



TUGAS AKHIR – ME141501

**DESAIN SISTEM PERPIPAAN KAPAL CONTAINER CARRIER 100 TEUs
YANG MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR LNG**

Kevin Garsia
NRP 04211440000025

Dosen Pembimbing
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil. M.RINA

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR – ME141501

**DESAIN SISTEM PERPIPAAN KAPAL *CONTAINER CARRIER* 100 TEUs
YANG MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR LNG**

Kevin Garsia
NRP 04211440000025

Dosen Pembimbing
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil. M.RINA

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – ME141501

**DESIGN SYSTEM FOR CONTAINER CARRIER 100 TEUs WHICH USING
LNG FUEL**

Kevin Garsia
NRP 04211440000025

Advisor :
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil. M.RINA

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN SISTEM PERPIPAAN KAPAL CONTAINER CARRIER 100 TEUs YANG MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR LNG

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

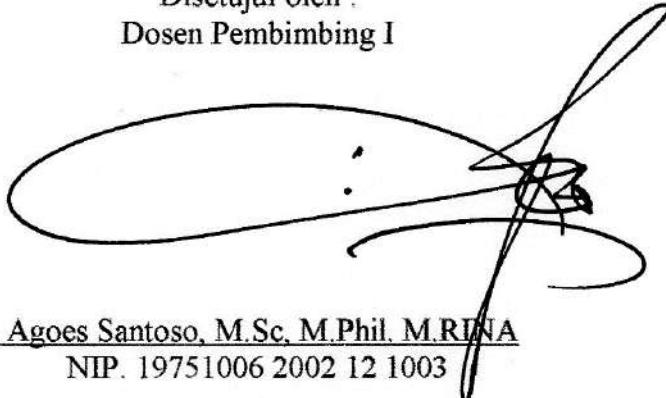
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Kevin Garsia

NRP. 04211440000025

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing I



Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil, M.RINA

NIP. 19751006 2002 12 1003

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN SISTEM PERPIPAAN KAPAL *CARRIER CARRIER 100 TEUs* YANG MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR LNG

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

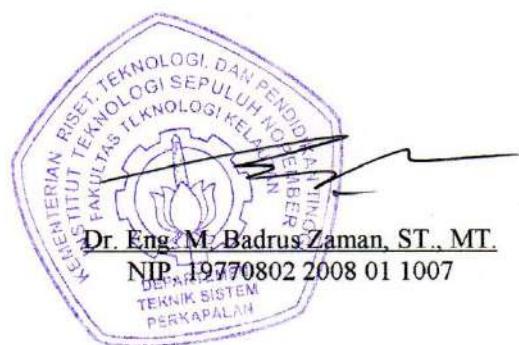
Oleh:

Kevin Garsia

NRP. 04211440000025

Disetujui oleh :

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



DESAIN SISTEM PERPIPAAN KAPAL CONTAINER CARRIER 100 TEUs YANG MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR LNG

Nama Mahasiswa : Kevin Garsia
NRP : 04211440000025
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil. M.RINA

Abstrak

Indonesia merupakan negara penghasil gas alam dalam jumlah besar. Selain itu, IMO juga memutuskan untuk mengurangi jumlah polusi yang dihasilkan oleh kapal-kapal yang berlayar dalam jumlah besar mengingat *global warming* semakin parah pada saat ini. Meskipun Indonesia masih belum memenuhi syarat untuk pengurangan emisi sesuai *tier III* IMO, diharapkan nantinya dapat mengikuti perkembangan terlebih dalam memenuhi syarat-syarat *tier III* IMO. Salah satu cara untuk memenuhi syarat *tier III* IMO adalah dengan menggunakan LNG sebagai bahan bakar alternatif dimana LNG sendiri memiliki emisi yang sangat minim (CO₂ saja). Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menggunakan LNG sebagai bahan bakar adalah desain kapal yang dimodifikasi sehingga bahan bakar LNG dapat digunakan dengan aman dan baik. Hal-hal yang diperhatikan dalam perancangan LNG ini adalah volume tangki, *bunkering system*, dan *Gas Valve Unit*-nya. Selain itu, perancangan ini juga akan menganalisa biaya yang diperlukan dalam memodifikasi kapal sehingga mampu menggunakan *dual fuel* (MDO dan LNG) serta perbandingan biaya apabila menggunakan *single fuel* (MDO) dengan *dual fuel* (MDO dan LNG).

Kata kunci: *Tier III* IMO, emisi, LNG, MDO;

DESIGN SYSTEM FOR CONTAINER CARRIER 100 TEUs WHICH USING LNG FUEL

Student : Kevin Garsia

NRP : 04211440000025

Department : Marine Engineering FTK-ITS

Advisor : 1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil. M.RINA

Abstract

Indonesia is a country that producing large amounts of natural gas.. In addition, IMO also decided to reduce the amount of pollution generated by ships that sail in large numbers as global warming is getting worse at the moment. Although Indonesia is still not eligible for emissions reductions in accordance with IMO tier III, it is expected that it will be able to follow the progress in meeting the requirements of tier III IMO. One way to qualify for the IMO tier III is to use LNG as an alternative fuel where LNG itself has very minimal emissions (CO₂ only). A few things to consider in using LNG as fuel are the design of modified ship so that LNG fuel can be used safely and well. Things to consider in this LNG design are the volume of tank, bunkering system, and the Gas Valve Unit (GVU). In addition, this design will also analyze the costs required to modify the vessel so that it can use dual fuel (MDO and LNG) as well as cost comparison when using single fuel (MDO) with dual fuel (MDO and LNG).

Key Note: Tier III IMO, emission, LNG, MDO;

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan YME, atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “*Desain Sistem Perpipaan Kapal Container Carrier 100 TEUs yang Menggunakan Bahan Bakar LNG*”. Laporan ini disusun untuk memenuhi mata kuliah skripsi Departemen Teknik Sistem Perkapalan.

Dalam penyusunan dan penggeraan skripsi ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan yang sangat berarti dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Bapak, Ibu, dan Saudara tercinta yang telah memberikan dukungan berupa materiil, dorongan semangat dan cinta kasih, serta dukungan setiap waktu kepada penulis.
2. Pemerintah Republik Indonesia atas kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis bisa mengenyam pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Dr. Eng. M. Badruz Zaman, ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil, M.RINA selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang telah memberikan masukan dan pengetahuan kepada penulis selama penulsi mencari ilmu di Departemen Teknik Sistem Perkapalan serta dukungan dan masukan kepada penulis.
5. Seluruh dosen dan staff pengajar di Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama penulis menempuh studi.
6. Rekan – rekan di Marine Machinery and System (MMS) laboratory yang saling menjaga semangat untuk menyelesaikan skripsi bersama sama.
7. Teman seperjuangan Kerja Praktek penulis di BKI terutama Albana PPNS, Rio Dwi, Rindu Fajar K., dan Desi Annike P. beserta surveyor-surveyor BKI Cabang Utama Surabaya.
8. Teman-teman angkatan 2014 (Mercusuar'14) yang selalu memberikan semangat.
9. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas segala dukungan dan bantuan yang diberikan kepada penulis.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa laporan yang dikerjakan jauh dari kesempurnaan sehingga dibutuhkan kritik dan saran yang membangun bagi penulis. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini memberikan manfaat bagi pembaca dan bangsa Indonesia.

Surabaya,... Juli 2018

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
Abstrak.....	iii
Abstract.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GRAFIK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Batasan Masalah.....	2
I.4. Tujuan Penelitian.....	2
I.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1. Liquefied Natural Gas (LNG)	5
II.2. Parameter Penting yang perlu dipertimbangkan untuk LNG sebagai marine fuel	6
II.3. Ketersediaan LNG dan Rute kapal yang akan direncanakan	7
II.4. LNG Bunkering.....	8
II.5. Rumus-rumus yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	18
III.1. Umum	18
III.2. Flowchart	18
III.3. Studi Literatur	19
III.4. Persiapan Data.....	20
III.4.1 Data Kapal	20
III.4.2 Data Main Engine	21
III.5. Perhitungan	23
III.6. Pembuatan Rancangan.....	23
Link: Step by step LNG Bunkering by DNV	23
III.7. Analisa dan Pembahasan	24
III.8. Kesimpulan	25
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	27
IV.1. Rencana Umum.....	27
IV.2. Engine Propeller Matching.....	28
IV.2.1. Penentuan Mesin	28
IV.2.2. Propeller	28
IV.2.3. Engine Propeller Matching (EPM)	32
IV.3. Perhitungan Tangki Bahan Bakar LNG dan MDO	37

IV.4. Peletakan Bunkering Station beserta Bunkering Process	39
IV.5. Analisa Ekonomi Penggunaan Bahan Bakar Main Engine.....	42
KESIMPULAN DAN SARAN	50
V.1. Kesimpulan	50
V.2. Saran.....	50
Daftar Pustaka	51
LAMPIRAN	52
Perhitungan Engine Propeller Matching	53
Perencanaan Volume Tangki LNG di kapal	78
Analisa Cost untuk operasional penggunaan bahan bakar Main Engine.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. MARPOL Annex VI SO _x reduction requirements	6
Gambar 2.2. TOTE Maritime.....	7
Gambar 2.3. Peta Lokasi Kilang LNG di Indonesia.....	7
Gambar 2.4. LNG Onshore to Ship Bunkering.....	8
Gambar 2.5. LNG Ship to Ship Bunkering.....	9
Gambar 2.6. LNG Truck to Ship Bunkering.....	9
Gambar 2.7. Initial Precooling	10
Gambar 2.8. Initial precooling of the cargo pump	10
Gambar 2.9. Connection of bunker hose	11
Gambar 2.10. Inerting the connected system.....	12
Gambar 2.11. Purging the connected system.....	12
Gambar 2.12. LNG filling sequence	13
Gambar 2.13. Liquid line stripping	13
Gambar 2.14. Liquid line inerting	14
Gambar 2.15. Disconnection	14
Gambar 3.1. Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir	19
Gambar 3.2. Gambar rencana umum kapal container 100 TEUs yang akan didesain (Tampak samping).....	21
Gambar 3.3. Gambar rencana umum kapal container 100 TEUs yang akan didesain (Tampak atas).....	21
Gambar 3.3. Wartsila 6L20DF.....	22
Gambar 3.4. Basic Landside Layout (LNG Onshore)	23
Gambar 3.5. Basic Vessel Layout	24
Gambar 3.6. Onshore to Ship LNG Bunkering Layout	24
Gambar 4.1. Rencana Umum kapal kontainer 100 TEUs.....	27
Gambar 4.2. Bp ₁ Diagram untuk Propeller B4-85	30
Gambar 4.3. Bp ₂ Diagram untuk Propeller B4-85	31
Gambar 4.4. Grafik KT-KQ-J untuk Propeller B4-85.....	33
Gambar 4.5. Wartsila LNGPac	38
Gambar 4.6. Spesifikasi Wartsila LNGPac	39

Gambar 4.7. Peletakan Bunkering Station.....	41
Gambar 4.8. Proses Bunkering	41
Gambar 4.9.Sistem safety dari tangki LNG menuju ke main engine	42
Gambar 4.10. Harga MDO per satuan ton	43
Gambar 4.11. Harga LNG per satuan mmBtu.....	44
Gambar GA setelah modifikasi peletakan tangki LNG	93
Gambar GA akhir	94
Gambar perpipaan beserta safety device pada sistem bahan bakar LNG (dilihat dari atas)	95
Gambar hasil modifikasi setelah ditambahkan bunkering station yang mengakibatkan pengurangan container demi peningkatan faktor safety	96
Gambar Bunkering System dari onshore (truck) to ship	97
Gambar Gas Valve Unit System yang menjadi safety device antara LNG Tank ke Main Engine	98

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Rencana Ukuran utama kapal container 100 TEUs yang akan didesain.....	20
Tabel 4.1. Tabel Propeller yang digunakan dalam penentuan <i>Engine Propeller Matching</i>	34
Tabel 4.2. EPM Clean Hull	36
Tabel 4.3. EPM Rough Hull.....	37
Tabel 4.4. Penggunaan MDO dan LNG dalam satuan m ³ berdasarkan Endurance kapal	38
Tabel 4.5. Harga masing-masing bahan bakar dalam rasio yang telah ditentukan	44
Tabel 4.6. Biaya total masing-masing rasio bahan bakar yang telah ditentukan	45
Tabel 4.7. Biaya total bahan bakar MDO pada kondisi <i>single fuel</i> (ratio 100%).....	45
Tabel 4.8. Selisih harga bahan bakar yang dirasio pada kondisi <i>dual fuel</i> dengan kondisi <i>single fuel</i>	45
Tabel 4.9. Jumlah pelayaran efektif.....	46
Tabel 4.10. Jumlah pelayaran efektif yang menggunakan asumsi pada kondisi tertentu	47
Tabel 4.11. Selisih harga per tahun ketika pada tahun tersebut memiliki <i>annual survey</i> yang wajib dijalankan	47
Tabel 4.12. Selisih harga per tahun ketika pada tahun tersebut memiliki <i>intermediate survey</i> atau <i>special survey</i> yang wajib dilakukan	48

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. KT, KQ-J Clean Hull	34
Grafik 2. KT, KQ-J Rough Hull.....	35

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Kapal memiliki sistem yang mendukung operasional kerja kapal itu sendiri. Jenis-jenis sistem yang ada dikapal ada beberapa jenis berdasarkan fungsinya, ada yang fungsinya untuk *safety* dan keseimbangan serta ada juga sistem yang bersifat untuk membantu operasional mesin penggerak utama kapal itu sendiri seperti sistem bahan bakar, sistem pelumas, sistem *compress air*, dan sistem pendinginnya.

Energi merupakan hal yang sangat penting bagi kehidupan manusia, yang di seluruh aktifitas hidupnya tidak lepas dari pemanfaatan energi. Hal tersebut di tunjukkan dengan peningkatan konsumsi energi rata rata 2,91 persen per tahun pada kurun waktu 2000 hingga 2012, sehingga di prediksi akan meningkat hingga 37 persen pada tahun 2035 [1]. Peningkatan kebutuhan energi yang di akibatkan oleh pertumbuhan penduduk, tetapi bersamaan dengan semakin sedikit sumber minyak bumi yang menjadi sumber energi utama manusia.

Sistem bahan bakar di kapal biasanya menggunakan beberapa jenis bahan bakar seperti *Heavy Fuel Oil (HFO)*, *Marine Diesel Oil (MDO)*, dan *High Speed Diesel Oil (HSD)*. Pada sistem bahan bakar itu sendiri, terdapat dua jenis sistem yang dapat digunakan berdasarkan pada kebutuhan torsi yang dibutuhkan oleh mesin penggerak utama kapalnya. Sistem pertama yaitu menggunakan dua bahan bakar yaitu gabungan antara HFO dan MDO; sistem yang kedua yaitu hanya menggunakan salah satu bahan bakar seperti MDO atau HSD. Sistem serta peralatan yang digunakan di masing-masing sistem tersebut berbeda, dimana sistem bahan bakar yang menggunakan HFO dan MDO lebih rumit dibandingkan dengan sistem yang menggunakan MDO atau HSD karena jumlah peralatan serta penanganan bahan bakar sistem HFO dan MDO lebih sulit dibandingkan dengan sistem MDO atau HSD. Namun pada saat ini dimana *International Maritime Organization* mulai memikirkan solusi dalam mengurangi emisi, ide seperti *dual fuel* mulai digagas dimana *natural gas* mulai menjadi opsi lain sebagai bahan bakar *main engine* sebuah kapal.

Alasan utama mengapa topik ini diambil oleh penulis adalah karena Indonesia merupakan salah satu negara yang menjadi penghasil natural gas dalam jumlah banyak. Selain itu, IMO juga memutuskan untuk mengurangi jumlah polusi yang dihasilkan oleh kapal-kapal yang berlayar. Karena Indonesia merupakan salah satu negara pengekspor LNG dalam jumlah besar, penulis mendapat topik mengenai sistem perpipaan kapal khususnya sistem bahan bakar yang menggunakan LNG. LNG masih tergolong murah jika

dibandingkan dengan harga bahan bakar minyak seperti HFO, MDO, dan HSD. Selain itu, polusi yang dihasilkan oleh LNG sendiri jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Akan tetapi, sistem yang diterapkan nantinya akan lebih rumit dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar minyak seperti pada umumnya.

Dalam tugas akhir ini, penulis akan melakukan perancangan sistem bahan bakar gas kapal container 100 TEUs dengan menggunakan AutoCAD dan mengikuti beberapa aturan terlebih The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF Code). Rancangan yang akan dibuat oleh penulis adalah rancangan yang dimulai dari proses bunkering dari storage LNG hingga masuk kedalam kapal yang kemudian akan digunakan oleh *main engine*. Setelah perancangan dibuat, penulis akan melakukan analisa ekonomi yang ditinjau terlebih dalam penggunaan bahan bakar. Tujuannya tentu untuk memberi wawasan terhadap pembaca agar sistem bahan bakar gas di kapal dapat dipahami serta diaplikasikan dan diterapkan dikemudian hari.

I.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain sistem transfer bahan bakar gas tersebut dapat dilakukan beserta dengan pertimbangan safetynya?
2. Pertimbangan apa saja yang perlu diperkirakan agar dapat mendesain kapal tersebut dan mengaplikasikan bahan bakar gas dengan baik?

I.3. Batasan Masalah

Untuk menegaskan dan lebih memfokuskan penggerjaan tugas akhir ini, maka akan dibatasi permasalahan-permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Desain yang dirancang belum mempertimbangkan masalah-masalah yang mungkin timbul secara mendadak (misal tersumbat partikel atau *debris* yang sejenis dimana hal tersebut dapat mengubah kinerja sistem bahan bakar gas).
2. Desain yang dibuat tidak melibatkan analisa ekonomi dan manufaktur.

I.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pertimbangan *safety parameter* apa saja yang perlu digunakan dan ditambahkan terhadap perancangan sistem bahan bakar gas.
2. Mengetahui estimasi peletakkan tangki bahan bakar gas yang dapat digunakan dengan mempertimbangkan safety dari kapal itu sendiri.

I.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam dunia industri perkapalan, perancangan ini diharapkan dapat mewujudkan *sistem bahan bakar gas LNG* yang nantinya dapat diaplikasikan secara masal.
2. Bagi kalangan akademis terkhusus kepada mahasiswa, penelitian ini diharapkan mampu menambah khasanah kajian tentang desain sistem bahan bakar gas LNG, serta dapat mengaplikasikannya sebagai salah satu engineering value agar dapat bermanfaat bagi orang lain.

Bagi masyarakat dapat membuka pandangan tentang sistem bahan bakar gas yang digunakan di sistem kapal seperti apa.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

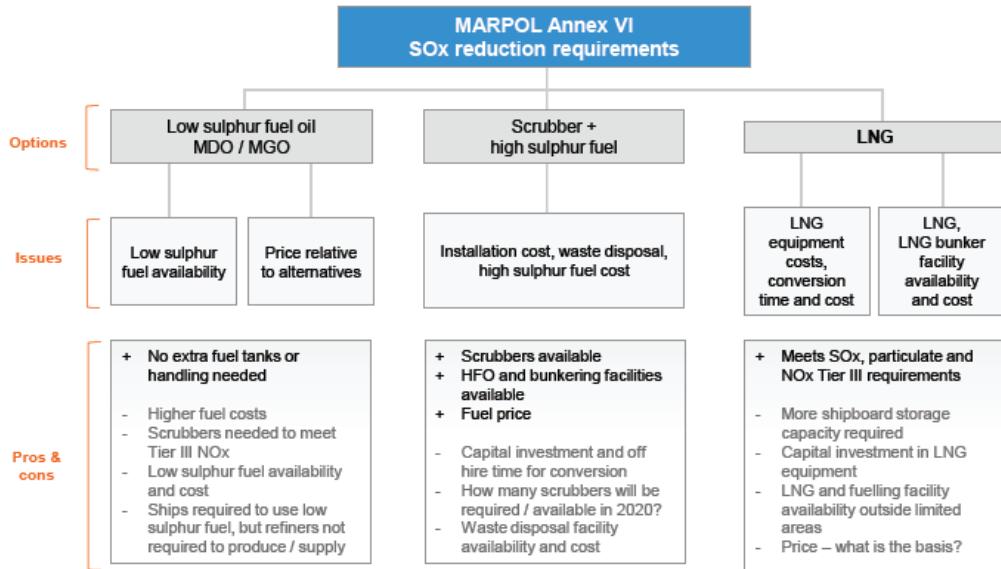
II.1. Liquefied Natural Gas (LNG)

Gas alam cair atau **elenji (Liquefied natural gas, LNG)** adalah gas alam yang telah diproses untuk menghilangkan pengotor (impuritas) dan hidrokarbon fraksi berat dan kemudian dikondensasi menjadi cairan pada tekan atmosfer dengan mendinginkannya sekitar -160° Celcius. LNG ditransportasi menggunakan kendaraan yang dirancang khusus dan ditaruh dalam tangki yang juga dirancang khusus. LNG memiliki isi sekitar 1/640 dari gas alam pada Suhu dan Tekanan Standar, membuatnya lebih hemat untuk ditransportasi jarak jauh di mana jalur pipa tidak ada. Ketika memindahkan gas alam dengan jalur pipa tidak memungkinkan atau tidak ekonomis, dia dapat ditransportasi oleh kendaraan LNG, di mana kebanyakan jenis tangki adalah membran atau "moss".

Selain itu, perkembangan main engine kapal yang berbasis dual fuel dimana bahan bakar tersebut menggunakan natural gas dan bunker fuel untuk mengubah energy kimia menjadi energy mekanik sudah ada. Penggunaan dual fuel engine di kapal ini berlaku dan menjadi pilihan apabila ingin mengikuti aturan Marine Pollution (MARPOL) dan *International Marine Organization* (IMO). Natural gas tersebut disimpan dalam kondisi cair (LNG) dan pada saat hendak digunakan, maka LNG tersebut akan dididihkan agar dapat digunakan oleh main engine. Alasan mengapa LNG menjadi salah satu opsi untuk memenuhi aturan MARPOL dan IMO adalah karena sifat LNG yang tidak memiliki Sulfur dan pada saat pembakaran menghasilkan NO_x yang lebih rendah dibandingkan dengan fuel oil. (Adamchak, 2015)

International Maritime Organization atau IMO telah melakukan beberapa regulasi untuk mengurangi emisi yang dihasilkan oleh kapal berdasarkan IMO regulation 14; Pollution Prevention of Sulphur oxides (SO_x). Beberapa negara di dunia telah ambil bagian dalam *Emission Control Area* dimana area lautan negara tersebut telah membatasi jumlah SO_x di lautanya. Di Indonesia sendiri, kapal yang menggunakan bahan bakar LNG ini masih tergolong langka dikarenakan Indonesia sendiri belum menjadi anggota ECA sehingga nantinya diharapkan dapat ikut bagian dalam ECA sehingga batas SO_x dapat dikurangi.

Berikut adalah pertimbangan yang dihasilkan oleh MARPOL ANNEX VI:



Gambar 2.1. MARPOL Annex VI SO_x reduction requirements

Sumber: Adamchak Frederick “LNG as Marine Fuel”

II.2. Parameter Penting yang perlu dipertimbangkan untuk LNG sebagai marine fuel

LNG memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, *boiling points* di -161.5°C di kondisi normal, *flash points* di -187.8°C, auto ignition temperature di 537°C. (Herdzik,2011).

Jika dibandingkan dengan Heavy Fuel Oil (HFO), tangki LNG bisa jauh lebih besar hingga 2.5 kali dari tangki HFO karena massa jenis LNG yang sangat kecil dan perlu thermal shield. Tangki yang sangat besar ini merupakan salah satu kerugian dari penggunaan LNG. Pertimbangan peletakan tangki juga harus diperhatikan agar keselamatan kapal tetap terjaga (Herdzik,2011). Gambar berikut ini adalah salah satu contoh kapal yang menggunakan bahan bakar LNG dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang ada:



Gambar 2.2. TOTE Maritime
Sumber: Man B&W ME-GI Projects

II.3. Ketersediaan LNG dan Rute kapal yang akan direncanakan

Dalam memilih rute kapal yang nantinya akan dibuat, terlebih dahulu harus mengetahui kilang/sumber pasokan LNG yang ada di Indonesia agar nantinya kapal dapat beroperasi dengan baik. Berdasarkan data yang diambil dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi pada tahun 2008, letak kilang LNG yang berada di Indonesia adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3. Peta Lokasi Kilang LNG di Indonesia
Sumber: Ditjen Migas

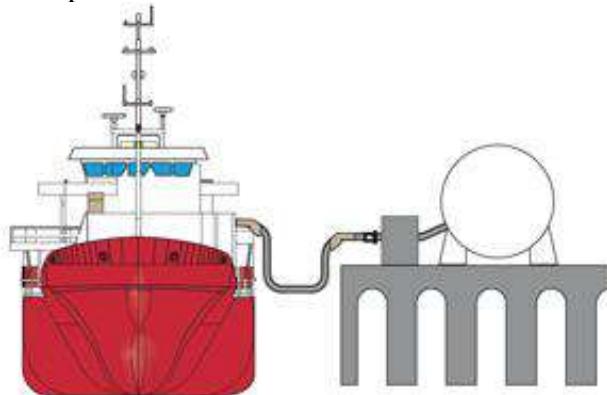
Seperti yang tertera di Gambar 2.3. bahwa kilang LNG pada tahun tersebut berjumlah 3 buah, yaitu di Arun, Bontang, dan Tangguh. Berdasarkan gambar tersebut juga dapat disimpulkan bahwa yang memiliki kapasitas LNG terbanyak ada di Bontang yang memiliki kapasitas sebesar 21.54 MMTPA (Million Metric Ton per Annum). Oleh karenanya, penulis akan berencana membuat rute kapal container yang berkapasitas 100 TEUs memiliki rute: **Bontang – Surabaya.**

II.4. LNG Bunkering

Bunkering adalah kegiatan memindahkan bahan bakar ke sebuah kapal atau fasilitas dalam bentuk LNG atau bahan bakar tradisional seperti residu atau bahan bakar minyak yang telah didistilasi. (ABS LNG Bunkering Guide 2017)

Selama ini ada beberapa cara melakukan bunkering LNG ke kapal, diantaranya adalah:

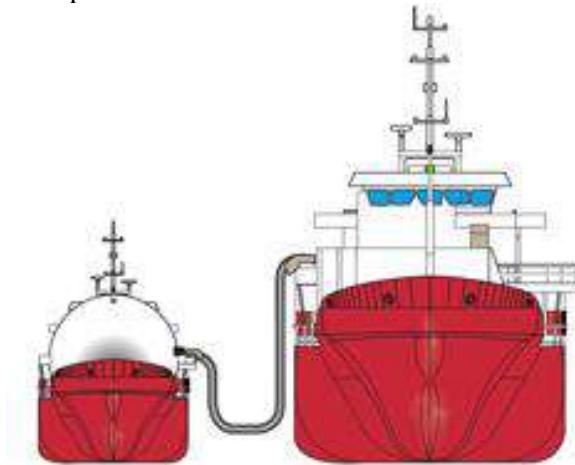
- LNG Onshore to Ship Transfer



Gambar 2.4. LNG Onshore to Ship Bunkering

Sumber: KLawLNG LNG Vessel Bunkering

- LNG Ship to Ship Transfer



Gambar 2.5. LNG Ship to Ship Bunkering

Sumber: KLaw LNG LNG Vessel Bunkering

- LNG Truck to Ship Transfer

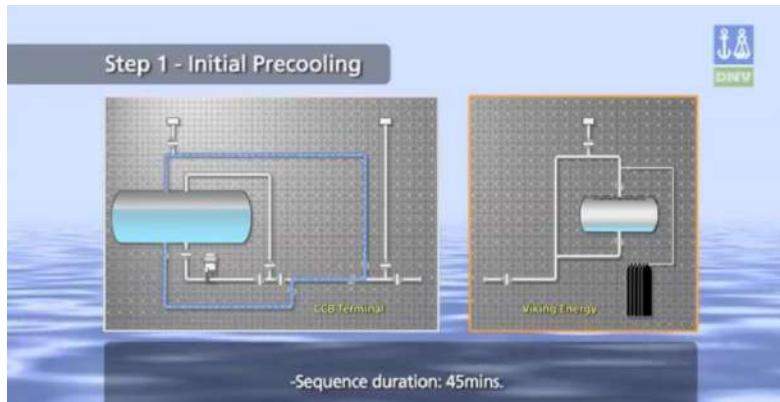


Gambar 2.6. LNG Truck to Ship Bunkering

Link: Youtube “Spectrum LNG Plant Truck Loading”

Dalam LNG Bunkering ini sendiri, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Berikut adalah tahap-tahap yang dilakukan di LNG Bunkering Onshore to Ship:

- Step 1: Pendinginan awal di pipa pengisian LNG

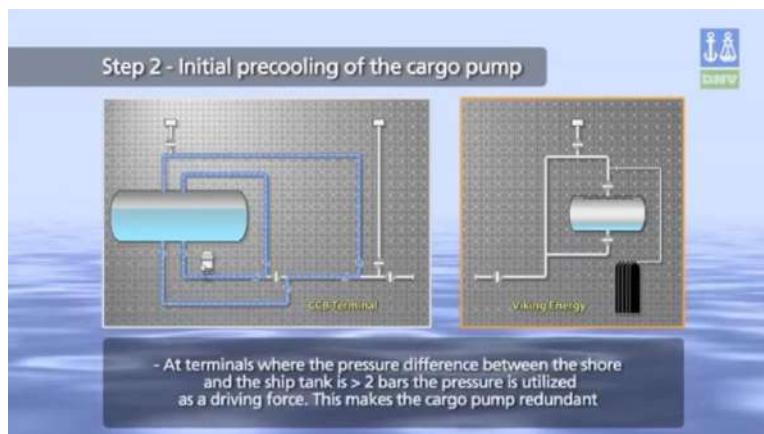


Gambar 2.7. Initial Precooling

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Di tahap ini, pipa pengisian yang berada di onshore akan didinginkan oleh LNG sehingga natural gas yang berada di pipa pengisian dapat dikembalikan ke tangki LNG onshore kembali. Precooling ini dilakukan pada saat kapal sedang berlabuh. Lama precooling bergantung pada pompa cargo, desain pipa dan ukuran instalasinya.

- Step 2: Pendinginan awal di pompa cargo

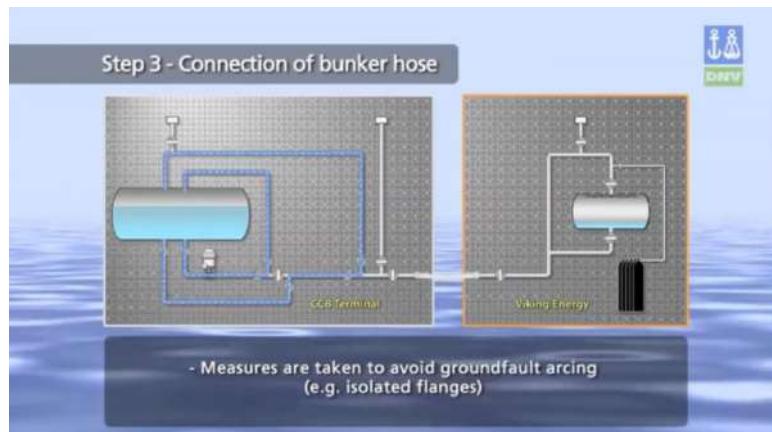


Gambar 2.8. Initial precooling of the cargo pump

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Di tahap ini, pompa yang berada di dekat dengan tangki LNG onshore didinginkan agar membantu untuk mentransfer LNG ke kapal. Apabila tekanan yang berasal dari darat dan tangki kapal berbeda lebih dari 2 bar, tekanan tersebut mampu mendorong LNG ke dalam tangki kapal secara otomatis. Precooling ini dilakukan sampai kapal siap untuk diisi oleh LNG yang berasal dari tangki LNG onshore.

- Step 3: Koneksi selang penghubung antar sistem di onshore dan kapal

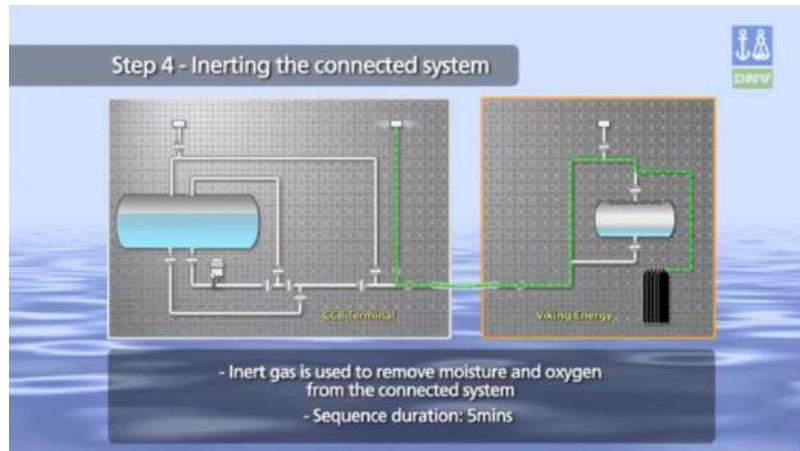


Gambar 2.9. Connection of bunker hose

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Di tahap ini, selang akan menyambungkan sistem yang berada di onshore dan kapal sehingga LNG mampu masuk ke dalam tangki LNG kapal. Pengukuran perlu diperhatikan agar koneksi selang tidak terputus dengan sendirinya. Jika koneksi selang kurang membantu, akan ada pipa khusus yang dapat membantu selang dalam operasionalnya.

- Step 4: Menginertkan sistem yang telah terkoneksi

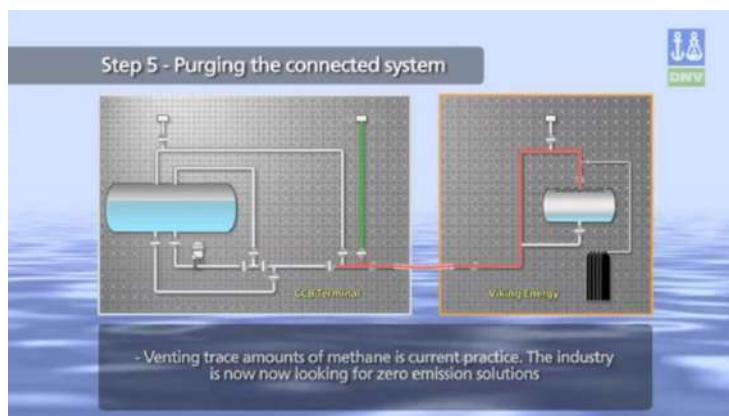


Gambar 2.10. Inerting the connected system

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Di tahap ini, inert gas yang berasal dari sistem yang ada di kapal akan membersihkan saluran LNGnya dengan gas inert seperti nitrogen atau hydrogen untuk membuang embun dan oksigen agar mempermudah pengisian LNG.

- Step 5: Membersihkan gas inert dari sistem yang ada di kapal

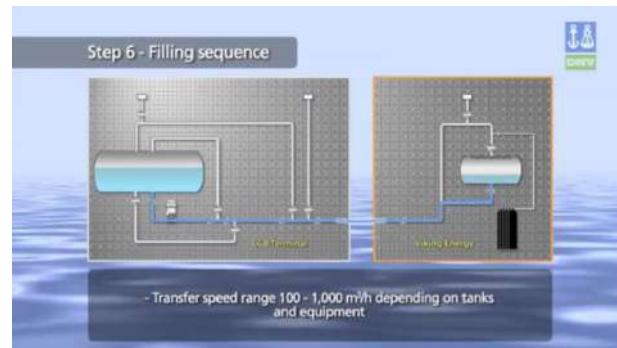


Gambar 2.11. Purging the connected system

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Sistem LNG kapal yang terkoneksi ke ventilasi onshore akan dibersihkan oleh natural gas untuk membuang sisa nitrogen berdasarkan spesifikasi engine. Waktu yang digunakan kurang lebih 5 menit.

- Step 6: Pengisian LNG

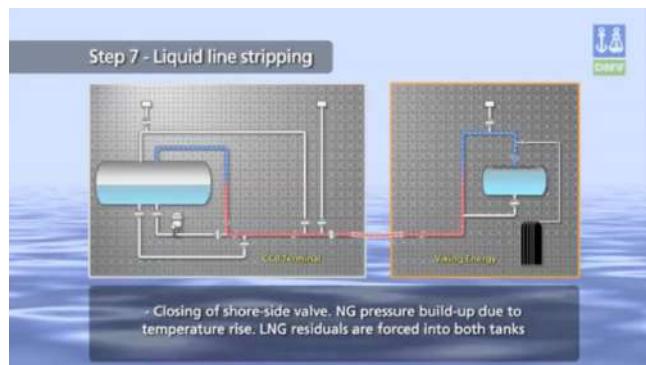


Gambar 2.12. LNG filling sequence

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Di tahap ini, LNG yang berasal dari tangki LNG onshore akan dipindahkan ke tangki LNG kapal. Kecepatan transfer LNG berkisar 100 – 1000 m³/h yang bergantung pada tangki dan peralatan yang digunakan. Diusahakan dalam pengisian LNG tidak hanya berasal dari satu tempat, tetapi dari tempat yang lain juga diwajibkan untuk mengontrol tekanan yang berada di receiving tank (tangki LNG kapal).

- Step 7: Mengosongkan LNG di jalur pipa

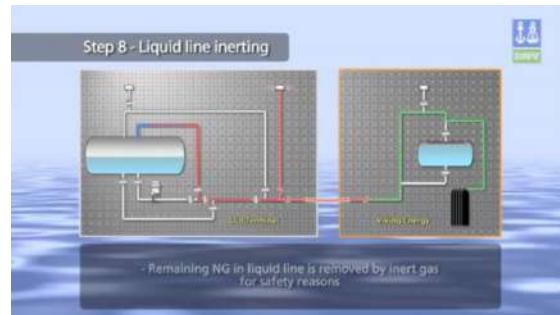


Gambar 2.13. Liquid line stripping

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Di tahap ini, katup yang berada diantara koneksi selang akan diputus sehingga LNG mampu berubah ke natural gas karena adanya peningkatan temperatur sehingga tekanan juga akan ikut meningkat. Natural gas yang dihasilkan tersebut akan mendorong LNG yang masih tersisa di pipa ke tangki LNG kapal.

- Step 8: Menginertkan jalur pipa yang telah digunakan

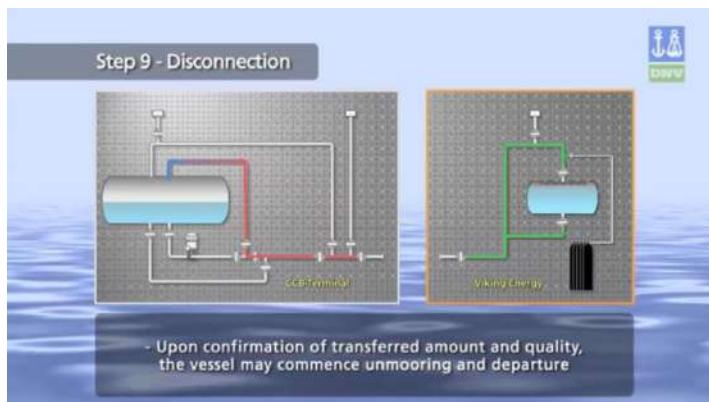


Gambar 2.14. Liquid line inerting

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Setelah LNG tidak ada dijalur pipa, natural gas yang masih berada dijalur pipa akan dibuang oleh inert gas kembali dengan alasan keselamatan. Waktu yang digunakan kurang lebih 5 menit.

- Step 9: Pemutusan selang



Gambar 2.15. Disconnection

Sumber: Youtube “Step by Step LNG Bunkering by DNV”

Di tahap ini, pastikan jumlah LNG yang dipindahkan ke tangki LNG kapal memenuhi. Setelah pasti memenuhi kebutuhan kapal, selang koneksi penghubung antar sistem distribusi onshore dengan kapal diputus. Setelah itu, kapal dapat berlayar kembali.

II.5. Rumus-rumus yang digunakan dalam penggerjaan tugas akhir

Adapun beberapa formula atau rumus yang digunakan dalam penggerjaan tugas akhir ini seperti:

Perhitungan Tangki Bahan Bakar

$$\text{Vol}_{\text{tank}} = \text{BHP}_{\text{mcr}} \times \text{SFOC} \times (\text{hours}) \times C / \rho_{\text{fuel}} \quad (2.1)$$

Dimana :

Vol_{tank} = Volume Tangki (m^3)

BHP_{mcr} = Brake Horse Power maximum continuous rating (kW)

SFOC = Specific Fuel consumption of main engine (g/kW)

(hours) = Tangki yang mampu bertahan selama jam

C = Margin because of construction of ships = 4%

ρ_{Fuel} = Massa Jenis bahan bakar

Perhitungan Head total

$$\text{Htotal} = \text{Hs} + \text{Hp} + \text{Hv} + \text{total Head-loss} \quad (2.3)$$

Dimana :

H_{total} = Head Total (m)

H_s = Head Statis

H_p = Head Pressure

H_v = Head Velocity

Total head loss = Friction losses + Fitting losses

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

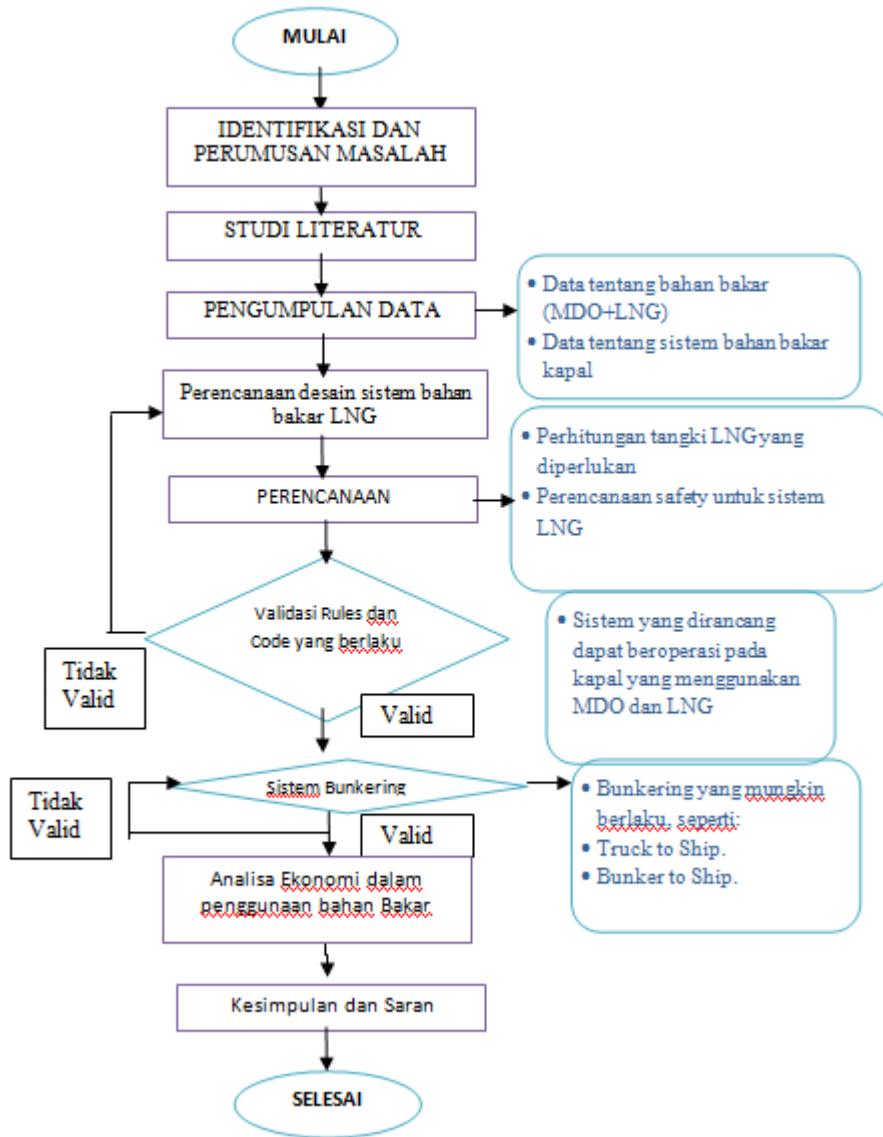
METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Umum

Pada awal pengerjaan tugas akhir ini adalah melakukan perumusan masalah yang ada. Perumusan masalah dapat dicari dengan cara observasi sistem bahan bakar yang digunakan ataupun mengaitkan kondisi kekinian dengan kondisi yang akan datang. Perumusan masalah yang diajukan nantinya akan mendapat solusi dari tugas akhir yang dikerjakan. Masalah yang diambil pada tugas akhir ini adalah membuat desain sistem bahan bakar agar dapat beroperasi dengan baik.

III.2. Flowchart

Flowchart menunjukkan tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dari tahap awal hingga akhir untuk mencapai tujuan penelitian. Terdapat simbol-simbol dalam diagram alir (*flow chart*) ini seperti bentuk jajargenjang yang berfungsi untuk menerangkan proses input/ output data, parameter dan informasi, bentuk persegi berfungsi menerangkan proses pengolahan data atau proses perhitungan sedangkan panah menunjukkan arah aliran program.



Gambar 3.1. Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir

III.3. Studi Literatur

Tahap selanjutnya adalah studi literatur. Pada tahap ini, segala macam hal yang berkaitan dengan permasalahan yang diangkat dipelajari, sehingga memiliki gambaran bagaimana permasalahan dapat di selesaikan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara membaca buku, paper, internet maupun jurnal yang berhubungan dengan sistem bahan bakar minyak maupun sistem bahan bakar gas di kapal.

III.4. Persiapan Data

Selanjutnya adalah pengumpulan data yang bertujuan memperoleh data dan informasi yang menunjang pengerjaan skripsi. Dalam hal ini data yang dibutuhkan antara lain :

1. Data kapal;
2. Data main engine seperti RPM, viskositas bahan bakar, sistem bahan bakar;

III.4.1 Data Kapal

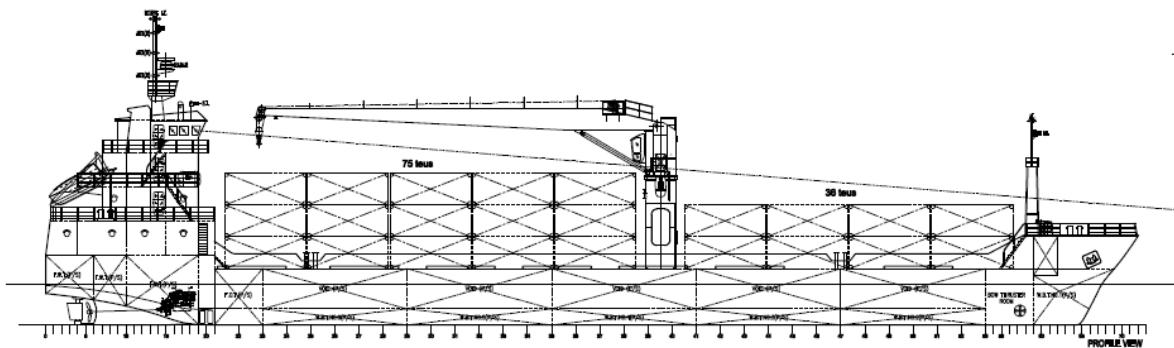
Data kapal yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data kapal container. Adapun data-datanya adalah sebagai berikut:

Ukuran Utama:

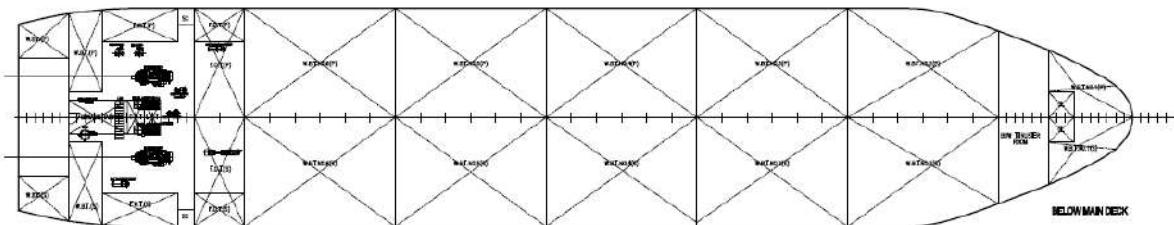
Jenis	Nominal	Satuan
Panjang Seluruh (LOA)	± 81.64	M
Panjang Antar Garis Tegak (LBP)	± 76.47	M
Lebar (B)	± 15.60	M
Tinggi (D)	± 4.2	M
Sarat air (d)	± 3	M
Kecepatan dinas utama	12	knot
Data mesin utama	2 x 1533	HP

Tabel 3.1. Rencana Ukuran utama kapal container 100 TEUs yang akan didesain

Sedangkan gambar Rencana Umum kapal yang diperkirakan untuk pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2. Gambar rencana umum kapal container 100 TEUs yang akan didesain (Tampak samping)



Gambar 3.3. Gambar rencana umum kapal container 100 TEUs yang akan didesain (Tampak atas)

III.4.2 Data Main Engine

Data-data main engine yang diperlukan adalah data rpm, massa jenis bahan bakar, viskositas bahan bakar, serta sistem bahan bakar mesin penggerak utama. Hal ini digunakan untuk mengetahui temperatur dan viskositas.

a. RPM Engine

RPM engine sangat diperlukan karena dari rpm engine itu sendiri, seseorang mampu menentukan jenis bahan bakar yang digunakan oleh engine. Untuk low speed engine (RPM kurang dari 250), karena memerlukan torsi yang tinggi dan proses pembakarannya tidak terlalu lama maka dapat menggunakan HFO sebagai bahan bakar utamanya sedangkan peran MDO di sistem low speed engine adalah sebagai media pembilas HFO di jalur pipa yang tersedia. Untuk medium speed engine (RPM 500 sampai dengan 1000), bahan bakar yang digunakan bisa MDO saja atau juga gabungan antara HFO dan MDO. Sementara untuk High speed engine (RPM 1000 keatas), bahan bakar yang digunakan hanya MDO atau MDF.

b. Viskositas Bahan Bakar

Viskositas bahan bakar menentukan sifat kekentalan bahan bakar itu sendiri. Semakin tinggi viskositasnya maka semakin kental pula fluidanya. Viskositas yang diperhatikan disini adalah bahan bakar gas (LNG) dengan HFO.

c. Sistem Bahan Bakar Engine

Sistem bahan bakar engine memiliki beberapa karakteristik yang berbeda satu dengan yang lain. Hal-hal yang dipertimbangkan disini salah satu contohnya adalah jumlah evaporator, ada atau tidaknya gas pembersih seperti Nitrogen atau Hidrogen, jumlah pompa, dan lain semacamnya. Selain itu, penggunaan bahan bakar gas juga memiliki sistem yang lebih rumit dikarenakan *requirement* temperatur yang digunakan berbeda dengan bahan bakar minyak.

d. Rencana Pemilihan Engine

Karena dalam pemilihan engine ini diwajibkan memilih dual fuel engine, penulis memiliki sebuah referensi yang nantinya mungkin akan digunakan dalam pembahasan tugas akhir ini lebih lanjut. Berikut adalah spesifikasi dari main engine tersebut:

Nama Engine	: Wartsila 6L20DF
Power	: 1110 kw
RPM	: 1200
No. of Cylinder	: 6
Bore x Stroke	: 200 x 280 (mm)
Mean Effective Pressure	: 2.1 MPa
Fuel	: MDO for Vessels, LNG



Gambar 3.3. Wartsila 6L20DF

III.5. Perhitungan

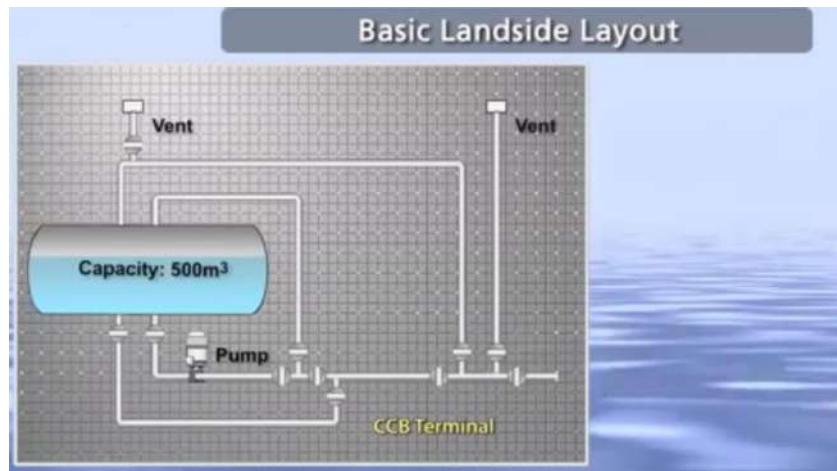
Pada tahap ini dilakukan perhitungan dari data-data yang sudah didapatkan, seperti data mesin. Perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- *Engine Propeller Matching (EPM),*
- Volume Tangki LNG dan MDO di kapal.

III.6. Pembuatan Rancangan

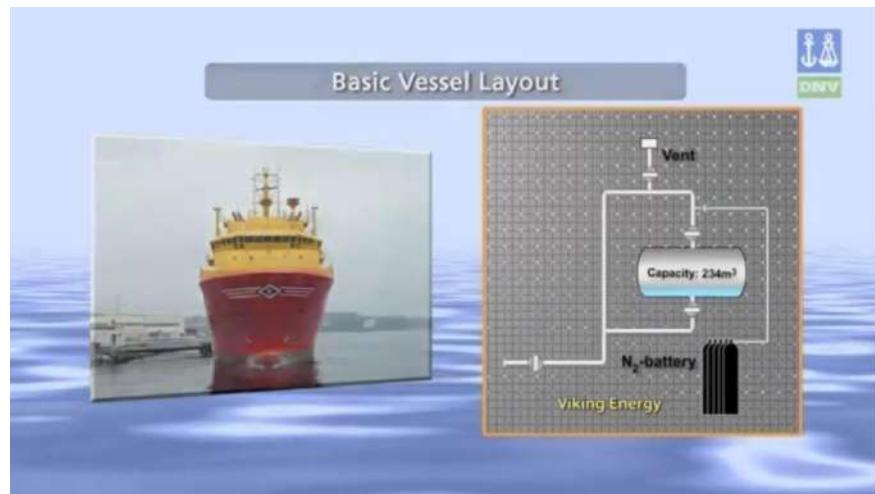
Pada tahap ini dilakukan pembuatan rancangan yang dibuat dimana harapannya mampu diaplikasikan kedepannya. Parameter-parameter yang diperhatikan adalah material yang digunakan, jumlah peralatan, serta *safety parameter* yang mengikuti *The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)*.

Rancangan yang akan dibuat oleh penulis adalah desain bunkering LNG hingga masuk ke mesin induk kapal. Metode bunkering yang akan dibuat nantinya hanya berlaku untuk LNG *bunkering onshore to ship* dan *truck to ship*. Berikut adalah contoh gambaran rancangan yang nantinya akan dibuat oleh penulis:



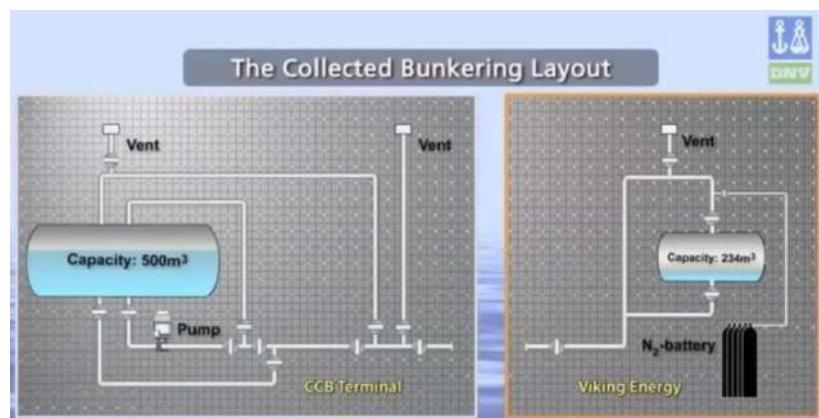
Gambar 3.4. Basic Landside Layout (LNG Onshore)

Link: Step by step LNG Bunkering by DNV



Gambar 3.5. Basic Vessel Layout

Link: Step by step LNG Bunkering by DNV



Gambar 3.6. Onshore to Ship LNG Bunkering Layout

Link: Step by step LNG Bunkering by DNV

III.7. Analisa dan Pembahasan

Analisa yang dilakukan adalah estimasi biaya yang diperlukan dalam memodifikasi kapal dapat beroperasi menggunakan *dual fuel engine* dan perbandingan biaya operasional dalam penggunaan bahan bakar pada saat *single fuel* (MDO) dengan *dual fuel* (MDO dan LNG).

III.8. Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penyimpulan dari analisa data yang telah dilakukan sebelumnya dan dihubungkan dengan teori-teori pendukungnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

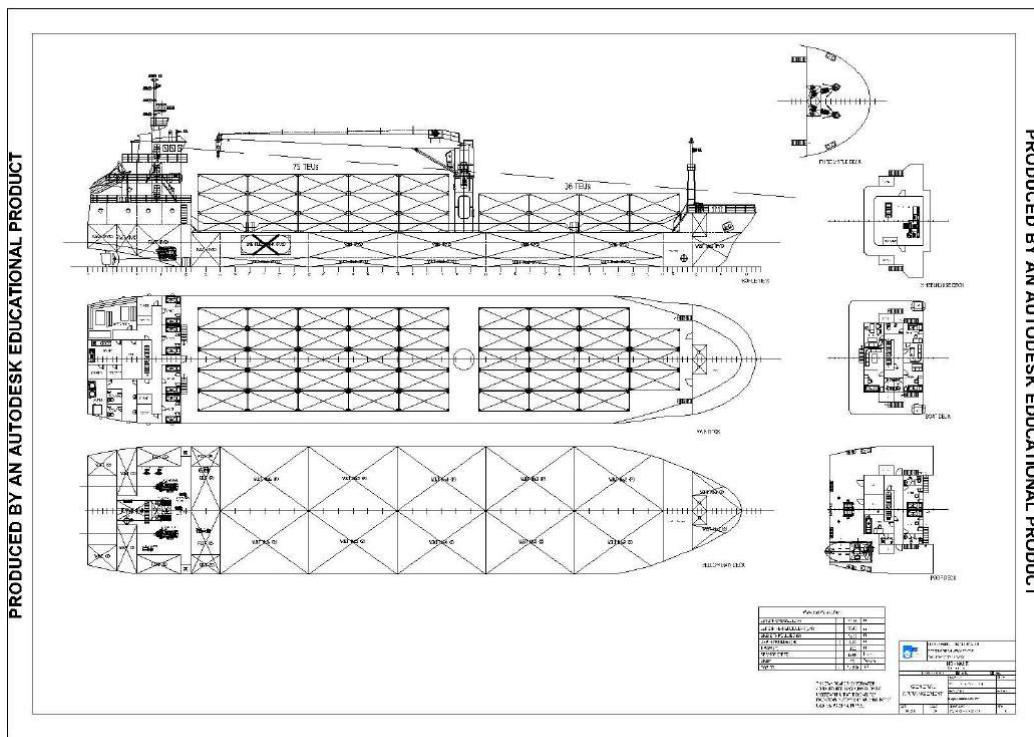
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dilakukan pembahasan yang dimulai dari *Engine Propeller Matching* yang dilanjutkan ke perhitungan volume tangki LNG dan MDO kapal beserta rancangan *bunkering* dan sistem perpipaan LNG dari tangki LNG ke dalam *main engine*. Setelah melakukan pembahasan tersebut, analisa yang dilakukan berupa analisa ekonomi yang membandingkan harga bahan bakar pada saat menggunakan satu bahan bakar (MDO) dengan *dual fuel* (MDO dan LNG) beserta investasi yang diperlukan untuk memodifikasi kapal menjadi sistem *dual fuel engine*.

IV.1. Rencana Umum

Rencana umum yang digunakan dalam penggerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Gambar 4.1. Rencana Umum kapal kontainer 100 TEUs

IV.2. Engine Propeller Matching

IV.2.1. Penentuan Mesin

Secara umum kapal yang bergerak di air dengan kecepatan tertentu akan mengalami gaya hambat/tahanan (*resistance*) yang berlawanan dengan arah gerak kapal tersebut. Besarnya tahanan yang terjadi harus mampu diatasi oleh gaya dorong kapal (*thrust*) yang dihasilkan dari kerja alat gerak kapal (*propulsor*). Daya yang disalurkan ke alat gerak kapal adalah berasal dari Daya Poros, sedangkan Daya Poros sendiri bersumber dari Daya Rem yang merupakan daya luaran motor penggerak kapal.

Dalam menentukan mesin kita harus mengikuti tahapannya sebagai berikut :

- $EHP = R_T \times V_S$
- $DHP = EHP/PC \rightarrow PC$ nilainya masih dalam asumsi dikarenakan belum menentukan propeller. $PC = \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta$ dan bagian yang diasumsi adalah η dimana η merupakan efisiensi propeller.
- $SHP = DHP / \eta_{sb}$ \rightarrow nilai η_{sb} dapat ditentukan dari letak kamar mesinnya. Untuk kapal yang mempunyai kamar mesin yang berada di bagian belakang kapal mempunyai nilai 0.98 (losses 2%).
- $BHP_{scr} = SHP / \eta G$ \rightarrow Efisiensi Gearbox
- $BHP_{mer} = BHP_{scr}/\text{engine margin} \rightarrow$ nilai Engine Margin diasumsikan mempunyai nilai 0.8 – 0.85

Nilai BHP_{mer} yang telah dicari merupakan daya yang harus diperhatikan dalam penentuan mesin yang akan dipilih.

IV.2.2. Propeller

Propeller atau yang sering kita sebut sebagai baling-baling adalah alat penggerak kapal yang menghasilkan gaya dorong sehingga kapal dapat bergerak (Harvald,1992:136. Tahanan dan Propulsi Kapal). Pada umumnya, kapal bersifat *single screw* (satu propeller) atau *twin screw* (dua propeller). Selain itu ada beberapa syarat dalam pemilihan propeller yang harus dipenuhi :

- 1.) *Diameter maksimum propeller terpenuhi*
- 2.) *Propeller tidak mempunyai kavitas pada saat berputar*

Kavitas merupakan fenomena yang dapat terjadi bila *propeller* bekerja dengan beban yang relatif tinggi. Kavitas adalah proses dinamis. Dalam proses ini didalam fluida yang tekanannya turun hingga pada tekanan uap fluida tersebut akan timbul sejumlah rongga (*cavities*) yang berisi uap. Efek negatif dari kavitas ini berupa (Harvald,1992:189. Tahanan dan Propulsi Kapal):

- Menurunkan gaya dorong *propeller*
- Menyebabkan kapal tidak mencapai kecepatan yang diinginkan
- Kavitas sendiri dapat menghasilkan getaran, bunyi, dan erosi pada *propeller*

Bahan – bahan yang dapat digunakan dalam pembuatan *propeller* adalah (Harvald,1992:140. Tahanan dan Propulsi Kapal):

- *Gray cast iron*
- *Carbon and low-alloy steels*
- *Chromium stainless steel*
- *Chromium-nickel austenitic stainless steel*
- *Mananganese bronze*
- *Nickel – manganese bronze*
- *Nickel – aluminium bronze*
- *Manganese – aluminium bronze*

Dalam perhitungan diameter maksimum propeller secara cepat dan kasar, kita dapat menggunakan data seperti yang ada pada Harvald,1992:137,Tahanan dan Propulsi Kapal dimana :

$$D_{max} < 2/3 T_A \quad (4.2.2.1)$$

T_A yang dimaksud disini merupakan sarat dari kapal yang akan desain. Setelah menentukan Diameter maksimum *propeller*, kita perlu menghitung V_a (Advance Speed) kapal dimana rumus yang berlaku adalah

$$V_a = (1-w) \times V_s \quad (4.2.2.2)$$

Dimana w adalah *wake* (arus ikut) dan V_s adalah kecepatan dinas kapal. *Wake* (arus ikut) adalah perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan aliran air yang menuju ke *propeller*. Nilai *wake* dapat dicari melalui rumus

$$w = 0.5C_b - 0.05 \quad (4.2.2.3)$$

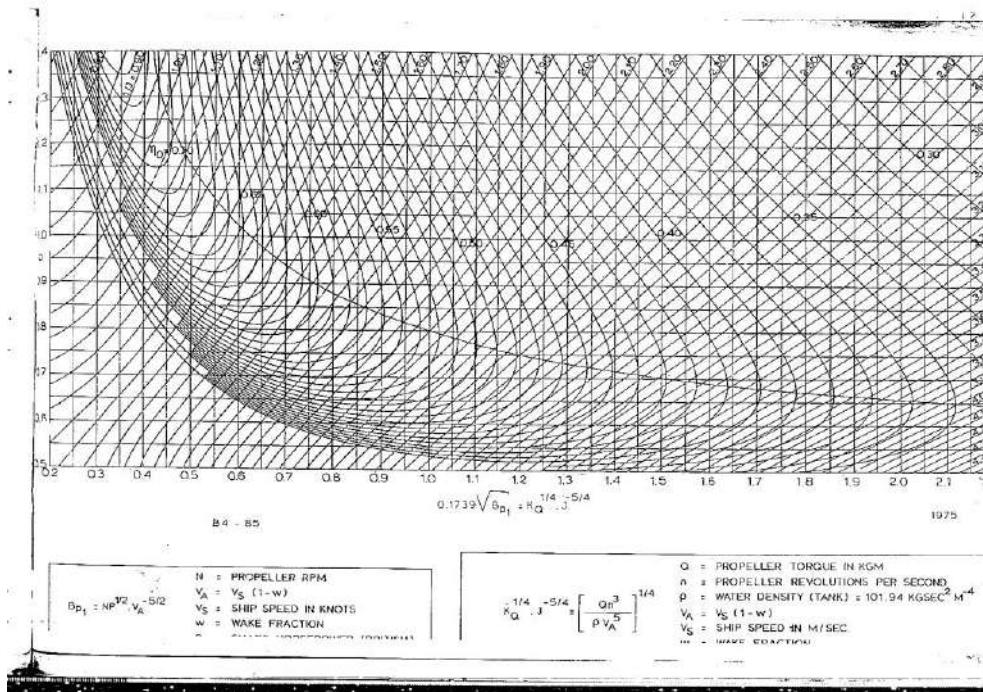
Setelah mendapatkan nilai w , maka kita dapat mengetahui V_a yang kemudian digunakan dalam pemakaian Bp Diagram. Bp Diagram ini digunakan untuk mengetahui :

- 1.) Syarat penggunaan *blade propeller* dengan luasan tertentu memenuhi syarat D_{max} *propeller* yang diijinkan
- 2.) Mengetahui nilai *Pitch per Diameter Propeller (P/D)*
- 3.) Mengetahui nilai efisiensi propeller (η_b/η_o)

Rumus-rumus yang berlaku pada Bp Diagram 1:

$$Bp_1 = N_{prop} \times DHP^{0.5} / V_a^{2.5} \quad (4.2.2.4)$$

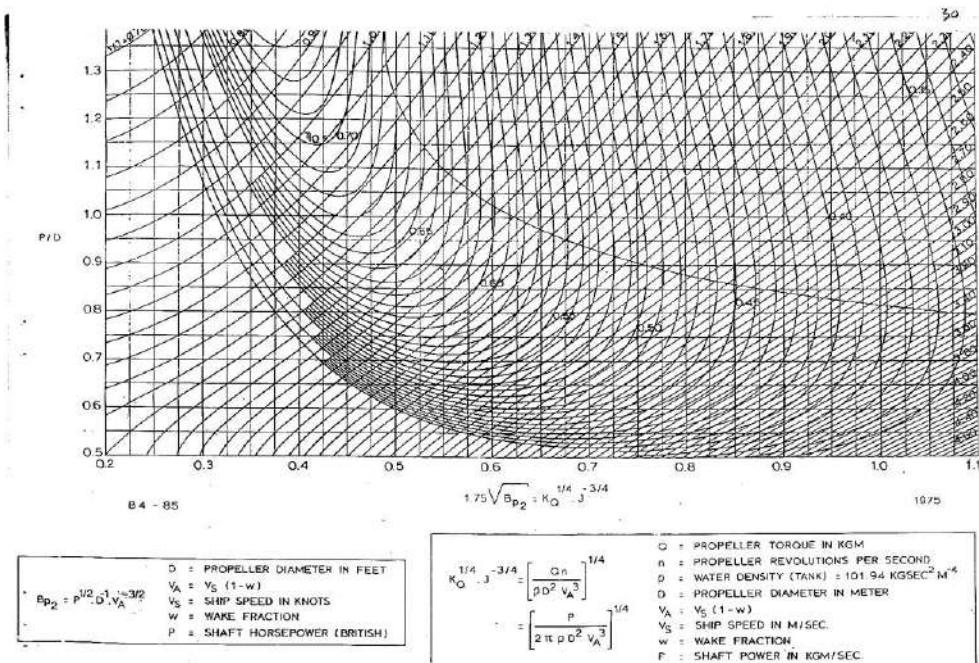
- Nilai Bp_1 tersebut akan digunakan ke Diagram seperti ini :



Gambar 4.2. Bp_1 Diagram untuk Propeller B4-85

Dimana terlihat bagian horizontal merupakan nilai $0.1739\sqrt{BP_1}$. Dari diagram ini, saya dapat mengetahui P/D_o , $1/J_o$, dan δ_o sehingga saya dapat mengetahui apakah propeller dengan jumlah blade propeller dan luasan propeller yang dihitung memenuhi D_{max} yang diijinkan.

Karena dari Bp diagram 1 masih belum dapat menemukan nilai η_b , maka kita perlu juga menggunakan data Bp diagram 2.



Gambar 4.3. B_{p2} Diagram untuk Propeller B4-85

Dari diagram tersebut, saya dapat mengambil nilai P/Db serta η_b dari nilai δ_b dan $1/J_b$, dimana nilai δ_b dan $1/J_b$ didapatkan melalui perhitungan :

$$\delta_b = (Db \times n) / V_a \quad (4.2.2.5)$$

$$1/J_b = 0.009875 \times \delta_b \quad (4.2.2.6)$$

Dimana nilai Db disini merupakan nilai Diameter Propeller tersebut. Setelah mengetahui nilai η_b , maka yang perlu diperhatikan disini adalah bahwa nilai η_b yang semakin besar, maka semakin baik pula *Propulsive Coefficient* dimana nilai PC diperhitungkan pada penentuan engine (DHP).

Setelah mengetahui nilai η_b , saya harus mengetahui apakah propeller yang dipilih mempunyai kavitas atau tidak. Untuk mengetahui adanya kavitas atau tidak pada *propeller* tersebut, rumus-rumus yang berlaku pada kavitas adalah sebagai berikut :

$$\sigma 0,7R = (1,882 + 19,62(h)) / V_a^2 + 4,836n^2D^2 \quad (4.2.2.7)$$

$$A_o = \pi (D/2)^2 \quad (4.2.2.8)$$

$$A_p = A_o(1.067 - 0.229 * P/Db) \quad (4.2.2.9)$$

$$V_r^2 = V_a^2 + (0.7 \times 3.14 \times n \times D \times 0.3048)^2 \quad (4.2.2.10)$$

$$T = R_t / (1-t) \quad (4.2.2.11)$$

$$tC = T / (A_p \times 0.5 \times \rho \times V_r^2) \quad (4.2.2.12)$$

$$\tau C = 0.1079 \times \ln(\sigma 0.7R) + 0.2708 \quad (4.2.2.13)$$

Syarat adanya kavitas atau tidak adalah :

- Apabila nilai tC lebih rendah dari nilai τC , maka *propeller* yang dipilih tidak mempunyai kavitas.
 - Apabila nilai tC lebih tinggi dari nilai τC , maka *propeller* yang dipilih mempunyai kavitas.
- Jika *propeller* yang dihitung mempunyai kavitas, maka *propeller* tersebut tidak dapat digunakan.

IV.2.3. Engine Propeller Matching (EPM)

Engine Propeller Matching digunakan untuk mendapatkan keselarasan kerja antara engine kapal dengan propeller untuk mencapai efisiensi kerja dan laju kapal yang diperlukan dalam operasionalnya, dengan mendapatkan keselarasan kerja engine kapal dengan propeller diharapkan dapat menekan biaya operasional dan energi yang dihasilkan oleh engine tidak terbuang dengan percuma (Yudo Hartono,2012,artikel EPM e-jurnal UNDIP).

Tahapan penggeraan Engine Propeller Matching dimulai dari perhitungan konstanta α dan β dimana rumus yang berlaku untuk konstanta α dan β adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_T &= 0.5 \times \rho \times C_t \times S \times V_s^2 \\ R_T &= \alpha \times V_s^2 \end{aligned}$$

Sehingga

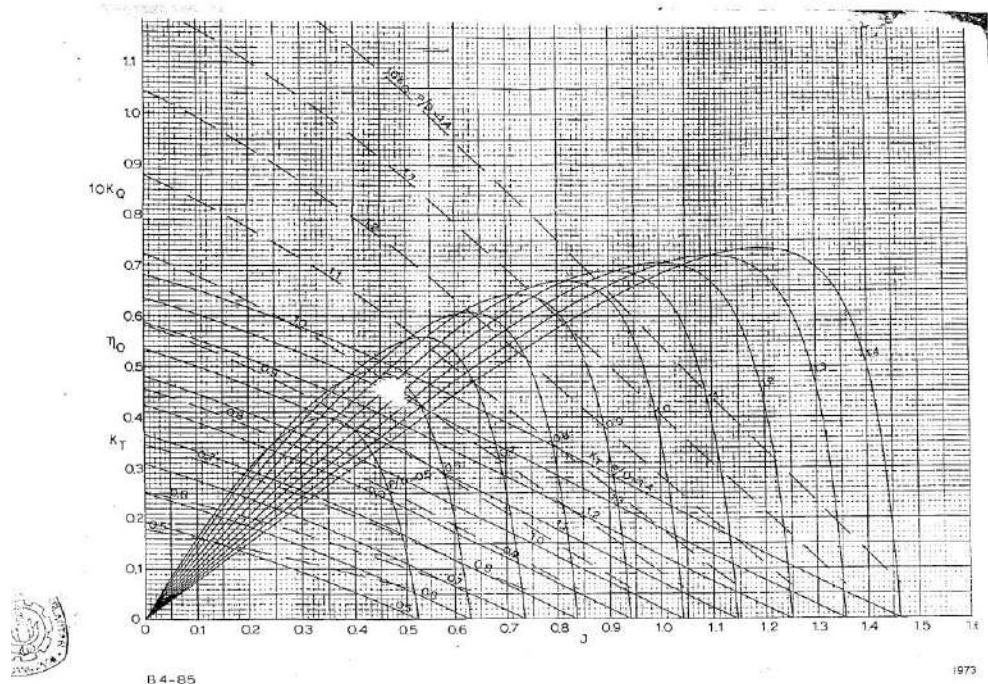
$$\alpha = R_T / V_s^2 \quad (4.2.3.1)$$

$$\text{Konstanta } \beta = \alpha / \{(1-t) (1-w)^2 \rho D^2\} \quad (4.2.3.2)$$

Kedua konstanta ini harus menggunakan 2 tahanan yaitu Tahanan Trial (Tahanan tanpa Sea Margin) dengan Tahanan Service (Tahanan dengan Sea Margin) sehingga pada hasil perhitungan ini dapat menghasilkan β trial dan β service. Setelah mendapatkan nilai β , tahap berikutnya adalah mencari nilai KT yang kemudian dihubungkan dengan J sehingga menghasilkan grafik KT-J. Rumus yang berlaku untuk perhitungan KT adalah:

$$KT = \beta \times J^2 \quad (4.2.3.3)$$

KT-J disini diperhitungkan untuk trial dan service. Setelah mendapatkan nilai KT-J ini yang berupa kurva ini akan digunakan ke diagram KT-KQ-J dimana pada diagram ini dapat mengetahui nilai KT, 10KQ, dan η_0 untuk tiap J.



Gambar 4.4. Grafik KT-KQ-J untuk Propeller B4-85

Pada sisi x (horizontal) merupakan nilai J yang kemudian ditarik ke atas sehingga memotong nilai KT, 10KQ, dan η_0 . J yang diambil adalah dari nilai 0 – 1.

Setelah mendapatkan nilai KT, 10KQ, dan η_0 yang baru untuk perhitungan lanjutan yaitu Q(kN) dimana:

$$Q = N_{prop}(\text{rps})^2 \times KQ \times 1.025 \times D_{prop}^5 \quad (4.2.3.4)$$

Kemudian setelah mendapatkan nilai Q, yang diperhitungkan kembali adalah DHP yang menggunakan rumus lain:

$$DHP = 2 \times 3.14 \times N_{prop}(\text{rps}) \times Q \quad (4.2.3.5)$$

Setelah mendapatkan nilai DHP, kemudian dilanjutkan dengan mencari nilai SHP dan BHPmcr yang persamaannya sama seperti pada saat perhitungan pemilihan engine.

Dalam penggerjaan EPM, ada beberapa pilihan utama (John E. Woodward III, June 1973. Matching Engine and Propeller):

- 1.) Cari Propeller yang mempunyai nilai η_0 paling besar dan engine yang kecil, dimana perancang harus menentukan konsekuensi life engine

yang lebih kecil yang harganya lebih murah sementara η_o propeller yang dipilih dapat menjadi semakin besar.

- 2.) Cari propeller yang mempunyai η_o besar dan engine yang besar, dimana perancang harus menambah biaya dan beban engine yang sesuai dengan dana yang tersedia.

Cari engine yang kecil dan pitch propeller yang kecil pula.

Berikut adalah hasil pengerjaan dari *Engine Propeller Matching*:

Jenis Propeller yang dipilih : B4-85

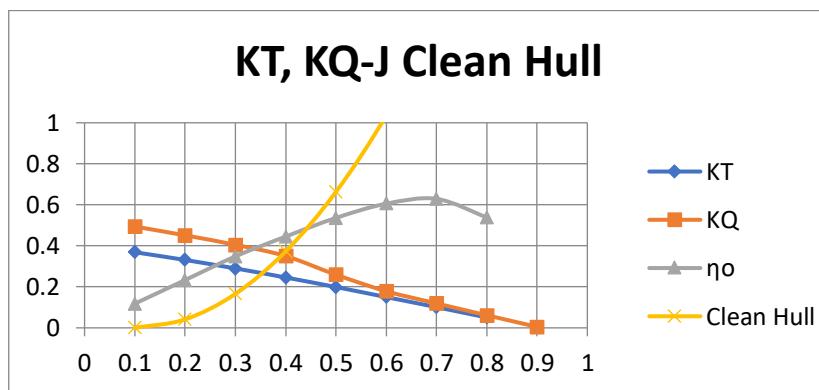
Diameter : 1.8270954 m

N (rpm) : 233.64486 rpm

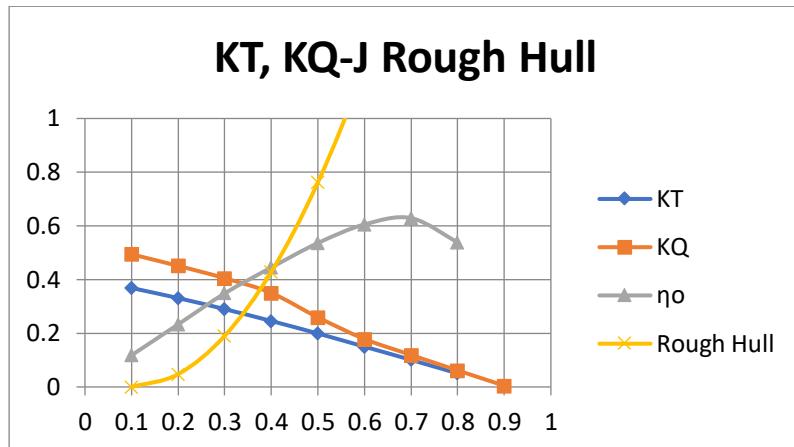
P/Db : 0.861

η_b : 0.524

Tabel 4.1. Tabel Propeller yang digunakan dalam penentuan *Engine Propeller Matching*



Grafik 1. KT, KQ-J Clean Hull



Grafik 2. KT, KQ-J Rough Hull

Clean	Hull	EPM		
N Engine (rpm)	N Propeller (rps)	Q(kN)	DHP(kW)	SHP(kW)
23.36448598	0.2379065	11.95644	17.86355131	18.22811
46.72897196	0.475813	23.91288	71.45420524	72.91245
70.09345794	0.7137195	35.86932	160.7719618	164.053
93.45794393	0.951626	47.82576	285.816821	291.6498
116.8224299	1.1895325	59.78219	446.5887828	455.7028
140.1869159	1.427439	71.73863	643.0878472	656.2121
163.5514019	1.6653455	83.69507	875.3140142	893.1776
186.9158879	1.903252	95.65151	1143.267284	1166.599
210.2803738	2.1411585	107.608	1446.947656	1476.477
221.9626168	2.2839024	114.7818	1646.304889	1679.903
233.6448598	2.379065	119.5644	1786.355131	1822.811
BHPmcr(kW)		% RPM	Daya%	

21.44483951	10.00%	0.97%
85.77935803	20.00%	3.86%
193.0035556	30.00%	8.69%
343.1174321	40.00%	15.46%
536.1209877	50.00%	24.15%
772.0142223	60.00%	34.78%
1050.797136	70.00%	47.33%
1372.469729	80.00%	61.82%
1737.032	90.00%	78.24%
1976.356409	96.00%	89.03%
2144.483951	100.00%	96.60%

Tabel 4.2. EPM Clean Hull

Rough Hull	EPM			
N Engine (rpm)	N Propeller (rps)	Q(kN)	DHP(kW)	SHP(kW)
23.36448598	0.2379065	12.31722	18.40257853	18.77814
46.72897196	0.475813	24.63444	73.61031413	75.11257
70.09345794	0.7137195	36.95166	165.6232068	169.0033
93.45794393	0.951626	49.26888	294.4412565	300.4503
116.8224299	1.1895325	61.5861	460.0644633	469.4535
140.1869159	1.427439	73.90333	662.4928272	676.0131
163.5514019	1.6653455	86.22055	901.7263481	920.1289
186.9158879	1.903252	98.53777	1177.765026	1201.801
210.2803738	2.1411585	110.855	1490.608861	1521.029
221.9626168	2.2839024	118.2453	1695.981638	1730.594
233.6448598	2.379065	123.1722	1840.257853	1877.814

BHPmcr(kW)	% RPM	Daya %
22.09193101	10.00%	1.00%
88.36772405	20.00%	3.98%
198.8273791	30.00%	8.96%
353.4708962	40.00%	15.92%
552.2982753	50.00%	24.88%
795.3095164	60.00%	35.82%
1082.50462	70.00%	48.76%
1413.883585	80.00%	63.69%
1789.446412	90.00%	80.61%
2035.992362	96.00%	91.71%
2209.193101	100.00%	99.51%

Tabel 4.3. EPM Rough Hull

Sehingga mesin yang dipilih memiliki spek sebagai berikut:

Nama Engine	: Wartsila 6L20DF
Power	: 1110 kw
RPM	: 1200
No. of Cylinder	: 6
Bore x Stroke	: 200 x 280 (mm)
Mean Effective Pressure	: 2.1 MPa
Fuel	: MDO for Vessels, LNG

IV.3. Perhitungan Tangki Bahan Bakar LNG dan MDO

Perhitungan terhadap tangki LNG dan MDO sangat bergantung dengan *endurance* kapal/ lama pelayaran yang dilakukan oleh kapal tersebut. Akan tetapi, sangat disarankan apabila dalam pembuatan tangki ini, nantinya akan diperbesar dari hasil perhitungan tersebut sehingga dalam operasional nantinya akan mampu untuk mengurangi banyaknya waktu yang terbuang dalam pengisian bahan bakar, baik itu LNG maupun MDO. Berikut adalah hasil yang dilakukan dalam perhitungan volume tangki bahan bakar LNG dan MDO:

No	Endurance	Total waktu (jam)	Volume MDO (m ³)	Volume LNG (m ³)
1	1x	80	7.1	9.23
2	2x	160	14.184	18.4392
3	3x	240	21.276	27.6588
4	4x	320	28.368	36.8784
5	5x	400	35.46	46.098
6	6x	480	42.552	55.3176

Tabel 4.4. Penggunaan MDO dan LNG dalam satuan m³ berdasarkan Endurance kapal

Dari tabel diatas, yang digunakan adalah tangki yang mampu bertahan selama 3x Endurance dengan berbagai pertimbangan. Sehingga, volume yang digunakan sebagai tangki dari masing-masing bahan bakar adalah sebagai berikut:

Bahan Bakar MDO = 60 m³ (Sesuai dengan gambar GA)

Bahan Bakar LNG = 32 m³ (Wartsila LNGPac 40ft)



Gambar 4.5. Wartsila LNGPac

LNG fuel tank container		20 ft	40 ft
Frame dimensions (external)			
Length	m	6058	12.192
Width	m	2438	2438
Height	m	2591	2591
Tank			
Geometrical volume (approx, room temp.)	m ³	20	40
LNG volume (80 % effective volume)	m ³	16	32
Other sizes on request.			

Gambar 4.6. Spesifikasi Wartsila LNGPac

IV.4. Peletakan Bunkering Station beserta Bunkering Process

Setelah perhitungan terhadap tangki LNG dan MDO dilakukan, hal yang selanjutnya dapat dikerjakan adalah peletakkan *bunkering station* di kapal beserta *bunkering process*-nya. Pada peletakan *bunkering station* ini sangat harus diperhatikan, karena daerah sekitarnya bersifat sangat berbahaya dan dapat menimbulkan kematian. Oleh karenanya, peletakan ini harus memenuhi syarat dari IGF Code (*The International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels*) yang sangat ketat mengatur daerah *hazardous zone*-nya. Berikut adalah beberapa *hazardous zone* yang perlu diperhatikan untuk mengimplementasi *Code* ini:

12.5 Hazardous area zones

12.5.1 Hazardous area zone 0

This zone includes, but is not limited to the interiors of fuel tanks, any pipework for pressure-relief or other venting systems for fuel tanks, pipes and equipment containing fuel.

12.5.2 Hazardous area zone 122

This zone includes, but is not limited to:

.1 tank connection spaces, fuel storage hold spaces and interbarrier spaces;

.2 fuel preparation room arranged with ventilation according to 13.6;

.3 areas on open deck, or semi-enclosed spaces on deck, within 3 m of any fuel tank outlet, gas or vapour outlet,²⁴ bunker manifold valve, other fuel valve, fuel pipe flange, fuel preparation room ventilation outlets and fuel tank openings for pressure release provided to permit the flow of small volumes of gas or vapour mixtures caused by thermal variation;

.4 areas on open deck or semi-enclosed spaces on deck, within 1.5 m of fuel preparation room entrances, fuel preparation room ventilation inlets and other openings into zone 1 spaces;

.5 areas on the open deck within spillage coatings surrounding gas bunker manifold valves and 3 m beyond these, up to a height of 2.4 m above the deck;

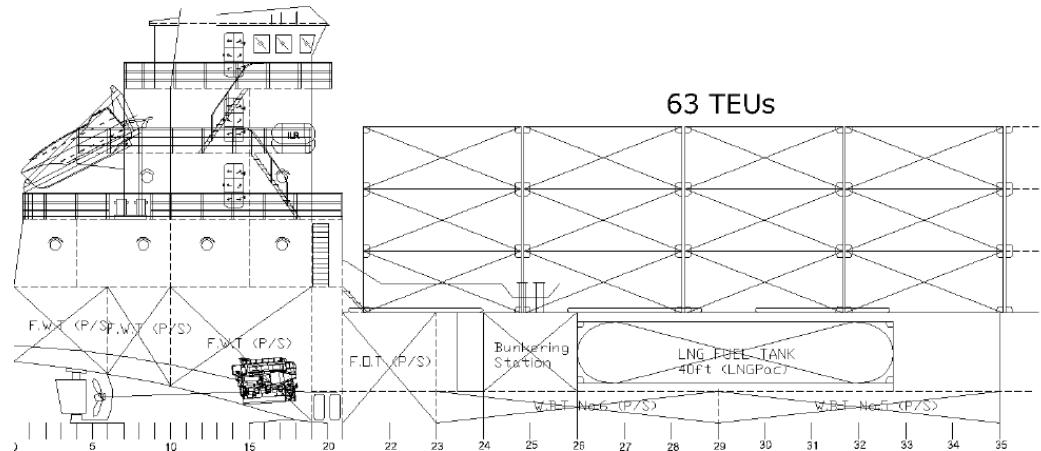
- .6 enclosed or semi-enclosed spaces in which pipes containing fuel are located, e.g. ducts around fuel pipes, semi-enclosed bunkering stations;
- .7 the ESD-protected machinery space is considered a non-hazardous area during normal operation, but will require equipment required to operate following detection of gas leakage to be certified as suitable for zone 1;
- .8 a space protected by an airlock is considered as non-hazardous area during normal operation, but will require equipment required to operate following loss of differential pressure between the protected space and the hazardous area to be certified as suitable for zone 1; and
- .9 except for type C tanks, an area within 2.4 m of the outer surface of a fuel containment system where such surface is exposed to the weather.

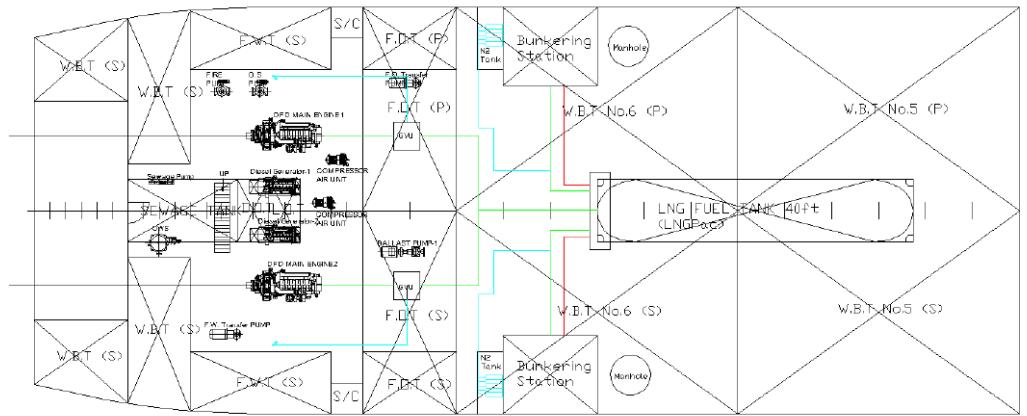
12.5.3 Hazardous area zone 225

12.5.3.1 This zone includes, but is not limited to areas within 1.5 m surrounding open or semi-enclosed spaces of zone 1.

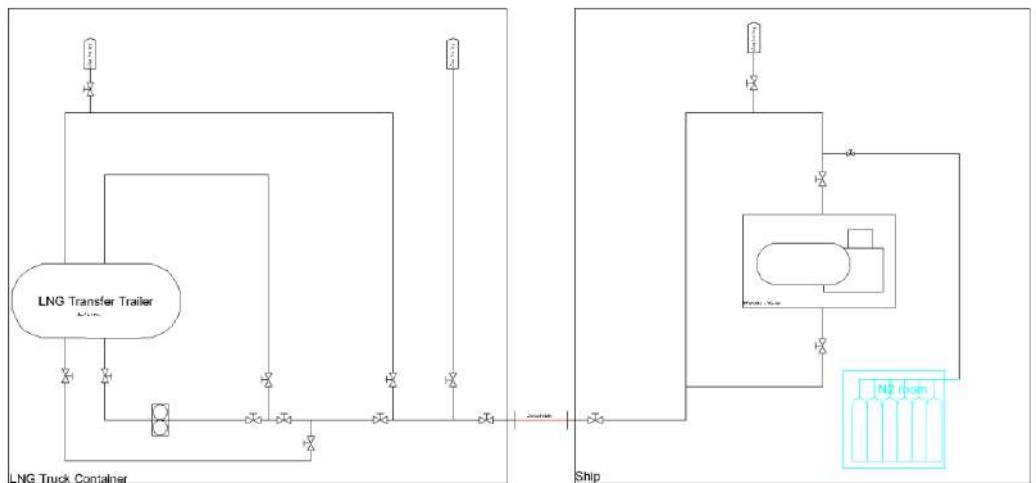
12.5.3.2 Space containing bolted hatch to tank connection space.

Oleh karenanya, peletakan *bunkering station* harus diperhatikan mengingat *safety factor* mempengaruhi keselamatan kapal tersebut. Setelah mengimplementasi hal-hal ini, maka *bunkering station* dapat diperkirakan beserta *bunkering process* secara rinci. Berikut adalah gambar dari posisi *bunkering station* dan proses *bunkering LNG* secara keseluruhan:



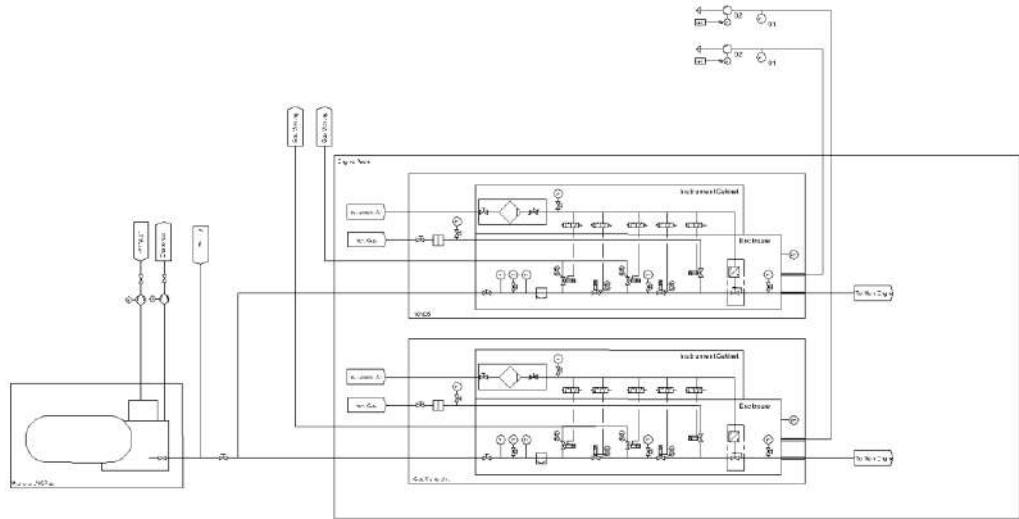


Gambar 4.7. Peletakan Bunkering Station



Gambar 4.8. Proses Bunkering

Selain *Bunkering*, ada hal lain lagi yang perlu diperhatikan dimana *safety* parameter dari tangki LNG menuju *main engine* juga harus aman. Hal ini biasanya berfokus kepada *Gas Valve Unit* (GVU) yang mampu melakukan ventilasi apabila LNG memiliki tekanan yang tidak sesuai sebelum masuk ke *engine* dan mampu melakukan *shut down* suplai gas LNG apabila dalam keadaan darurat. Berikut adalah gambar sistem *safety* dari tangki LNG menuju ke *main engine*:



Gambar 4.9.Sistem safety dari tangki LNG menuju ke main engine

IV.5. Analisa Ekonomi Penggunaan Bahan Bakar Main Engine

Untuk mengetahui perbedaan pengeluaran secara materill pemilik kapal, penulis berencana melakukan analisa ekonomi penggunaan bahan bakar terutama di *main engine*. Rute kapal ini adalah Surabaya – Balikpapan, dimana jaraknya 481 nm. Jika dengan kecepatan 12 knot, maka secara kasaran waktu tempuh untuk sampai di salah satu tempat memakan waktu 40 jam, sedangkan waktu tempuh untuk pulang-pergi adalah 80 jam. Untuk mengetahui konsumsi bahan bakar **satu main engine**, maka kalkulasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$FC\ MDO = SFOC\ MDO \times BHP \times Hours \quad (4.5.1.)$$

Fuel Consumption MDO 1x Endurance:

$$\begin{aligned} FC\ MDO &= SFOC\ MDO \times BHP \times Hours \\ &= 197 \times 1500 \times 80 \\ &= 23640000 \text{ gr} \\ &= 23.64 \text{ ton} \end{aligned}$$

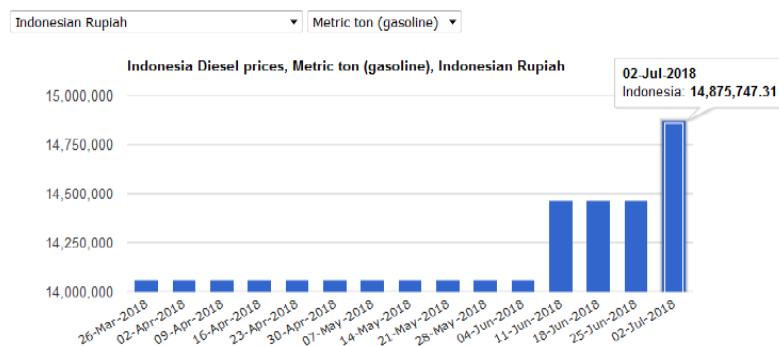
Setelah mengetahui pemakaian bahan bakar MDO 100% dalam 1x Endurance, maka dapat dilakukan modifikasi *fuel consumption* terlebih pada saat suatu mesin mampu menggunakan *dual fuel*. Rasio yang digunakan adalah 50 : 50 MDO dengan LNG; 40% MDO : 60% LNG; 30% MDO : 70% LNG; dan 20% MDO : 80% LNG. Maka:

50% untuk MDO=	11.82 ton
50% untuk LNG=	11.82 ton
40% untuk MDO=	9.456 ton
60% untuk LNG=	14.184 ton
30% untuk MDO=	7.092 ton
70% untuk LNG=	16.548 ton
20% untuk MDO=	4.728 ton
80% untuk LNG=	18.912 ton

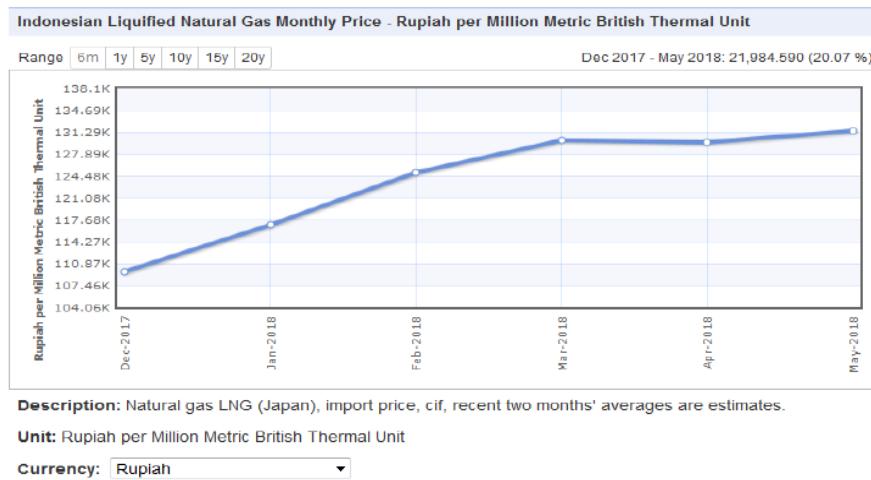
Karena harga LNG biasanya selalu berlaku \$ per satuan mmBtu, penulis melakukan konversi nilai ton ke mmBtu, dimana 1 ton = 53.38 mmBtu. Sedangkan harga untuk masing-masing bahan bakar adalah sebagai berikut:

Indonesia Diesel prices, Metric ton (gasoline)

Diesel prices: We show prices for Indonesia from 26-Mar-2018 to 02-Jul-2018. The average value for Indonesia during that period was 14,197,523.81 Indonesian Rupiah with a minimum of 14,061,879.11 Indonesian Rupiah on 26-Mar-2018 and a maximum of 14,875,747.31 Indonesian Rupiah on 02-Jul-2018. For comparison, the average price of diesel in the world for this period is 20,372.29 Indonesian Rupiah .



Gambar 4.10. Harga MDO per satuan ton



Gambar 4.11. Harga LNG per satuan mmBtu

Jika dibuat dalam bentuk tabel, biaya fuel consumption pada saat endurance 1x adalah:

No.	%MDO	%LNG	V. MDO (ton)	V. LNG (ton)
1	50	50	11.82	15.366
2	40	60	9.456	18.4392
3	30	70	7.092	21.5124
4	20	80	4.728	24.5856

V. LNG (mmBtu)	Harga MDO	Harga LNG
820.23708	IDR 175,831,333.20	IDR 107,688,926.23
984.284496	IDR 140,665,066.56	IDR 129,226,711.48
1148.331912	IDR 105,498,799.92	IDR 150,764,496.73
1312.379328	IDR 70,332,533.28	IDR 172,302,281.97

Tabel 4.5. Harga masing-masing bahan bakar dalam rasio yang telah ditentukan

No.	Harga MDO	Harga LNG	Harga total
1	IDR 175,831,333.20	IDR 107,688,926.23	IDR 283,520,259.44
2	IDR 140,665,066.56	IDR 129,226,711.48	IDR 269,891,778.04
3	IDR 105,498,799.92	IDR 150,764,496.73	IDR 256,263,296.65
4	IDR 70,332,533.28	IDR 172,302,281.97	IDR 242,634,815.25

Tabel 4.6. Biaya total masing-masing rasio bahan bakar yang telah ditentukan

Dan apabila menggunakan *single fuel* saja, maka biaya operasional bahan bakarnya adalah sebagai berikut:

No.	%MDO	V. MDO (ton)	Harga MDO
1	100	23.64	IDR 351,662,666.41

Tabel 4.7. Biaya total bahan bakar MDO pada kondisi *single fuel* (ratio 100%)

Dan jika dibandingkan dengan biaya bahan bakar yang menggunakan *dual fuel*, maka selisihnya adalah sebagai berikut:

No.	Harga total	Harga MDO 100%	Selisih Harga
1	IDR 283,520,259.44	IDR 351,662,666.41	IDR 68,142,406.97
2	IDR 269,891,778.04	IDR 351,662,666.41	IDR 81,770,888.37
3	IDR 256,263,296.65	IDR 351,662,666.41	IDR 95,399,369.76
4	IDR 242,634,815.25	IDR 351,662,666.41	IDR 109,027,851.15

Tabel 4.8. Selisih harga bahan bakar yang dirasio pada kondisi *dual fuel* dengan kondisi *single fuel*

Jika dilihat dengan seksama, harga biaya operasional kapal yang menggunakan *single fuel* jauh lebih mahal dibandingkan dengan *dual fuel* yang memiliki berbagai macam rasio. Ini merupakan perhitungan untuk operasional 1 kali *endurance*, dan jika ingin dihitung operasional bahan bakar per tahunnya maka:

Total waktu 1x Endurance: 80 jam 3.333333 hari

Waktu bongkar muat: 2 jam (Balikpapan)

(50 kontainer/jam di 2 pelabuhan) 2 jam (Surabaya)

*Kedua pelabuhan mampu melakukan kecepatan bongkar muat 50 kontainer per jam.

1x Pelayaran efektif = 84 jam 3.5 hari

Jika pada tahun x ada *annual survey*, hari efektif: 361 hari

Jika pada tahun x ada *intermediate/special survey*, hari efektif:

345 hari

Jadi, jumlah pelayaran efektif yang diestimasi dari perhitungan diatas menjadi:

No.	Hari efektif (hari)	1x Pelayaran efektif	Total Pelayaran/tahun
1	361	3.5	103.1428571
2	345	3.5	98.57142857

Tabel 4.9. Jumlah pelayaran efektif

Keterangan:

*1 kondisi tahun x ada *annual survey*

*2 kondisi tahun x ada *intermediate/special survey*

* Kondisi ini tidak memperhitungkan adanya antrian masuk pelabuhan atau

Apabila asumsi pada saat kondisi seperti waktu antrian masuk pelabuhan, waktu pengisian bahan bakar, serta adanya hari libur nasional yang memungkinkan

untuk tidak melakukan pelayaran ditotal berkisar 45 hari, maka total pelayaran per tahun akan menjadi seperti ini:

No.	Hari efektif (hari)	1x Pelayaran efektif	Total Pelayaran/tahun
1	316	3.5	90
2	300	3.5	85

Tabel 4.10. Jumlah pelayaran efektif yang menggunakan asumsi pada kondisi tertentu

Keterangan: Karena total pelayaran yang memiliki nilai decimal, maka nilai tersebut telah dibulatkan ke bawah.

Setelah mengetahui total pelayaran per tahunnya, maka dapat diketahui selisih harga biaya bahan bakar per tahun. Selisihnya adalah sebagai berikut:

No.	Selisih Harga	Total Pelayaran/tahun	Selisih Harga/tahun
1	IDR 68,142,406.97	90	IDR 6,132,816,627.39
2	IDR 81,770,888.37	90	IDR 7,359,379,952.87
3	IDR 95,399,369.76	90	IDR 8,585,943,278.35
4	IDR 109,027,851.15	90	IDR 9,812,506,603.82

Tabel 4.11. Selisih harga per tahun ketika pada tahun tersebut memiliki *annual survey* yang wajib dijalankan

No.	Selisih Harga	Total Pelayaran/tahun	Selisih Harga/tahun
1	IDR 68,142,406.97	85	IDR 5,792,104,592.54
2	IDR 81,770,888.37	85	IDR 6,950,525,511.04
3	IDR 95,399,369.76	85	IDR 8,108,946,429.55
4	IDR 109,027,851.15	85	IDR 9,267,367,348.06

Tabel 4.12. Selisih harga per tahun ketika pada tahun tersebut memiliki *intermediate survey* atau *special survey* yang wajib dilakukan

Keterangan:

*Kondisi no. 1 adalah pada saat MDO 50% dan LNG 50%

*Kondisi no. 2 adalah pada saat MDO 40% dan LNG 60%

*Kondisi no. 3 adalah pada saat MDO 30% dan LNG 70%

*Kondisi no.4 adalah pada saat MDO 20% dan LNG 80%

*Kondisi ini berlaku untuk satu *main engine*.

Jika dilihat dari total selisih harga per tahunnya, maka selisih milliar rupiah tentu perlu diperhatikan, terlebih jika menggunakan *dual fuel* berada dalam posisi yang menguntungkan dibandingkan dengan *single fuel*.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan matematis dan beberapa desain menurut IGF Code, maka kesimpulan yang bisa di ambil dari penelitian tugas akhir ini sebagaimana berikut:

1. *Dual Fuel Engine* memiliki banyak keuntungan, terutama dalam hal pengeluaran emisi yang seminim mungkin, investasi yang lebih cepat kembali, konversi engine yang lebih cepat dan hanya membutuhkan modifikasi yang sedikit, serta memotong biaya operasional yang menjadi sebuah benefit oleh pemilik kapal.
2. Pengeluaran yang dibutuhkan untuk pengoperasian *single fuel* (MDO) berbeda dengan *dual fuel* (MDO dan LNG), terlebih di bahan bakarnya. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.11. dan tabel 4.12. yang menunjukkan selisih biaya yang digunakan pada saat kondisi *single fuel* dengan *dual fuel* dimana *dual fuel* lebih hemat hingga miliar rupiah pada pengoperasian dalam jangka waktu satu tahun.

V.2. Saran

Penelitian tugas akhir ini masih memiliki beberapa kekurangan yang membuat alasan penggunaan *dual fuel* menjadi lebih baik dibandingkan dengan *single fuel engine* terutama dalam analisa emisi yang dihasilkan. Mungkin dalam menganalisa emisi kedepannya dapat diperhitungkan oleh penelitian atau analisa yang memiliki hubungan dengan tugas akhir ini sehingga alasan *dual fuel* menjadi salah satu opsi dalam pengurangan emisi dapat diperluas.

Daftar Pustaka

- [1] IMO regulation 13; Pollution Prevention of Nitrogen oxides (NO_x)
- [2] IMO regulation 14; Pollution Prevention of Sulfur oxides (SO_x)
- [3] Jerzy, Herdzik (2011) “LNG as a Marine Fuel – Possibilities and Problems”
- [4] Frederick, Adamchak (2015) “LNG as Marine Fuel”
- [5] European Environmental Bureau “Air Pollution from Ships”
- [6] ABS LNG Bunkering Guide January 2017
- [7]The International **Code** of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (**IGF Code**) pg. 86 – 88.
- [8]International Gas Union (IGU), “Natural Gas Conversion Pocketbook”
- [9]European Maritime Safety Agency, “Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administration”
- [10]Remley, Bill (2014) “Alternative Maritime Fuels”

LAMPIRAN

Perhitungan Engine Propeller Matching

I.) Perhitungan Tahanan

Nama Kapal	No-Name	
Tipe Kapal	Container Carrier	
Lpp	76.47	m
Lwl	78.7641	m
B	15	m
H	4.2	m
T	3	m
Cb	0.68308	
Cp	0.694	
Cm	0.982	
Vs	12	knot
Cb Lwl	0.673	
ρ air laut	1.025	ton/m ³

Volume Displasmen (∇)

$$\nabla = C_b \times L_w \times B \times T$$

$$\begin{aligned} \nabla = & 0.683 * 78.761 * 15 * 3 \\ & 2421.098164 \quad m^3 \end{aligned}$$

Berat Displasmen (Δ)

$$\begin{aligned} \Delta = & \nabla \times \rho \text{ air laut} \\ & 2420.719335 * 1.025 \\ & 2481.625618 \quad m^3 \end{aligned}$$

Wetted Surface Area / Luasan Permukaan Basah (s)

$$S = 1,025 \times L_w (C_b \times B + 1,7T)$$

$$1.025 * 78.7641 * (0.683 * 15 + 1.7 * 3)$$

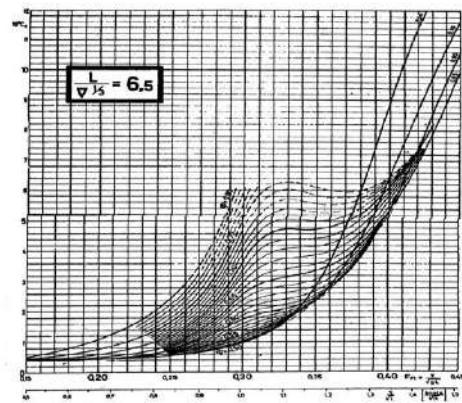
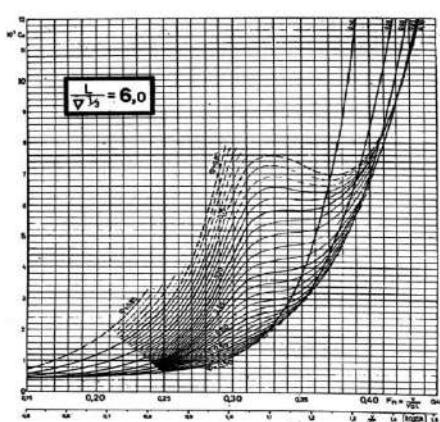
$$1238.947872 \text{ m}^2$$

Perhitungan Froude Number (Fn)			
Vs (knot)	Vs (m/s)	g (m/s ²)	Fn
12.5	6.43	9.8	0.231437526
12	6.1728	9.8	0.222180025
11	5.6584	9.8	0.203665023
10	5.144	9.8	0.185150021
9	4.6296	9.8	0.166635019
8	4.1152	9.8	0.148120016

Perhitungan Bilangan Reynold (Re)		
Vs (m/s)	v (Viskos Kinematis)	Reynold Number (Re)
6.43	0.000001188	426307376.3
6.1728	0.000001188	409255081.2
5.6584	0.000001188	375150491.1
5.144	0.000001188	341045901
4.6296	0.000001188	306941310.9
4.1152	0.000001188	272836720.8

Menghitung $L / \nabla^{1/3}$

$$L / \nabla^{1/3} = 78.761 / 2420.719335^{1/3} = 6.020107$$



Mencari Cr

Vs (m/s)	Froude Number	10^3 Cr saat	10^3 Cr saat
		$L/\nabla^{1/3} = 6.0$	$L/\nabla^{1/3} = 6.5$
6.43	0.231437526	1.13	1
6.1728	0.222180025	1.06	0.856
5.6584	0.203665023	0.83	0.68
5.144	0.185150021	0.73	0.62
4.6296	0.166635019	0.635	0.543
4.1152	0.148120016	0.576	0.48

Interpolasi 2 nilai Cr saat 6.0 dan 6.5

Vs (m/s)	Cr saat	Cr saat	Hasil Interpolasi
	$L/\nabla^{1/3} = 6.0$	$L/\nabla^{1/3} = 6.5$	
6.43	1.13	1	1.11738609
6.1728	1.06	0.856	1.040205864
5.6584	0.83	0.68	0.815445488
5.144	0.73	0.62	0.719326692

4.6296	0.635	0.543	0.626073233
4.1152	0.576	0.48	0.566685113

Koreksi B/T

$$B/T = 5$$

Mempunyai nilai yang lebih dari 2.5, sehingga Cr harus dikoreksi dengan persamaan sebagai berikut :

Koreksi

$$B/T = 0.16(B/T - 2.5)$$

$$\begin{aligned} B/T &= 0.16(5 - \\ &= 2.5) \\ &= 0.4 \end{aligned}$$

Koreksi Cr

$$10^3 C_R = 10^3 C_{R(B/T=2.5)} + 0.16 \left(\frac{B}{T} - 2.5 \right)$$

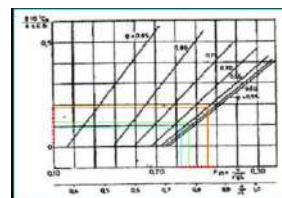
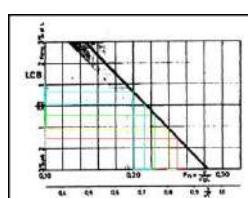
Koreksi Cr		
Cr Interpolasi	Nilai Koreksi	Nilai Cr yang diperbarui
1.11738609	0.4	1.51738609
1.040205864	0.4	1.440205864
0.815445488	0.4	1.215445488
0.719326692	0.4	1.119326692
0.626073233	0.4	1.026073233
0.566685113	0.4	0.966685113

Koreksi Lcb

ΔLCB

Vs	fn	Lcb diagram Guld	Lcb Kapal (Desain I)	Koreksi
0.23143				
12.5	8	-1.50%	-0.41%	Ya 1.09%
12	0.22218	-1.46%	-0.41%	Ya 1.05%
0.20366				
11	5	-1.09%	-0.41%	Ya 0.68%
10	0.18515	-0.42%	-0.41%	Ya 0.01%
0.16663				
9	5	0.08%	-0.41%	Tidak -0.49%
8	0.14812	0.66%	-0.41%	Tidak -1.07%
$\frac{\partial 10^3 Cr}{\partial LCB}$				

Vs	Koreksi	Koreksi yang baru
12.5	0.198	0.0021622 1.51954825
12	0.19	0.001995 1.442200864
11	0.119	0.0008068 1.216252308
10	0.09	5.4E-06 1.119332092



Menghitung Tahanan Gesek (Cf)

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$$

Menghitung Nilai Cf masing - masing kecepatan

Vs	Re	Cf (Koef. Gesek)
12.5	426307376.3	0.001706359
12	409255081.2	0.001715522
11	375150491.1	0.001735301
10	341045901	0.00175736
9	306941310.9	0.001782239
8	272836720.8	0.001810683

Menghitung Tahanan Tambahan (Ca)

L	$\leq 100 \text{ m}$	$10^3 C_A = 0,4$
	$= 150 \text{ m}$	$= 0,2$
	$= 200 \text{ m}$	$= 0$
	$= 250 \text{ m}$	$= -0,2$
	$\geq 300 \text{ m}$	$= -0,3$

Untuk L Kapal 181 m, maka menggunakan $L < 100 \text{ m}$ yaitu $10^3 Ca=0.4$

Tahanan Udara = $10^3 Caa = 0.07$	Caa	=	0.0000
Tahanan Kemudi = $10^3 Cas = 0.04$	Cas	=	0.0000

Menghitung Koefisien Tahanan Total

$$Ct = Cr + Cf + Ca + Caa + Cas$$

Perhitungan Tahanan Total (Ct)						
Vs	Cr	Cf (Tahanan Gesek)	Ca	Caa	Cas	Ct
12.5	8	1.51954	0.001706359	0.4	7	4
12	1	1.44220	0.001715522	0.4	7	4
11	2	1.21625	0.001735301	0.4	7	4
10	2	1.11933	0.00175736	0.4	7	4
9	3	1.02607	0.001782239	0.4	7	4
8	5	0.96668	0.001810683	0.4	7	4

Menghitung Tahanan Total dengan rumus

$$Rt = 1/2 \cdot p \cdot Ct \cdot S \cdot V^2$$

Nilai Tahanan Total		Apabila ditambah dengan Sea Margin
Vs	Rt (N)	sesuai dengan rute pelayaran,
12.5	50440.41333	maka sea margin akan mengalami
12		Penambahan 15%
11	32895.68317	Nilai Tahanan Total yang baru
10	25558.47775	Vs Rt (N) Rt (kN)
9	19433.52347	21.2 50440. 50.4404

			41		1
			44614.	44.6147	
8	14716.58938		20.7	75	5
			32895.	32.8956	
			19.7	68	8
			25558.	25.5584	
			18.7	48	8
			19433.	19.4335	
			17.7	52	2
			14716.	14.7165	
			16.7	59	9

II.) Perhitungan Daya Engine

Mencari EHP

$$\begin{aligned}
 \text{EHP} &= V_s \times R_t \quad (\text{Vs kecepatan dinas} = 6.1728 \text{ m/s}) \\
 &= 929.22 \text{ kW} \quad 1 \text{ HP} = 0.7355 \text{ kW} \\
 &= 1263.3855 \text{ HP} \quad 1 \text{ kW} = 1.359 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Mencari DHP

$$\begin{aligned}
 \text{DHP} &= \text{EHP}/\text{PC} \\
 \text{PC} &= \text{Propeller Coefficient} \\
 &= \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_O \\
 \eta_H \text{ (Hull Eff.)} & \\
 \eta_H &= (1-t)/(1-w) \\
 w &= 0.5C_b - 0.05 \\
 t &= 0.2915 \\
 t &= k \times w \quad \text{dimana } k = 0.7 - 0.9, \text{ dapat diambil}
 \end{aligned}$$

	=	0.9 x 0.2915	antara 2 nilai tersebut
	=	0.26235	
η_H	=	$(1 - t)/(1 - w)$	
	=	$(1 - 0.26235)/(1 - 0.2915)$	
	=	1.0411433	(asumsi)
η_{rr}	=	1	untuk kapal tipe twin screw
	=	1	
η_o	=	40%-70%	untuk asumsi pada water test
	=	70%	(asumsi)
PC	=	$\eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_o$	
		1.041 * 1 * 0	
	=	.7	
	=	0.7288003	
DHP	=	EHP/PC	
	=	6702.478/0.797	
	=	1275	HP
	=	937.7625	kW

Mencari SHP

Untuk kapal yang kamar mesinnya terletak di bagian belakang akan mengalami losses sebesar 2%, sedangkan pada kapal yang kamar mesinnya pada daerah midship kapal mengalami losses sebesar 3%.("Principal of Naval Architecture hal 131").

Pada perencanaan kapal ini, saya meletakkan kamar mesin di bagian belakang kapal sehingga losses yang ada sebesar 2%.

$$\begin{aligned}
 \text{SHP} &= \text{DHP}/\eta s\eta b \\
 &= 1250 \text{ HP} \\
 &= 919.375 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Menghitung BHP

asumsikan $\eta G = 0.98$, karena rpm yang didapatkan oleh gearbox dari mesin utama

$$\begin{aligned}
 \text{BHPscr} &= \text{SHP}/\eta G && \text{mempunyai rpm} > 250 \text{ put/min} \\
 &= 592.7118/0.98 \\
 &= 1275.5102 \text{ HP} \\
 &= 938.13776 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

BHPmcr

Daya keluaran pada kondisi maksimum dari motor induk, dimana besarnya 10% atau menggunakan engine margin sebesar 15-20%. Asumsi daya BHPscr diambil 85%

$$\begin{aligned}
 \text{BHPmcr} &= \text{BHPscr}/0,85 \\
 &= 604.8079/0.85 \\
 &= 1500.6002 \text{ HP} \\
 &= 1103.6915 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Main Engine Selection

Name of Engine : Wartsil a

Type of Engine	:	6L20DF	
Description	:	4- Stroke, 6 Cylinder	
Power	:	1110	kW
Engine Speed	:	1200	rpm
Length	:	3108	mm
Breadth	:	1690	mm
Height	:	1706	mm
Cylinder Bore	:	200	mm
Piston Stroke	:	280	mm
SFOC MDO	:	197	g/kWh
SFOC Gas	:	8222	kJ/kWh
Fuel	:	MDO	
MEP	:	2.1	Mpa

Gearbox

Name of Gearbox	:	Reintjes	
Type of Gearbox	:	LAF	
BHP Allowed	:	7760	HP
	:	9909	HP
	:	7395	kW
kW/RPM	:	9.86	
Weight	:	23500	Kg
	:	51700	lbs
Gearbox Ratio	:	5.136	

Dimensi Utama**Kapal**

Lpp	76.47	m
B	15	m
H	4.2	m
T	3	m
Cb	0.683	
Vs	12 knot	= 6.1728 m/s
		1263.3
EHP	929.22 kW	= 85 HP
SHP	919.375 kW	= 1250 HP
DHP	937.7625 kW	= 1275 HP

Diameter Propeller Max

D max Propeller	=	0.67 x T
	=	2.01 m
N Propeller	=	Speed Engine/Gearbox Ratio
	=	1200/5.136
	=	233.6449 rpm

I. Menghitung Va (Advanced Speed)

Menghitung Wake friction
(w)

$$w = 0.5Cb - 0.05$$

$$w = 0.2915$$

Menghitung Advanced Speed (Va)

$$Va = (1-w).Vs$$

$$V_a = 8.502 \text{ knot}$$

$$V_a = 4.370028 \text{ m/s}$$

II. Menghitung BP-Diagram

a. Digunakan untuk memprediksi jenis-jenis blade propeller yang mungkin digunakan, seperti : B4

b. Menghitung
BP1

$$BP1 = N_{prop} \times DHP^{0,5} / V_a^{2,5} \quad N_{prop} =$$

$$39.582$$

$$BP1 = 988$$

c. Perhitungan pada
 $0,1739\sqrt{BP1}$

$$0,1739\sqrt{BP1} = 1.094092$$

Jenis Propeller	DHP(H P)	N Prop (RPM)	w	Va (knot)	Bp1	0.1739. $\sqrt{Bp1}$
B4-40	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B4-55	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B4-70	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B4-85	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B4-100	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B5-45	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B5-60	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940

B5-75	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B5-90	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
B5-105	1275	233.6449	0.2915	8.50	39.582	1.0940
				2	99	92

Dengan memotongkan nilai $0,1739 \cdot VBp_1$ dengan OPTIMUM LINE, maka akan didapatkan nilai $1/J_o$.

Nilai-Nilai J_o untuk jenis propeller B3 dan B4,ditunjukkan oleh tabel berikut :

$$Do = \delta_o * (Va/N)$$

$$Db \text{ single screw} = 1 \times Do \quad \xrightarrow{\text{yang digunakan karena single screw}}$$

$$Db \text{ twin screw} = 2 \times Do$$

Jenis Propeller		P/Do	1/Jo	δ_o	Do (ft)	Db(ft)	Db(m)	Dma x(m)	Db < D max
B4-40	0.829	1.77		179.2	6.5223		1.9481		accep t
B4-55	0.827	1.73		175.1	6.3749		1.9041		accep t
B4-70	0.836	1.69		171.1	6.2275		1.8601		accep t
B4-85	0.85	1.66		168.1	6.1169		1.8270		accep t
B4-100	0.816	1.68		170.1	6.1906		1.8491		accep t
B5-45	0.82	1.63		165.0	6.0064		1.7940		accep t
B5-60	0.809	1.58		160	7	5.589283	43	2.01	accep t
B5-75	0.798	1.56		157.9	5.7484	5.518532	1.7170	2.01	accep

			747	71		29		t
B5-90	0.788	1.52	153.9	5.6010		1.6730		accept
B5-105	0.803	1.5	241	75	5.377032	03	2.01	accept
			151.8	5.5273		1.6509		accept
			987	76	5.306281	9	2.01	accept

* $D_b < D_{max}$ sehingga seluruh jenis propeller yang tertera diatas memenuhi syarat

Menentukan nilai D_o , D_b , δb , P/Db , ηb

$$\delta b = \frac{(D_b \times N)}{V_a} \quad 1/J_b = \frac{0.00987}{5} \times \delta b$$

Dengan diketahuinya $1/J_b$, maka dilakukan pembacaan B_p yang akan diperoleh nilai P/Db dan Efisiensi Propeller (ηb)

Jenis Propeller	δb	$1/J_b$	P/Db	ηb
B4-40	172.0708861	1.6992	0.732	0.554
B4-55	168.1822785	1.6608	0.739	0.54
B4-70	164.2936709	1.6224	0.788	0.531
B4-85	161.3772152	1.5936	0.861	0.524
B4-100	163.321519	1.6128	0.803	0.516
B5-45	158.4607595	1.5648	0.8	0.536
B5-60	153.6	1.5168	0.828	0.53
B5-75	151.6556962	1.4976	0.883	0.522
B5-90	147.7670886	1.4592	0.968	0.515
B5-105	145.8227848	1.44	0.992	0.506

III.) Perhitungan Kavitas

Menentukan nilai $\sigma_{0,7R}$

$$\sigma_{0,7R} = \frac{(1,882 + 19,62(h))}{V_a^2 + 4,836n^2D^2}$$

Dimana
 $h = \text{Jarak antara Center poros dengan sarat}$
 $= 2.1 \text{ m}$

Beberapa rumus yang digunakan untuk menghitung kavitasi

$$\begin{aligned} Ao &= \pi (D/2)^2 \\ Ap &= Ad(1.067 - 0.229 * P/Db) \\ Vr^2 &= Va^2 + (0.7 \times 3.14 \times n \times D \times 0.3048)^2 \\ T &= Rt / (1-t) \\ tC &= T / (Ap \times 0.5 \times \rho \times Vr^2) \\ \tau C &= 0.1079 \times \ln(\sigma 0.7R) + 0.2708 \\ \sigma 0,7R &= (1,882 + 19,62(h)) / Va^2 + 4,836n^2D^2 \end{aligned}$$

Jenis Propeller	Ae/Ao	Ao(ft ²)	Ae/Ad(ft ²)	Ap(ft ²)	Ap(m ²)	Va(m/s)	n(rps)
B4-40	0.4	30.776	12.31045706	11.071	36.315	4.3700	3.8940
B4-55	0.55	29.400	16.17046651	14.517	47.616	4.3700	3.8940
B4-70	0.7	28.056	19.63989234	17.411	57.110	4.3700	3.8940
B4-85	0.85	27.069	23.0092655	20.014	65.646	4.3700	3.8940
B4-100	1	27.725	11.09037441	9.7940	32.124	4.3700	3.8940
B5-45	0.45	26.100	14.35507784	12.687	41.613	4.3700	3.8940

		24.523		15.061	49.402	4.3700	3.8940
B5-60	0.6	46	17.16642528	62	1	28	81
		23.906		17.573	57.639	4.3700	3.8940
B5-75	0.75	55	20.32056485	08	71	28	81
		22.696		19.185	62.929	4.3700	3.8940
B5-90	0.9	29	22.69628777	81	45	28	81
		22.102		8.3532	27.398	4.3700	3.8940
B5-105	1.05	95	9.946325905	43	64	28	81

Jenis Propeller	Vr^2	T	tC	σ0,7R	τC	Kavitas i
		263.1	0.3146	0.4298	0.1796	
B4-40	44.92855084	06	49	38	95	Ya
		263.1	0.2462	0.4485	0.1843	
B4-55	43.77422199	06	96	97	04	Ya
		263.1	0.2107	0.4685	0.1890	
B4-70	42.64627779	06	85	8	07	Ya
		263.1	0.1870	0.4844	0.1925	
B4-85	41.81763458	06	1	33	97	Tidak
		263.1	0.3771	0.4737	0.1901	
B4-100	42.36841435	06	88	79	97	Ya
		263.1	0.3008	0.5010	0.1962	
B5-45	41.00383274	06	7	82	43	Ya
		263.1	0.2618	0.5307	0.2024	
B5-60	39.68047717	06	87	43	48	Ya
		263.1	0.2274	0.5433	0.2049	
B5-75	39.16267823	06	27	28	76	Ya
		263.1	0.2138	0.5698	0.2101	
B5-90	38.14686884	06	57	34	16	Ya
		263.1	0.4976	0.5837	0.2127	
B5-105	37.64885839	06	87	97	28	Ya

Jenis Propeller yang dipilih : **B4-85**

Diameter : 1.8270954 m

N (rpm) : 233.64486 rpm

P/Db : 0.861

η_b : 0.524

IV.) Engine Propeller Matching

Data kapal yang digunakan

t = 0.26235

w = 0.2915

Vs = 12 knot = 6.1728 m/s

ρ air laut = 1.025 ton/m³ = 1025 kg/m³

Data Propeller

Jenis Propeller yang dipilih : **B4-85**

Diameter : 1.8270954 m

N (rpm) : 233.64486

P/Db : 0.861

η_b : 0.524

I.) Tahanan Total pada saat tidak ditambah sea margin (Clean Hull/ Trial)

Rt Trial = 200 kN

II.) Tahanan Total pada saat ditambah sea margin (Rough Hull/Service)

Rt Service = 230 kN

Unit dan Simbol

α	=	Konstanta
β	=	Konstanta
KT	=	Koefisien Gaya Dorong (Thrust) Propeller
KQ	=	Koefisien Torsi Propeller
J	=	Koefisien Gaya Advanced Propeller

Perhitungan

1.) Menghitung nilai α

$$R_t = 0.5 \times \rho \times C_t \times S \times V_s^2$$

$$R_t = \alpha \times V_s^2$$

$$\alpha = R_t / V_s^2$$

Vs(knot)	Vs(m/s)	Rt Trial (kN)	Rt Service (kN)	α trial	α service	Va (m/s)
12	6.1728	200	230	5.248867	6.036197	4.373429

2.) Menghitung nilai β

$$\beta = \alpha / \{(1-t) (1-w)^2 \rho D^2\}$$

Vs (knot)	Vs(m/s)	Rt Trial (kN)	Rt Service (kN)	β trial	β service
12	6.1728	200	230	4.14275	4.76416

3.) Membuat Kurva hubungan KT-J

$$KT = \beta \times J^2$$

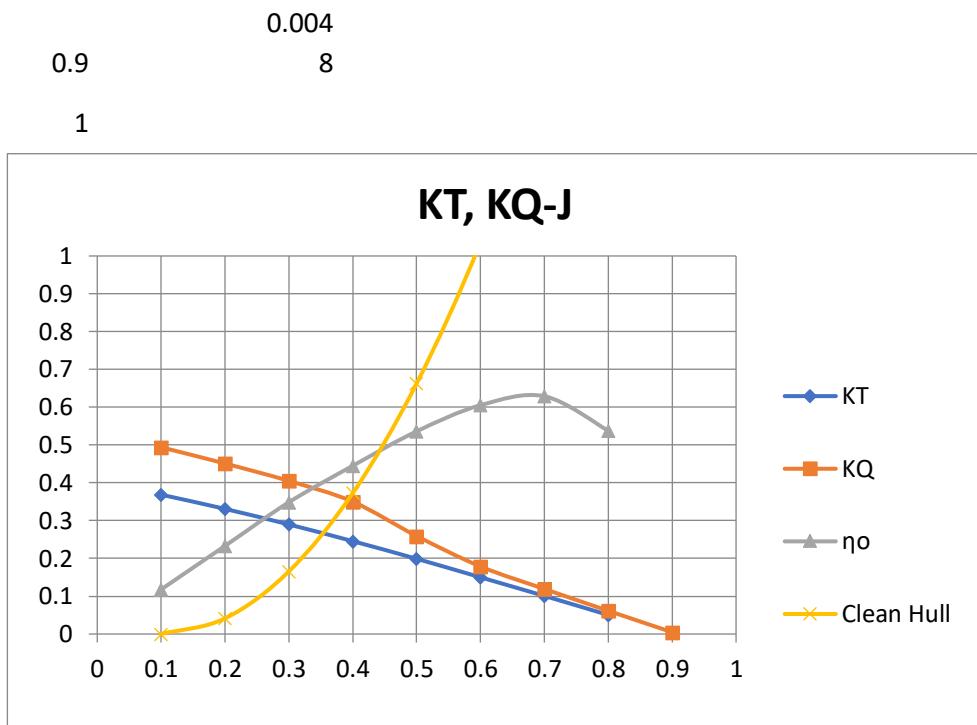
J	J^2	KT Trial pada saat Vs	KT Service pada saat Vs
0	0	12	12

0.1	0.01	0.041427549	0.047641681
0.2	0.04	0.165710194	0.190566723
0.3	0.09	0.372847937	0.428775127
0.4	0.16	0.662840776	0.762266892
0.5	0.25	1.035688713	1.191042019
0.6	0.36	1.491391746	1.715100508
0.7	0.49	2.029949877	2.334442358
0.8	0.64	2.651363104	3.04906757
0.9	0.81	3.355631429	3.858976143
1	1	4.14275485	4.764168078

Progressku disini

4.) Membuat Diagram KT-KQ-J

P/Db		0.861	
J	KT	10KQ	η_0
	0.36862		
0.1	5	0.494	0.118
	0.33101		
0.2	2	0.451	0.23315
0.3	0.2898	0.405	0.34856
0.4	0.2456	0.35	0.445
	0.259		
0.5	0.199	2	0.5361
	0.178		
0.6	0.15	6	0.6053
	0.119		
0.7	0.1008	2	0.629
	0.061		
0.8	0.0504	4	0.5375



Titik Potong Clean Hull

$$J = 0.3568$$

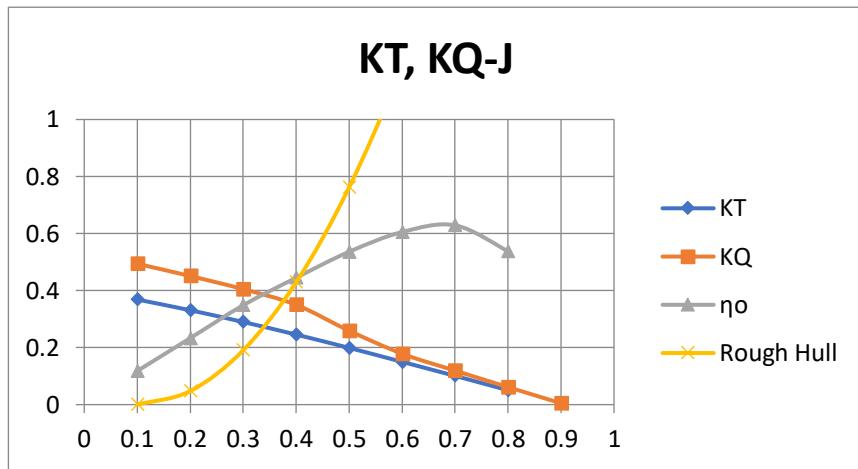
$$0.26469$$

$$KT = 4$$

$$KQ = 0.03778$$

$$0.40333$$

$$\eta_0 = 8$$



Titik Potong Rough Hull

$$J = 0.3368$$

$$0.27353$$

$$KT = 4$$

$$KQ = 0.03892$$

$$\eta_o = 0.38405$$

Clean Hull

Vs	J	Va(m/s)	Nprop (rpm)	Nprop (rps)	KT	T(kN)	10	Q(kN)	DHP(kW)	SHP(kW)	BHPm cr(kW)	η_b
							KQ	DHP(kW)				
12	0.35	233.6	3.894		0.264694	200	0.3	119.			3510.	
	4.37	44859	08099			77	564			2983.	11603	0.52
	68	0028	8	7	0.264694	200	8	4	2923.927	599	3	4

N Engine (rpm)	N Propeller (rps)	Q(kN)	DHP(kW)	SHP(kW)
23.36448598	0.2379065	11.9564	17.86355131	18.2281
46.72897196	0.475813	23.9128	71.45420524	72.9124

			8		5
		35.8693			
70.09345794	0.7137195	2	160.7719618	164.053	
		47.8257		291.649	
93.45794393	0.951626	6	285.816821	8	
		59.7821		455.702	
116.8224299	1.1895325	9	446.5887828	8	
		71.7386		656.212	
140.1869159	1.427439	3	643.0878472	1	
		83.6950		893.177	
163.5514019	1.6653455	7	875.3140142	6	
		95.6515		1166.59	
186.9158879	1.903252	1	1143.267284	9	
				1476.47	
210.2803738	2.1411585	107.608	1446.947656	7	
		114.781		1679.90	
221.9626168	2.2839024	8	1646.304889	3	
		119.564		1822.81	
233.6448598	2.379065	4	1786.355131	1	

BHPmcr(kW)	% RPM	Daya%
21.44483951	10.00%	0.97%
85.77935803	20.00%	3.86%
193.0035556	30.00%	8.69%
343.1174321	40.00%	15.46%
536.1209877	50.00%	24.15%
772.0142223	60.00%	34.78%
1050.797136	70.00%	47.33%
1372.469729	80.00%	61.82%

1737.032	90.00%	78.24%
1976.356409	96.00%	89.03%
2144.483951	100.00%	96.60%

Rough Hull

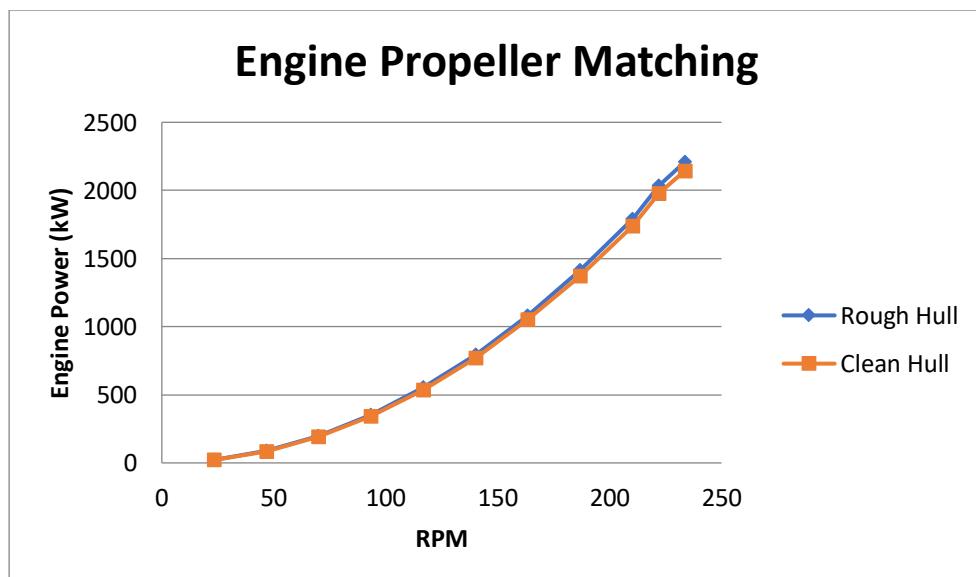
Vs	J	Va(m/s)	Nprop(rpm)	Nprop(rps)	KT
12	0.3368	4.370028	233.6448598	3.894080997	0.273534

T(kN)	10KQ	Q(kN)	DHP(kW)	SHP(kW)	BHPmcr(kW)	ηb
230.5	0.3892	123.172	3012.15	3073.62	3616.032716	0.38405

Rough Hull

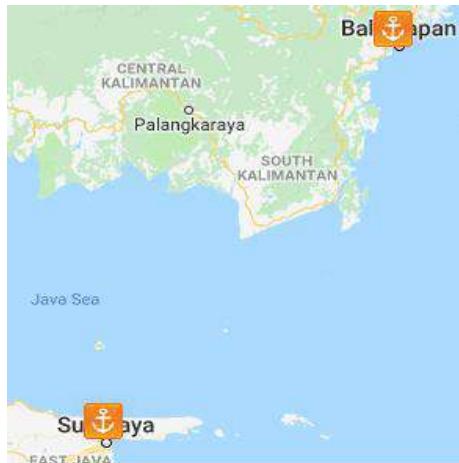
N Engine (rpm)	N Propeller (rps)	Q(kN)	DHP(kW)	SHP(kW)
23.36448598	0.2379065	12.31722	18.40257853	18.77814
46.72897196	0.475813	24.63444	73.61031413	75.11257
70.09345794	0.7137195	36.95166	165.6232068	169.0033
93.45794393	0.951626	49.26888	294.4412565	300.4503
116.8224299	1.1895325	61.5861	460.0644633	469.4535
140.1869159	1.427439	73.90333	662.4928272	676.0131
163.5514019	1.6653455	86.22055	901.7263481	920.1289
186.9158879	1.903252	98.53777	1177.765026	1201.801
210.2803738	2.1411585	110.855	1490.608861	1521.029
221.9626168	2.2839024	118.2453	1695.981638	1730.594
233.6448598	2.379065	123.1722	1840.257853	1877.814

BHPmcr(kW)	% RPM	Daya %
22.09193101	10.00%	1.00%
88.36772405	20.00%	3.98%
198.8273791	30.00%	8.96%
353.4708962	40.00%	15.92%
552.2982753	50.00%	24.88%
795.3095164	60.00%	35.82%
1082.50462	70.00%	48.76%
1413.883585	80.00%	63.69%
1789.446412	90.00%	80.61%
2035.992362	96.00%	91.71%
2209.193101	100.00%	99.51%



Perencanaan Volume Tangki LNG di kapal

Rute kapal: Surabaya - Balikpapan



Distance	481	nm
Speed	12	nautical miles per hour
Time	40	hours

I. Perhitungan Penggunaan Bahan Bakar Main Engine

Spek Engine

Power Engine: 2×1500 HP

SFOC
MDO: 197 g/kWh

SFOC Gas: 8222 kJ/kWh

Endurance: 80 jam

Perhitungan

a.) Berat Bahan Bakar MDO

$$W_{fo} = \frac{\text{Endurance} * \text{SFOC}}{\text{MDO}}$$

$$= 80 \times 197$$

$$= 15760 \text{ kg/l}$$

$$= 15.76 \text{ ton}$$

$$V_{fo} = W_{fo} * \rho_{MDO}$$

$$= 15.76 \times$$

Data Massa Jenis:

$\rho_{MDO} = 0.9 \text{ g/m}^3$

dikutip dari Warsila 20DF Project guide.

$\rho_{LNG} = 0.45 \text{ g/m}^3$

dikutip dari website PT. Badak NGL Bontang.

$$\begin{aligned} & 0.9 \\ = & 14.184 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat ditarik kesimpulan seperti ini:

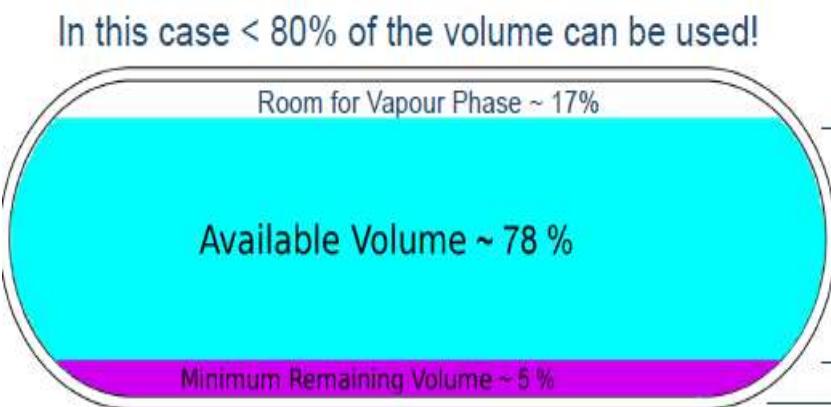
Volume bahan bakar total: 14.2 m^3

Maka,

$$\begin{aligned} 50\% \text{ untuk MDO=} & 7.1 \text{ m}^3 \\ 50\% \text{ untuk LNG=} & 7.1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Nilai dari Volume bahan bakar untuk LNG perlu dipertimbangkan kembali karena adanya safety parameter yang perlu diperhatikan.

Gambar dihalaman selanjutnya akan menjelaskan alasan mengapa tangki LNG perlu dirubah dengan alasan safety sebagai prioritas utama.



Gambar 1. Pengaturan tangki bahan bakar LNG yang diperbolehkan

Oleh karenanya, volume bahan bakar untuk LNG adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan bakar LNG=} & 50\% \text{ Vol. total} \times 1.3 \\ = & 7.1 \times 1.3 \end{aligned}$$

$$= \quad \quad \quad 9.23 \quad \text{m}^3$$

Perhitungan diatas ini adalah perhitungan untuk bahan bakar yang berlaku selama kapal melakukan satu kali endurance (80 jam). Untuk variasi yang dapat dilakukan terhadap volume bahan bakar sehingga menentukan volume tangki bahan bakar tersebut adalah dengan mengatur volume berdasarkan jumlah perjalanan/trayek yang dilakukan kapal tersebut.

Berikut adalah perhitungan bahan bakar yang diperlukan apabila kapal melakukan perjalanan 2x:

I.) Perhitungan volume bahan bakar untuk perjalanan 2 kali Endurance/trayek:

a.) Berat Bahan Bakar MDO

$$\begin{aligned} W_{fo} &= \frac{\text{Endurance} * \text{SFOC}}{\text{MDO}} \\ &= \frac{80 \times 197}{15760 \text{ kg/l}} \\ &= 15.76 \text{ ton} \\ &\quad \text{Karena melakukan perjalanan 2 kali tanpa pengisian} \\ V_{fo} &= W_{fo} * \rho_{\text{MDO}} \\ &= 15.76 \times 0.9 \\ &= 14.184 \text{ m}^3 \\ V_{tangki} &= 2 \times V_{fo} \\ &= 2 \times 14.184 \\ &= 28.368 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat ditarik kesimpulan seperti ini:

Volume bahan bakar total: 28.368 m^3

Maka,

$$\begin{aligned} 50\% \text{ untuk MDO} &= 14.184 \text{ m}^3 \\ 50\% \text{ untuk LNG} &= 14.184 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Oleh karenanya, volume bahan bakar untuk LNG adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan bakar LNG} &= 50\% \text{ Vol. total} \times 1.3 \\ &= 7.1 \times 1.3 \end{aligned}$$

$$= 18.4392 \text{ m}^3$$

Berikut adalah perhitungan bahan bakar yang diperlukan apabila kapal melakukan perjalanan 3x:

II.) Perhitungan volume bahan bakar untuk perjalanan 3 kali Endurance/trayek:

a.) Berat Bahan Bakar MDO

$$\begin{aligned} W_{fo} &= \frac{\text{Endurance} * \text{SFOC}}{\text{MDO}} \\ &= \frac{80 \times 197}{\text{MDO}} \end{aligned}$$

$$= 80 \times 197$$

$$= 15760 \text{ kg/l}$$

Karena melakukan perjalanan 3 kali tanpa pengisian

$$= 15.76 \text{ ton}$$

bahan bakar, maka volume bahan bakar akan menjadi:

$$V_{fo} = W_{fo} * \rho_{MDO}$$

$$V_{tangki} = 3 \times V_{fo}$$

$$= 15.76 \times$$

$$= 0.9$$

$$= 3 \times 14.184$$

$$= 14.184 \text{ m}^3$$

$$= 42.552 \text{ m}^3$$

Dari perhitungan diatas, dapat ditarik kesimpulan seperti ini:

$$\text{Volume bahan bakar total: } 42.552 \text{ m}^3$$

Maka,

$$50\% \text{ untuk MDO: } 21.276 \text{ m}^3$$

$$50\% \text{ untuk LNG: } 21.276 \text{ m}^3$$

Oleh karenanya, volume bahan bakar untuk LNG adalah sebagai berikut:

$$\text{Volume bahan bakar LNG: } 50\% \text{ Vol. total} \times 1.3$$

$$\begin{aligned} &= 21.276 \times \\ &= 1.3 \end{aligned}$$

$$= 27.6588 \text{ m}^3$$

Berikut adalah perhitungan bahan bakar yang diperlukan apabila kapal melakukan perjalanan

4x:

III.) Perhitungan volume bahan bakar untuk perjalanan 4 kali Endurance/trayek:

a.) Berat Bahan Bakar MDO

$$W_{fo} = \frac{\text{Endurance} * \text{SFOC}}{\text{MDO}}$$

$$= 80 \times 197$$

$$= 15760 \text{ kg/l}$$

$$= 15.76 \text{ ton}$$

Karena melakukan perjalanan 4 kali tanpa pengisian

bahan bakar, maka volume bahan bakar akan menjadi:

$$V_{fo} = W_{fo} * \rho_{MDO}$$

$$V_{tangki} = 4 \times V_{fo}$$

$$= 15.76 \times$$

$$= 0.9$$

$$= 14.184 \text{ m}^3$$

$$= 4 \times 14.184$$

$$= 56.736 \text{ m}^3$$

Dari perhitungan diatas, dapat ditarik kesimpulan seperti ini:

Volume bahan bakar total: 56.736 m^3

Maka,

$$50\% \text{ untuk MDO} = 28.368 \text{ m}^3$$

$$50\% \text{ untuk LNG} = 28.368 \text{ m}^3$$

Oleh karenanya, volume bahan bakar untuk LNG adalah sebagai berikut:

Volume bahan bakar LNG= $50\% \text{ Vol. total} \times 1.3$

$$\begin{aligned} &= 28.368 \times \\ &= 1.3 \\ &= 36.8784 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan bahan bakar yang diperlukan apabila kapal melakukan perjalanan 5x:

IV.) Perhitungan volume bahan bakar untuk perjalanan 5 kali Endurance/trayek:

a.) Berat Bahan Bakar MDO

$$\begin{aligned} & \text{Endurance * SFOC} \\ \text{Wfo=} & \text{ MDO} \\ = & 80 \times 197 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} = & 15760 \text{ kg/l} \\ = & 15.76 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vfo=} & \text{ Wfo * } \rho \text{ MDO} \\ & 15.76 \times \\ = & 0.9 \\ = & 14.184 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Karena melakukan perjalanan 5 kali tanpa pengisian bahan bakar, maka volume bahan bakar akan menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Vtangki=} & 5 \times \text{Vfo} \\ & = 5 \times 14.184 \\ & = 70.92 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat ditarik kesimpulan seperti ini:

$$\text{Volume bahan bakar total: } 70.92 \text{ m}^3$$

Maka,

$$\begin{aligned} 50\% \text{ untuk MDO=} & 35.46 \text{ m}^3 \\ 50\% \text{ untuk LNG=} & 35.46 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Oleh karenanya, volume bahan bakar untuk LNG adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan bakar LNG=} & 50\% \text{ Vol. total} \times 1.3 \\ & 35.46 \times \\ = & 1.3 \\ = & 46.098 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan bahan bakar yang diperlukan apabila kapal melakukan perjalanan 6x:

V.) Perhitungan volume bahan bakar untuk perjalanan 6 kali Endurance/trayek:

a.) Berat Bahan Bakar MDO

$$\begin{aligned} & \text{Endurance * SFOC} \\ \text{Wfo=} & \text{ MDO} \\ = & 80 \times 197 \\ = & 15760 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

Karena melakukan perjalanan 6 kali tanpa

$$\begin{aligned}
 & \text{pengisian} \\
 & \text{bahan bakar, maka volume bahan bakar akan} \\
 & \text{menjadi:} \\
 \text{Vfo} &= Wfo * \rho_{\text{MDO}} & V_{\text{tangki}} &= 6 \times V_{\text{fo}} \\
 &= 15.76 \text{ ton} & & \\
 & 15.76 \times & & \\
 &= 0.9 & & = 6 \times 14.184 \\
 &= 14.184 \text{ m}^3 & & = 85.104
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat ditarik kesimpulan seperti ini:

Volume bahan bakar total: 85.104 m^3

Maka,

$$\begin{aligned}
 50\% \text{ untuk MDO} &= 42.552 \text{ m}^3 \\
 50\% \text{ untuk LNG} &= 42.552 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Oleh karenanya, volume bahan bakar untuk LNG adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bahan bakar LNG} &= 50\% \text{ Vol. total} \times 1.3 \\
 &= 42.552 \times \\
 &= 1.3 \\
 &= 55.3176 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan-perhitungan diatas, berikut adalah hasil dari perhitungan masing-masing endurance:

No	Endurance	Total waktu (jam)	Volume MDO (m ³)	Volume LNG (m ³)
1	1x	80	7.1	9.23
2	2x	160	14.184	18.4392
3	3x	240	21.276	27.6588
4	4x	320	28.368	36.8784
5	5x	400	35.46	46.098
6	6x	480	42.552	55.3176

Dari tabel diatas, yang digunakan adalah tangki yang mampu bertahan selama 3x Endurance dengan berbagai pertimbangan. Sehingga, volume yang digunakan sebagai tangki dari masing-masing bahan bakar adalah sebagai berikut:

Tangki yang dibuat:

Bahan Bakar MDO =	60 m ³	(Sesuai dengan gambar GA)
Bahan Bakar Gas =	1 buah 40ft Container Carrier = 32 m ³	Wartsila LNGPac 40ft

LNG fuel tank container		20 ft	40 ft
Frame dimensions (external)			
Length	m	6058	12,192
Width	m	2438	2438
Height	m	2591	2591
Tank			
Geometrical volume (approx. room temp.)	m ³	20	40
LNG volume (80 % effective volume)	m ³	16	32

Other sizes on request.



Analisa Cost untuk operasional penggunaan bahan bakar Main Engine

II. Analisa Ekonomi Penggunaan Bahan Bakar Main Engine

Spek Engine

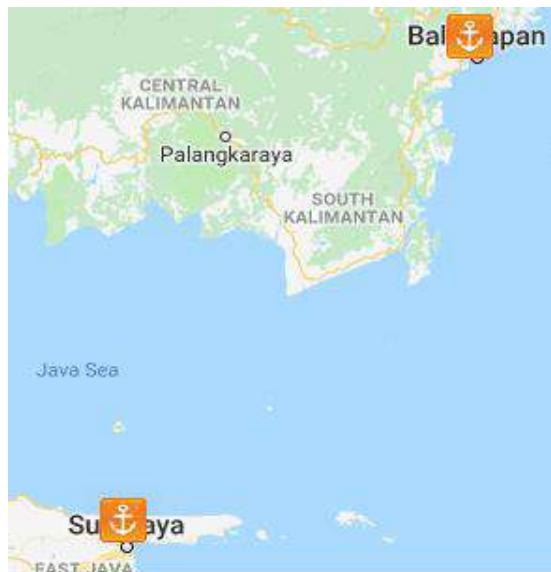
Power Engine: 2 x 1500 HP

SFOC MDO: 197 g/kWh

SFOC Gas: 8222 kJ/kWh = 5508.74 g/kWh

Endurance: 80 jam

Rute kapal: Surabaya -
 Balikpapan



Distance	481 nm
Speed	12 knots
Time	40 hours
Endurance	80 hours

Perhitungan

1x Endurance:

Fuel Consumption MDO 1x Endurance:

$$\begin{aligned}
 \text{FC MDO} &= \text{SFOC MDO} \times \text{BHP} \times \text{Hours} \\
 &= 197 \times 1500 \times 80 \\
 &= 23640000 \text{ gr} \\
 &= 23.64 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, LNG Consumption dapat dimodifikasi seperti ini:

Fuel Consumtion total: 23.64 ton

Maka,

50% untuk MDO= 11.82 ton

50% untuk LNG= 11.82 ton

40% untuk MDO= 9.456 ton

60% untuk LNG= 14.184 ton

30% untuk MDO= 7.092 ton

70% untuk LNG= 16.548 ton

20% untuk MDO= 4.728 ton

80% untuk LNG= 18.912 ton

Konversi LNG dari satuan ton ke mmBtu

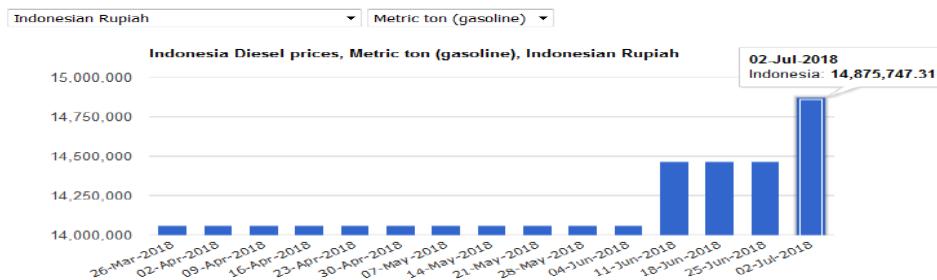
1 ton = 53.38 mmBtu

*Sumber dari Natural Gas Conversion Pocketbook

Harga MDO per satuan ton (dikutip pada tanggal 2 Juli 2018):

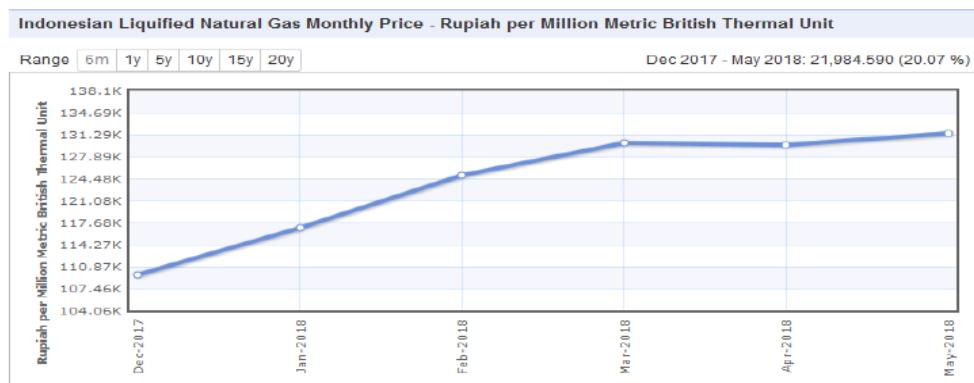
Indonesia Diesel prices, Metric ton (gasoline)

Diesel prices: We show prices for Indonesia from 26-Mar-2018 to 02-Jul-2018. The average value for Indonesia during that period was 14,197,523.81 Indonesian Rupiah with a minimum of 14,061,879.11 Indonesian Rupiah on 26-Mar-2018 and a maximum of 14,875,747.31 Indonesian Rupiah on 02-Jul-2018. For comparison, the average price of diesel in the world for this period is 20,372.29 Indonesian Rupiah.



Gambar 1. Harga MDO per satuan Metric Ton

Harga LNG per satuan mmBtu (dikutip pada tanggal 2 Juli 2018):



Description: Natural gas LNG (Japan), import price, cif, recent two months' averages are estimates.

Unit: Rupiah per Million Metric British Thermal Unit

Currency: Rupiah

Gambar 2. Harga LNG per satuan mmBtu

Jika dibuat dalam bentuk tabel, *Fuel Consumption endurance 1x* adalah:

No.	%MDO	%LNG	V. MDO (ton)	V. LNG (ton)
1	50	50	11.82	15.366

2	40	60	9.456	18.4392
3	30	70	7.092	21.5124
4	20	80	4.728	24.5856

V. LNG (mmBtu)	Harga MDO	Harga LNG
820.23708	IDR 175,831,333.20	IDR 107,688,926.23
984.284496	IDR 140,665,066.56	IDR 129,226,711.48
1148.331912	IDR 105,498,799.92	IDR 150,764,496.73
1312.379328	IDR 70,332,533.28	IDR 172,302,281.97

Jika harga MDO dan LNG ditotal, maka harga totalnya adalah:

No.	Harga MDO	Harga LNG	Harga total
1	IDR 175,831,333.20	IDR 107,688,926.23	IDR 283,520,259.44
2	IDR 140,665,066.56	IDR 129,226,711.48	IDR 269,891,778.04
3	IDR 105,498,799.92	IDR 150,764,496.73	IDR 256,263,296.65
4	IDR 70,332,533.28	IDR 172,302,281.97	IDR 242,634,815.25

Apabila hanya menggunakan *single fuel*, maka harganya adalah:

No.	%MDO	V. MDO (ton)	Harga MDO
1	100	23.64	IDR 351,662,666.41

Berikut adalah selisih harga bahan bakar untuk 1x Endurance kapal:

No.	Harga total	Harga MDO 100%	Selisih Harga
1	IDR 283,520,259.44	IDR 351,662,666.41	IDR 68,142,406.97
2	IDR 269,891,778.04	IDR 351,662,666.41	IDR 81,770,888.37
3	IDR 256,263,296.65	IDR 351,662,666.41	IDR 95,399,369.76

4	IDR 242,634,815.25	IDR 351,662,666.41	IDR 109,027,851.15
---	--------------------	--------------------	--------------------

Total waktu 1x Endurance: 80 jam 3.3333333 hari

Waktu bongkar muat: 2 jam (Balikpapan)

(50 kontainer/jam di 2 pelabuhan) 2 jam (Surabaya)

*Kedua pelabuhan mampu melakukan kecepatan bongkar muat 50 kontainer per jam.

1x Pelayaran efektif = 84 jam 3.5 hari

Jika pada tahun x ada *annual survey*, hari efektif: 361 hari

Jika pada tahun x ada *intermediate/special survey*, hari efektif:

345 hari

Jadi, jumlah total pelayaran efektif akan menjadi:

No.	Hari efektif (hari)	1x Pelayaran efektif	Total Pelayaran/tahun
1	361	3.5	103.1428571
2	345	3.5	98.57142857

*1 kondisi tahun x ada *annual survey*

*2 kondisi tahun x ada *intermediate/special survey*

* Kondisi ini tidak memperhitungkan adanya antrian masuk pelabuhan atau waktu pengisian bahan bakar beserta waktu hari merah/libur.

Asumsikan jika adanya kondisi-kondisi seperti waktu antrian masuk pelabuhan, waktu pengisian bahan bakar, serta adanya hari libur nasional yang memungkinkan untuk tidak melakukan pelayaran ditotal berkisar 45 hari, maka total pelayaran per tahun akan menjadi seperti ini:

No.	Hari efektif (hari)	1x Pelayaran efektif	Total Pelayaran/tahun
1	316	3.5	90

2	300	3.5	85
---	-----	-----	----

*1 kondisi tahun x ada *annual survey*.

*2 kondisi tahun x ada *intermediate/special survey*.

* Total pelayaran yang memiliki nilai desimal telah dibulatkan ke bawah.

Setelah mengetahui total pelayaran per tahunnya, maka dapat diketahui selisih harga biaya bahan bakar per tahun. Selisihnya adalah sebagai berikut:

Untuk total pelayaran jika tahun x ada *annual survey*:

No.	Selisih Harga	Total Pelayaran/tahun	Selisih Harga/tahun
1	IDR 68,142,406.97	90	IDR 6,132,816,627.39
2	IDR 81,770,888.37	90	IDR 7,359,379,952.87
3	IDR 95,399,369.76	90	IDR 8,585,943,278.35
4	IDR 109,027,851.15	90	IDR 9,812,506,603.82

Untuk total pelayaran jika tahun x ada *intermediate/special survey*:

No.	Selisih Harga	Total Pelayaran/tahun	Selisih Harga/tahun
1	IDR 68,142,406.97	85	IDR 5,792,104,592.54
2	IDR 81,770,888.37	85	IDR 6,950,525,511.04
3	IDR 95,399,369.76	85	IDR 8,108,946,429.55
4	IDR 109,027,851.15	85	IDR 9,267,367,348.06

*Kondisi no. 1 adalah pada saat MDO 50% dan LNG 50%

*Kondisi no. 2 adalah pada saat MDO 40% dan LNG 60%

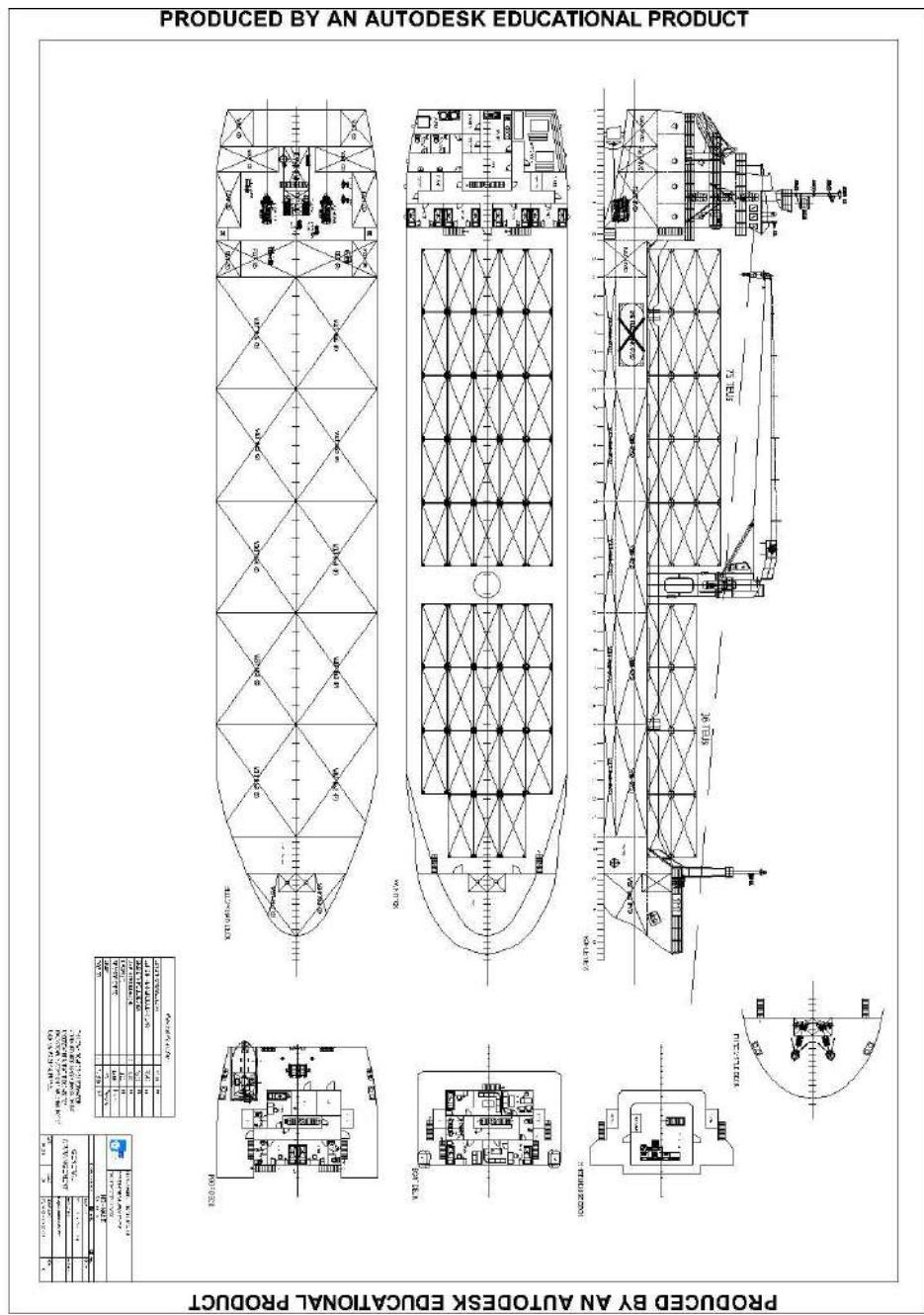
*Kondisi no. 3 adalah pada saat MDO 30% dan LNG 70%

*Kondisi no.4 adalah pada saat MDO 20% dan LNG 80%

*Kondisi ini berlaku untuk satu *main engine*.

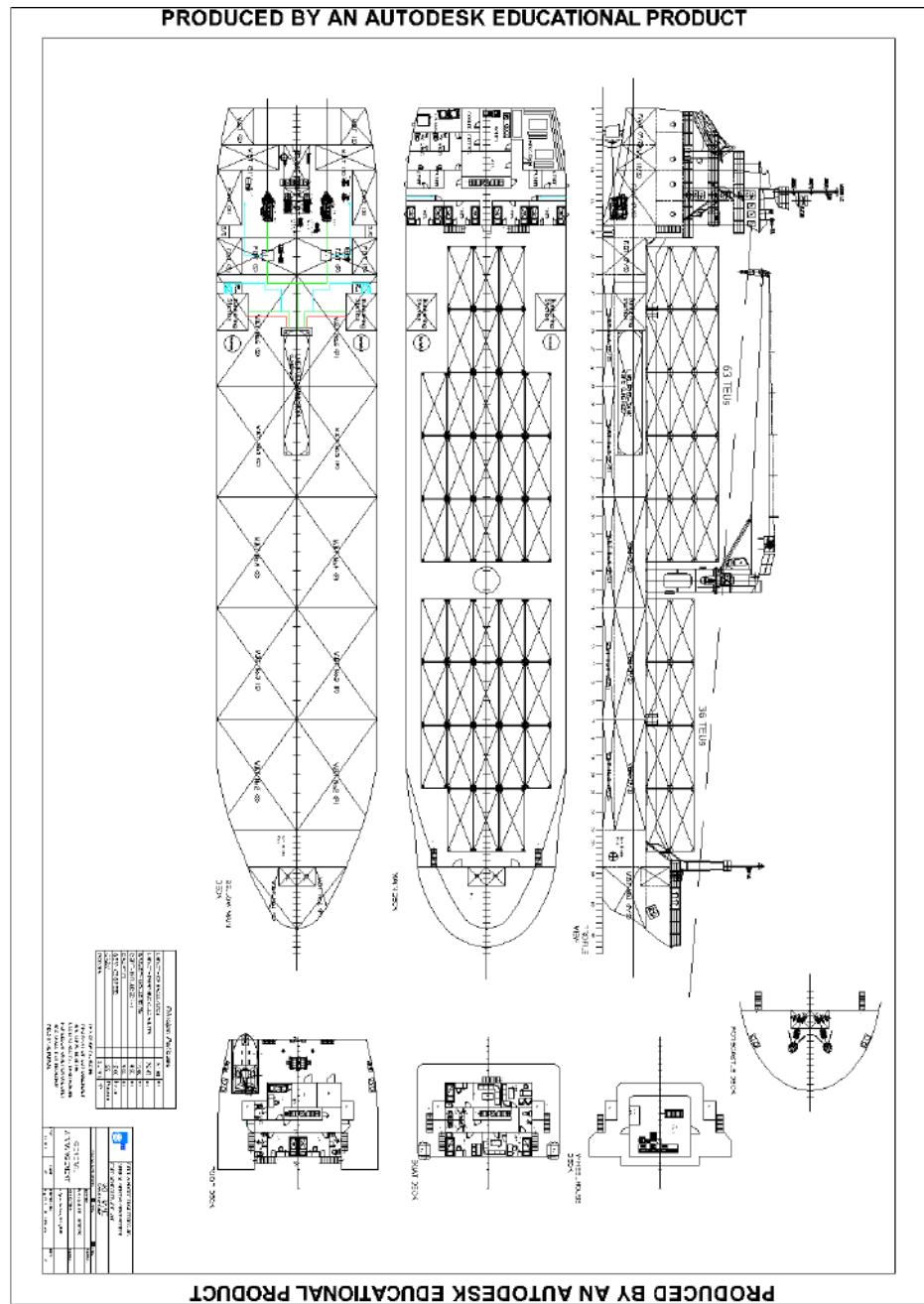
Jika dilihat dari total selisih harga per tahunnya, maka selisih milliar rupiah tentu perlu diperhatikan, terlebih jika menggunakan *dual fuel* berada dalam posisi yang menguntungkan dibandingkan dengan *single fuel*.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

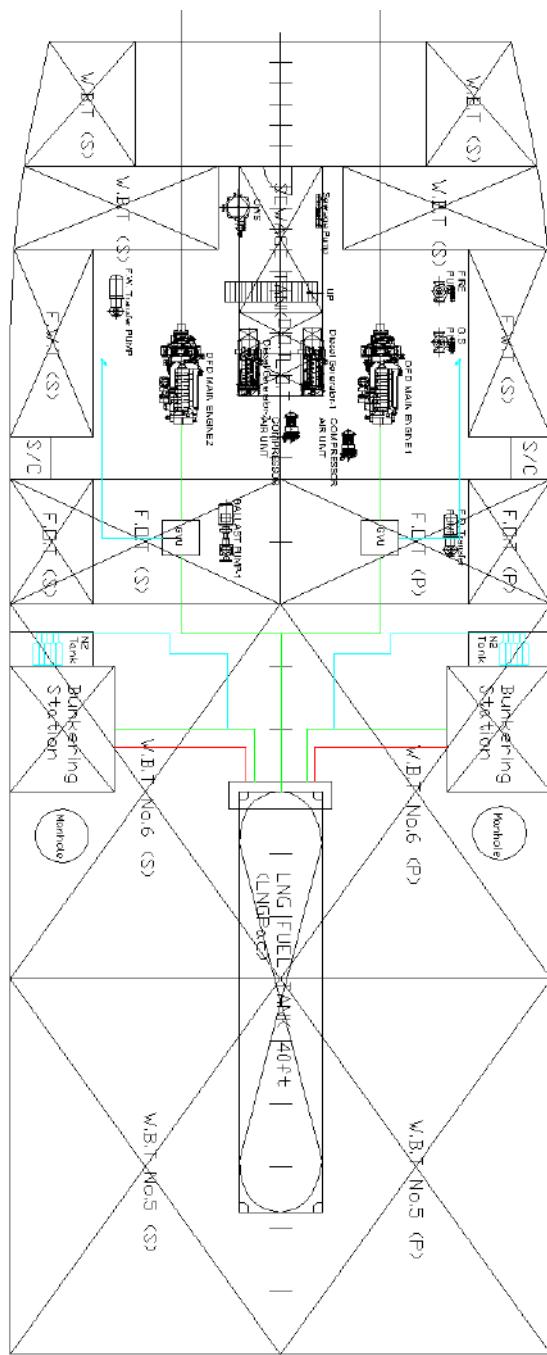


Gambar GA setelah modifikasi peletakan tangki LNG

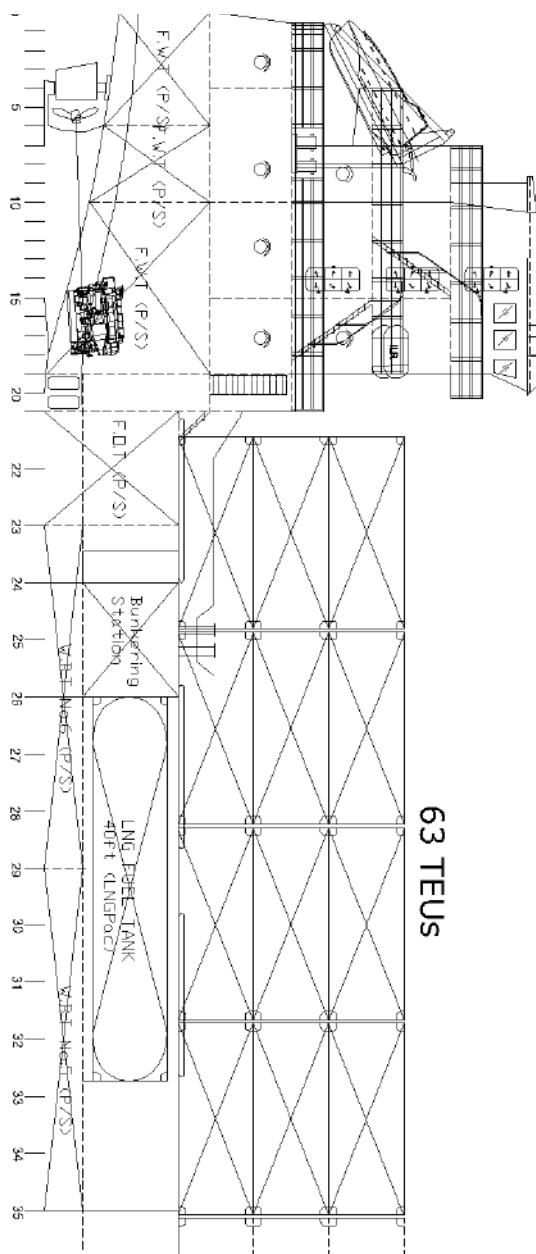
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

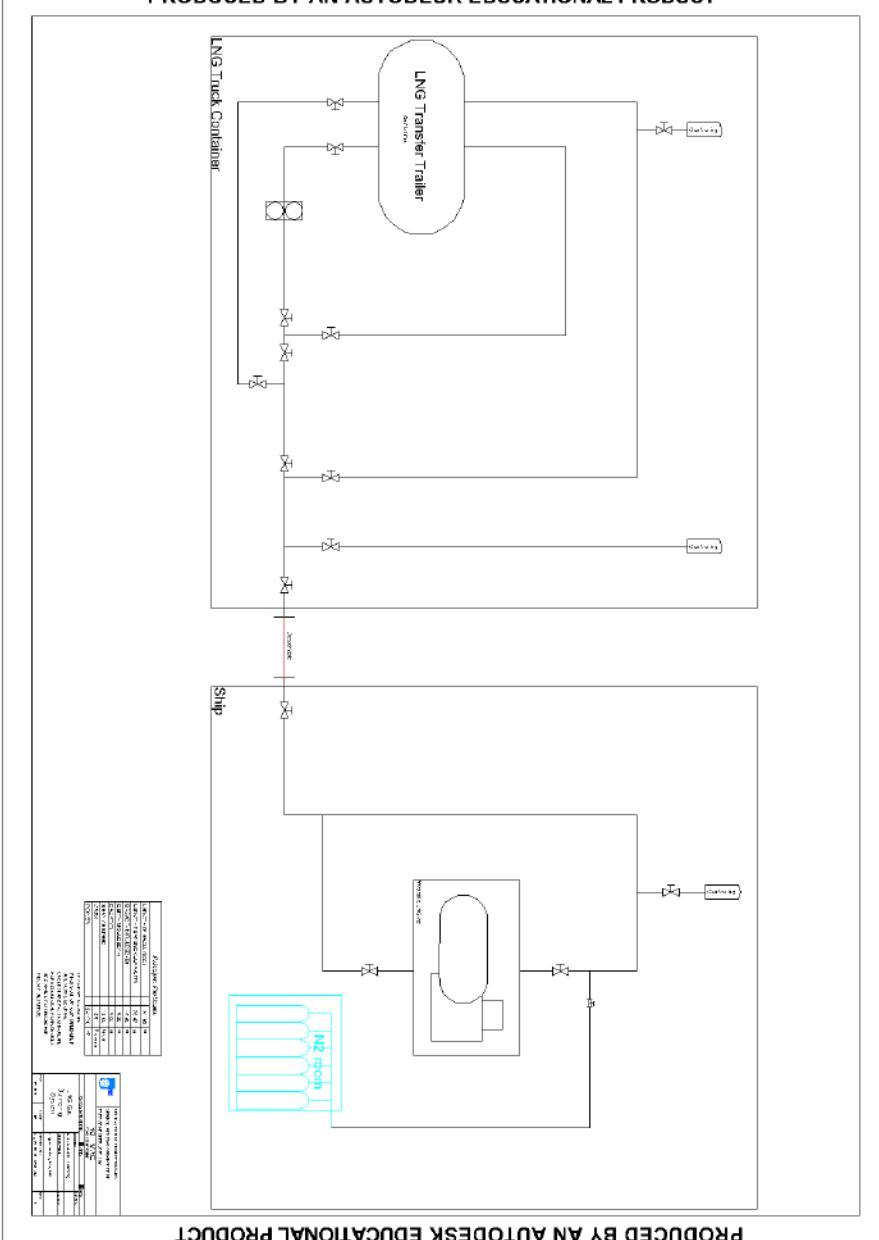


Gambar perpipaan beserta safety device pada sistem bahan bakar LNG (dilihat dari atas)



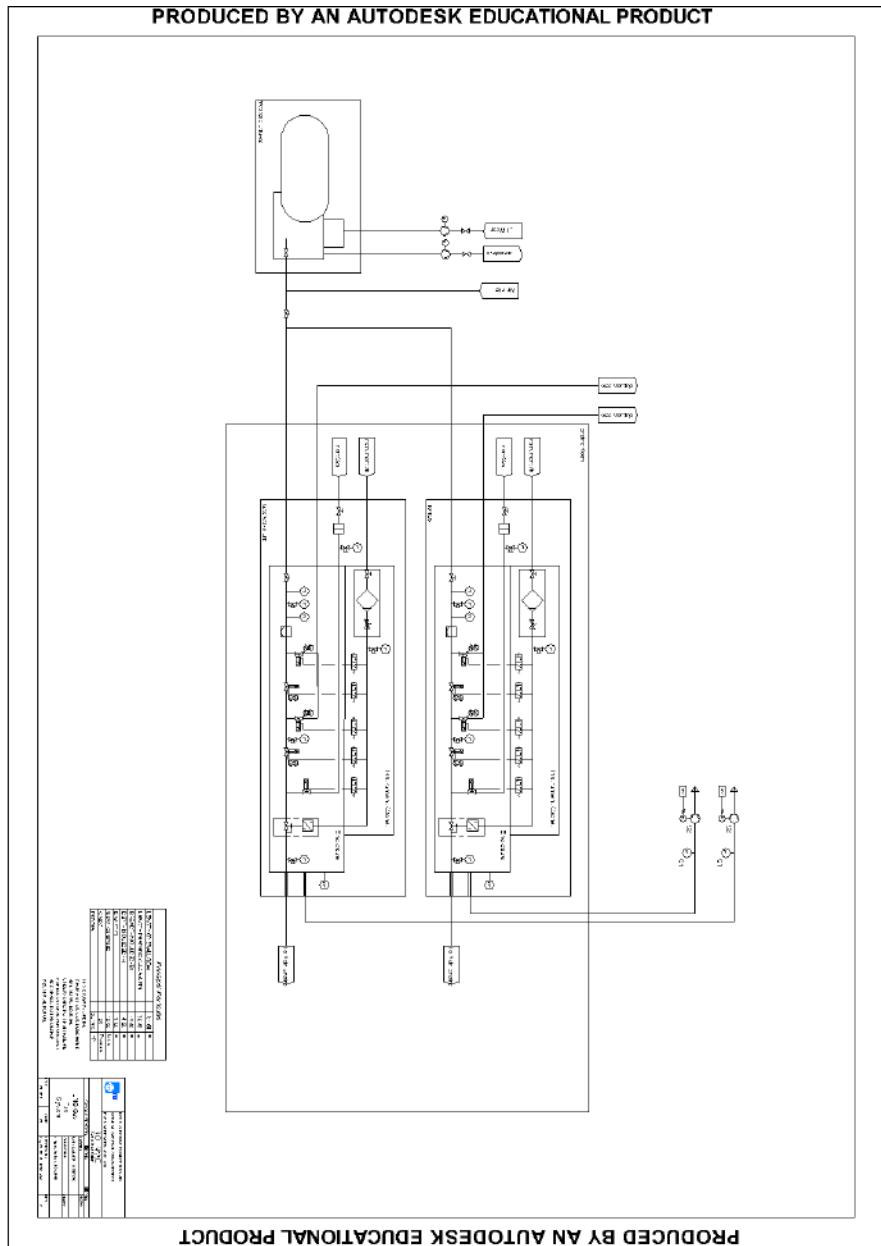
Gambar hasil modifikasi setelah ditambahkan bunkering station yang mengakibatkan pengurangan container demi peningkatan faktor safety

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Gambar Bunkering System dari onshore (truck) to ship

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Gambar Gas Valve Unit System yang menjadi safety device antara LNG Tank ke Main Engine

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 25 Mei 1996 dengan nama Kevin Garsia dan merupakan anak pertama dari pasangan Jonny, S.H. dan Liem Claudia. Penulis menempuh jenjang mulai dari SD Setia Budhi, Gresik (2002 – 2008), SMPK Angelus Custos, Surabaya, Jawa Timur (2009 – 2011) dan SMAK Frateran, Surabaya, Jawa Timur (2012 – 2014). Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menempuh masa studi, penulis aktif di berbagai forum terbuka beserta seminar-seminar. Diantaranya masuk kedalam forum Nasional Kongres Kemaritiman di Surabaya dan anggota dari Marine Machinery and System Laboratory DTSP ITS. Selain itu, penulis juga pada masa perkuliahan melakukan kerja praktik di dua tempat yaitu di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (Persero) dan PT. Biro Klasifikasi Indonesia Cabang Utama Surabaya.