

2) Tahap *Preliminary Design*

Fase *preliminary design* merupakan pengembangan dari tahap *conceptual* dengan menetapkan alternatif kombinasi yang lebih jelas, sehingga pada akhirnya didapatkan gambaran utama kapal dan kecepatan servis-nya, daya motor yang diperlukan, serta daftar sementara peralatan permesinan. Selama *Preliminary design*, perancangan kapal dikembangkan untuk mendapatkan tingkatan tertentu untuk menjamin secara teknis bahwa semua persyaratan perancangan kapal dapat terpenuhi.

3) Tahap *Contract Design*

Sesuai dengan namanya, fase ini pada prinsipnya adalah fase dimana dokumen kontrak pembuatan kapal dibuat. Tujuan dari fase *contract design* adalah untuk mengembangkan perancangan kapal dalam bentuk yang lebih mendetail, termasuk didalamnya adalah estimasi secara akurat seluruh biaya pembuatan kapal. Pada tahap ini pun, detail *contract guidance drawing* dibuat untuk pelaksanaan pekerjaan agar tepat dan sesuai dengan perancangan. *Contract design* biasanya menghasilkan satu set spesifikasi dan gambar, serta daftar peralatan permesinan. Pada prakteknya, langkah pada fase ini bisa lebih dari satu putaran desain spiral. Ini adalah karena faktor kepentingan-kepentingan yang dimiliki oleh pemilik kapal yang harus dikomunikasikan dengan desainer kapal. Oleh karena itu pada langkah ini mungkin terjadi perbaikan hasil-hasil *preliminary desain*, atau *trade off* bagian-bagian desain tertentu. *General arrangement detail* dibuat juga pada tahap ini, termasuk juga mengenai kapasitas, permesinan, gudang, bahan bakar, air tawar, dan ruang ruang akomodasi. Kemudian dibuat juga spesifikasi rencana standar kualitas dari bagian badan kapal serta peralatan-peralatan yang akan digunakan. Pada intinya, produk dari kontrak desain adalah rencana kontrak dan spesifikasi yang menjadi acuan dalam pelaksanaan pembuatan kapal.

4) Tahap *Detail Design*

Dalam fase ini, gambar kerja dan kebutuhan data lainnya untuk membuat kapal semakin dikembangkan. Fase *detail design* bisa juga merupakan *final design stage*, dimana seluruh keputusan perancangan seperti seleksi tipe permesinan, ukuran pelat, dan hal-hal lainnya telah dibuat dan dikonfirmasi dengan baik. Seluruh sistem yang dibutuhkan kapal, mesin utama dan mesin bantu telah dibuat secara terperinci, demikian pula pabrik pembuat yang diinginkan. *Final design* adalah *detail design* yang mencakup semua rencana dan perhitungan yang diperlukan untuk proses konstruksi dan operasional kapal. Bagian terbesar dari pekerjaan ini adalah produksi gambar kerja yang diperlukan untuk digunakan oleh mekanik untuk membangun lambung kapal, menginstalasi kabel-

kabel dan perpipaan, dan menginstalasi mesin-mesin baik mesin induk maupun mesin bantu.

2.8 Tinjauan Teknis Mendesain Kapal

Dalam mendesain kapal harus diperhatikan juga faktor-faktor teknis yang mempengaruhi desain kapal seperti banyaknya muatan, gaya angkat air, hambatan, dan lain-lain. Faktor-faktor tersebut tidak boleh diabaikan karena sangat berpengaruh pada performa kapal yang akan didesain. Faktor-faktor tersebut sangat berpengaruh juga terhadap ukuran utama kapal. Apabila ukuran utama kapal berubah, otomatis faktor teknis seperti hambatan, *displacement*, *freeboard*, dan faktor-faktor teknis lainnya ikut berubah, sehingga sangat perlu diperhatikan bagaimana cara menentukan ukuran utama kapal.

2.8.1 Ukuran Utama Kapal

Perancangan sebuah kapal pada umumnya berawal dari penentuan ukuran utama kapal yang akan menjadi permulaan untuk menghitung karakteristik badan kapal dan juga performanya. Penentuan ukuran utama kapal dapat diperoleh dari data kapal pembanding atau menggunakan cara lain seperti menyesuaikan dengan kondisi rute pelayaran kapal. Namun, pada pengerjaan Tugas Akhir ini penentuan ukuran utama kapal awal berdasarkan *layout* awal kapal yang mengikuti kebutuhan dari *payload* kapal.

Adapun beberapa hal yang berhubungan dengan ukuran utama kapal adalah sebagai berikut:

1. LOA (*Length Overall*) merupakan panjang kapal secara keseluruhan yang diukur secara horizontal dari titik depan hingga titik belakang terluar kapal.
2. Lpp (*Length Between Perpendicular*) merupakan panjang kapal yang diukur antara garis tegak vertikal pada poros kemudi/*rudder (after perpendicular)* dan garis tegak vertikal di haluan yang ditarik pada perpotongan linggi haluan dengan sarat kapal (*fore perpendicular*).
3. Bm (*Breadth Moulded*) merupakan lebar terbesar diukur dari bidang tengah kapal. Untuk kapal baja dan logam lainnya, *breadth moulded* diukur tanpa kulit; sedangkan untuk kapal kayu atau berbahan non-logam, diukur dari jarak antara dua sisi terluar kulit kapal.
4. H (*Height*) merupakan jarak vertikal yang diukur pada bidang tengah kapal (*midship*), dari atas lunas hingga sisi atas geladak di sisi kapal.

5. T (*Draught*) –biasa disebut sarat– merupakan jarak vertikal yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.

2.8.2 Perbandingan Rasio Ukuran Utama Kapal

Setelah mendapatkan ukuran utama kapal, maka hal yang harus dilakukan selanjutnya ialah melakukan pengecekan terhadap rasio/perbandingan antar ukuran kapal yang didapatkan. Rasio ini didapatkan dari referensi atau dari kapal-kapal dengan tipe yang sama dan dikumpulkan data ukuran utamanya kemudian dihitung rasio tiap-tiap kapal. Adapun pengecekan rasio ukuran utama ialah sebagai berikut:

- 1) L/B berada pada *range* $2,3 < L/B < 6$
- 2) B/T berada pada *range* $2,95 < B/T < 6,38$
- 3) L/T berada pada *range* $14,33 < L/T < 21,47$
- 4) B/H berada pada *range* $2,18 < B/H < 5$
- 5) L/16 berada pada *range* $2,19 < L/16 < 3,44$

2.8.3 Koefisien Bentuk Kapal

Koefisien Bentuk Kapal diantaranya yaitu :

1. Koefisien Blok (C_B)

Koefisien Blok adalah perbandingan volume antara badan kapal yang tercelup air dengan volume balok yang memiliki dimensi $L \times B \times H$ kapal. Menurut Watson & Gilfillan dapat menggunakan rumus pendekatan melalui fungsi *Froud Number* (Parsons, 2003). Seperti yang di tunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$C_B = -4,22 + 27,8\sqrt{Fn} - 39,1Fn + 46,6Fn^3 \quad (\text{Persamaan 5})$$

2. Koefisien Midship (C_M)

Untuk mendapatkan nilai C_M pada desain awal, Menurut Watson & Gilfillan dapat menggunakan rumus pendekatan melalui fungsi C_B (Parsons, 2003). Seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$C_M = 1,006 - 0,0056 C_B^{-3.56} \quad (\text{Persamaan 6})$$

3. Koefisien Prismatic (C_P)

Koefisien Prismatic adalah perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup di dalam air dengan volume prisma segi empat yang memiliki luas penampang gading terbesar dan panjang L. Nilai C_P dapat dicari dengan perbandingan nilai C_B dengan C_M .

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} \quad (\text{Persamaan 7})$$

4. Koefisien *Waterplan* (C_{WP})

Koefisien *waterplan* merupakan perbandingan luas bidang air pada sarat dengan luas persegi yang memiliki dimensi $Lwl \times B$. Untuk mendapatkan nilai CWP pada desain awal, Menurut Watson & Gilfillan dapat menggunakan rumus pendekatan melalui fungsi CB. Seperti yang di tunjukkan pada persamaan di bawah,

$$C_{WP} = \frac{C_B}{(0,471+0,551C_B)} \quad (\text{Persamaan 8})$$

5. *Longitudinal Center of Buoyancy* (LCB)

LCB merupakan letak memanjang dari titik apung (*buoyancy*). Nilai LCB dapat bernilai positif maupun negatif dari titik tengah kapal (*midship*) yang mempengaruhi hambatan kapal dan juga trim (Parsons, 2003).

$$LCB = -13,5 + 19,4C_P \quad (\text{Persamaan 9})$$

6. *Displacement*

Displacement adalah berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang merupakan hasil konversi dari volume air yang dipindahkan (*volume displacement*) menjadi satuan massa (ton).

$$Volume\ Disp\ (V) = L \times B \times T \times C_B \ (m^3) \quad (\text{Persamaan 10})$$

$$Disp\ (\Delta) = VolumeDisp\ (V) \times \rho_{air\ laut} \ (ton) \quad (\text{Persamaan 11})$$

2.8.4 Hambatan Kapal

Hambatan (*Resistance*) merupakan gaya yang berlawanan dengan arah gerak kapal yang ditimbulkan akibat dorongan *fluida* yang menyentuh badan kapal. Pada pengerjaan Tugas Akhir ini, metode yang digunakan untuk menghitung hambatan ialah metode Holtrop dan Mennen dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{Tot} [C_F(1 + k) + C_A] + \frac{R_W}{W} W \quad (\text{Persamaan 12})$$

1) Koefisien Hambatan Gesek (C_F)

Fluida memiliki suatu sifat yaitu kekentalan atau viskositas. Dengan adanya viskositas, fluida dapat menimbulkan gesekan apabila dilewati oleh suatu benda. Untuk menentukan nilai koefisien hambatan gaya gesek, dapat menggunakan persamaan,

$$C_F = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (\text{Persamaan 13})$$

2) Luas Permukaan Basah (S_{Tot})

Luas permukaan basah (WSA atau S_{Tot}) adalah seluruh luasan badan kapal yang tercelup di dalam air. Selain luasan badan kapal, terdapat luasan tambahan seperti luas *rudder*, *bilge keel*, dan lain-lain. Luasan permukaan basah dapat mempengaruhi hambatan, semakin besar luasan permukaan basah maka hambatan yang dihasilkan juga akan besar.

3) Koefisien Bentuk (1+k)

Koefisien bentuk badan kapal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$(1 + k) = (1 + k_1) + [(1 + k_2) - (1 + k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}} \quad (\text{Persamaan 14})$$

4) Corelation Allowance (C_A)

C_A adalah faktor penambahan terhadap nilai hambatan kapal yang disebabkan oleh efek kekasaran pada lambung selama kapal mendapatkan hambatan kapal (Molland, Turnock, & Hudson, 2011). C_A juga dapat ditentukan dengan menggunakan formula dibawah:

$$C_A = 0,006(L + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \sqrt{\frac{L}{7,5}} C_B^4 c_2(0,004 - c_4) \quad (\text{Persamaan 15})$$

dimana

$$c_4 = \frac{T_F}{L} \text{ saat } \frac{T_F}{L} \leq 0,04 \quad (\text{Persamaan 16})$$

atau

$$c_4 = 0,04 \text{ saat } \frac{T_F}{L} > 0,04 \quad (\text{Persamaan 17})$$

5) Koefisien Hambatan Gelombang (R_W)

Hambatan gelombang adalah gaya yang menghambat gerak kapal. Gaya tersebut diperoleh melalui gelombang air yang memiliki kemampuan untuk menahan gerak kapal. Untuk mendapatkan nilai R_W dapat menggunakan persamaan berikut,

$$R_W = C_1 \cdot C_3 \cdot C_3 \cdot e^{m_1 \times Fn^d + m_2 \cos(\lambda Fn^2)} \quad (\text{Persamaan 18})$$

6) Gaya Berat (W)

Dengan menggunakan hukum Newton II, maka gaya berat adalah hasil kali dari *displacement* kapal (ton) dengan percepatan gravitasi (m/s^2).

2.8.5 Propulsi Kapal

Setelah mengetahui hambatan total yang dihasilkan kapal, desainer dapat menentukan kapasitas mesin induk untuk melawan hambatan tersebut. Kapasitas dari

mesin induk yang memenuhi dapat ditentukan dengan mencari nilai *Break Horse Power* (BHP). Berikut adalah cara mendapatkan BHP :

1. *Effective Horse Power* (EHP)

EHP merupakan daya yang diperlukan kapal untuk melawan hambatan yang terjadi sehingga kapal mampu bergerak sesuai dengan kecepatan yang ditentukan (Parsons, 2003). Untuk mendapatkan nilai EHP dapat dilakukan dengan persamaan di bawah ini.

$$P_E = R_T \times v \text{ (kW)} \quad (\text{Persamaan 19})$$

2. *Thrust Horse Power* (THP)

THP merupakan daya dorong efektif yang berkurang dikarenakan perputaran *propeller* pada air, didapatkan dengan persamaan di bawah ini.

$$P_T = P_E \times \frac{(1-\omega)}{(1-t)} \text{ (kW)} \quad (\text{Persamaan 20})$$

3. *Delivery Horse Power* (DHP)

DHP merupakan daya yang sampai pada *propeller*. Dipengaruhi oleh efisiensi *hull* (η_H), *relative-rotative efficiency* (η_R), dan *open water efficiency* (η_o) (Parsons, 2003). Untuk mencari nilai DHP dapat menggunakan persamaan di bawah ini.

$$P_D = \frac{P_E}{\eta_H \times \eta_R \times \eta_o} \text{ (kW)} \quad (\text{Persamaan 21})$$

4. *Shaft Horse Power* (SHP)

SHP merupakan daya yang telah melewati proses transmisi pada *reduction gear*. SHP dipengaruhi oleh letak kamar mesin dikarenakan letak kamar mesin di bagian belakang dan di tengah kapal memiliki *seal efficiency* (η_S) dan *line shaft bearing efficiency* (η_B) (Parsons, 2003).

$$P_S = \frac{P_D}{\eta_S \times \eta_B} \quad (\text{Persamaan 22})$$

5. *Break Horse Power* (BHP)

BHP merupakan daya yang dibutuhkan oleh mesin induk untuk mencapai kecepatan yang direncanakan (Parsons, 2003). Persamaan untuk menghitung BHP yaitu

$$P_B = \frac{P_S}{\eta_t} \quad (\text{Persamaan 23})$$

6. *Maximum Continues Rates* (MCR)

MCR adalah daya yang telah ditambahkan akibat *loss* dari hal yang lain. Pertambahan daya dari BPH menuju MCR disebut *service margin* yang nilainya sebesar 15 – 25 %.

2.8.6 Berat dan Titik Berat Kapal

Pada proses mendesain kapal, perhitungan berat dan titik berat menjadi salah satu aspek penting karena berat menjadi salah satu batasan dalam menentukan ukuran utama. Selain itu, berat dan titik berat kapal dapat berpengaruh terhadap batasan desain lainnya seperti trim, stabilitas kapal, kekuatan kapal, dan lain-lain. Perhitungan berat pada kapal umumnya terbagi menjadi dua komponen, yaitu LWT (*Lightweight Tonnage*) dan DWT (*Deadweight Tonnage*)

1) Berat LWT

Berat LWT digolongkan menjadi beberapa bagian, diantaranya yaitu:

a. Berat komponen baja kapal

Merupakan seluruh berat dari baja kapal yaitu lambung kapal atau daerah dibawah geladak utama, dan berat dari bangunan atas dan rumah geladak.

b. Berat komponen sistem kapal

Merupakan berat dari seluruh komponen sistem yang ada di kapal meliputi berat sistem propulsi, berat sistem kelistrikan, dan berat sistem sistem lainnya yang ada di kapal.

2) Berat DWT

Terdiri atas beberapa komponen, meliputi berat muatan, bahan bakar, berat air tawar yang dibawa, berat *provision*, berat orang yang ada di kapal, dan berat barang bawaan.

3) Titik berat kapal

Titik berat benda adalah suatu titik pada benda tersebut dimana berat dari seluruh bagian benda terpusat pada titik itu, inilah yang mendasari perhitungan titik berat kapal. Dimana perhitungan titik berat kapal merupakan gabungan dari seluruh komponen benda yang ikut terapung bersama kapal. Dalam mencari titik berat terdapat dua jenis pendekatan, yaitu pendekatan dengan formula yang didapat dari hasil penelitian dan eksperimen, serta pendekatan terhadap bentuk bidang dan ruang seperti persegi, persegi panjang, lingkaran, dan lain-lain.

Titik berat kapal dibagi menjadi dua yaitu titik berat secara memanjang dan titik berat secara melintang. Titik berat secara memanjang biasanya disebut dengan LCG

(*Longitudinal Centre of Gravity*) dengan titik AP kapal yang biasanya dijadikan titik acuan. Dan untuk titik berat melintang biasanya disebut dengan VCG (*Vertical Centre of Gravity*) dengan *keel* sebagai acuannya.

4) Batasan berat dan titik berat

Kapal diharapkan memenuhi aspek yang ideal dalam hal berat dan titik berat, karena dampaknya pada aspek teknis lainnya. Kondisi ideal yang dimaksud di sini adalah kondisi dimana kapal tidak mengalami trim yang berlebihan sehingga harus dilakukan pemeriksaan terhadap *displacement* dan titik berat kapal.

a. Koreksi *displacement*

Merupakan koreksi yang digunakan untuk mengetahui selisih antara gaya apung dan gaya berat. Adapun batasan minimum dari harga selisih antara gaya apung dan gaya berat sebesar 10% dari harga gaya apung.

b. Koreksi titik berat

Koreksi titik berat merupakan koreksi yang diketahui selisih antar jarak titik apung dan titik berat. Untuk batasan maksimum dari harga selisih antara jarak titik apung dan titik berat yaitu sebesar 1% dari harga panjang garis air.

2.8.7 Freeboard

Freeboard atau lambung timbul merupakan selisih secara vertikal antara tinggi kapal (H) dan sarat kapal (T) yang ditandai pada *summer loadline* dan diukur pada kedua sisi bagian tengah kapal (*midship*). *Freeboard* menjadi aspek penting dalam mendesain kapal karena *freeboard* menjadi daya apung cadangan kapal sehingga memiliki dampak terhadap keselamatan. Pada umumnya dalam menghitung *freeboard* mengacu pada ICLL (*International Convention on Load Lines, 1966 on London*).

Dalam menentukan *freeboard* menurut ICLL, tipe kapal dibedakan menjadi dua tipe menurut kriterianya, yaitu:

- Kapal tipe A, adalah kapal yang memiliki kriteria sebagai berikut
 - Kapal yang didesain memuat muatan curah cair.
 - Kapal yang akses bukaan ke kompartemen yang kecil, serta ditutup penutup bermaterial baja yang kedap.
 - Kapal dengan kemampuan menyerap air atau gas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.
- Kapal Tipe B, adalah kapal yang tidak memenuhi kriteria dari kapal tipe A.

2.8.8 Trim

Trim merupakan suatu keadaan kapal yang miring secara memanjang dan ditandai dengan perbedaan sarat depan dan sarat belakang kapal, hal ini terjadi dikarenakan titik berat kapal secara memanjang/LCG dan titik gaya apung kapal secara memanjang/LCB yang tidak terletak segaris.

Trim dibedakan menjadi dua, yaitu *trim by bow* dan *trim by stern*. *Trim by bow* terjadi apabila LCG terletak di depan LCB kapal, sedangkan *trim by stern* terjadi apabila LCG terletak di belakang LCB kapal. Berdasarkan *SOLAS Chapter II-1, Part B-1, Reg 5-1*, keadaan yang dapat ditoleransi pada saat mendesain ialah *trim* kapal baik itu *by bow* ataupun *by stern* nilainya tidak boleh lebih dari $\pm 0.5\% * LWL$.

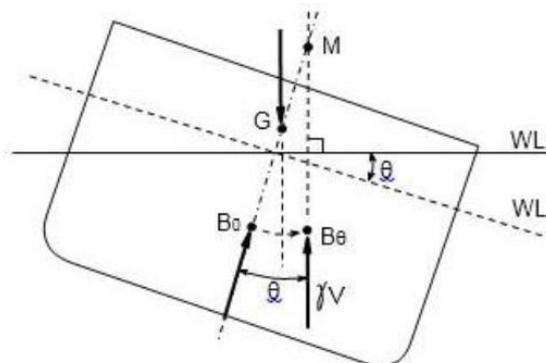
2.8.9 Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi kesetimbangannya setelah mendapat gangguan gaya eksternal pada saat berlayar/beroperasi maupun diam yang dapat berupa angin, ombak dan gelombang. Adapun perhitungan stabilitas kapal dilakukan secara melintang kapal, dikarenakan pada prakteknya gerakan *rolling* adalah yang paling sering terjadi pada kapal karena kapal lebih mudah untuk diganggu kesetimbangannya secara melintang dibandingkan secara memanjang.

Pada prinsipnya keadaan stabilitas dibagi menjadi tiga yaitu :

a) Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)

Suatu keadaan dimana titik G berada di bawah titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas yang bagus sewaktu oleng dan memiliki kemampuan untuk menegak kembali. Ilustrasi dari stabilitas positif dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

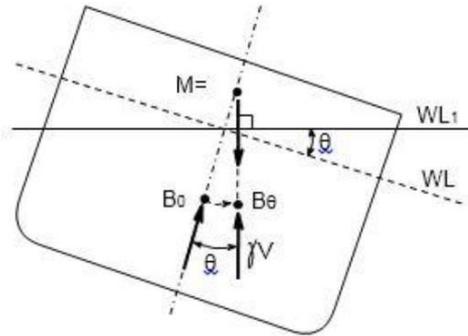


Sumber: Resnaji & Hasanudin, 2018

Gambar 2.23 Stabilitas Positif

b) Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu oleng. Ilustrasi dari stabilitas netral dapat dilihat pada gambar berikut.

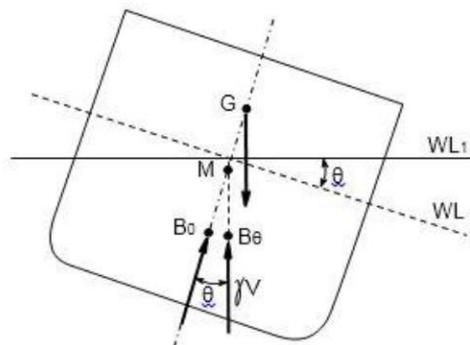


Sumber: Resnaji & Hasanudin, 2018

Gambar 2.24 Stabilitas Netral

c) Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu oleng tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut oleng akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik/*capsize*. Ilustrasi dari stabilitas *negative* dapat dilihat pada gambar 2.20 dibawah ini.



Sumber: Resnaji & Hasanudin, 2018

Gambar 2.25 Stabilitas Negatif

Kriteria stabilitas yang digunakan pada perhitungan mengacu pada *IS (Intact Stability) Code Ch 3.1* yaitu:

a. $e_{0,30^\circ} \geq 0,055 \text{ m.rad}$

Luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 30° adalah $0,055 \text{ m.rad}$.

b. $e_{0,40^\circ} \geq 0,09 \text{ m.rad}$

Luasan minimum dibawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 40° adalah 0,09 m.rad.

c. $e_{30,40} \geq 0,03$ m.rad

Luasan minimum dibawah kurva lengan statis GZ antara sudut oleng $30^\circ - 40^\circ$ adalah 0,03 m.rad.

d. $h_{30} \geq 0,20$ m

Lengan statis GZ pada sudut oleng $\geq 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0,20 meter.

e. $GM_0 \geq 0,15$ m

Tinggi jari-jari metasenter awal $GM_0 \geq 0,15$ meter.

f. H_{\max} pada $\theta_{\max} \geq 25^\circ$

Lengan statis GZ maksimum harus terletak pada sudut oleng $\geq 25^\circ$.

2.8.10 Biaya Pembangunan Kapal

Dalam proses mendesain kapal terdapat dua aspek yang harus diperhitungkan, yaitu aspek teknis dan aspek ekonomis, dimana hasil analisa teknis dapat mempengaruhi perhitungan ekonomis, begitu juga sebaliknya. Salah satu tujuan dari mendesain kapal adalah mampu menghasilkan desain yang memenuhi persyaratan teknis serta mampu meningkatkan efisiensi pada aspek ekonomis. Aspek ekonomis dalam mendesain kapal dibedakan menjadi dua yaitu biaya pembangunan yang merupakan kebutuhan biaya untuk membangun kapal serta biaya operasional kapal yang merupakan biaya yang dikeluarkan ketika kapal beroperasi.

Pada dasarnya biaya pembangunan kapal terdiri dari dua jenis biaya yaitu :

- Biaya langsung (*direct cost*)

Direct cost merupakan jenis biaya yang secara langsung dikeluarkan untuk pembangunan fisik kapal, antara lain adalah biaya untuk pembelian material baja, sistem permesinan, biaya pekerja, biaya *launching* dan *testing*, serta biaya inspeksi dan sertifikasi.

- Biaya tidak langsung (*indirect cost*)

Indirect cost adalah biaya yang digunakan untuk membiayai kebutuhan kapal secara tidak langsung seperti biaya desain, biaya asuransi, biaya pengiriman barang, biaya garansi, dan lain-lain.

2.9 Biaya Bongkar Muat Curah Cair

2.9.1 Biaya Layanan

Tarif pelayanan jasa barang curah cair di terminal curah cair berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM 6 Tahun 2013 terdiri atas kegiatan:

- a) operasi kapal, terdiri dari dermaga, *plugging/unplugging (flexible hose)*, pipa, pompa, pemanas, *monitoring/supervise, cleaning*; dan *trucking*.
- b) operasi lapangan, terdiri dari penumpukan (tangki), pengisian dari tangki ke *truck* tangki, pembongkaran dari *truck* ke tangki; dan pemanas.

2.9.2 Biaya Demurrage

Pengertian *Demurrage* berdasarkan indonesiacoalbarge.co.id (2010) sebagai berikut :

- a) *demurrage* adalah salah satu istilah dalam bisnis tongkang/ponton/*barge*;
- b) *demurrage* adalah denda atau biaya keterlambatan atau biaya tambahan yang harus dikeluarkan oleh per *charter* tongkang/ponton/*barge* kepada pemilik/operator tongkang/ponton/*barge* jika waktu *loading* dan *discharging* melebihi dari waktu yang diberikan;
- c) *demurrage* adalah istilah lazim yang digunakan dalam pengiriman barang yang menggunakan kapal (*vessel*) atau tongkang (*barge*). *Demurrage* adalah biaya yang dikenakan atas kelewatan waktu kapal berlabuh, artinya: *vessel/barge* disewa dalam waktu 1 minggu, ternyata penggunaannya lebih dari 1 minggu sehingga dikenakan denda;

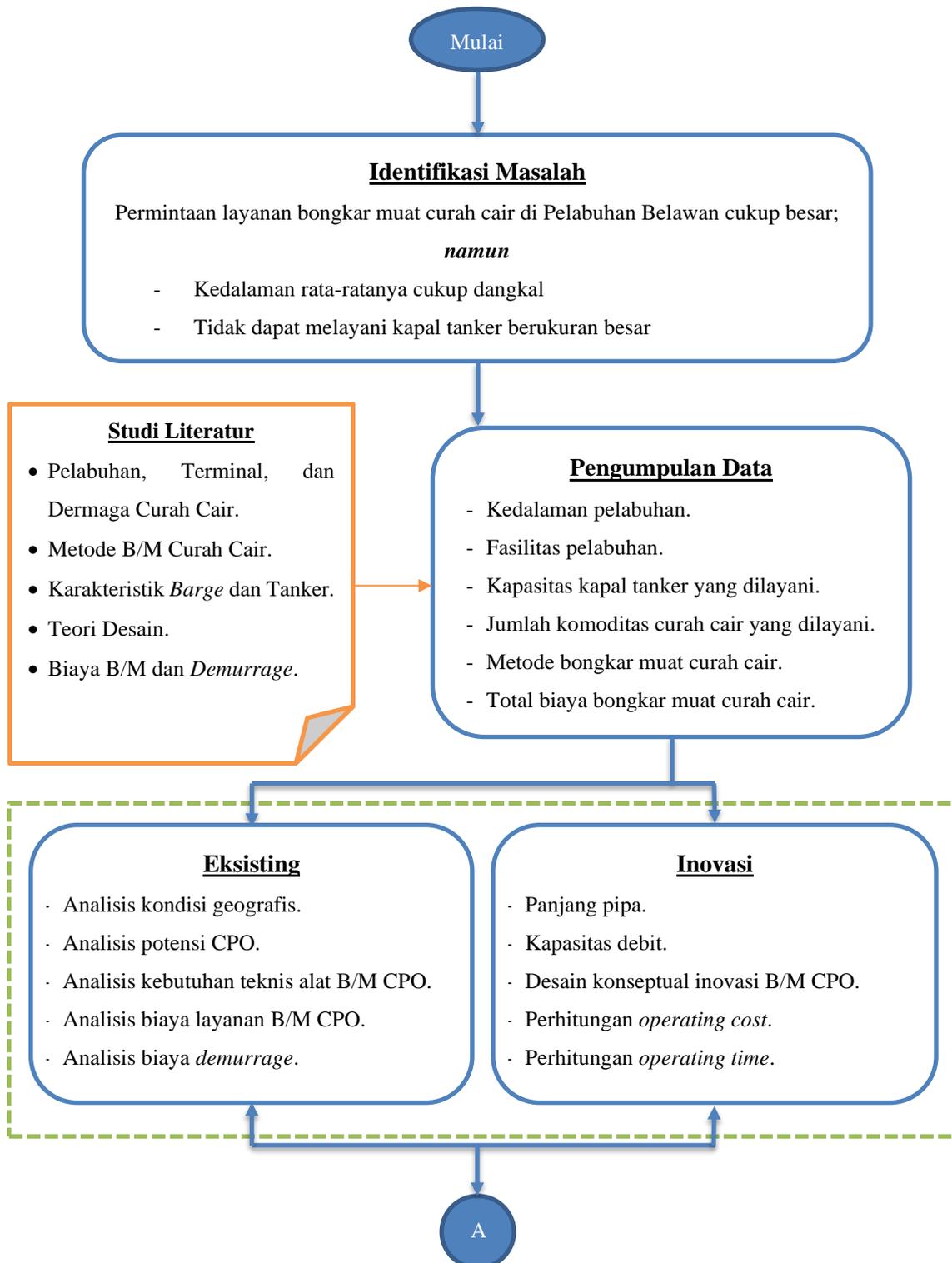
Sedangkan berdasarkan pengertian dalam Black's Law Dictionary, diketahui bahwa pengertian *demurrage* secara umum adalah kompensasi yang dibayarkan kepada pemilik kapal oleh pihak pengangkut karena jangka waktu pemakaian kapal yang lebih lama dari yang ditentukan sebagai akibat dari waktu bongkar muat atau berlayar yang lebih lama dari yang ditetapkan dalam kontrak yang disepakati. Kompensasi yang dibayarkan terkait *demurrage* pada dasarnya merupakan penggantian karena terdapat kerugian dari pemilik kapal akibat penggunaan kapal yang lebih lama dari jangka waktu yang telah disepakati dalam kontrak.

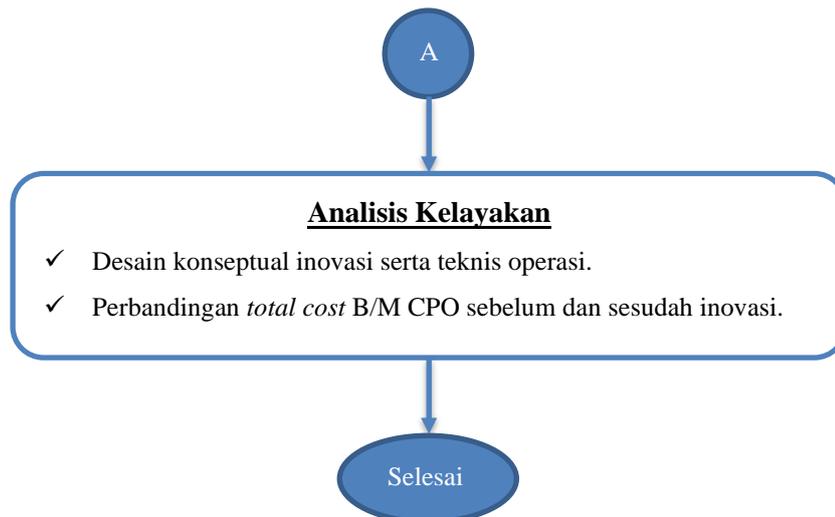
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai urutan pengerjaan dari tugas akhir ini, meliputi diagram alir, langkah pengerjaan, data-data yang akan digunakan, serta tata cara dan metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3.1 Diagram Alir Penelitian





Sumber: Penulis, 2020

Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2 Tahap Pengerjaan

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah dalam mengerjakan penelitian sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.1, diantaranya sebagai berikut :

1. Tahap Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah terhadap kondisi saat ini. Dimana bermula dari kedalaman rata-rata pelabuhan di Indonesia yang dangkal, tanpa terkecuali seperti di Pelabuhan Belawan. Padahal pelabuhan tersebut termasuk salah satu dari empat pelabuhan utama di Indonesia. Karena kedangkalan tersebut, sehingga tidak dapat melayani *loading* dan *unloading* kapal tanker berukuran besar, padahal permintaan layanan komoditas curah cair di pelabuhan tersebut cukup besar. Sehingga dapat ditarik dalam beberapa rumusan masalah seperti bagaimana proses bongkar muat curah cair pada Pelabuhan Belawan saat ini, dapatkah pelabuhan tersebut melayani kapal tanker berukuran besar yang akan melakukan bongkar muat curah cair, serta apakah terdapat fasilitas yang dapat melayani kegiatan tersebut.

2. Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan berbagai studi literatur yang terkait dengan permasalahan. Diantaranya mengenai pelabuhan dan terminal curah cair, kapal tanker, *barge*, metode bongkar muat curah cair saat ini, tempat penyimpanan curah cair, teori desain secara umum, tinjauan teknis dalam mendesain kapal, dan pustaka lain serta peraturan-peraturan yang digunakan untuk mendukung pengerjaan tugas akhir ini.

3. Tahap Pengumpulan Data

Setelah diketahui permasalahan yang ada serta diperoleh studi literatur sebagai acuan pengerjaan, maka tahap selanjutnya yaitu Pengumpulan Data. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan data yang akan dijadikan acuan dalam melakukan perhitungan dalam desain nantinya. Data yang dikumpulkan adalah data-data sekunder karena keterbatasan dalam mengumpulkan data primer akibat adanya pandemik. Adapun data-data yang dibutuhkan antara lain:

- Kedalaman pelabuhan.
- Fasilitas pelabuhan.
- Kapasitas kapal tanker yang dilayani.
- Jumlah komoditas curah cair yang dilayani.
- Metode bongkar muat curah cair.
- Total biaya bongkar muat curah cair.

4. Tahap Analisis Kondisi Eksisting dan Perencanaan Desain

Setelah diperoleh data eksisting pada Pelabuhan Belawan, selanjutnya yaitu dilakukan analisis data untuk kemudian dilakukan perencanaan desain konseptual inovasi. Kesenambungan antara analisis data dan konsep desain ini yaitu

- Kondisi geografis Pelabuhan Belawan untuk menentukan panjang pipa pada alat desain ini.
- Potensi CPO untuk menentukan besarnya kapasitas debit pada pipa alat B/M.
- Kebutuhan teknis alat B/M CPO untuk mengetahui konsep desain peralatan inovasi B/M CPO.
- Biaya layanan B/M CPO sebagai pembanding untuk menentukan besarnya *operating cost* yang optimum.
- Biaya *demurrage* sebagai tolok ukur penentuan *operating time* pada alat B/M sehingga sebisa mungkin dapat menghilangkan biaya denda (*demurrage*) ini.

5. Tahap Analisis Kelayakan

Setelah mendapat gambaran konsep desain alat B/M CPO, dilakukan analisis kelayakan untuk melakukan tinjauan teknis dan mengetahui seberapa besar efisiensi alat tersebut. Analisis ini diantaranya meninjau :

- Desain konseptual inovasi serta teknis operasi.
- Perbandingan total cost B/M CPO sebelum dan sesudah inovasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

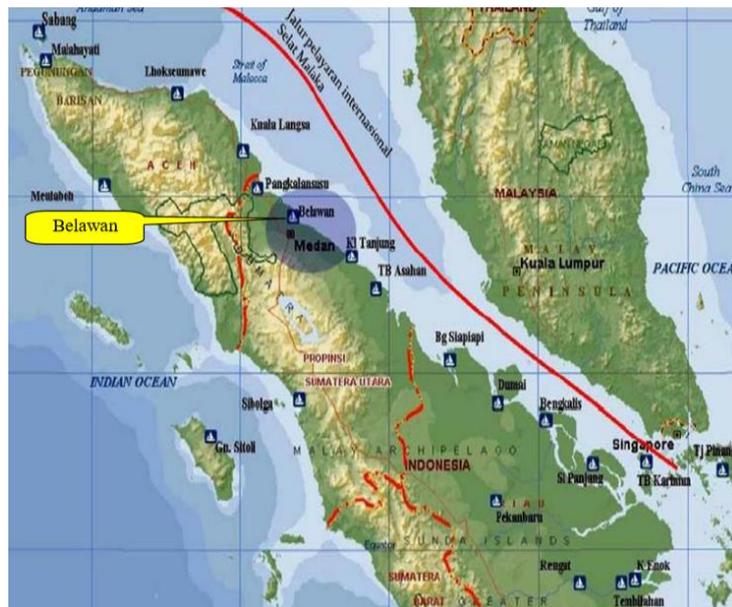
BAB 4

KONDISI STUDI KASUS SAAT INI

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai kondisi Pelabuhan Belawan saat ini, meliputi kondisi geografis, fasilitas pelabuhan, analisis potensi CPO, biaya layanan bongkar muat curah cair, serta beberapa data pendukung.

4.1 Kondisi Geografis

Pelabuhan Belawan merupakan salah satu pelabuhan utama di Indonesia yang memiliki lokasi yang sangat strategis karena hanya berjarak tempuh 13,5 km dari jalur pelayaran internasional Selat Malaka (ditjenpp.kemenkumham.go.id, 2012). Pelabuhan ini terletak di sebuah daratan semenanjung yang merupakan muara pertemuan dua sungai yaitu Belawan dan Deli. Secara geografis, posisinya terletak pada $03^{\circ} 47' 20''$ LU dan $98^{\circ} 42' 08''$ BT, sehingga dengan demikian secara administratif kewilayahan berada di dalam kawasan daerah Pemerintah Kota Medan.



Sumber: <http://ditjenpp.kemenkumham.go.id/>

Gambar 4.1 Posisi Pelabuhan Belawan di Selat Malaka

Seperti pada Gambar 4.1, terlihat bagaimana Pelabuhan Belawan berada di salah satu sisi Selat Malaka, sebuah perairan yang telah sejak sangat lama merupakan salah satu jalur lalu lintas pelayaran niaga tersibuk di dunia. Berdasarkan penelitian ditjenpp.kemenkumham, statistik menunjukkan bahwa pelabuhan-pelabuhan besar tetangganya yaitu Port Klang dan Tanjung Pelepas di Malaysia serta Singapura telah lama

4.3 Kolam Pelabuhan

Kedalaman kolam pelabuhan bervariasi antara –6 mLWS s.d –11 mLWS. Secara fisik, kolam pelabuhan sangat dipengaruhi oleh dua sungai yang mengapitnya yaitu Sungai Belawan dan Sungai Deli. Ditinjau dari kondisi hidrografinya, kolam pelabuhan dipengaruhi oleh debit kedua sungai tersebut serta sedimen yang diangkutnya. Pengendapan lumpur terjadi sepanjang tahun. Dalam studi Port of Belawan Technical Assistance TA No.2386-INO tahun 1996 oleh Sir William Halcrow & Patners Ltd dinyatakan bahwa :

- Mayoritas siltasi/pengendapan di alur pelayaran terjadi pada lokasi Buoy 5 dan Buoy 1 dengan rata-rata siltasi sekitar 1,5 m untuk periode 6 s/d 9 bulan atau antara bulan Juni hingga bulan Maret pada tahun berikutnya. Atau diperkirakan angka siltasi maksimum adalah 2,6 m per tahunnya.
- Di sekitar belokan di depan dermaga Belawan International Container Terminal (selanjutnya disebut BICT) kedalaman alurnya cukup stabil.
- Di tikungan di sekitar Buoy 9 alur cenderung tergerus. Dari survey diketahui bahwa pada area sisi dalam tikungan Buoy 9 kedalamannya terpelihara.

Gelombang yang terjadi di sepanjang garis pantai Belawan berasal dari gelombang laut dalam dari arah Utara ke Timur Laut. Gelombang ini terjadi pada saat muson Timur Laut yang terjadi dari bulan November hingga Maret. Gelombang ini merupakan gelombang yang signifikan yang merupakan penyebab utama terjadinya sedimentasi di pintu masuk alur pelayaran Pelabuhan Belawan.

Pasang surut di Belawan termasuk pasang surut (pasut) tipe semi diurnal. Besarnya perbedaan pasut bervariasi antara 0,1 – 2,7 m. Pada saat pasut mati, terkadang sama sekali tidak ada arus. Sedangkan pada saat pasut perbani, terkadang terjadi arus keluar ± 2 mil.

4.4 Fasilitas Pelabuhan

Fasilitas dan peralatan yang dimiliki masing-masing terminal di Pelabuhan Belawan terdiri atas :

- Fasilitas dermaga
- Fasilitas gudang dan penumpukan
- Fasilitas alat apung
- Peralatan Bongkar Muat

Namun pada penelitian kali ini kita hanya meninjau dari segi bongkar muat curah cair berupa CPO. Saat ini, Pelindo I memiliki fasilitas pipa terpadu di dermaga yang menghubungkan dengan ratusan tangki timbun CPO yang ada di area Pelabuhan Belawan yang didukung dengan 84 jalur pipa, 6 loading point, serta dilengkapi dengan 3 unit tangki CPO dengan kapasitas masing-masing 3.000 metrik ton (MT).

4.5 Metode Bongkar Muat Curah Cair

Provinsi Sumatera Utara memiliki potensi besar dalam memproduksi minyak sawit (*Crude Palm Oil/CPO*). Ekspor minyak sawit dan hasil turunannya yang dikirim melalui Pelabuhan Belawan, juga berasal dari penghasil minyak sawit dari provinsi tetangganya seperti Nangro Aceh Darussalam dan Riau. Melalui Pelabuhan Belawan, minyak sawit yang telah diolah di sentra-sentra produksi dikapalkan dalam bentuk CPO dan turunannya untuk memenuhi permintaan ekspor maupun permintaan lokal. Metode bongkar muat di Pelabuhan Belawan saat ini yaitu dengan menggunakan *jetty* konvensional sepanjang kurang lebih 400 m menjorok ke laut. Ukuran ini tidak cukup menjorok ke laut sehingga kurang mampu melayani kapal tanker dimana umumnya berukuran besar. Ketika terjadi pendangkalan akibat air laut yang surut, kerap kali terjadi penumpukan kapal di area labuh untuk menunggu dapat masuk ke daerah dermaga dan melakukan bongkar muat.

4.6 Analisis Potensi CPO

Besarnya potensi CPO pada Pelabuhan Belawan ini dapat dilihat dari permintaan layanan bongkar muat yang cukup besar di pelabuhan ini, terutama untuk kegiatan ekspornya. Total ekspor CPO pada tahun 2018 yaitu 2.907.383 ton yang kemudian tumbuh sebesar 12,6% di tahun 2019. Pada tahun 2019, total ekspor CPO yang dilayani Pelabuhan belawan yaitu 3.273.978 ton. Negara tujuan ekspor ini terdapat di Asia Selatan (seperti Pakistan dan India) serta Belanda. (Eriansyah, 2020)

4.7 Biaya Demurrage Kapal

Sebagaimana telah dijabarkan berbagai versi pengertian *demurrage* pada bab 2, dapat disimpulkan bahwa *demurrage* merupakan besaran denda keterlambatan bongkar muat akibat wanprestasi *shipper* atau *consignee* dalam mengatur waktu yang disepakati pada kontrak perjanjian angkutan saat melakukan bongkar muat *-force majeure* dikecualikan-. Besaran *demurrage* juga disepakati dalam negosiasi perjanjian tersebut. Adapun besarnya, biasanya *carrier* atau *shipper* menghitung *equivalent* dengan *daily*

rate atau biaya sewa kapal tersebut per hari. *Daily rate* ini dapat diambil dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti ukuran, umur, dan tipe kapal. Bila *carrier* menetapkan besaran *demurrage* terlalu tinggi, biasanya *charterer* akan menego dengan merujuk pada *market hire rate* tersebut di atas, atau bahkan lebih rendah; tergantung kondisi pasar saat itu. Secara kasaran, perhitungan *demurrage* untuk kapal tanker yaitu dilihat dari *daily rate* berdasarkan besarnya DWT kapal tersebut. Dimana per 1000 DWT, besarnya *demurrage* berkisar 1000 USD per hari.

Tabel 4.1 Estimasi Perhitungan *Demurrage Cost*

<i>Estimate Formula</i>			
<i>daily rate</i>	≈	DWT	
<i>demurrage cost</i>	=	1.000	USD/1000 DWT/hari
	=	14.243.000	Rp/1000 DWT/hari

Sumber: Indonesian National Shipowners Association (INSA)

Berdasarkan data *track record* kegiatan bongkar muat curah cair Pelabuhan Belawan selama 2017-2018, kapal tanker yang dilayani memiliki ukuran rata-rata 20.000 DWT. Sehingga dengan menggunakan formula estimasi di atas, diperoleh biaya *demurrage* kapal tanker tersebut adalah Rp 284.860.000,-/hari.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 5

DESAIN KONSEPTUAL INOVASI PERALATAN BONGKAR MUAT CURAH CAIR

Bab analisis dan pembahasan pada penelitian ini mengulas tentang konsep desain inovasi peralatan bongkar muat curah cair yang akan dibangun hingga dampak teknis dan ekonomisnya.

5.1 Konsep Desain

Jika biasanya kapal mendatangi pelabuhan untuk bersandar kemudian melakukan kegiatan bongkar muat, namun pada penelitian ini konsep yang akan diterapkan yaitu “pelabuhan” yang akan mendatangi kapal. “Pelabuhan” yang dimaksud yaitu konsep peralatan inovasi ini, berupa sebuah tongkang dengan berbagai peralatan bongkar muat di atasnya seperti crane, pipa, dan lain-lainnya yang diperlukan. Tongkang inilah yang akan mendatangi kapal yang telah melakukan jangkar di area tertentu dekat pelabuhan tersebut.

Sistem bongkar muat dari inovasi peralatan ini yaitu tongkang yang mendatangi kapal besar, kemudian tongkang mengaitkan diri pada kapal besar tersebut. Kemudian crane mengangkat ujung pipa untuk dikaitkan pada lubang muatan/tangki kapal. Setelah proses bongkar muat selesai, maka crane mencabut ujung pipa dan menempatkan kembali pada area yang telah disediakan di atas tongkang. Dilanjutkan dengan melepaskan pengait ke kapal dan tongkang kembali menepi ke dermaga.

5.2 Penentuan *Owner Requirement*

Dalam mendesain sebuah kapal, terdapat ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan agar produk kapal yang didesain sesuai dengan tujuan yang diinginkan oleh pemilik kapal. Ketentuan-ketentuan ini tercantum dalam *Owner Requirement*. *Owner requirement* merupakan kumpulan ketentuan yang berasal dari pemilik kapal yang diberikan kepada desainer untuk dijadikan acuan dalam mendesain sebuah kapal, atau dalam tugas akhir ini adalah *barge* yang akan didesain. Sesuai dari fungsi pembangunan *barge* ini, yaitu didesain sebagai alat bongkar muat. Maka *owner requirement* dari *barge* meliputi peralatan bongkar muat kapal tanker, jarak daerah yang akan di *cover* oleh *barge* serta perlengkapan *mooring* dari *barge*.

5.2.1 Kapal Tanker yang Dilayani

Berdasarkan data yang diperoleh penulis dari pihak otoritas Pelabuhan Belawan, ukuran rata-rata DWT kapal tanker yang biasa dilayani yaitu 20.522 ton. Maka dari itu, penulis akan meninjau salah satu kapal tanker yang pernah dilayani oleh Pelabuhan Belawan yang tiba pada tanggal 19 Oktober 2018 pukul 08.00 WIB yaitu MT Mid Falcon berukuran 19.959 DWT dengan data kapal sebagai berikut:

Tabel 5.1 Data Kapal MT Mid Falcon

Data Kapal Tinjauan	
<i>Ship Type</i>	<i>Chemical/Oil Products Tanker</i>
<i>Flag</i>	Cayman Islands
<i>Year of Built</i>	2006
<i>Length Over All (LOA)</i>	144 m
<i>Beam Moulded (B)</i>	24 m
<i>Current Draft (T)</i>	9,7 m
<i>Gross Tonnage</i>	11.729
<i>Total DWT</i>	19.959 ton
<i>Service Speed</i>	12,2 knots

Sumber: *vesselfinder.com*



Sumber: *vesselfinder.com*

Gambar 5.1 MT. Mid Falcon

Gambar di atas menunjukkan kapal tanker yang ditinjau, yaitu MT. Mid Falcon. Dari data kapal tanker tersebut, diperoleh data sarat kapal tanker yaitu sebesar 9,7 meter maka akan dicari kedalaman laut minimum 10 meter dan ditarik garis ke arah dermaga. Dari data yang didapat daerah kedalaman air laut di Pelabuhan Belawan, kedalaman tersebut dari daratan yaitu sekitar 500 meter. Sehingga jarak bongkar muat tanker yang dijadikan acuan yaitu 500 meter.

5.2.2 Peralatan dan Perlengkapan Bongkar Muat

Secara keseluruhan, daftar peralatan dan perlengkapan bongkar muat baik di atas *barge* (*on board*) maupun pada dermaga (*on shore*) disajikan dalam tabel berikut. Dimana berat dan dimensi peralatan di atas *barge* akan digunakan sebagai pertimbangan untuk menentukan ukuran utama *barge* nantinya. Sedangkan Referensi yang digunakan adalah perlengkapan bongkar muat untuk kapal tanker seperti yang ada di *jetty* pada umumnya.

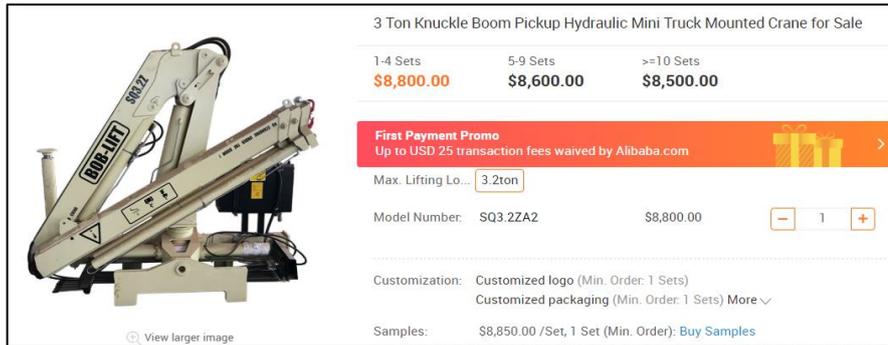
Tabel 5.2 Peralatan dan Perlengkapan Bongkar Muat

<i>On Board</i>				
No	Nama	Jumlah		Berat Keseluruhan
1	<i>Crane</i>	1	pc	1150 kg
2	<i>Floating Hose Connection</i>	2	pcs	260 kg
3	<i>Mooring System</i>	4	pcs	564 kg
4	<i>Flexible hose</i>	2	pcs	450 kg
5	<i>Cargo manifold</i>	2	pcs	260 kg
6	<i>Access Ladder</i>	1	pc	500 kg
7	<i>Piping system for cargo handling</i>	1	lot	900 kg
8	<i>Control room</i>	1	pc	1000 kg
9	<i>Generator</i>	1	pc	
10	<i>Motor</i>	4	pcs	
<i>On Shore</i>				
No	Nama	Jumlah		Berat Keseluruhan
1	<i>Hose Reel</i>	1	pc	10000 kg
2	<i>Floating Hose</i>	50	pc	101500 kg

Untuk lebih jelasnya, berikut adalah penjabaran masing-masing spesifikasi peralatan bongkar muat di atas:

- *Crane*

Alat *crane* ini nantinya digunakan untuk memasang maupun melepas ujung pipa yang akan disalurkan ke lubang tangki pada kapal tanker. *Crane* yang akan digunakan nantinya yaitu *3 Ton Knuckle Boom Pickup Hydraulic Mini Truck Mounted Crane* yang diproduksi oleh Bob-Lift. Kapasitas angkut maksimal alat ini yaitu 3,2 ton. Berikut adalah gambaran beserta rincian harga *crane* tersebut :



Sumber: boblift.en.made-in-china.com

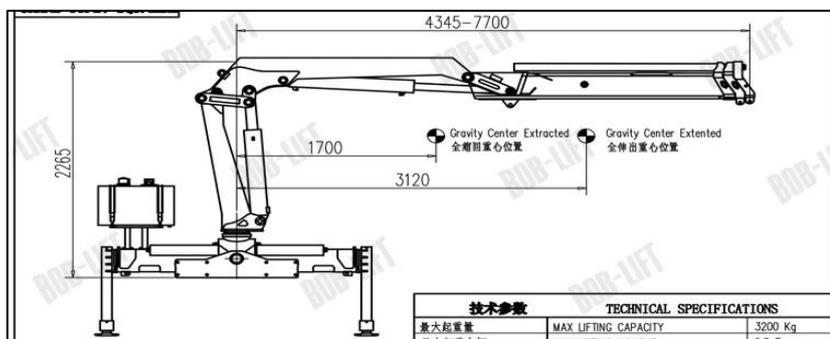
Gambar 5.2 Harga 3 Ton Knuckle Boom Pickup Hydraulic Mini Truck Mounted Crane

Jumlah crane yang akan digunakan pada pembangunan barge kali ini yaitu satu set dengan harga \$8.800,00. Untuk spesifikasi teknisnya sebagai berikut :

Tabel 5.3 Spesifikasi Teknis Crane

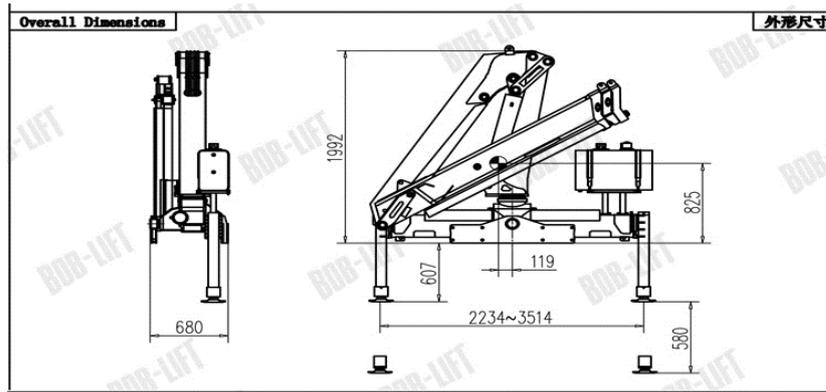
Spesifikasi Teknis Crane		
Max lifting capacity	3.200	kg
Max lifting moment	6,8	ton.m
Recommended power	14	KW
Hydraulic system flow	25	L/min
Hydraulic system pressure	25	MPa
Oil tank capacity	60	L
Slewing angle	400	°
Self Weight	1.150	kg
Installation space	850	mm

Sumber: boblift.en.made-in-china.com



Sumber: boblift.en.made-in-china.com

Gambar 5.3 Technical Drawing Crane



Sumber: boblift.en.made-in-china.com

Gambar 5.4 Overall Dimension Crane

- *Floating Hose Connection*

Karena konsep bongkar muat menggunakan *barge*, maka dibutuhkan peralatan tambahan yang berfungsi sebagai penyalur CPO dari *barge* ke pantai. Dalam hal ini, digunakan *floating hose* berbahan *stainless steel sheet* yang dilapisi dengan *solid foam* dan karet pelindung. Jenis pipa ini adalah pipa terapung atau *floating hose* yang dapat mengapung di air, karena pipa ini memang didesain untuk dapat mengapung di air.



Sumber: *Trellerborg Reeline Hoses Catalogue 2012*

Gambar 5.5 Penyambungan Floating Hose

Pada umumnya *floating hose* dijual dengan sistem *piece* atau per bagian, dimana tiap bagian memiliki panjang tertentu. Dan apabila membutuhkan *hose* dengan panjang melebihi satu bagian, maka tiap bagian akan disambung hingga tercapai panjang yang diinginkan.. Bagian-bagian ini panjangnya sekitar 9 hingga 12 meter tiap bagiannya. Apabila ingin digunakan dengan panjang tertentu maka *floating hose* disambung hingga mencapai panjang yang diinginkan. Tiap bagian *floating hose* disambung menggunakan *socket* atau *flange*.

Hose Bore (in/mm)	Approx. Dimensions (mm)		Weight in air empty (kg)		
	A	B	30'/9.1 m.	35'/10.7 m.	40'/12.2 m.
6 in / 150 mm	430-485	360-420	600-860	670-985	745-1110
8 in / 200 mm	495-575	415-505	750-1110	850-1270	945-1435
10 in / 250 mm	605-630	520-565	1040-1390	1185-1590	1320-1795
12 in / 300 mm	660-730	580-660	1330-1775	1490-2030	1645-2285
16 in / 400 mm	790-850	700-780	1900-2235	2110-2555	2325-2870
20 in / 500 mm	940-1040	850-970	2540-3200	2885-3625	3230-4045
24 in / 600 mm	1120-1205	1030-1115	3475-4400	3925-5005	4375-5605



Sumber: Technical Information of The Floating Double Carcass Hoses

Gambar 5.6 Ukuran per Piece Floating Hose

Gambar di atas merupakan ukuran dari tiap *piece floating hose* yang akan digunakan. Pada kapal tanker 20.000 DWT, diameter *cargo manifold* yang dipakai adalah 300 mm, sehingga untuk hose yang digunakan memiliki diameter *bore* sebesar 300 mm dan *piece* yang digunakan dengan panjang satuan 12,2 m dan memiliki berat 1.645 kg sampai 2.285 kg sebanyak 41 *piece* dengan panjang total 500,2 m.

Berdasarkan pemaparan pada sub bab sebelumnya, didapatkan jarak dari bongkar muat dan peralatan bongkar muat yang digunakan. Jarak bongkar muat yaitu 500 meter dan *floating hose* yang digunakan berukuran panjang 12,2 m dan berat 1.645 – 2.285 kg. Maka jumlah *piece* yang akan dipakai untuk *barge* yaitu :

$$\text{Jumlah piece}_0 = \frac{\text{jarak bongkar muat}}{\text{panjang per piece}}$$

$$\text{Jumlah piece}_0 = \frac{500}{12,2}$$

$$\text{Jumlah piece}_0 = 40,98 \text{ piece}$$

Ini adalah jumlah *piece* dari titik perbatasan daratan dan lautan hingga ke titik kapal jangkar. Dengan pembulatan ke atas, maka diperlukan sebanyak 41 *piece*. Tentunya perlu ditambahkan *piece* dari titik perbatasan tadi ke tangki, serta *error piece* (*piece* cadangan). Jarak titik perbatasan ke tangki yaitu 108,8 meter. Itu berarti diperlukan sebanyak $8,92 \approx 9$ *piece* lagi. Sedangkan untuk *error*, penulis mengasumsikan memerlukan 2 *piece* dengan panjang total 24,4 meter. Maka totalnya yaitu :

$$\text{Jumlah piece} = \text{Jumlah piece}_0 + \text{Jumlah piece}_{\text{daratan}} + \text{Jumlah piece}_{\text{error}}$$

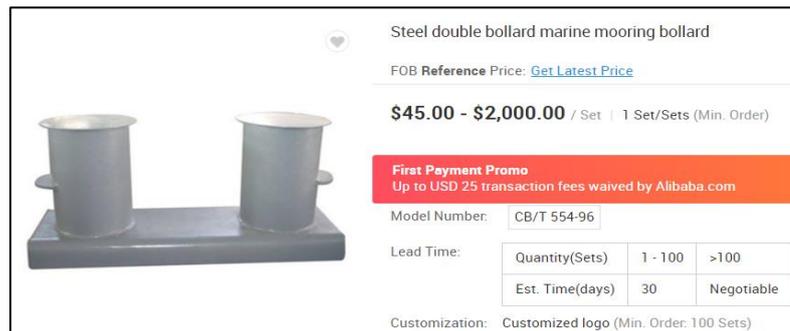
$$\text{Jumlah piece} = 41 + 9 + 2$$

$$\text{Jumlah piece} = 52 \text{ piece}$$

Jumlah *piece* akhir ini, dibagi dalam dua kategori perhitungan berat nantinya; yaitu berat *floating hose on board* dan *on shore*.

- *Mooring System*

Sistem tambat (*mooring system*) digunakan untuk mengaitkan *barge* ke kapal tanker, dimana menggunakan *bollard* dengan harga dan spesifikasi sebagai berikut :



Sumber: *alibaba.com*

Gambar 5.7 Harga *Mooring System*

Tabel 5.4 Spesifikasi *Mooring System*

Nominal dia	D	D1	t	A	B	L	H	t3	Weight
100	114	145	10	250	165	445	196	6	19
125	140	180	10	315	195	540	246	6	29
160	168	210	10	400	225	670	316	6	45
200	219	270	10	500	290	860	378	8	80
250	273	335	11	630	360	1065	470	10	141
315	325	390	15	800	430	1300	597	12	264
355	351	420	17	890	480	1475	663	13	358
400	402	480	18	1000	550	1630	749	14	499
450	450	545	19	1130	620	1840	841	16	680
500	508	610	20	1250	690	2040	928	18	911
560	560	670	22	1380	750	2240	1025	20	1208
630	610	730	24	1570	820	2510	1152	22	1601
710	712	840	25	1750	960	2840	1294	24	2252
800	813	940	26	2000	1100	3240	1480	25	3071

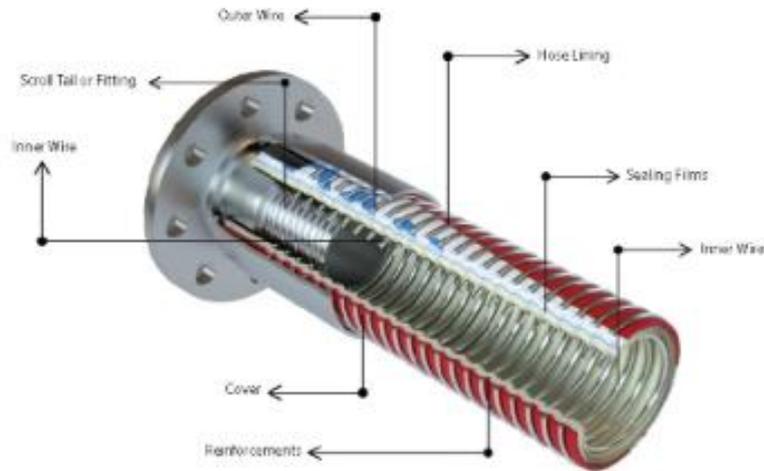
Can be customized according to customer size

Sumber: *alibaba.com*

Pada perancangan *barge* kali ini, jumlah *bollard* yang akan digunakan yaitu sebanyak 4 set dengan kisaran harga \$45,00 – 2.000,00/set.

- *Flexible hose*

Alat ini merupakan pipa yang dapat bergerak lebih fleksibel sehingga dapat membantu kegiatan bongkar muat curah cair dengan lebih aman seperti gambar berikut :



Sumber: alibaba.com

Gambar 5.8 Flexible Hose

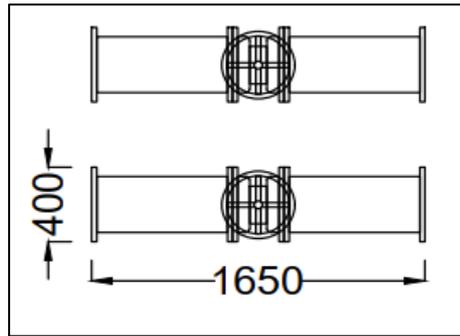
Sedangkan untuk spesifikasi dari *flexible hose* ini yaitu :

Tabel 5.5 Spesifikasi *Flexible Hose*

DN (mm)	Bend Radius (Rmm)	Working Pressure (Mpa)	Weight (Kg/m)	Working Temperature (°C)	Length (MAX)
32	240	1.6~4.0	1.9	-30~120	40m
40	280	1.6~4.0	2.25	-30~120	40m
50	310	1.6~4.0	2.5	-30~120	40m
80	360	1.6~4.0	2.8	-30~120	40m
100	450	1.6~4.0	3.9	-30~120	40m
125	560	1.6~4.0	4.5	-30~120	40m
150	720	1.6~4.0	5.5	-30~120	40m
200	860	1.6~4.0	8.5	-30~120	40m
150	900	1.6~4.0	11	-30~120	40m
300	950	1.6~4.0	15	-30~120	40m
350	980	0.8~2.5	16	-30~120	40m
400	1000	0.8~2.5	18	-30~120	40m
500	1050	0.8~2.5	20	-30~120	40m
600	1150	0.8~2.5	24	-30~120	40m
700	1250	0.8~2.5	30	-30~120	40m
800	1500	0.8~2.5	35	-30~120	40m

- *Floating hose connection and cargo manifold*

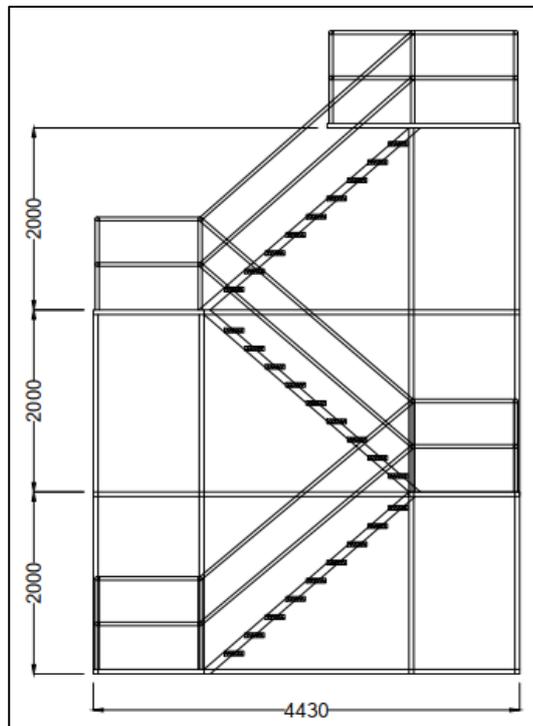
Pada perancangan *barge* ini, *floating hose connection* dan *cargo manifold* yang akan digunakan untuk memindahkan muatan dari tangki kapal tanker melalui pipa direncanakan seperti pada gambar berikut :



Gambar 5.9 *Floating hose connection and cargo manifold*

- *Access Ladder*

Di atas *barge* ini juga diperlukan sebuah tangga yang berfungsi untuk pengecekan pemasangan pipa pada tangka oleh kru. Tangga (*access ladder*) yang direncanakan yaitu seperti gambar berikut :



Gambar 5.10 *Access Ladder*

Sebagaimana pada gambar di atas, *access ladder* ini memiliki lebar 44,30 meter dengan 3 *spacing* dengan tinggi tiap *spacing* yaitu 20 meter.

- *Generator dan motor*

Untuk dua komponen ini, akan dibahas lebih lanjut pada sub bab 5.3.6 yaitu tentang pemilihan generator dan propulsi.

5.2.3 Kecepatan Dinas

Barge dapat berpindah dari dermaga ke kapal tanker untuk melakukan kegiatan bongkar muat. Dimana jarak daerah bongkar muat dari dermaga didapatkan dengan mengetahui perbandingan panjang dari *jetty* yang telah tersedia di Pelabuhan Belawan serta kedalaman air laut di sekitar dermaga. Kedalaman air ini berpengaruh dengan sarat dari kapal, apabila sarat kapal lebih besar daripada kedalaman laut maka kapal akan mengalami *grounding* atau dasar kapal akan menabrak dasar laut. Sehingga harus dipastikan bahwa kedalaman air laut di sekitar dermaga cukup untuk digunakan berlabuh kapal tanker. Berdasarkan hal tersebut, untuk menentukan kecepatan dinas (*service speed*) maka meninjau kembali bahwa telah diketahui jarak dari titik perbatasan daratan dan lautan hingga ke titik bongkar muat yaitu 500 meter. Diasumsikan *barge* dapat mencapai daerah bongkar muat dengan waktu 3,3 menit atau setara dengan 198 detik. Sehingga dapat dihitung dengan cara:

$$\text{Service Speed} = \frac{\text{Jarak}}{\text{Waktu}}$$

$$\text{Service Speed} = \frac{500}{198}$$

$$\text{Service Speed} = 2,53 \frac{m}{s}$$

$$\text{Service Speed} = 4,91 \text{ knot}$$

$$\text{Service Speed} \approx 5,00 \text{ knot}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, kecepatan dinas yang diperoleh yaitu 4,91 knot. Dengan pembulatan ke atas, penulis mendesain kecepatan dinas *barge* ini sebesar 5,00 knot.

5.3 Desain Konseptual *Barge*

5.3.1 Ukuran Utama

Kapal dengan tipe *barge* memiliki rasio/perbandingan antar ukurannya. Pada perhitungan kali ini, penulis menggunakan hasil riset sebelumnya yang telah menghitung rasio ukuran utama kapal jenis ini. Dimana diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 5.6 Rasio Ukuran Utama *Barge*

1.	2,30	<L/B<	6,00
2.	2,95	<B/T<	6,38
3.	14,33	<L/T<	21,47
4.	2,18	<B/H<	5,00

Sumber: Hafiz, 2019

Hasil perhitungan rasio ukuran utama di atas, digunakan sebagai referensi dalam menentukan ukuran utama CPO transfer *barge* dengan mempertimbangkan dimensi dan berat peralatan serta pekerja yang ada di atasnya. Diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 5.7 Penentuan *Main Dimension* Awal *Barge*

Direncanakan		
L =	14,50	m
B =	6,00	m
T =	1,00	m
H =	2,40	m

Ukuran utama yang didapatkan, selanjutnya dicek dengan menggunakan rasio ukuran utama dari hasil penelitian di atasnya.

Tabel 5.8 Pengecekan Penentuan *Main Dimension* Awal *Barge*

Pengecekan			
L/B =	2,42	notes:	Memenuhi
B/T =	6,00		Memenuhi
L/T =	14,50		Memenuhi
B/H =	2,50		Memenuhi

Jika hasil menunjukkan Tidak Memenuhi, maka perlu dilakukan perubahan angka pada komponen tersebut supaya memenuhi. Hasil ukuran utama awal *barge* yang diperoleh yaitu *Length of Perpendicular* (Lpp) sebesar 14,50 meter, lebar (B) 6,00 meter, *Draught* atau sarat (T) 1,00 meter, dan *Depth* atau tinggi (H) 2,40 meter.

5.3.2 Kecepatan Dinas

Kecepatan dinas *barge* ini yaitu sesuai dengan pembahasan sebelumnya pada *owner requirement*, yaitu 5,00 knot.

5.3.3 Koefisien Bentuk

Untuk melakukan perhitungan koefisien, terlebih dahulu ditentukan :

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$\rho_{air\ laut} = 1,025 \frac{ton}{m^3}$$

$$= 1.025 \frac{kg}{m^3}$$

Kemudian menghitung besarnya *Froude Number* sebagai berikut :

$$Fn_o = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$= 0,33$$

Setelah mendapatkan besarnya *Froude Number*, maka dapat dihitung koefisien bentuk kapal. Diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 5.9 Koefisien Bentuk Kapal

Koefisien	Nilai	Keterangan
Koefisien Blok (CB)	0,82	
Koefisien Midship (CM)	0,97	
Koefisien Prismatic (CP)	0,85	
Koefisien Waterplan (CWP)	0,89	
Longitudinal Centre of Bouyancy (LCB)	7,076	dari AP
Volume Displacement (∇)	45,35	m ³
Displacement (Δ)	46,49	ton

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa bentuk tongkang menyerupai kubus dengan *displacement* sebesar 46,49 ton.

5.3.4 Hambatan

Langkah selanjutnya yaitu menghitung hambatan. Mengacu pada rumus perhitungan sebagaimana pada bab 2, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

- Koefisien Hambatan Gesek (C_{F0}) = $2,48 \times 10^{-3}$
- Luas Permukaan Basah (S) = 81,669
- Corelation Allowance (C_A) = $7,60 \times 10^{-4}$
- Koefisien Hambatan Gelombang (R_w), didapatkan harga $R_w / W = -2,82 \times 10^{-6}$
- Gaya Berat (W) = 458.265,42 N

Dari perhitungan beberapa komponen hambatan di atas, diperoleh besarnya nilai total hambatan (R_{Total}) yaitu 3,392 kN. Dengan menambahkan margin hambatan sebesar 15% sesuai pada literatur *Principle of Naval Architecture*, sehingga diperoleh nilai akhir hambatan yaitu 3,901 kN.

5.3.5 Powering

Setelah mengetahui besarnya hambatan, selanjutnya yaitu menghitung daya propulsi. Dengan menggunakan rumus pada bab 2, diperoleh hasil perhitungan berikut :

- *Effective Horse Power* (EHP) = 10,025 KW

- *Thrust Horse Power* (THP) = 10,382 KW
- *Delivery Horse Power* (DHP) = 19,261 KW
- *Shaft Horse Power* (SHP) = 19,654 KW
- *Break Horse Power* (BHP) = 20,158 KW
- *Maximum Continues Rates* (MCR) = 24,901 KW (setara dengan 33,856 HP)

Dari perhitungan ini, diperoleh hasil akhir *main engine power* sebesar 24,901 KW atau setara dengan 33,856 HP.

5.3.6 Pemilihan Generator dan Propulsi

Berdasarkan kebutuhan *power* pada perhitungan sebelumnya, dipilihlah *generator sets* Caterpillar C4.4 pada gambar di bawah ini berikut dengan spesifikasinya:



Sumber: *cat.com*

Gambar 5.11 Generator Caterpillar C4.4

Tabel 5.10 Spesifikasi Generator Terpilih

<i>Generator Sets</i>		
<i>Type</i>	CATERPILLAR C4.4	
<i>Power</i>	100	kW
<i>Speed</i>	1800	rpm
L	1925,32	mm
H	1361,44	mm
W	1120,14	mm
<i>Weight</i>	5,5	t
<i>Fuel oil consumption</i>	32	g/kWh
<i>Fuel Type</i>	MFO	

Sumber: *cat.com*

Generator yang akan digunakan nantinya memiliki daya sebesar 100 kW dengan kecepatan 1.800 rpm.

Sedangkan untuk propulsi yang akan digunakan sesuai kebutuhan yaitu Max CT 325 seperti pada gambar di bawah ini berikut dengan spesifikasinya :



Sumber: max-power.com

Gambar 5.12 Propulsi Max CT 325

Tabel 5.11 Spesifikasi Propulsi Terpilih

Propulsion Sets		
Type	MAX CT 325	
Power	19,69	kW
L	270	mm
H	478	mm
W	265	mm
Weight	5,9	KG
Voltage	24	V
Propellers	2	

Sumber: max-power.com

Sesuai tabel di atas, propulsi yang akan digunakan memiliki daya sebesar 19,69 kW dengan tegangan sebesar 24 V.

5.3.7 Berat dan Titik Berat

Perhitungan berat ini terbagi atas LWT (*Lightweight Tonnage*) dan DWT (*Deadweight Tonnage*). Diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

1) Berat Baja

$$W_{ST} = 31,149 \text{ ton}$$

$$KG_{ST} = 0,54 \text{ m ; } VCG_{\text{hull}}$$

$$LCG_{ST} = 7,25 \text{ m ; } LCG_{\text{hull}} \text{ (dari FP)}$$

2) Berat Permesinan dan Perlengkapan

$$W_{E\&O} = 9,82 \text{ ton}$$

$$KG_{E\&O} = 1,75 \text{ m}$$

$$LCG_{E\&O} = 7,50 \text{ m ; dari FP}$$

3) Berat *Consumable*

$$W_{\text{cons}} = 2,21 \text{ ton}$$

$$KG_{\text{cons}} = 0,94 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{cons}} = 7,25 \text{ m ; dari FP}$$

4) Berat Payload

Tidak ada.

5) Berat LWT

$$LWT = 40,97 \text{ ton}$$

6) Berat Total

$$W = 43,19 \text{ ton}$$

7) Berat DWT

$$DWT = 2,21 \text{ ton}$$

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh :

$$KG_{\text{total}} = 0,84 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{(dari FP)}} = 7,31 \text{ m}$$

$$\text{Disp} = 46,71 \text{ ton}$$

$$W = 43,19 \text{ ton}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= D - W \\ &= 3,53 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{selisih} &= (\text{Selisih}/D) \cdot 100\% \\ &= 8\% \end{aligned}$$

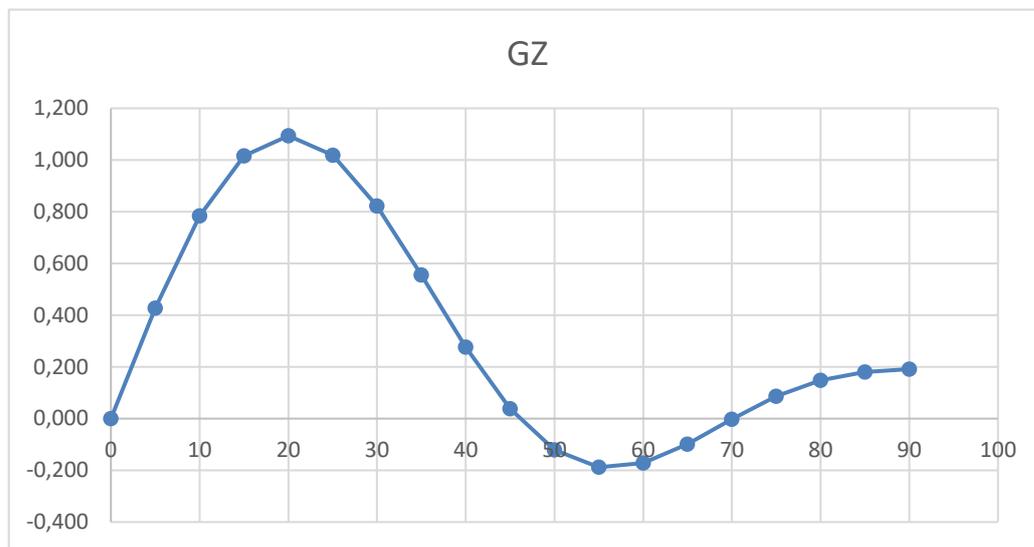
Jadi, berdasarkan batasan hukum fisika maka **diterima**.

- i. Sub Total Berat = 2,21 ton
- ii. LCG = 7,25 m
- iii. VCG = 0,94 m
- iv. TCG = 0,00 m

5.3.8 Stabilitas

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. 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. Dalam perhitungan stabilitas, yang paling penting adalah mencari harga lengan dinamis (GZ). Kemudian

setelah harga GZ didapat, maka dilakukan pengecekan dengan "Intact Stability Code, IMO". Setelah dilakukan perhitungan, diperoleh hasil kurva GZ berikut ini :



Gambar 5.13 Kurva GZ

Kurva stabilitas statis merupakan kurva yang menunjukkan besarnya lengan stabilitas statis pada sebuah kapal pada sudut kemiringan mulai dari 0 – 90 derajat pada kondisi pemuatan tertentu. Hal ini berfungsi untuk menghindari masuknya air ke dalam kapal. Melalui kurva GZ, maka hubungan lengan pengembali GZ dengan berbagai macam sudut kemiringan terhadap perubahan berat atau *displacement* kapal dapat diketahui dan dijadikan sebagai pedoman dalam pengoperasian kapal. Dari kurva di atas diketahui bahwa lengan dinamis (GZ) memiliki nilai maksimum pada sudut 20° yaitu sebesar 1,094.

Selanjutnya, kriteria stabilitas yang digunakan pada perhitungan ini mengacu pada *IS (Intact Stability) Code Ch 3.1* dan diperoleh hasil sebagai berikut :

- ✓ $e_{0,30^\circ} = 0,420$ m rad, **diterima**
karena luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 30° bernilai $\geq 0,055$ m.rad
- ✓ $e_{0,40^\circ} = 0,516$ m rad, **diterima**
karena luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ sampai dengan sudut oleng 40° bernilai $\geq 0,09$ m.rad
- ✓ $e_{30,40^\circ} = 0,097$ m rad, **diterima**
karena luasan minimum di bawah kurva lengan statis GZ antara sudut oleng 30° – 40° bernilai $\geq 0,03$ m.rad

- ✓ $h_{30^\circ} = 0,823 \text{ m}$, **diterima**
karena lengan statis GZ pada sudut oleng $\geq 30^\circ$ tidak kurang dari 0,20 meter
- ✓ $\varphi_{GZ_{\max}} = 25^\circ$, **diterima**
karena lengan statis GZ maksimum terletak pada sudut oleng $\geq 25^\circ$
- ✓ $GM_0 = 5,029 \text{ m}$, **diterima**
karena tinggi jari-jari metasenter awal GM_0 bernilai $\geq 0,15$ meter

Itu berarti, ukuran utama *barge* sudah memenuhi semua kriteria dan tidak perlu koreksi lagi. Sehingga bisa dilanjutkan ke tahapan selanjutnya yaitu perhitungan biaya pembangunan *barge*.

5.4 Biaya Pembangunan *Barge*

Biaya pembangunan *barge* ini meliputi beberapa aspek dengan kurs yang digunakan per tanggal 21 Juni 2020 yaitu 1 USD = Rp 14.243,00. Sehingga diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 5.12 Perhitungan Biaya Pembangunan *Barge*

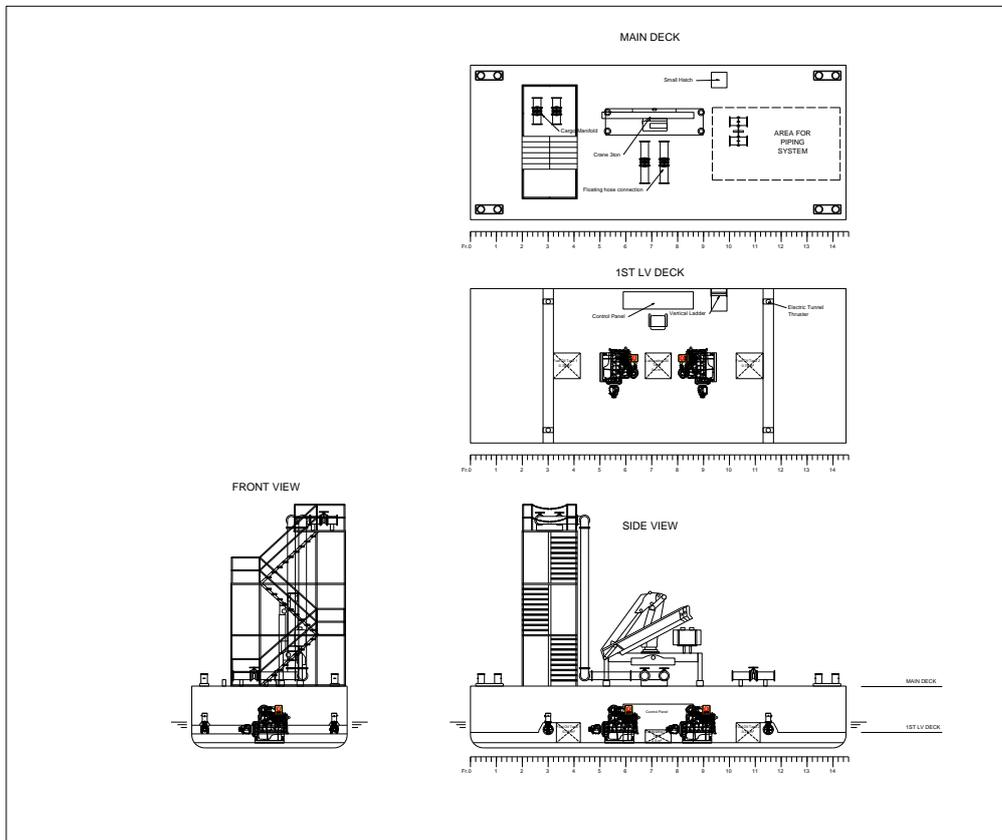
Item and Equipment	Harga	
	Rp	USD
<i>Third Party Services</i>	1.070.000.000	
<i>Hull Construction & Consumable</i>	10.020.362.000	
<i>Surface Protection & Painting</i>	3.008.264.300	
<i>Main Propulsion & Generator</i>	42.243.000	27.249,99

Item and Equipment	Harga	
	Rp	USD
<i>Deck Machinery & Equipment</i>		29.500
<i>Control Room</i>	22.937.200	13
<i>Outfitting & Interior Equipment</i>	141.220.500	138.944
<i>Electrical Equipment</i>	851.160	8.788
<i>Control, Communication & Navigation</i>	172.650.000	75.077
Total	14.478.528.160,00	279.572,19
sehingga,		
Total Overall	Rp 18.460.474.862,17	
Grand Total + Tax 10%	Rp 20.306.522.348,39	

Setelah menghitung dari berbagai aspek, diperoleh *total cost* pembangunan *barge* sebagai alat inovasi bongkar muat sebesar Rp 20.306.522.348,39.

5.5 Layout Barge

Layout dari alat inovasi bongkar muat curah cair berupa *barge* ini, tergambar dalam *General Arrangement (GA)* berikut :



Gambar 5.14 *Layout Akhir Barge*

Untuk detail gambar masing-masing bagian, terdapat pada lampiran.

5.6 Perencanaan Sistem Bongkar Muat

Pada umumnya, proses bongkar muat pada kapal tanker dilakukan dengan cara kapal bersandar pada *jetty* dan akan diikat dengan *bollard* yang ada di *jetty*. Kemudian di ujung dermaga *jetty* terdapat *loading arm* yang digunakan sebagai alat penyambung antara pipa permanen yang ada pada *jetty* dengan peralatan bongkar muat yang ada pada kapal tanker. *Jetty* berfungsi sebagai alat penghubung antara muatan yang ada pada kapal tanker dengan kilang minyak yang ada pada dermaga.

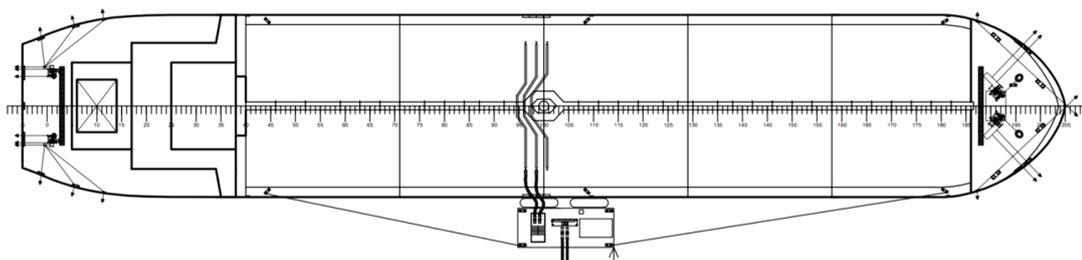
Pada penelitian ini, inovasi yang ditawarkan adalah dengan menghilangkan penggunaan *jetty* sehingga pengaturan bongkar muat kapal tanker juga akan berubah. Proses bongkar muat kapal kurang lebihnya menggunakan konsep *ship to ship transfer*, dimana dalam hal ini proses bongkar muat dibantu oleh *barge* yang membawa peralatan

bongkar muat portabel. *Barge* akan datang menghampiri dan bertambat di samping kapal tanker untuk melakukan proses bongkar muat. Berikut adalah ilustrasi proses bongkar muat curah cair dengan bantuan *barge* :

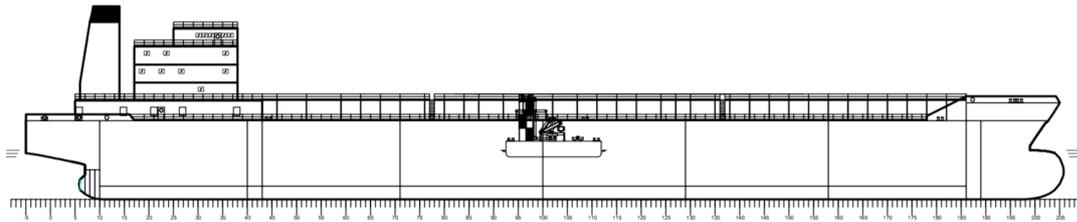


Gambar 5.15 Bagan Alur Bongkar Muat Curah Cair

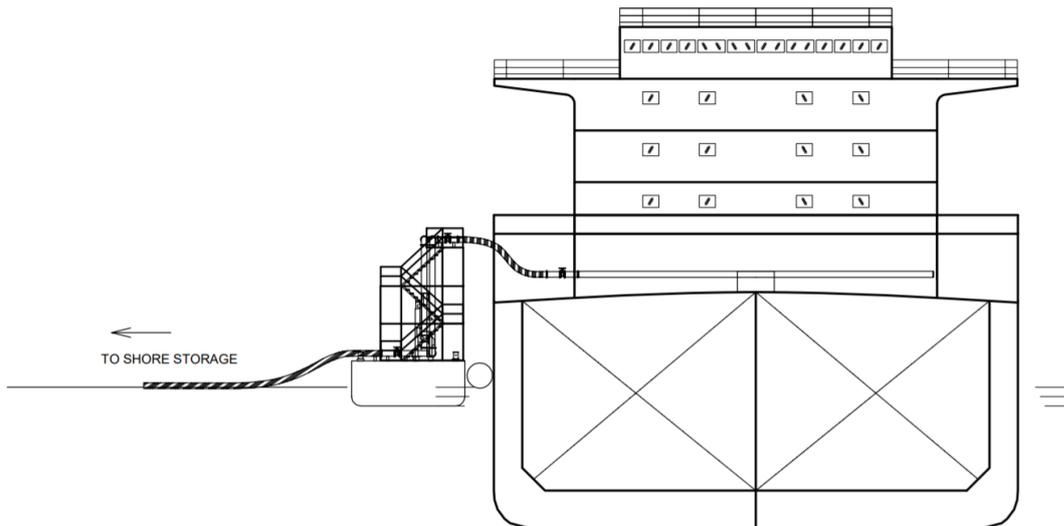
Untuk memperjelas gambaran proses bongkar muat curah cair ini, berikut adalah gambaran posisi kapal tanker dan *barge* saat melakukan kegiatan bongkar muat :



Gambar 5.16 Posisi *Barge* dan Kapal Tanker saat Kegiatan Bongkar Muat (*Top View*)



Gambar 5.17 Posisi *Barge* dan Kapal Tanker saat Kegiatan Bongkar Muat (*Profile View*)



Gambar 5.18 Posisi *Barge* dan Kapal Tanker saat Kegiatan Bongkar Muat (*Front View*)

5.7 Perbandingan *Arrangement* Menggunakan *Barge* dan Metode Konvensional

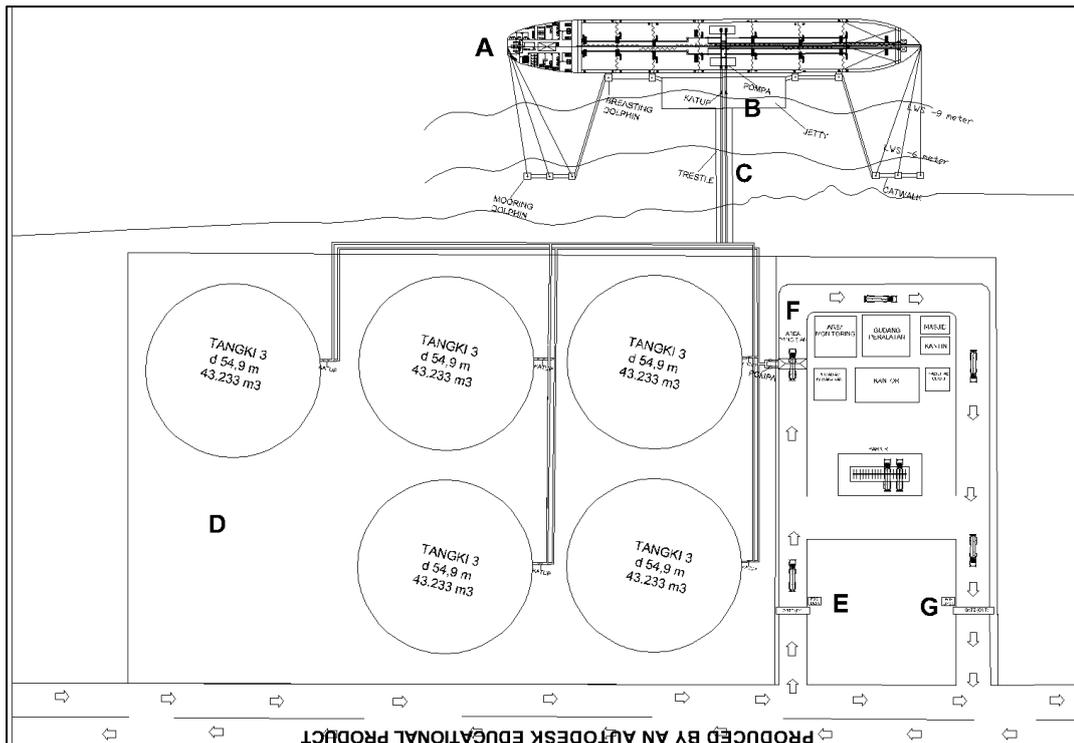
Metode konvensional yang penulis teliti yaitu dengan menggunakan *jetty* konvensional. Perbandingan proses bongkar muat curah cair pada *jetty* konvensional dan *barge* dipaparkan berikut ini :

- *Jetty* Konvensional

Tahapan proses bongkar muat pada *jetty* konvensional yaitu :

- A. Kapal tanker bersandar di dermaga.
- B. Proses bongkar muat curah cair menggunakan *loading arm*.
- C. Muatan bergerak di dalam pipa menuju ke tangki timbun atau sebaliknya.
- D. Muatan masuk ke dalam tangki penyimpanan atau ke tangki kapal tanker.
- E. Truk masuk ke dalam area TUKS.
- F. Truk melakukan proses pemindahan muatan.
- G. Truk keluar dari area TUKS melalui *gate* untuk keluar area pelabuhan.

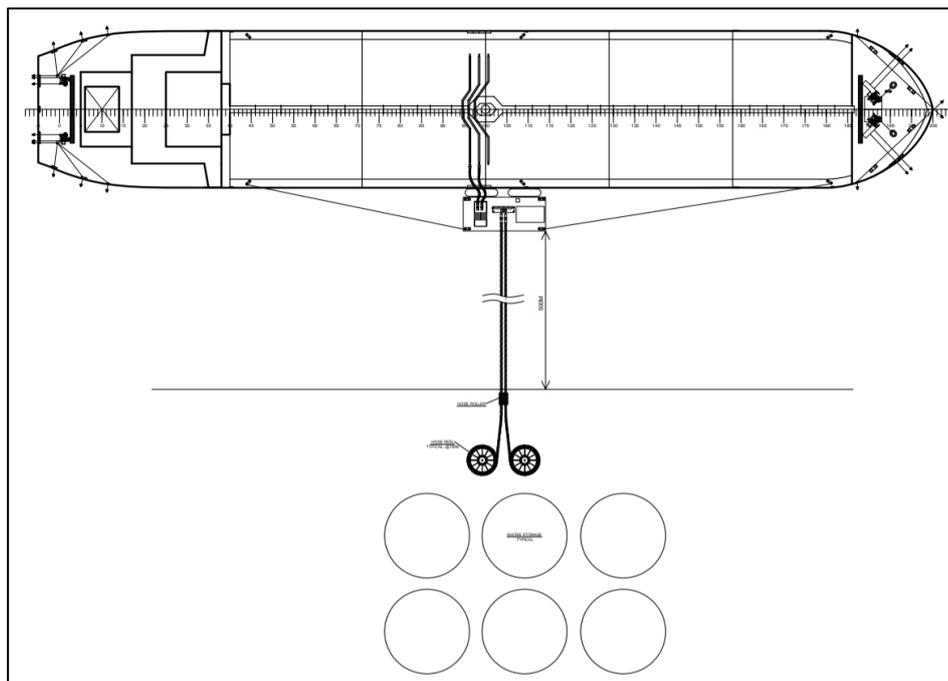
Untuk lebih jelasnya, digambarkan pada *arrangement* berikut ini :



Gambar 5.19 Proses Bongkar Muat Curah Cair pada *Jetty* Konvensional

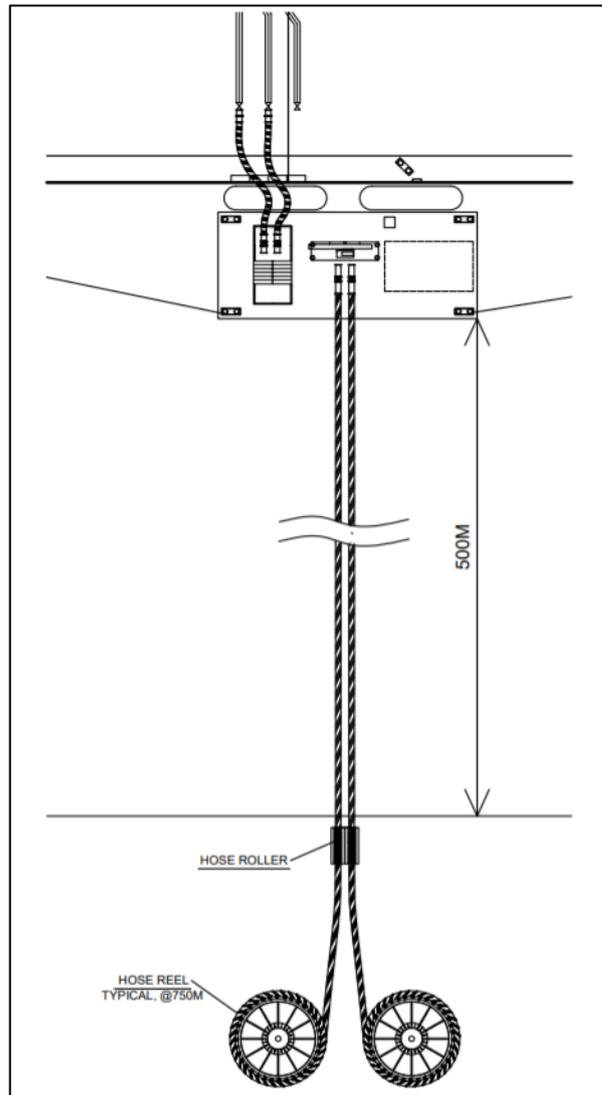
- *Barge*

Tahapan proses bongkar muat menggunakan barge, sebagaimana yang telah dipaparkan oleh penulis pada sub bab 5.8 dalam bentuk bagan. Untuk lebih jelasnya, digambarkan pada *arrangement* berikut ini :



Gambar 5.20 Proses Bongkar Muat Curah Cair Menggunakan *Barge*

Untuk lebih detailnya, penulis mengambil fokus pada bagian berikut ini :



Gambar 5.21 Pola Operasi Peralatan Bongkar Muat Curah Cair Menggunakan *Barge*

Pada gambar di atas, terdapat *hose reel* sebagai tempat gulungan pipa yang beroperasi dengan bantuan *hose roller* untuk menarik maupun mengulur pipa tersebut. Dimana pipa ini dikendalikan mulanya dari kinerja *barge*. Dari proses ini, dapat meminimalisir jumlah *crew* untuk melakukan bongkar muat jika dibandingkan dengan menggunakan *jetty* konvensional.

5.8 Kelebihan dan Kekurangan *Barge* Dibandingkan Metode Konvensional

Masih sama seperti sub bab sebelumnya, metode konvensional yang diteliti yaitu penggunaan *jetty*. Kelebihan dan kekurangan penggunaan *barge* dibanding *jetty* konvensional dipaparkandalam tabel berikut :

Tabel 5.13 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan *Barge* Dibanding *Jetty* Konvensional

<i>Jetty</i> Konvensional	<i>Barge</i>
<p>Kelebihan:</p> <ul style="list-style-type: none"> + Dapat digunakan untuk bongkar muat beberapa kapal sekaligus. + Cukup awet jadi menghemat biaya <i>maintenance</i>. 	<p>Kekurangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hanya dapat melakukan bongkar muat pada satu per satu kapal. - Perlu <i>maintenance</i> berkala dan skala besar.
<p>Kekurangan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hanya dapat melakukan bongkar muat saat perairan di sekitar dermaga cukup dalam sesuai kebutuhan sarat kapal tanker. - Membutuhkan biaya dan waktu untuk penyandaran kapal tanker yang cukup besar. 	<p>Kelebihan:</p> <ul style="list-style-type: none"> + Dapat melakukan bongkar muat kapanpun tanpa terhalang kondisi perairan (pasang surut dan sedimentasi) di dermaga. + Proses bongkar muat lebih cepat karena memotong waktu proses penyandaran.

5.9 Tinjauan Kelayakan

Kelayakan yang akan ditinjau dari *barge* ini yaitu secara teknis dan ekonomis. Untuk lebih jelasnya, penulis paparkan dalam penjelasan berikut.

5.9.1 Kelayakan Teknis

Untuk meninjau kelayakan teknis dari penggunaan inovasi *barge*, pada penelitian kali ini penulis memproyeksikan profit dari biaya bongkar muat menggunakan *barge* ini apakah mampu menutup biaya yang telah digunakan untuk pembangunannya dan seberapa lama. Diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 5.14 Peninjauan Kelayakan Teknis

Biaya Pembangunan Kapal = 20.306.522.348,39			
Tahun ke-	1	2	3
<i>Operating Cost</i>	21.294.503.279	21.920.910.786	22.566.110.518
Tarif B/M	369.600.000.000	380.688.000.000	392.108.640.000
Hasil Akhir	327.998.974.372	686.766.063.586	1.056.308.593.068
Balik modal?	+	+	+

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel di atas, hasil keuntungan dari tarif bongkar muat yang diperoleh pada tahun pertama mampu menutup biaya pembangunan *barge*. Sehingga pembangunan *barge* ini dapat dikatakan **layak** secara teknis, karena

provit dari tarif bongkar muat mampu menutup biaya pembangunan *barge*, bahkan pada tahun pertama.

5.9.2 Kelayakan Ekonomis

Untuk meninjau kelayakan ekonomis, penulis menggunakan perbandingan antara proyeksi *demurrage cost* yang akan dibayarkan dengan besarnya biaya pembangunan *barge* dalam periode tertentu. Pada sub bab 4.7 telah dijabarkan bahwa diperoleh hasil estimasi biaya *demurrage* kapal tanker 20.000 DWT yaitu Rp 284.860.000,-/hari. Dimana rata-rata *Waiting Time* (WT) di daerah labuh akibat pendangkalan yaitu 3 hari. Itu berarti biaya *demurrage* dalam satu periode sebesar Rp 854.580.000,-.

Tabel 5.15 Perbandingan *Demurrage to Barge*

Biaya Pembangunan <i>Barge</i>	=	20.306.522.348	Rp
Asumsi jumlah kapal	=	2	kapal/periode
<i>Estimasi demurrage</i>	=	1.709.160.000	Rp/periode
<i>Demurrage to Barge</i>	=	12	periode
	=	36	hari

Sementara itu, pada sub bab sebelumnya telah diperoleh hasil akhir untuk pembangunan *barge* yaitu Rp 20.306.522.348,-. Dengan mengasumsikan terdapat 2 kapal di setiap periodenya. Sehingga diperoleh hasil perhitungan bahwa besarnya biaya *demurrage* 2 kapal selama 36 hari, setara dengan biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan *barge* ini. Hal itu berarti alat ini **layak** secara ekonomis untuk dilakukan pengadaan. Karena waktu pengumpulan yang cukup singkat (tidak lebih dari satu tahun) dibanding dengan pembayaran *demurrage*, serta menghemat biaya yang cukup besar ke depannya dibandingkan dengan pengeluaran untuk biaya *demurrage* kapal tanker yang semakin menumpuk.

Namun, sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa kapal-kapal tanker di Indonesia umurnya cukup tua, sehingga perlu dilakukan peninjauan ulang untuk besarnya nilai biaya *demurrage* kapal.

Tabel 5.16 Tinjauan Akhir *Demurrage to Barge*

Pertimbangan kapal-kapal tanker di Indonesia umurnya cukup tua, maka			
Negosiasi <i>demurrage</i> kapal	=	-50	%
<i>Estimasi demurrage</i>	=	854.580.000	Rp/periode
<i>Demurrage to Barge</i>	=	24	periode
	=	71	hari

Dengan mengasumsikan besarnya nilai negosiasi sebesar 50%, maka diperoleh estimasi *demurrage* sebesar Rp 854.580.000,-/periode atau selama 3 hari. Sehingga, diperoleh hasil akhir besarnya biaya *demurrage* 2 kapal selama 71 hari, setara dengan biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan *barge*. Maka, pembangunan *barge* ini tetap **layak** secara ekonomis. Karena sebanding dengan sekitar 3 bulan *demurrage cost*, ini berarti cukup singkat (tidak lebih dari satu tahun) sedangkan manfaat yang akan diperoleh cukup besar nilainya.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kondisi bongkar muat curah cair berupa *Crude Palm Oil* (CPO) pada Pelabuhan Belawan saat ini yaitu dengan menggunakan *jetty* konvensional sepanjang kurang lebih 400 – 500 meter menjorok ke laut.
2. Konsep desain inovasi peralatan bongkar muat curah cair untuk Pelabuhan Belawan ini yaitu berupa *barge* dengan ukuran utama LOA \approx LPP yaitu 14,50 meter karena bentuknya menyerupai kubus, lebar (B) 6,00 meter, tinggi (H) 2,40 meter, dan sarat (T) 1,00 meter dengan biaya pembangunan sebesar Rp20.306.522.348,39. *Barge* inilah yang nantinya akan mendatangi kapal tanker di kolam labuh untuk menyalurkan pipa menuju tangki penampungan, sehingga kegiatan bongkar muat curah cair berupa CPO dapat tetap berlangsung meskipun terjadi pendangkalan di dermaga karena sarat *barge* yang cukup kecil ini.
3. *Barge* sebagai inovasi peralatan bongkar muat curah cair yang ditawarkan, layak secara teknis karena *provit* dari tarif bongkar muat mampu menutup biaya pembangunan *barge* dalam satu tahun pengoperasian. Selain itu, *barge* ini juga layak secara ekonomis karena biaya *demurrage* selama kurang lebih tiga bulan sebanding dengan biaya pembangunan *barge* ini.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan ini, penulis memberikan saran agar alat ini dapat diaplikasikan segera di Indonesia, khususnya di Pelabuhan Belawan yang kerap mengalami pendangkalan. Selain itu, penulis juga menyarankan keterbukaan pihak otoritas Pelabuhan Belawan terkait informasi umum untuk kepentingan akademis seperti informasi seputar Pelabuhan Belawan itu sendiri, kapal yang dilayani, *freight rate*, tarif layanan, dan informasi lain umum lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anish. (2016, Juli 21). *What is Ship-to-Ship Transfer (STS)*. Retrieved from Marine Insight: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-ship-to-ship-transfersts-and-requirements-to-carry-out-the-same/>
- Boyke, Christino. (2019). *Perencanaan Pelabuhan dan Terminal*. Surabaya: ITS Press.
- Dephub. (2001). *Peraturan Pemerintah Nomor 69 Tahun 2001*. Retrieved from Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum Kementerian Perhubungan: http://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/pp/2001/pp_no_69_tahun_2001.pdf
- Kemlu. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia No. 17 Tahun 2008*. Retrieved from Pusat Informasi Hukum Kementerian Luar Negeri: https://pih.kemlu.go.id/files/uu_17_tahun_2008.pdf
- Kramadibrata, S. (1985). *Perencanaan Pelabuhan*. Jakarta: Ganesha Exact Bandung.
- Lewis, Edward V. (1980). *Principles of Naval Architecture Second Revision, Volume II, Resistance, Propulsion and Vibration*. Jersey City, NJ : The Society of Naval Architects & Marine Engineers.
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2011). *Ship Resistance and Propulsion*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Panunggal, P. Eko. (2007). *Diktat Kuliah Merancang Kapal I*. Surabaya : ITS, FTK, Jurusan Teknik Perkapalan.
- Parsons, Michael G. (2001). *Parametric Design, Chapter 11*. University of Michigan, Departement of Naval Architecture and Marine Engineering.
- Raunek. (2013). *How Single Point Mooring (SPM) Offshore Operation Works?* Retrieved from Marine Insight: <https://www.marineinsight.com/offshore/how-single-point-mooringspm-offshore-operation-works/amp/>
- Santosa, I.G.M. (1999). *Diktat Kuliah Perencanaan Kapal*. Surabaya : ITS, FTK, Jurusan Teknik Perkapalan.
- Schneekluth, H., & Bertram, V. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Taggart, Robert, Ed. (1980). *Ship Design and Construction*. The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.

- Watson, D. (1998). *Practical Ship Design* (Vol. 1). (R. Bhattacharyya, Ed.) Oxford: Elsevier.
- Wichers, D. I. (2013). *Guide to Single Point Moorings*. Wmooring.
- Wijnolst, Niko & Wergeland, Tor. (1996). *Shipping*. Delft: Delft University Press.
- Velsink, H. (2012). *Ports and Terminals*. Netherlands: VSSD.

LAMPIRAN

- Lampiran 1. Penentuan Ukuran Utama dan Kecepatan *Barge***
- Lampiran 2. Perhitungan Koefisien**
- Lampiran 3. Perhitungan Hambatan (*Holtrop & Mennen Method*)**
- Lampiran 4. Perhitungan Propulsi**
- Lampiran 5. Pemilihan Propulsi dan Generator**
- Lampiran 6. Perhitungan Berat Baja**
- Lampiran 7. Perhitungan Berat Perlengkapan**
- Lampiran 8. Perhitungan Berat *Crew* dan *Consumable***
- Lampiran 9. Perhitungan Total Berat dan Titik Berat**
- Lampiran 10. Perhitungan Stabilitas**
- Lampiran 11. Perhitungan Biaya Pembangunan *Barge***
- Lampiran 12. Output**
- Lampiran 13. Desain Konseptual Inovasi Peralatan Bongkar Muat Curah Cair**
- Lampiran 14. *Operational Cost***
- Lampiran 15. *Demurrage Cost***

Lampiran 1. Penentuan Ukuran Utama dan Kecepatan *Barge*

1. Penentuan Ukuran Utama *Barge*

✓ Penelitian Sebelumnya :

Rasio Ukuran <i>Barge</i>			
L/B =	2,3	<L/B<	6
B/T =	2,95	<B/T<	6,38
L/T =	14,33	<L/T<	21,47
B/H =	2,18	<B/H<	5

Sumber: Hafiz Nur Wahyu, 2019

✓ Ukuran direncanakan :

Rencana Ukuran <i>Barge</i>		
L =	14,50	m
B =	6,00	m
T =	1,00	m
H =	2,40	m

✓ Pengecekan ukuran utama :

Pengecekan Rasio Ukuran Utama <i>Barge</i>			
L/B =	2,42	notes :	Memenuhi
B/T =	6,00		Memenuhi
L/T =	14,50		Memenuhi
B/H =	2,50		Memenuhi

2. Penentuan Kecepatan *Barge*

Objek	Nilai	Satuan
Jarak Dermaga – Kapal Tambat	500	meter
Asumsi waktu tempuh	198	detik
Kecepatan	2,53	m/s
	4,91	knot
Kecepatan direncanakan	5	knot

Lampiran 2. Perhitungan Koefisien

- Froude Number
$$Fn_o = \frac{Vs}{\sqrt{g \cdot L}}$$

$$= 0,329$$

(max Fn = 0,35)

OK

- Block Coefficient

$$Cb = -4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3$$

$$= 0,52$$

$$Cb \text{ diambil} = 0,82 \quad (\text{Parametric Ship Design hal. 11-12})$$

- Midship Section Coefficient

$$Cm = 0.977 + 0.085(Cb - 0.6)$$

$$= 0,97 \quad (\text{Parametric Ship Design hal. 11-12})$$

- Waterplane Coefficient

$$Cwp = Cb / (0.471 + (0.551 \cdot Cb))$$

$$= 0,89 \quad (\text{Parametric Ship Design hal. 11-16})$$

- Prismatic Coefficient

$$Cp = Cb / Cm$$

$$= 0,85$$

- Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)

- LCB (%) = $-13.5 + 19.4 Cp$ dalam %L
 $= 2,895 \quad \% Lpp$

- LCB (M) = $(LCB (\%)) / 100 Lpp$
 $= 0,17 \quad \text{m dari M}$

- LCB (AP) = $0.5 \cdot LPP - LCBM$
 $= 7,076$

- $Lwl = Lpp$
 $= 14,50 \quad \text{m}$ (Lpp direncanakan sama dg Lwl, karena bentuk kapal yang menyerupai kubus)

- Volume Displacement

$$\nabla = Lwl \cdot B \cdot T \cdot Cb$$

$$= 45,35 \quad \text{m}^3$$

- Δ Displacement (ton)

$$\Delta = Lwl \cdot B \cdot T \cdot Cb \cdot \gamma$$

$$= 46,49 \quad \text{ton}$$

Lampiran 3. Perhitungan Hambatan (*Holtrop & Mennen Method*)

<i>Choice No.</i>	<i>C_{stern}</i>	<i>Used for</i>
1	-25	<i>Pram with Gondola</i>
2	-10	<i>V - Shaped Sections</i>
3	0	<i>Normal Sectional Shape</i>
4	10	<i>U - Shaped Section With Hogner Stern</i>

- Viscos Resistance Factor

C_{F0} (Friction Coefficient) [ITTC 1978]

$$R_n = L_{wl} \cdot \frac{V_\xi}{v}$$

$$v = 1.18831 \cdot 10^{-6} \quad [\text{ITTC'78 Method No. 4}]$$

$$R_n = 24919036,28$$

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2} \quad [\text{Principle of Naval Architecture Vol II hlm.90}]$$

$$= 0,002490$$

- Resistance of Appendages Factor

Wetted Surface Area [Principle of Naval Architecture Vol II hlm. 91]

A_{BT} = cross sectional area of bulb in FP

$$= 10\% \cdot B \cdot T \cdot C_m \quad \rightarrow \text{tanpa bulb}$$

$$= 0$$

$$S = L(2T+B)C_M^{0.5} (0.4530+0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467\frac{B}{T} + 0.3696C_{WP}) + 2.38\frac{A_{BT}}{C_B}$$

$$= 81,538$$

- Wave Making Resistance

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} \left(\frac{T}{B}\right)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$$

$$= 72,021 \quad [\text{Principle of Naval Architecture Vol II hlm.92}]$$

$$C_4 = B/L \quad B/L = 0,300$$

$$= 0,300$$

Even keel --> Ta = Tf = T

$$i_E = 125.67\frac{B}{L} - 1.6225C_p^2 + 23432C_p^3 + 0.155\left(LCB + \frac{6.8(T_o - T)}{T}\right)^3$$

$$= 73,642 \quad [\text{Principle of Naval Architecture Vol II hlm. 93}]$$

Harga m₁ [Principle of Naval Architecture Vol II hlm.92]

$$m_1 = 0.01404 \frac{L}{T} - 1.7525 \nabla^{\frac{1}{3}} / L - 4.7932 B / L - C_5$$

$$m_1 = -6,120$$

$$C_5 = 1.7301 - 0.7067 C_p \quad \rightarrow C_p \leq 0.8$$

$$= 1,133$$

Harga m_2 [Principle of Naval Architecture Vol II hlm.92]

$$m_2 = C_6 \cdot 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}} \quad F_n^{-3.29} = 38,70539$$

$$= -0,0000085 \quad e^{-0.034} = 0,00001 \quad 0,00001$$

$$C_6 = -1,69385 \quad \rightarrow L^3/\nabla \leq 512 \quad \frac{L^3}{\nabla} = 0,163$$

Harga λ [Principle of Naval Architecture Vol II hlm.92]

$$\lambda = 1,446 C_p - 0,03 L/B \quad \rightarrow L/B \leq 12$$

$$= 1,150$$

Harga C_2 [Principle of Naval Architecture Vol II hlm.92]

$$d = -0,9$$

$$C_2 = 1 \quad \text{[Tanpa bulb, di bawah kurva]}$$

Harga C_3

$$A_T = 0$$

A_T = the immersed area of the transom at zero speed

Saat $V = 0$, Transom tidak tercelup air

$$C_3 = \frac{1 - 0.8 A_T}{(B \cdot T \cdot C_M)} \quad \text{[Principle of Naval Architecture Vol II hlm .93]}$$

$$= 1$$

Harga R_w/w [Principle of Naval Architecture Vol II hlm.92]

$$\frac{R_w}{W} = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot e^{\{m_1 \cdot F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}}$$

$$= -0,0000041$$

• Total Resistance

C_A (Correlation Allowance) [Principle of Naval Architecture Vol II hlm.93]

$$C_A = 0.006 (Lwl + 100) - 0.16 - 0.00205 \quad Tf/Lwl = 0,069$$

$$= 0,00076 \quad \rightarrow Tf/Lwl \geq 0.04$$

W (gaya berat)

$$W = \rho g \cdot v = 456.033,005 \text{ N}$$

R_{total}

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_F (1 + k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W$$

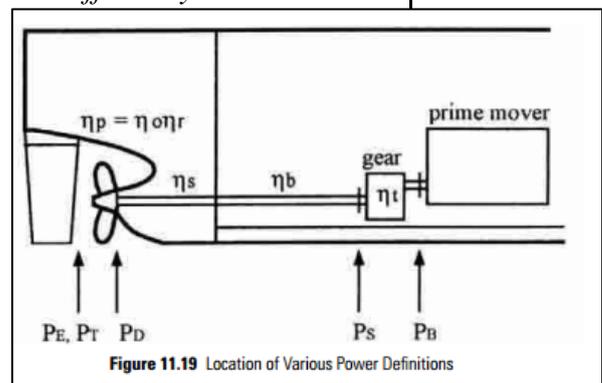
$$= 3393,185 \text{ N} = 3,393 \text{ kN}$$

$$R_{total} + 15\% (\text{margin}) = 3,902 \text{ kN}$$

Lampiran 4. Perhitungan Propulsi

Required Value		
RT	=	3902,163 N
V	=	2,525 m/s
Cb	=	0,521
Cf	=	0,0016
Ca	=	0,0005

Definitions	
η_b	= line bearing efficiency
η_c	= electric transmission/power conversion efficiency
η_g	= reduction gear efficiency
η_g	= en electric generator efficiency
η_h	= hull efficiency = $(1 - t)/(1 - w)$
η_m	= electric motor efficiency
η_o	= propeller open water efficiency
η_r	= relative rotative efficiency
η_s	= stern tube bearing efficiency
η_t	= overall transmission efficiency



Effective Horse Power		
EHP	=	$R_t \times v / 1000$ (parametric design hal 11-27)
	=	9,854 KW
Thrust Horse Power		
THP	=	$TVA / 1000$ (parametric design hal 11-27)
T	=	$R_t / (1 - t)$ (parametric design hal 11-27)
V_A	=	$V (1 - w)$ (parametric design hal 11-27)
C_v	=	$(1 + k) C_F + C_A$ (PNA vol 2 hal 162)
C_v	=	0,0021
w	=	$0.3 C_b + 10 C_v C_b - 0.1$ (PNA vol 2 hal 163)
	=	0,12666647
t	=	0,1 (PNA vol 2 hal 163)
η_h	=	$(1 - t)/(1 - w)$ (parametric design hal 11-29)
	=	0,964781316
THP	=	10,214 KW

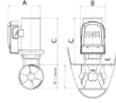
Delivery Horse Power		
DHP	=	THP/ η_p <i>(parametric design hal 11-29)</i>
η_o	=	0,55 <i>(propeller B-series = 0.5 - 0.6)</i>
η_r	=	0,98 <i>(PNA vol 2 hal 163)</i>
η_p	=	$\eta_o \eta_r$ <i>(parametric design hal 11-27)</i>
η_p	=	0,539
DHP	=	18,949 KW
Shaft Horse Power		
SHP	=	DHP/ $(\eta_b \eta_s)$ <i>(parametric design hal 11-29)</i>
$\eta_b \eta_s$	=	untuk mesin aft <i>(parametric design hal 11-31)</i>
	=	0,98
SHP	=	19,336 KW
Brake Horse Power		
BHP	=	SHP/ (η_T) <i>(parametric design hal 11-29)</i>
η_T	=	;low speed diesel <i>(parametric design hal 11-33)</i>
	=	0,975
BHP	=	19,832 KW
Maximum Continues Rates		
MCR	=	$PB_x(1+M_d)/(1-M_s)$ <i>(parametric design hal 11-30)</i>
MCR	=	24,498 KW
	=	33,308 HP
Engine Power Requirement		
Main Engine Power	=	24,498 KW
	=	33,308 HP

Lampiran 5. Pemilihan Propulsi dan Generator

✓ Propulsi terpilih :

Electric Tunnel Thruster CT 325 Home → Tunnel Thrusters → Electric Tunnel Thrusters

Description
Images
Drawings
Documents
3D Models

Code	Voltage	Thrust	Propellers	Power	Weight	A	B	C	D	E
42542	24V	255(kg) / 562(lbs)	2	19.69(kw) / 26.4(hp)	59(kg)	250(mm)	250(mm)	480(mm)	315(mm)	9 - 10(mm)

Sumber: max-power.com

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Propulsion Sets		
Type	MAX CT325	
Power	19,69	kW
L	270	mm
H	478	mm
W	265	mm
Weight	5,9	KG
Voltage	24	V
Propellers	2	

Sumber: max-power.com

✓ Generator terpilih :



Sumber: cat.com

Dengan spesifikasi sebagai berikut :

PRODUCT SPECIFICATIONS FOR C4.4 (60 HZ)	
GENERATOR SET SPECIFICATIONS	
Minimum Rating	36 ekW
Maximum Rating	100 ekW
Emissions/Fuel Strategy	Non Regulated, EU Stage II
Voltage	220 to 480 Volts
Frequency	60 Hz
Speed	1800 rpm
Duty Cycle	Standby, Prime
ENGINE SPECIFICATIONS	
Engine Model	C4.4, In-line 4, 4-cycle diesel
Bore	4.13 in
Stroke	5 in
Displacement	268.5 in
Compression Ratio	18.2:1
Aspiration	Turbocharged
Fuel System	Electronic (adjustable)
Governor Type	Adem™A4
GENERATOR SET DIMENSIONS	
Length - Maximum	75.8 in
Width - Maximum	44.1 in
Height - Maximum	53.6 in

Generator Sets		
Type	CATERPILLAR C4.4	
Power	2x100	kW
Speed	1800	rpm
L	1925,32	mm
H	1361,44	mm
W	1120,14	mm
Weight	5,5	t
Fuel oil consumption	32	g/kWh
Fuel Type	MFO	

Lampiran 6. Perhitungan Berat Baja

Lloyd Equipment Numeral (E)

$$E = E_{\text{hull}} + E_{\text{SS}} + E_{\text{dh}}$$

$$= L(B + T) + 0.85L(H - T) + 0.85 \sum lihi + + 0.75 \sum ljhj$$

(Parametric design hal 11-22)

E_{hull}

$$E_{\text{hull} < T} = L (B + T)$$

$$= 101,500 \quad \text{m}^2$$

$$E_{\text{hull} > T} = 0.85 (H - T)$$

$$= 1,190 \quad \text{m}^2$$

$$E_{\text{hull}} = L (B + T) + 0.85 (H - T)$$

$$= 102,690 \quad \text{m}^2$$

(Parametric design hal 11-22)

$E_{\text{deckhouse (without deckhouse)}}$

E_{dh1}

$$li = 16,5\% L_{pp}$$

$$= 0,000 \quad \text{m}$$

$$hi = \text{range } 2.4 \text{ m} - 3.5 \text{ m}$$

$$= 0,000 \quad \text{m}$$

$$E_{\text{dh1}} = 0.75 \cdot li \cdot hi$$

$$= 0,000 \quad \text{m}^2$$

$E_{\text{ss (without superstructure)}}$

$E_{\text{forecastle}}$

$$li = 6\% L_{pp}$$

$$= 0,000 \quad \text{m}$$

$$hi = \text{range } 2.4 \text{ m} - 3.5 \text{ m}$$

$$\text{asumsi } hi = 2,400 \quad \text{m}$$

$$V_f = 2.5 \cdot li \cdot hi$$

$$= 0,000 \quad \text{m}^3$$

$$E_{\text{forecastle}} = 0.85 \cdot li \cdot hi$$

$$= 0,000 \quad \text{m}^2$$

$$E_{\text{total}} = E_{\text{hull}} + E_{\text{SS}} + E_{\text{dh}}$$

$$= 102,690 \quad \text{m}^2$$

(Parametric design hal 11-22)

Total Weight Steel (W_{ST})

$$C_B' = C_b + (1 - C_b)((0.8H - T)/3T) \quad (\text{Parametric design hal 11-22})$$

$$C_B' = 0,668$$

$$K = 0,032 \quad ; \text{ lihat di tabel Structural Weight Coefficient}$$

$$W_{ST(E)} = K E^{1.36} (1 + 0.5(C_B' - 0.70)) \quad (\text{Parametric design hal 11-22})$$

$$W_{ST} = 31,133 \text{ ton}$$

Titik Berat Hull

$$\begin{aligned} VCG_{hull} &= 0.01D (46.6 + 0.135(0.81 - C_B)(L/D)^2) + 0.008D(L/B - 6.5) \\ &= 0,544 \text{ m} \quad (\text{Parametric design hal 11-25}) \end{aligned}$$

$$LCG_{hull} = 0.15 + LCB \quad (\text{Parametric design hal 11-25})$$

$$= 0,024 \text{ \% forward amidship}$$

$$= Lwl + LCG_{hull} \text{ (forward amidship)}$$

$$= 0,003 \text{ m dari midship}$$

$$= Lpp/2 - LCG_{hull} \text{ (dari midship)}$$

$$= 7,247 \text{ m dari FP}$$

$$TCG_{hull} = 0,000 \text{ m}$$

Lampiran 7. Perhitungan Berat Perlengkapan

- List of Equipment

On Board											
No	Nama	Jumlah		Sub Total Berat		LCG (m)	Momen L	VCG (m)	Momen V	TCG (m)	Momen T
1	<i>Crane</i>	1	pc	1,15	ton	7,06	8,12	3,71	4,26	0,74	0,85
2	<i>Floating Hose Connection</i>	2	pcs	0,26	ton	6,73	1,75	2,80	0,73	0,78	0,20
3	<i>Mooring System</i>	4	pcs	0,564	ton	7,25	4,09	2,50	1,41	0,00	0,00
4	<i>Flexible hose</i>	2	pcs	0,45	ton	7,25	3,26	2,50	1,13	0,00	0,00
5	<i>Cargo manifold</i>	2	pcs	0,00026	ton	3,01	0,00	8,85	0,00	1,22	0,00
6	<i>Access Ladder</i>	1	pc	0,5	ton	3,01	1,50	5,00	2,50	0,00	0,00
7	<i>Piping system for cargo handling</i>	1	lot	0,9	ton	7,25	6,53	3,00	2,70	0,00	0,00
8	<i>Control panel</i>	1	pc	0,3	ton	7,25	2,17	0,95	0,29	2,54	0,76
9	<i>Generator</i>	1	pc	5,5	ton	7,25	39,88	0,72	3,97	0,00	0,00
10	<i>Motors</i>	4	pcs	0,2	ton	7,25	1,45	0,98	0,20	0,00	0,00
Berat & Titik Berat Keseluruhan				9,82	ton	7,00	68,74	1,75	17,18	0,19	1,82

Note: LCG diukur dari *Frame 0* ; data didapatkan dari pengukuran di layout GA

VCG diukur dari *base line*

TCG diukur dari *centerline*

On Shore					
No	Nama	Jumlah		Berat Keseluruhan	
1	<i>Hose Reel</i>	1	pc	10000	kg
2	<i>Floating Hose</i>	50	pc	101500	kg

Lampiran 8. Perhitungan Berat Crew dan Consumable

Berat Lubricating Oil	
V tangki =	0,5 m ³
massa jenis =	0,95 ton/m ³
m =	0,475 ton
LCG =	7,25 m
VGC =	0,45 m
TCG =	0 m

Berat Bahan Bakar 1	
V tangki =	0,78 m ³
massa jenis =	0,89 ton/m ³
m =	0,6942 ton
LCG =	3,779 m
VGC =	0,59 m
TCG =	0 m

Berat Bahan Bakar 2	
V tangki =	0,78 m ³
massa jenis =	0,89 ton/m ³
m =	0,6942 ton
LCG =	10,721 m
VGC =	0,59 m
TCG =	0 m

Berat Crew	
n =	5 orang
m total =	0,35 ton
LCG =	7,25 m
VGC =	3 m
TCG =	0 m

Data yang didapatkan di atas, selanjutnya dihitung dengan menggunakan tabel berikut untuk menemukan titik berat total *consumable* :

No	Nama	Sub Total Berat		LCG (m)	Momen L	VCG (m)	Momen V	TCG (m)	Momen T
1	berat <i>lubricating oil</i>	0,475	ton	7,25	3,44	0,45	0,21	0,00	0,00
2	berat bahan bakar 1	0,6942	ton	3,78	2,62	0,59	0,41	0,00	0,00
3	berat bahan bakar 2	0,6942	ton	10,72	7,44	0,59	0,41	0,00	0,00
4	berat <i>crew</i>	0,35	ton	7,25	2,54	3,00	1,05	0,00	0,00
Berat & Titik Berat Keseluruhan		2,21	ton	7,25	16,05	0,94	2,08	0,00	0,00

Note:

LCG diukur dari Frame 0 ; data didapatkan dari pengukuran di layout GA

VCG diukur dari base line

TCG diukur dari centerline

Lampiran 9. Perhitungan Total Berat dan Titik Berat

Berat Baja	
W_{ST}	= 31,133 ton
KG_{ST}	= 0,54 m ; VCG_{hull}
LCG_{ST}	= 7,25 m ; LCG_{hull} (dari FP)

Berat Permesinan dan Perlengkapan	
$W_{E\&O}$	= 9,82 ton
$KG_{E\&O}$	= 1,75 m
$LCG_{E\&O}$	= 7,50 m ; dari FP

Berat Permesinan (dijadikan satu)	
W_M	= 0,00 ton
KG_M	= 0,00 m
LCG_M	= 0,00 m ; dari FP

Berat Consumable	
W_{cons}	= 2,21 ton
KG_{cons}	= 0,94 m
LCG_{cons}	= 7,25 m ; dari FP

Berat Payload (tidak ada payload)	
$W_{payload}$	= 0 ton
$KG_{payload}$	= $(H - h_{DB}) \cdot 0.5 + h_{DB}$
	= 0,00 m
$LCG_{payload}$	= $(0.56 \cdot L_{RM}) + L_{CH}$
	= 0,00 m

Berat LWT	
LWT	= $W_{ST} + W_{E\&O} + W_M$
	= 40,96 ton

Berat Total	
W	= $LWT + W_{cons} + W_{payload} + W_{crew}$
	= 43,17 ton

Berat DWT	
DWT	= $W - LWT$
	= 2,21 ton

KG Total	
KG	= 0,84 m

LCG Total dari FP	
LCG	= 0,84 m

maka,

$$\text{Disp} = 46,49 \text{ ton}$$

$$W = 43,17 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= D - W \\ &= 3,32 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{selisih} &= (\text{Selisih}/D) \cdot 100\% \\ &= 7\% \end{aligned}$$

Batasan Hukum fisika

DITERIMA

Lampiran 10. Perhitungan Stabilitas

Ship dimensions			
$L_{PP} =$	14,50	m	47,56 ft
$L_{WL} =$	14,50	m	47,56 ft
$B =$	6,00	m	19,68 ft
$H =$	2,40	m	7,872 ft
$T =$	1,00	m	3,28 ft
$V_S =$	5,00	knot	
$V_S =$	2,53	m/s	8,282828 ft/s

Ship coefficients		Environmental factor	
$C_B =$	0,82	$g =$	9,81 m/s ²
$C_M =$	0,9703101	$\rho_{SW} =$	1,025 ton/m ³
$C_P =$	0,8450906	$\rho_{SW} =$	1025 kg/m ³
$C_{WP} =$	0,8885807	$\rho_{SW} =$	0,02859 long ton/ft ³

Ship displacement			
$\nabla =$	45,35	m ³	1600,387 ft ³
$\Delta =$	46,49	ton	45,75447 long ton

Sheer			
$S_a =$	0	m	0 ft
$S_f =$	0	m	0 ft

Superstructure			
Forecastle			
$l_{fc} =$	0	m	0 ft
$h_{fc} =$	0	m	0 ft
Poop			
$l_{poop} =$	0,00	m	0 ft
$h_{poop} =$	0	m	0 ft

Ship longitudinal center of buoyancy			
Longitudinal			
from AP			
$LCB =$	7,08	m	23,21031 ft
from FP			
$LCB =$	7,42	m	24,34969 ft

Ship longitudinal center of weight			
Vertical			
$VCG =$	0,84	m	2,751005 ft
Longitudinal			
from AP			
$LCG =$	7,19	m	23,59948 ft
from FP			
$LCG =$	7,31	m	23,96052 ft

Main factor calculation			
Vertical plane			
$A_3 = \sum [h_i + (L_{WL} - l_{ic} - l_{pooop}) \times (S_3 + S_i)] / 6$			(area of vertical plane above moulded depth D_M)
$A_3 = 0$	ft ²		
$S = A_3 / L_{WL}$			(mean height above moulded depth D_M)
$S = 0$	ft		
$D = D_M + S$			(mean depth)
$D = 7,872$	ft	$D_M = H$	
$A_2 = 0.98L \times D_M + A_3$			(area of vertical plane to mean depth D)
$A_2 = 366,90447$	ft ²	$L = L_{WL}$	
Waterline plane			
$A_0 = L \times B_w \times A_w$			(area of waterline plane at designed draft)
$A_0 = L_{WL} \times B \times C_{WP}$			
$A_0 = 831,69443$	ft ²		
$A_1 = 1.01 \times A_0$			(area of waterline plane at mean depth D, may be estimate from A_0 and nature of stations above waterline)
$A_1 = 840,01138$	ft ²		
Midship section			
$A_M = B \times T \times C_x$			(area of immersed midship section)
$A_M = 62,633907$	ft ²	$C_x = C_M$	
Ship volume			
$F = D - T$			(freeboard to mean depth D)
$F = 4,592$	ft		
$V_T = V_0 + ((A_0 + A_1) / 2 \times F / 35)$			(volume of ship to mean depth D)
$V_T = 1710,0506$	ft ³	$V_0 = V$	
$\Delta_T = V_T \times \rho_{SW}$			
$\Delta_T = 48,889724$	long ton		
Ship coefficients			
$C_x' = (A_M + (B \times F)) / (B \times D)$			
$C_x' = 0,9876292$			(vertical prismatic coefficient)
$C_{PV} = C_B / C_{WP}$			
$C_{PV} = 0,92282$			
$C_{PV}' = 35 \Delta_T / (A_1 \times D)$			
$C_{PV}' = 0,2587709$			
$C_{PV}'' = 35 \Delta_T / (A_2 \times B)$			
$C_{PV}'' = 0,2369777$			
$\xi = (\Delta_T / 2) - \Delta_0$			
$\xi = -21,309611$			
$ \xi = 21,309611$			(always positive in C_w'' calculation)
$C_w' = A_2 / (L \times D)$			
$C_w' = 0,98$		$L = L_{WL}$	
$C_w'' = C_w' - 140 \xi \times (1 - C_{PV}'') / (L \times B \times D)$			
$C_w'' = 0,6710496$			

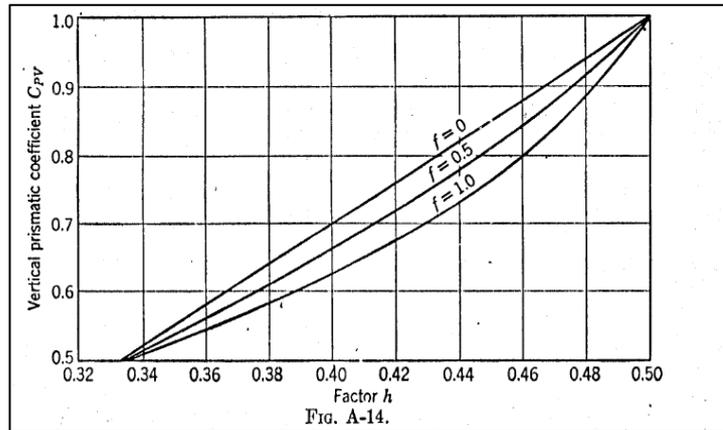


FIG. A-14.

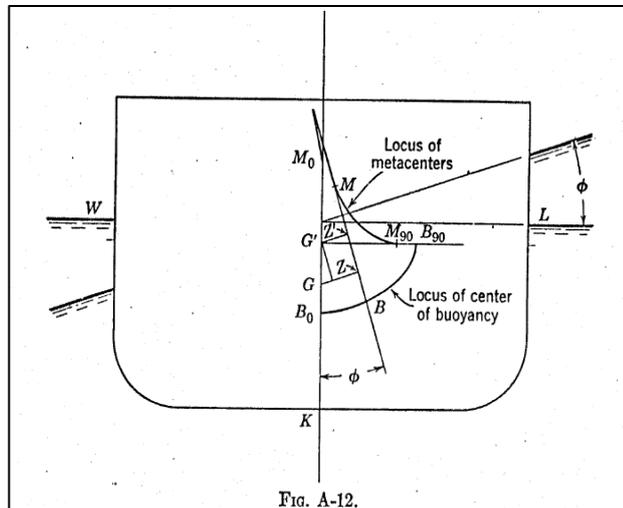


FIG. A-12.

Factor h calculation
$f = 0$
$h = (2X + 1) / 6$
$f = 0,5$
$h = (2 + 19X - 6X^2) / 30$
$f = 1,0$
$f = (-16 + 158X - 132X^2 + 40X^3) / 90$

Factor C_I calculation
Line 1
$C_W = C_{WP}$
$C_I = (3C_{WP} + 22C_{WP}^2) / 300$
$C_I = 0,066788$
Line 2
$C_W = C_{WP}$
$C_I' = (38C_W'' - 13) / 300$
$C_I' = 0,0416663$

GG'
$KG = VCG$
$KG = 2,7510051 \quad ft$
$f_1 = D \times (1 - (A_0/A_1)) / (2F \times (1 - C_{PV}))$
$f_1 = 0,0114493$
$X = C_{PV}'$
$X = 0,258771$
$f_1 = 0$
$h_1 = 0,252924$
$f_1 = 0,5$
$h_1 = 0,217162$
$h_1 = 0,2521047 \quad \text{rumus interpolasi}$
$KG' = (D \times (1 - h_1) \times \Delta_T - \bar{\gamma}) / (2\Delta_0)$
$KG' = 3,3782982 \quad ft$
$GG' = KG' - KG$
$GG' = 0,627 \quad ft$

G'B ₀
$f_0 = H \times ((A_1/A_0) - 1) / (2F \times (1 - C_{PV}))$
$f_0 = 0,1110576$
$X = C_{PV}$
$X = 0,92282$
$f_0 = 0$
$h_0 = 0,474273$
$f_0 = 0,5$
$h_0 = 0,4808$
$h_0 = 0,475723$
$KB_0 = (1 - h_0) \times H$
$KB_0 = 4,1271085 \quad ft$
$G'B_0 = KG' - KB_0$
$G'B_0 = -0,7488103 \quad Ft$

G'B ₉₀
$f_2 = 9.1 (C_X' - 0.89)$
$f_2 = 0,8884259$
$X = C_{PV}''$
$X = 0,236978$
$f_2 = 0,5$
$h_2 = 0,205521$
$f_2 = 1,0$
$h_2 = 0,161799$
$h_2 = 0,1715554$
$G'B_{90} = ((\Delta_T \times h_2 \times B) / (4\Delta_0)) - (((\bar{\gamma})^2 \times 17.5) / (\Delta_0 \times (A_2 - 70 \times (\bar{\gamma}/B) \times (1 - C_{PV}''))))$
$G'B_{90} = 0,3399386 \quad ft$

G'M₀	
$BM_0 =$	$(C_1 \times L \times B^3) / (35\Delta_0)$
$BM_0 =$	15,118687 ft
$G'M_0 =$	$KB_0 + BM_0 - KG'$
$G'M_0 =$	15,867497 ft

GM₀	
$GM_0 =$	$KB_0 + BM_0 - KG$
$GM_0 =$	16,49479 ft

G'M₉₀	
$BM_{90} =$	$((C_1' \times L \times D^3)/(35\Delta_0)) + ((L_d \times d \times D^2)/(140\Delta_0))$
$BM_{90} =$	0,6036431 ft
$G'M_{90} =$	$BM_{90} - G'B_{90}$
$G'M_{90} =$	0,2637045 ft

Tabular	
$GG' =$	0,627 ft
$G'B_0 =$	-
$G'B_{90} =$	0,7488103 ft
$G'M_0 =$	15,867497 ft
$G'M_{90} =$	0,2637045 ft
$GM_0 =$	16,49479 ft

b₁, b₂, b₃	
$b_1 =$	$(9/8) \times (G'B_{90} - G'B_0) - (1/32) \times (G'M_0 - G'M_{90})$
$b_1 =$	0,737224 ft
$b_2 =$	$(G'M_0 + G'M_{90}) / 8$
$b_2 =$	2,0164002 ft
$b_3 =$	$(3/32) \times (G'M_0 - G'M_{90}) - (3/8) \times (G'B_{90} - G'B_0)$
$b_3 =$	1,0545747 ft

Static righting arms	
$G'Z' =$	$b_1 \sin 2\phi + b_2 \sin 4\phi + b_3 \sin 6\phi$
$GZ =$	$G'Z' + GG' \sin \phi$

have for the righting arms GZ

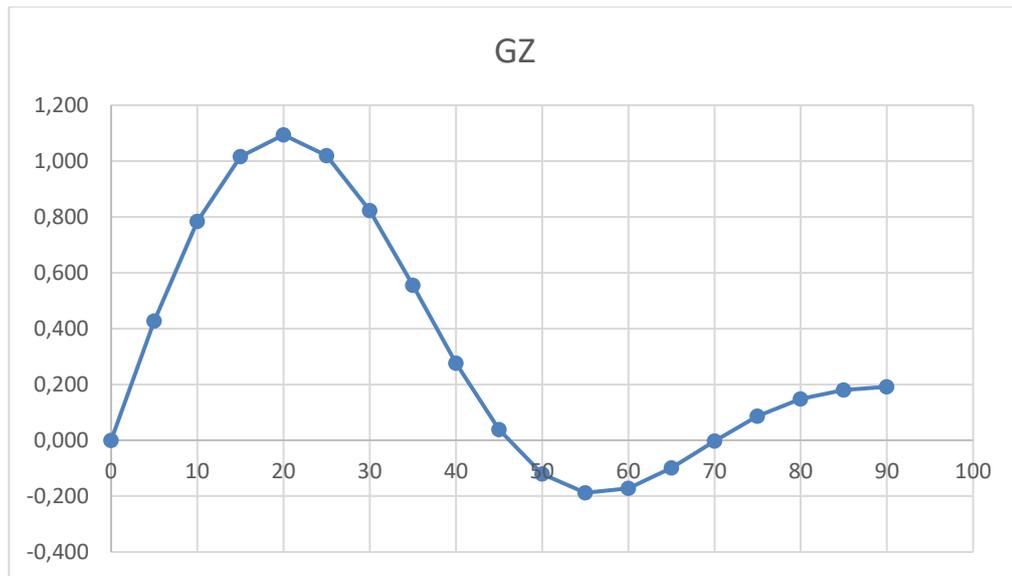
$$GZ = G'Z' + GG' \sin \phi \quad (A101)$$

Curve $G'Z'$ may be expressed by a Fourier sine series of the form

$$G'Z' = b_1 \sin 2\phi + b_2 \sin 4\phi + \dots + b_n \sin 2n\phi \quad (A102)$$

An analysis of the curves of statical stability of some fifteen ships of different types, computed in the conventional method, showed that the coefficients of the sine of 8ϕ and higher multiples of ϕ were of negligible magnitude, so that equation A102 becomes

$$G'Z' = b_1 \sin 2\phi + b_2 \sin 4\phi + b_3 \sin 6\phi \quad (A103)$$



φ (deg.)	$b_1 \sin 2\varphi$	$b_2 \sin 4\varphi$	$b_3 \sin 6\varphi$	$GG' \sin \varphi$	$G'Z'$	GZ (ft)	GZ (m)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,128	0,690	0,527	0,055	1,345	1,400	0,427
10	0,252	1,296	0,913	0,109	2,462	2,570	0,784
15	0,369	1,746	1,055	0,162	3,169	3,332	1,016
20	0,474	1,986	0,913	0,215	3,373	3,587	1,094
25	0,565	1,986	0,527	0,265	3,078	3,343	1,019
30	0,638	1,746	0,000	0,314	2,385	2,698	0,823
35	0,693	1,296	-0,527	0,360	1,462	1,821	0,555
40	0,726	0,690	-0,913	0,403	0,502	0,906	0,276
45	0,737	0,000	-1,055	0,444	-0,317	0,126	0,038
50	0,726	-0,690	-0,913	0,481	-0,877	-0,396	-0,121
55	0,693	-1,296	-0,527	0,514	-1,131	-0,617	-0,188
60	0,638	-1,746	0,000	0,543	-1,108	-0,565	-0,172
65	0,565	-1,986	0,527	0,569	-0,894	-0,325	-0,099
70	0,474	-1,986	0,913	0,589	-0,599	-0,009	-0,003
75	0,369	-1,746	1,055	0,606	-0,323	0,283	0,086
80	0,252	-1,296	0,913	0,618	-0,131	0,487	0,149
85	0,128	-0,690	0,527	0,625	-0,034	0,591	0,180
90	0,000	0,000	0,000	0,627	0,000	0,627	0,191

Dynamic righting arms
$e = \int GZ d\varphi$
Simpson method
$e = \frac{1}{3} \times h \times \sum (GZ \times FS)$

φ (deg.)	h (rad)	e (ft rad)	e (m rad)
0 - 10	0,087	0,238	0,072
10 - 20	0,087	0,567	0,173
20 - 30	0,087	0,572	0,174
30 - 40	0,087	0,317	0,097
Σ		1,693	0,516

Code on Intact Stability

The Code on Intact Stability, IMO Resolution A.749(18), consolidates several previous stability regulations (IMO, 1995). The code contains regulations concerning all cargo ships exceeding 24 m in length with additional special rules for:

- cargo ships carrying timber deck cargo
- cargo ships carrying grain in bulk
- containerships
- passenger ships
- fishing vessels
- special purpose ships
- offshore supply vessels
- mobile offshore drilling units
- pontoons
- dynamically supported craft

The main design criteria of the code are:

- General intact stability criteria for all ships:
 1. $e_{0,30^\circ} \geq 0.055 \text{ m-rad}$; $e_{0,30^\circ}$ is the area under the static stability curve to 30°
 $e_{0,40^\circ} \geq 0.09 \text{ m-rad}$; corresponding area up to 40°
 $e_{30,40^\circ} \geq 0.03 \text{ m-rad}$; corresponding area between 30° and 40° .
 If the angle of flooding ϕ_f is less than 40° , ϕ_f instead of 40° is to be used in the above rules.
 2. $h_{30^\circ} \geq 0.20 \text{ m}$; h_{30° is the righting lever at 30° heel.
 3. The maximum righting lever must be at an angle $\phi \geq 25^\circ$.
 4. The initial metacentric height $\overline{GM}_0 \geq 0.15 \text{ m}$.

Intact Stability			
$e_{0,30^\circ}$	\geq	0,055 m rad	
$e_{0,30^\circ}$	=	0,420 m rad	Accepted
$e_{0,40^\circ}$	\geq	0,09 m rad	
$e_{0,40^\circ}$	=	0,516 m rad	Accepted
$e_{30,40^\circ}$	\geq	0,03 m rad	
$e_{30,40^\circ}$	=	0,097 m rad	Accepted
h_{30°	\geq	0,2 m	
h_{30°	=	0,823 m	Accepted
ϕ_{GZmax}	\geq	25 °	
ϕ_{GZmax}	=	25 °	Accepted
\overline{GM}_0	\geq	0,15 m	
\overline{GM}_0	=	5,029 m	Accepted

Periode Rolling		
T	=	$(0.79 \cdot B) / \sqrt{(G'' \cdot Mo)}$
	=	3,90 s

Lampiran 11. Perhitungan Biaya Pembangunan Barge

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
				5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
	THIRD PARTY SERVICES							
1	Class Supervision & Certificates	1	Lot	250.000.000	-	250.000.000	-	
2	Flag State & Certificate	1	Lot	100.000.000	-	100.000.000	-	
3	Commisioning	1	Lot	100.000.000	-	100.000.000	-	
4	Production Drawing	1	Lot	100.000.000	-	100.000.000	-	
5	Mock-up of as built vessel	2	pc	50.000.000		100.000.000	-	
6	Dock Trial	1	Lot	100.000.000	-	100.000.000	-	
7	Launcing and sea trial	1	Lot	100.000.000	-	100.000.000	-	
8	Training dan familirization of Crews	1	Lot	50.000.000	-	50.000.000	-	
9	Delivery	1	Lot	50.000.000	-	50.000.000	-	
10	Insurance	1	Lot	80.000.000	-	80.000.000	-	
11	Shipyard services (Labor and facilities)	1	Lot	40.000.000	-	40.000.000	-	
						1.070.000.000	-	
	HULL CONSTRUCTION & CONSUMABLE							
1	Plate & Profile (mild steel grade A marine use), installed	303	ton	28.600.000	-	8.665.800.000	-	KS
2	Allowance plate & profile (10% of installed)	30	ton	28.600.000	-	866.580.000	-	
3	Electrode	1	lot	440.000.000	-	440.000.000	-	Nikko Steel RD260

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
	MAIN PROPULSION & GENERATOR							
1	Generator ±100 kW	1	shipset	-	14.950	-	14.950	CATERPILLAR- CAT MTA
2	Power Panel							
3	Thruster control & switchboard unit							
4	Main engine control & monitoring console							
5	Engine bracket & mounting							
6	Tunnel Thruster x4	4	unit		2.946		11.784	Max
7	Fuel transfer pump	2	unit	4.500.000		9.000.000	-	SIERRA
8	Fuel oil separator	1	unit	500.000		500.000	-	GEA WESTFALIA
9	Fuel oil flow meter	1	unit		90	-	90	
10	Bilge pump	1	unit	961.000		-	-	SEAFLO
11	Ballast/GS/Fire pump	1	unit	961.000		961.000	-	JABSCO
12	Air compressor	2	unit	13.925.000		27.850.000	-	HATLAPA
13	Air bottle reservoir	2	unit					
14	Lub. oil transfer pump	1	unit	961.000		961.000	-	ALLWEILER
15	OWS	1	unit	119.000		119.000	-	GEA WESTFALIA
16	Sludge transfer pump	1	unit		426	-	426	ALLWEILER or equal
17	FW hydrophore	1	unit	961.000		961.000	-	ALLWEILER
18	FW pump	2	unit					
19	SW cooling stby pump	1	unit	961.000		961.000	-	ALLWEILER

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
20	"Engine room ventilation- intake louvre, relief air louvre, intake fan"	1	lot	930.000		930.000	-	
						42.243.000	27.249,99	
	DECK MACHINERY & EQUIPMENT							
<u>1</u>	<u>Mooring Equipment</u>							
	Mooring bitts							
	Mooring Lines							
	Towing staple, forward	1	lot		11.500	-	11.500	
	Mooring Roller							
	Towing Hook	1	lot		4.500	-	4.500	MACGREGOR
<u>2</u>	<u>Fendering</u>							
	Bow fender: cylindrical, 800mm OD x 450mm ID - 18m							
	Stern fender: cylindrical, 800mm OD x 450mm ID - 15m	1	lot		5.000	-	5.000	INKABA
	Side fendering: hollow D, 300mm x 300mm - 35m (P/S)							
	Stern fendering: hollow D, 300mm x 300mm - 5 m							
3	Hydraulic deck crane	1	lot		8.500	-	8.500	HEILA
						-	29.500	
	CONTROL ROOM							
1	Bookshelf	2	unit	500.000	-	1.000.000	-	
2	Desk Chair	2	unit	288.000	-	576.000	-	

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
3	Coat Hooks	4	unit	21.250	-	85.000	-	
4	Wastebasket	2	unit	33.600	-	67.200	-	
5	First Aid Cabinet	1	set	2.176.000	-	2.176.000	-	
6	Notice Board	1	unit	200.000	-	200.000	-	
7	Condiment Rack	1	unit	1.000.000	13	1.000.000	13	
8	CO2 Locker	1	lot	10.000.000	-	10.000.000	-	
9	Locker	1	lot	7.500.000	-	7.500.000	-	
10	Exhaust Fan	2	unit	166.500	-	333.000	-	
						22.937.200	13	
	OUTFITTING & INTERIOR EQUIPMENT							
1	Doors							
	Joiner Door	1	lot		2.000		2.000	
	Fire Door	1	lot	5.000.000	-	5.000.000	-	
	Weather tight Door	1	lot	7.067.500	-	7.067.500	-	
	Watertight Door	1	lot	7.067.500	-	7.067.500	-	
2	Windows							
	Rectangular Window	1	lot		1.500	-	1.500	
	Scuttle	1	lot		750	-	750	
	Wheelhouse	1	lot		1.500	-	1.500	
	ECR	1	lot		1.500	-	1.500	
3	Access Ladders							
	Piping system for cargo operation	1	lot	4.950.000	-	4.950.000	-	

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
4	Lining	1	lot		1.750	-	1.750	
5	Ceiling	1	lot		2.500	-	2.500	
6	Funnel	1	lot		3.000	-	3.000	
7	Man hole and Emergency Exit							
	Manholes	1	lot		7.500	-	7.500	
	ESC hatches	1	lot		3.210	-	3.210	
8	Ventilation							
	Natural ventilation	1	lot		40	-	40	vetus sciroco
9	Air Conditioner							
	AC Split	1	lot	10.000.000	-	10.000.000	-	SHARP
10	Handrails and Storm Rails (SS marine use)							
	Interior	1	lot		4.500	-	4.500	
	Exterior	1	lot		5.000	-	5.000	
11	Independent Tanks							
	FO Daily Tanks	1	lot		10.000	-	10.000	
	LO Tanks	1	lot		12.000	-	12.000	
	Steering Oil Tanks	1	lot		6.000	-	6.000	
12	Sea chest	1	lot		7.000	-	7.000	
13	Control room							
	Wheelhouse Control Console	1	lot		4.000	-	4.000	
	Pilot Chair	1	lot		130	-	130	
	Chart Table	1	lot		75	-	75	

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
	GMDSS Work Station console	1	lot		30	-	30	
	Flag Locker	1	unit		50	-	50	
	Chart Light	1	unit		100	-	100	
	Log Book Rack	1	unit		250	-	250	
	Life Jacket Racks	2	unit		600	-	1.200	
	Binocular Racks	2	unit		-	-	-	
14	Engine Room							
	Lifting Arrangement for Main Engine, Aux. Engines;							
	- Eye Plates	1	lot		1.000	-	1.000	
	- Portable Channel Beam	1	lot		3.200	-	3.200	
	Work Bench	1	lot		6.000	-	6.000	
	Parts and Tool Storage	1	lot		2.000	-	2.000	
	Communication Booth	1	unit		3.200	-	3.200	
	Rag Bins	1	lot		200	-	200	
	Guards	1	lot		1.500	-	1.500	
	Engine Room Sink	1	unit		300	-	300	
	Inclinometer	1	unit		118	-	118	
15	Switchboard Room							
	Writing Desk	1	unit	1.388.000		1.388.000	-	
	Desk Chair	1	unit	28.800		28.800	-	
	Whiteboard and Markers	1	lot	210.000		210.000	-	
	Coat Hooks	4	unit	21.250		85.000	-	
	Wastebasket	1	unit	33.600		33.600	-	

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
16	Fire Safety Equipment							
	Fixed Gas Fire Extinguishing System (CO2 system)	1	lot		1.070	-	1.070	SAFINDO
	Fire Detection & General Alarm System	1	lot		149	-	149	SAFINDO
	Portable Fire Extinguishers	1	lot		500	-	500	
	Fire Station	1	lot			-	-	
	- Hydrants at Each Station							
	- Fire Hoses							
	Axes	2	unit		55	-	110	
	Fireman Suits	1	lot		100	-	100	
17	Life Saving Equipment							
	Liferafts - 15man	2	unit		7.989	-	15.978	elliot
	Immersion Suits	10	unit		309	-	3.090	
	Lifebuoys	6	unit		99	-	594	
	Lifejackets	14	unit		125	-	1.750	
	Emergency Escape Breathing Devices	2	unit		26	-	52	
	Embarkation ladders	2	unit		300	-	600	BOCHI
	Distress Signals	13	unit		740	-	9.620	
	Line Throwing Appliance	1	unit		90	-	90	HT
18	Oil dispersant system	1	lot		11.000	-	11.000	
19	Signs and Markings							
	Ship's Name	1	lot		50	-	50	
	Draft Marks	1	lot		150	-	150	
	Loadline Mark	1	lot		150	-	150	

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
	Bulkhead and Tank Marks	1	lot		150	-	150	
	Owner's Marks	1	lot		150	-	150	
	Nameplates and Labels for Equipment, Fill and Discharge	1	lot		150	-	150	
	Warning and Direction Signs	1	lot		150	-	150	
	Ship's Plaque	1	lot		150	-	150	
20	General Outfit							
	First Aid Equipment	1	lot	45.000		45.000	-	
	Covers for Compass, Searchlights, Hawser, Radar, Fi-Fi Monitors and Winches	1	lot	20.000.000		20.000.000	-	
	Flags, Ensigns and Hoists	1	lot	500.000		500.000	-	
21	Piping	1	lot	27.600		27.600	-	
22	Valves (including Vent head)	1	lot	120.000		120.000	-	
23	Tank Fittings	1	lot	60.000.000		60.000.000	-	
24	Fuel Oil Filters -Diesel Engine	1	lot		19	-	19	
25	Fuel Oil Strainer - Transfer	1	lot		19	-	19	
26	Accomodation							
	Cutlery	1	lot	880.000		880.000	-	
	Bedding	1	lot	355.000		355.000	-	
27	Engine Room							
	Workshop	1	lot	10.000.000		10.000.000	-	
	Spare Part	1	lot	6.085.000		6.085.000	-	

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14.243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
28	Hull							
	Common Tools	1	lot	7.000.000		7.000.000	-	
	Painting and Ropes	1	lot	377.500		377.500	-	
						141.220.500	138.944	
	ELECTRICAL EQUIPMENT							
1	MSB	1	lot		6.995	-	6.995	MSB technology
2	Panel distribution	1	lot		9	-	9	Passen
3	Panel navigation light	1	lot		9	-	9	Passen
4	Cabling & access tray	1	lot		20	-	20	
5	Transformer	1	lot	70.160	-	70.160	-	
6	Batteries- emergency blackout ship start	1	lot		559	-	559	Lifeline GPL 24-T
7	Batteries- wheelhouse equipment	1	lot		559	-	559	Lifeline GPL 24-T
8	Battery chargers	1	lot		37	-	37	
9	Interior lighting- LED type	1	lot	390.500	-	390.500	-	LED Strip
10	Exterior lighting- LED type	1	lot		150	-	150	
11	Engine room & machinery space lighting- LED type	1	lot		150	-	150	
12	Emergency lighting- 24V LED type	1	lot		150	-	150	
13	Electrical socket- interior	1	lot	390.500	-	390.500	-	
14	Electrical socket- engine room & machinery space	1	lot		150	-	150	
						851.160	8.788	
	CONTROL, COMMUNICATION & NAVIGATION							
1	Machinery controls	1	lot	135.000.000		135.000.000	-	

NO	ITEM & EQUIPMENT	VOL.		HARGA				REFERENCE MAKER
				UNIT		TOTAL (kurs tgl 21 Juni 2020)		
						Kurs:	14,243	
1	2	3	4	5a (IDR)	5b (USD)	6a (IDR)	6b (USD)	7
2	Central Alarm and Monitoring	1	lot	20.000.000		20.000.000	-	JRC, FURUNO, RAYMARINE or equal
3	General Alarm & fire alarm	1	lot	15.000.000		15.000.000	-	JRC, FURUNO, RAYMARINE or equal
4	Magnetic Compass + digital repeater	1	unit		1.395	-	1.395	FURUNO
5	Clocks	3	unit		165	-	495	BARIGO
6	Barometer	1	unit		149	-	149	BARIGO
7	Wind Speed and Direction Indicator	1	unit		2.295	-	2.295	FURUNO
8	Radar X band	1	unit		27.999	-	27.999	FURUNO
9	Depth Sounder/Echo sounder	1	unit		1.279	-	1.279	SITEX
10	GPS Compass	1	unit		4.999	-	4.999	JRC
11	GPS	1	unit		2.349	-	2.349	JRC
12	Inclinometer	1	unit		118	-	118	BARIGO
13	Speed Log	1	unit		9.999	-	9.999	JRC
14	Bridge Watch Alarm	1	unit		11.995	-	11.995	FURUNO
15	Ship's Bell	1	unit		160	-	160	PERKO FOG
16	VHF-DSC	1	unit		490	-	490	generic
17	Portable VHF	2	unit		99	-	198	uniden
18	Navtex	1	unit		2.499	-	2.499	FURUNO
19	Talkback	1	unit		80	-	80	FURUNO
20	Sound Powered Telephone	1	unit		299	-	299	newmar
21	Binocular	2	unit	625.000		1.250.000	-	BRUSNELL
22	Handy Talky	4	unit	350.000		1.400.000	-	BAOFENG
23	SSB Marine Radio (MF/HF radio)	1	unit		8.279	-	8.279	JRC
						172.650.000	75.077	

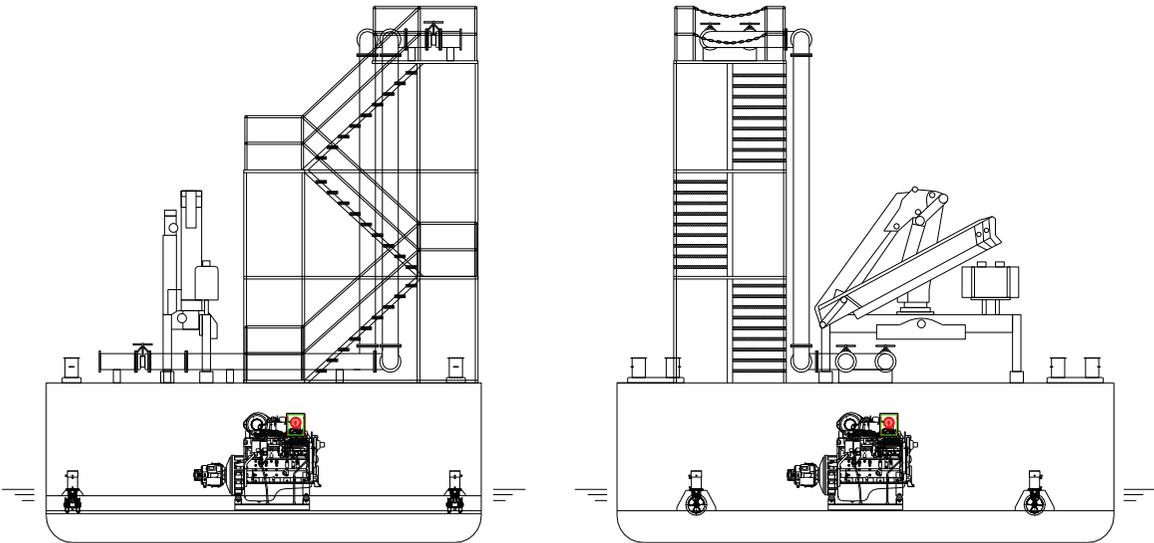
Jadi, diperoleh total perhitungan biaya pembangunan *barge* sebagai berikut :

TOTAL	:	Rp 14.478.528.160,00	\$ 279.572,19
TOTAL OVERALL	:	Rp18.460.474.862,17	
GRAND TOTAL + Tax 10%	:	Rp20.306.522.348,39	

Lampiran 12. Output

No.	Items	Value	Satuan
1	L _{WL}	14,50	m
2	L _{PP}	14,50	m
3	B	6,00	m
4	H	2,40	m
5	T	1,00	m
6	V _S	5,00	knots
7	C _B	0,79	
8	LWT	40,96	ton
9	Power (P _B)	19,83	kW
10	Jumlah Kru	5,00	orang
11	Fuel Capacity	1,56	ton
12	Roll Period	3,90	detik
13	Price Estimation	Rp 20.306.522.348,39	

Lampiran 13. Desain Konseptual Inovasi Peralatan Bongkar Muat Curah Cair



REVISION	
NO	REVISION
1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...
8	...
9	...
10	...

DEPARTMENT OF MARINE TRANSPORTATION
 FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

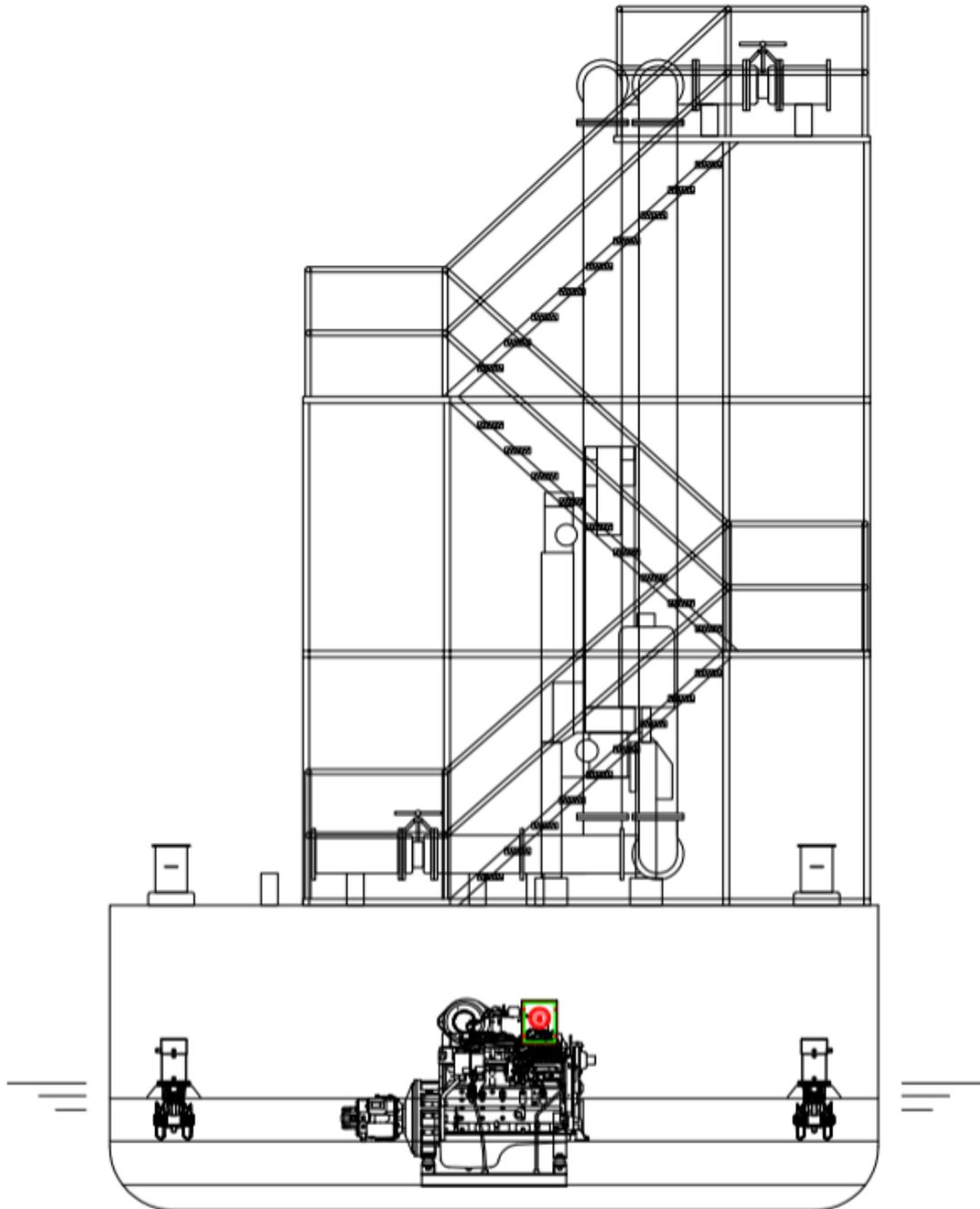
SPB SAVIOR

GENERAL ARRANGEMENT

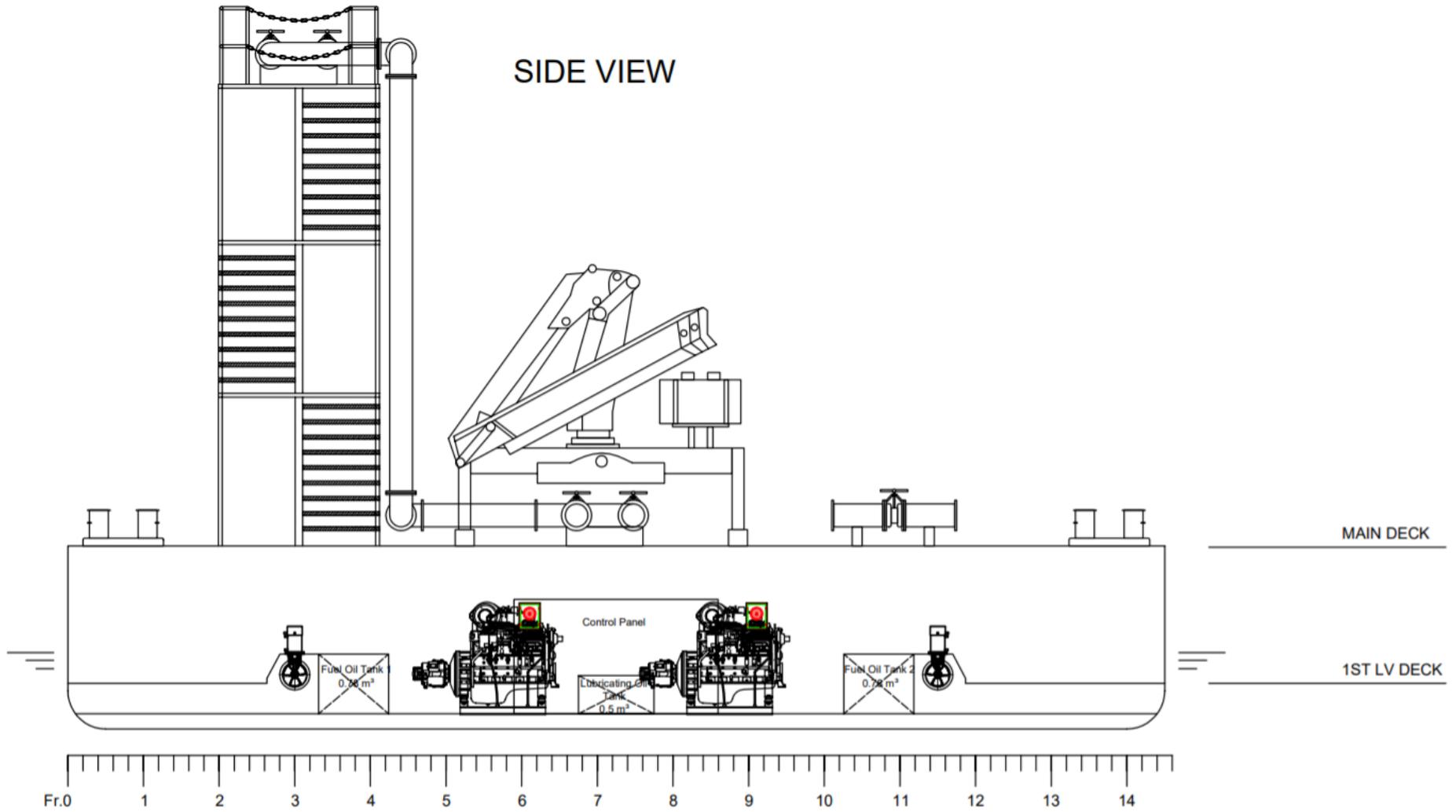
Scale	1:50	Signature	DATE	NOV
Desain Oleh	WITA NURAH	Disetujui Oleh	DIYUSMANUS	
Revisi	0	Disetujui Oleh		

Revisi: 0, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10

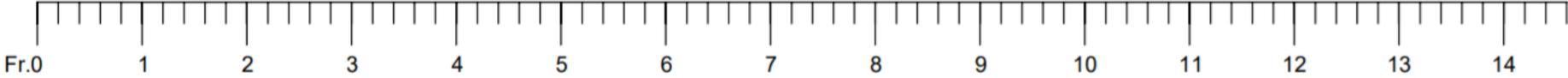
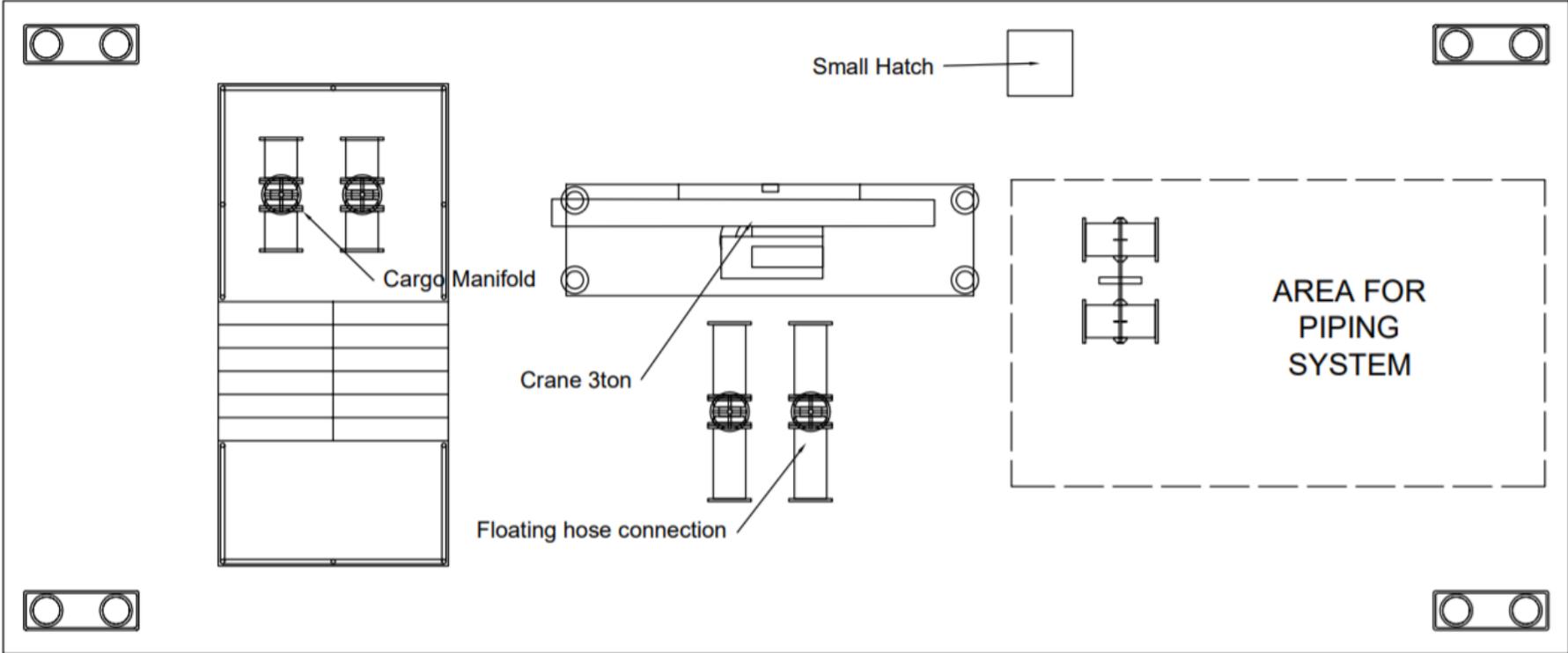
FRONT VIEW



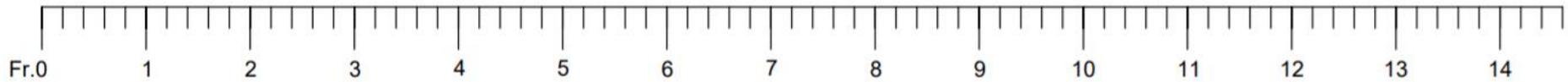
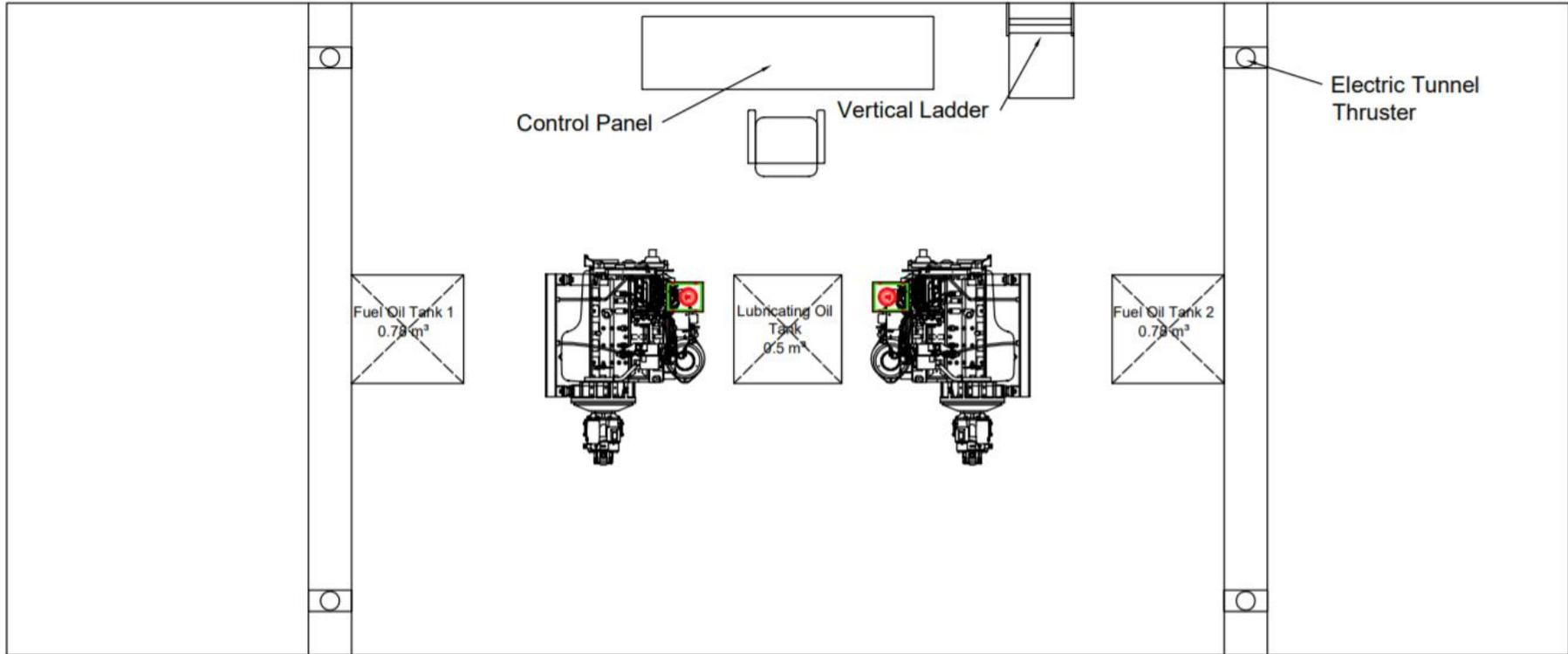
SIDE VIEW



MAIN DECK

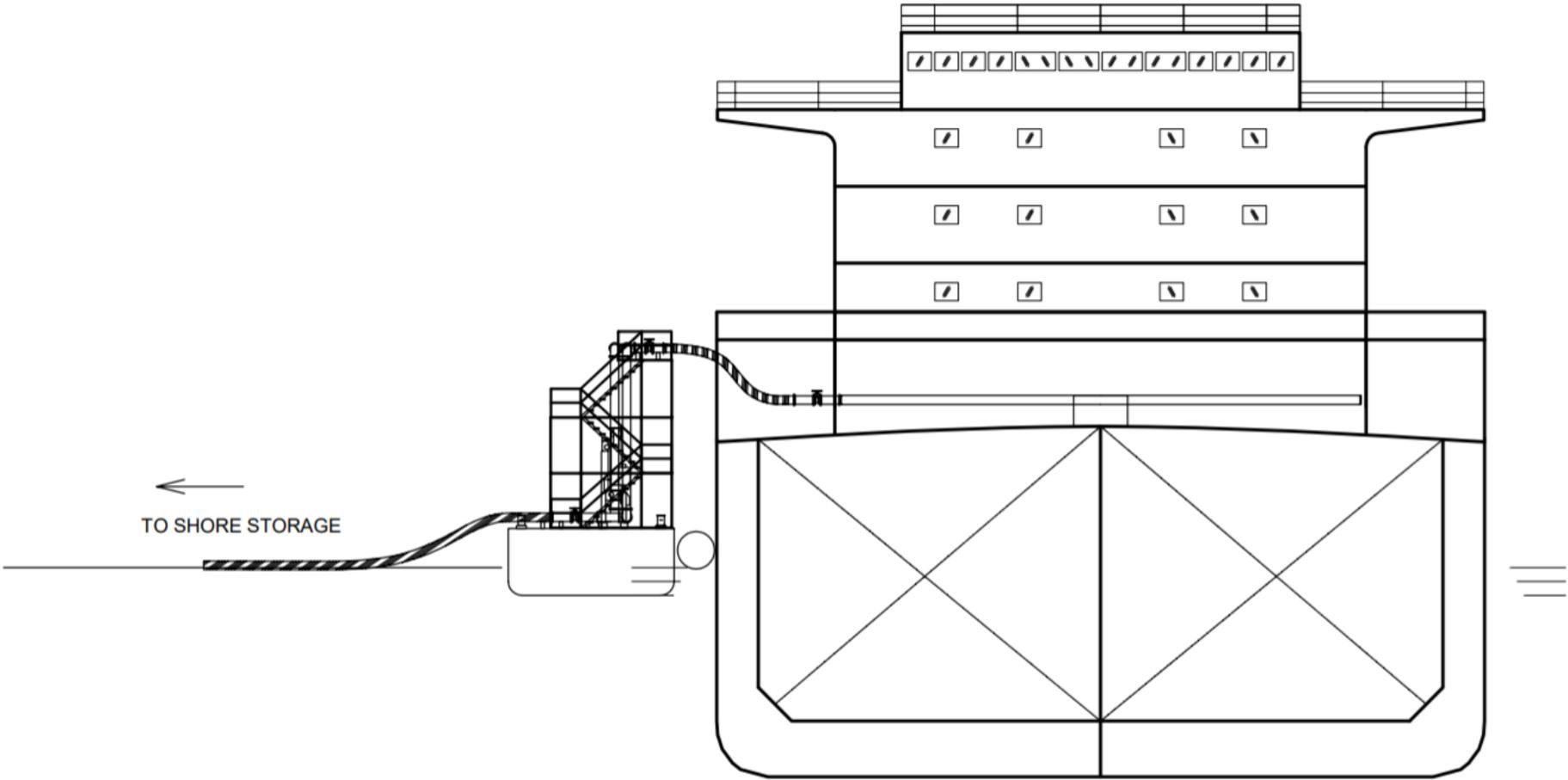


1ST LV DECK

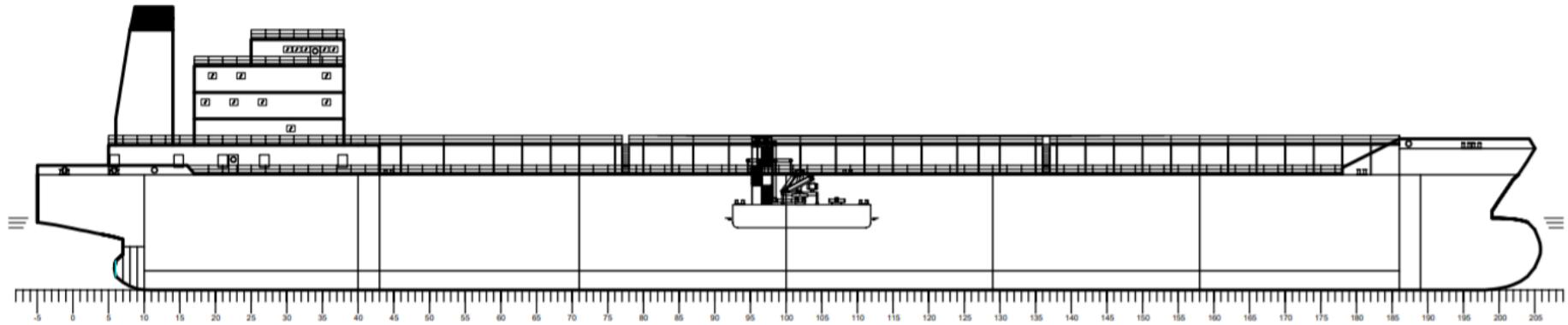


Posisi *Barge* dan Kapal Tanker saat Bongkar Muat

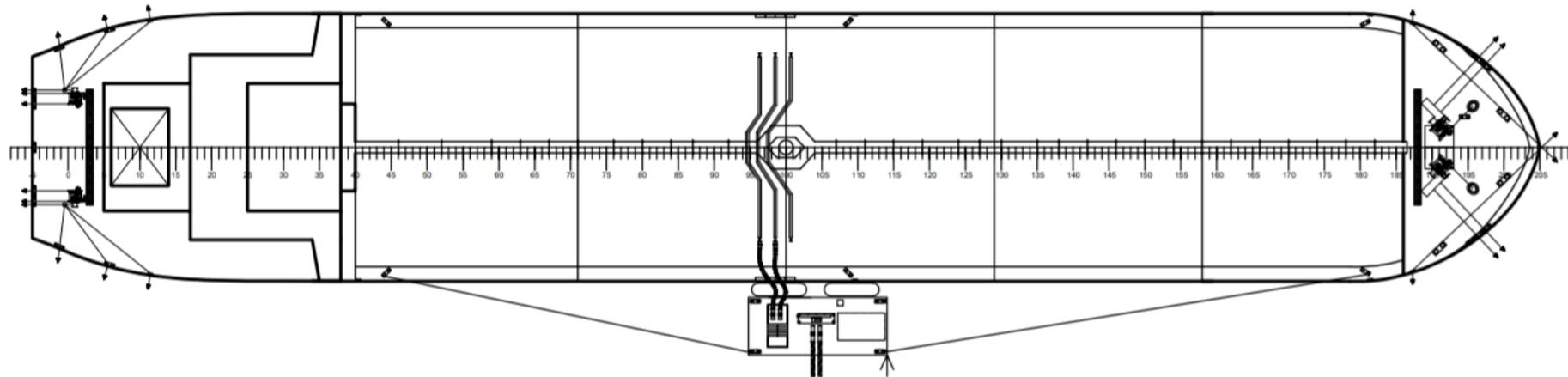
- **Tampak Depan**



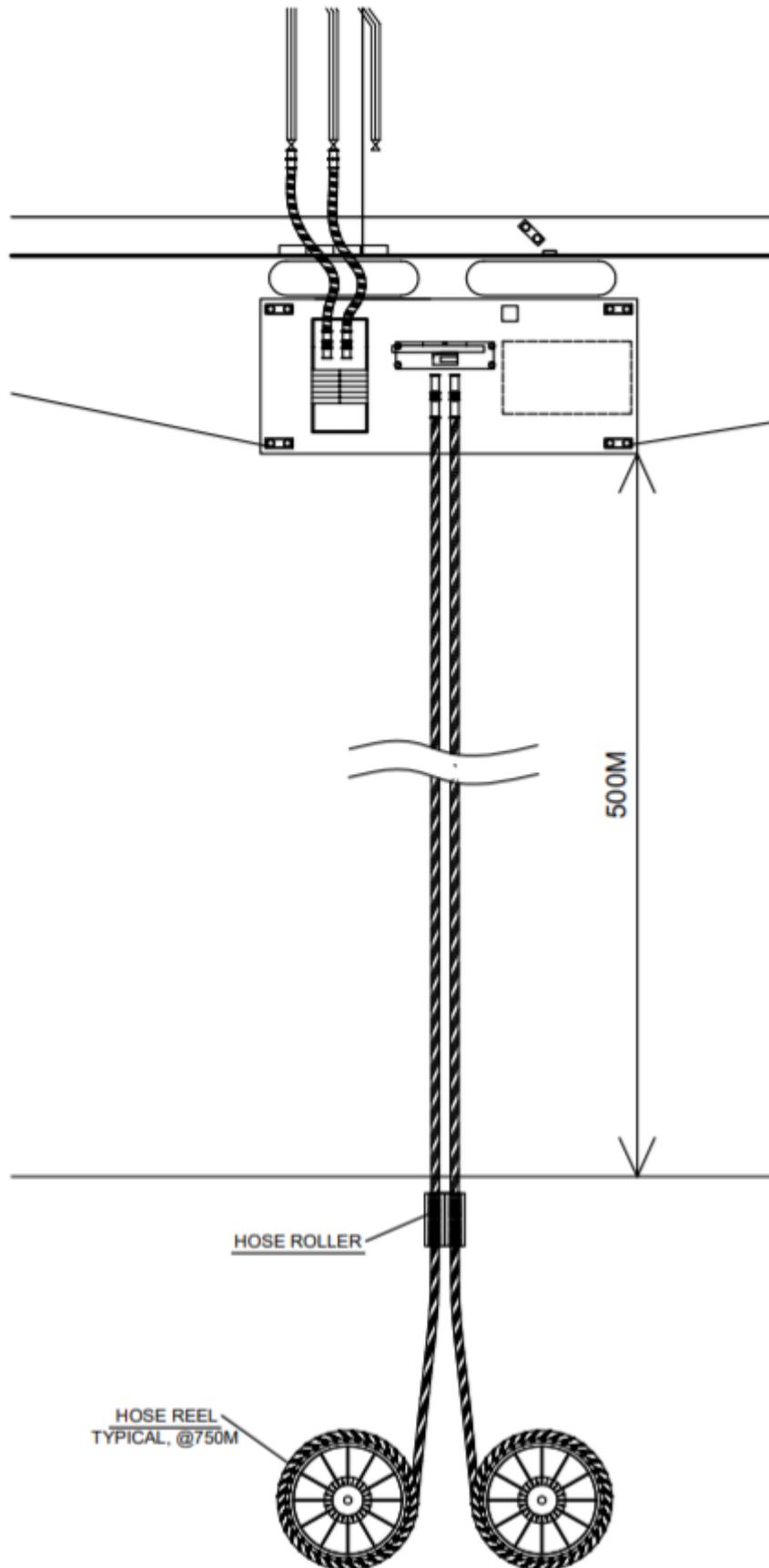
- **Tampak Samping**



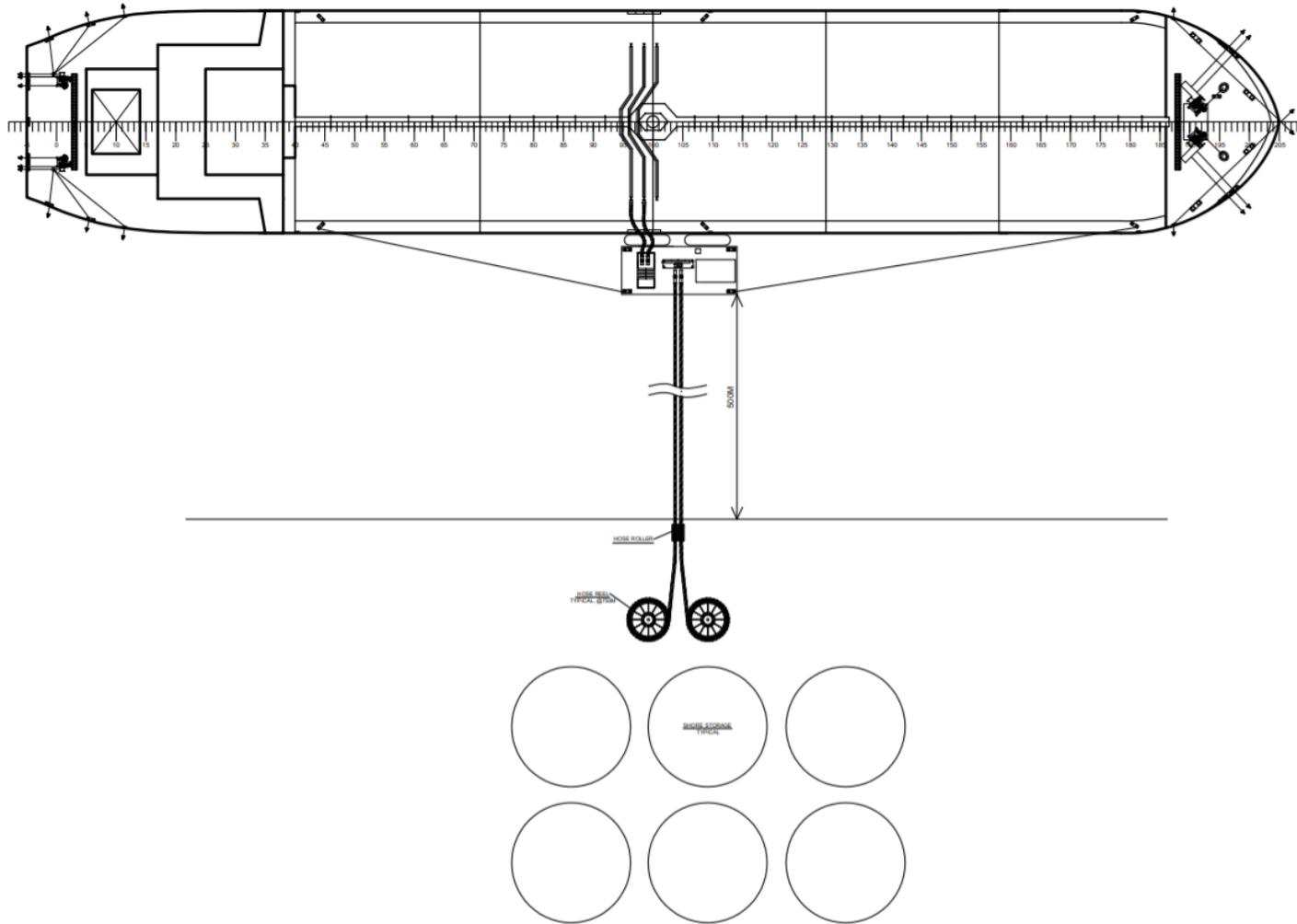
- **Tampak Atas**



- **Tampak Atas Pipa**



- **Tampak Atas Full**



Lampiran 14. Operational Cost

OPERASIONAL		
Biaya Pembangunan <i>Barge</i> =		Rp 20.306.522.348,39
DATA KAPAL YANG AKAN DILAYANI		
Tipe	TANKER	
Bobot	DWT	20.000
Muatan	MT	7.000
OPERASIONAL		
Gaji Crew	Rp/org/bulan	6.500.000
Stores & Consumable	Rp/org/hari	50.000
Lub. Oil	Rp/liter	39.000
Repair & Maintenance	Rp/tahun	203.065.223
Jumlah Crew	orang	5
Comm Days	hari/tahun	330
Konsumsi LO	liter/tahun	1250
Harga MFO	Rp/liter	8.550
Konsumsi MFO	liter/hari	7.000
Insurance	% harga	0,02
General Cost	% OC	0,02
Biaya B/M	Rp/MT	80.000
Kegiatan B/M per hari	Kali	2

Tahun Ke-	1	2	3	4
-----------	---	---	---	---

Inflasi			3%	3%	3%	3%
Gaji Crew	Rp/org/bulan	(-)	6.500.000	6.695.000	6.895.850	7.102.726
Stores & Consumable	Rp/org/hari		50.000	51.500	53.045	54.636
Lub. Oil	Rp/liter		39.000	40.170	41.375	42.616
MFO	Rp/liter		8.550	8.807	9.071	9.343
Repair & Maintenance	Rp/tahun		203.065.223	209.157.180	215.431.896	221.894.852
Biaya B/M	Rp/MT		(+)	80.000	82.400	84.872

Operating Cost

Gaji Crew	Rp/tahun	(-)	390.000.000	401.700.000	413.751.000	426.163.530
Stores & Consumable	Rp/tahun		82.500.000	84.975.000	87.524.250	90.149.978
Lub. Oil	Rp/tahun		48.750.000	50.212.500	51.718.875	53.270.441
MFO	Rp/tahun		19.750.500.000	20.343.015.000	20.953.305.450	21.581.904.614
Insurance	Rp/tahun		406.130.447	406.130.447	406.130.447	406.130.447
General Cost	Rp/tahun		413.557.609	425.720.659	438.248.600	451.152.380
Repair & Maintenance	Rp/tahun		203.065.223	209.157.180	215.431.896	221.894.852

Total	Rp/tahun	(-)	21.294.503.279	21.920.910.786	22.566.110.518	23.230.666.242
--------------	----------	-----	----------------	----------------	----------------	----------------

Jasa B/M	Rp/tahun	(+)	369.600.000.000	380.688.000.000	392.108.640.000	403.871.899.200
Profit	Rp/tahun	(+)	348.305.496.721	358.767.089.214	369.542.529.482	380.641.232.958

Balik Modal	-Rp20.306.522.348,39		327.998.974.372	686.766.063.586	1.056.308.593.068	1.436.949.826.026
-------------	----------------------	--	-----------------	-----------------	-------------------	-------------------

Lampiran 15. Demurrage Cost

Estimate Formula (by INSA)			
daily rate	≈	DWT	
demurrage cost	=	1.000	USD/1000 DWT/hari
	=	14.243.000	Rp/1000 DWT/hari

Kondisi Eksisting di Pelabuhan Belawan			
rata-rata ukuran kapal tanker	:	20.000	DWT
Waiting Time (WT) pendangkalan	:	2 s.d 4	hari
rata-rata WT	:	3	hari

Estimasi Biaya Demurrage Kapal Tanker 20.000 DWT			
satu hari	=	284.860.000	/hari
satu periode	=	854.580.000	/3 hari

Biaya Pemb. <i>Barge</i>	=	20.306.522.348	Rp	
Asumsi jumlah kapal	=	2	kapal/periode	(trade antara 1-4)
Estimasi demurrage	=	1.709.160.000	Rp/periode	
Demurrage to <i>Barge</i>	=	12	periode	(total demurrage hingga menjadi biaya pembangunan <i>barge</i>)
	=	36	hari	
pertimbangan kapal-kapal tanker di Indonesia cukup tua, maka				
Negosiasi demurrage kapal	=	-50	%	(asumsi)
Estimasi demurrage	=	854.580.000	Rp/periode	
Demurrage to <i>Barge</i>	=	24	periode	
	=	71	Hari	

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BIODATA PENULIS



Sita Nuraini atau biasa dipanggil Aini, lahir di Jombang pada 05 Juli 1997. Penulis merupakan putri pertama dari pasangan Bapak Aminin dan Ibu Ngasmiatin. Penulis juga memiliki seorang adik perempuan bernama Andra Egidia Rahmadani. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari MI Al-Mursyidah (2003-2009), SMPN 1 Mojoagung (2009-2012), SMAN Mojoagung (2012-2015), dan pada tahun 2015 diterima sebagai mahasiswa Departemen Teknik Transportasi Laut, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNMPTN.

Selama masa perkuliahan, penulis berpartisipasi aktif dalam beberapa kegiatan internal ITS seperti LKMM Pra Tingkat Dasar FTK (2015), Program Studi Islam 1 JMMI (2015), English Club FTK (2016), Pelayaran Iptek FTK (2016), Pelatihan Manajemen Organisasi LMB (2017), Musabaqah Tilawatil Qur'an (2017) dan menjadi delegasi MTQ Nasional, Delegasi Relawan KM ITS for Lombok, serta beberapa pelatihan, seminar, dan *workshop* lainnya. Selain itu, penulis juga menjadi pengurus dalam beberapa organisasi internal ITS sebagai Staff Departemen PSDM UKM Rebana (2016-2017), Staff Bidang PSDA UKM Pramuka (2016-2017), Staff Departemen Internal LMB (2016-2017), dan Ketua UKM Pramuka (2016 -2017). Tidak hanya di lingkup internal ITS, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan eksternal ITS seperti menjadi Relawan International Clean Up The World (2015), Lokakarya Manajemen Kegiatan oleh Kwarda Jawa Timur (2016), Panitia Perkemahan Saka Bakti Husada Tingkat Nasional V (2016), Panitia Raimuna Daerah XIII Jawa Timur (2018), dan beberapa kegiatan lainnya. Saat ini, penulis tinggal di Jombang. Pembaca dapat menghubungi penulis pada beberapa jejaring online di bawah ini untuk berkomunikasi.

Email : sitanuraini05@gmail.com

Line : [aini_sitanuraini](https://line.me/tv/p/aini_sitanuraini)