



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**DESAIN HYBRID TUG BOAT UNTUK TERMINAL TELUK  
LAMONG**

**Misbahul Abror Wibisono**  
**NRP 0411164000008**

**Dosen Pembimbing**  
**Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2020**





---

**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**DESAIN HYBRID TUG BOAT UNTUK TERMINAL TELUK  
LAMONG**

**Misbahul Abror Wibisono  
NRP 0411164000008**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**





---

**FINAL PROJECT - MN 184802**

**DESIGN OF HYBRID TUG BOAT FOR TELUK LAMONG  
TERMINAL**

**Misbahul Abror Wibisono  
NRP 0411164000008**

**Supervisor  
Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2020**



## LEMBAR PENGESAHAN

### DESAIN HYBRID TUG BOAT UNTUK TERMINAL TELUK LAMONG

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MISBAHUL ABROR WIBISONO**

NRP 04111640000008

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP 19640210 198903 1 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 06 Agustus 2020





## **LEMBAR REVISI**

# **DESAIN HYBRID TUG BOAT UNTUK TERMINAL TELUK LAMONG**

### **TUGAS AKHIR**

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 23 Juli 2020

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MISBAHUL ABROR WIBISONO**  
NRP 04111640000008

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T. ....

2. Hasanudin, S.T., M.T. ....

3. Danu Utama, S.T., M.T. ....



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. ....

SURABAYA, 06 Agustus 2020



## **HALAMAN PERUNTUKAN**

Dipersembahkan kepada Ayahanda, Ibunda, serta kedua Adinda yang senantiasa mendukung  
dan mendoakan segala yang terbaik



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu selama masa pelaksanaan Tugas Akhir ini:

1. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T., Bapak Hasanudin, S.T., M.T., dan Bapak Danu Utama, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Hasanudin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuananya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Bapak Dony Setyawan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Wali selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
5. Kedua Orang Tua, kedua Adinda, serta keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini;
6. Keluarga Besar HIMATEKPAL FTK-ITS, yang telah memberikan arti lebih dari sekedar menuntut ilmu selama menjalani perkuliahan;
7. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini dan tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu;

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan untuk memperbaiki kesalahan yang ada kedepannya. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Agustus 2020

Misbahul Abror Wibisono



# **DESAIN HYBRID TUG BOAT UNTUK TERMINAL TELUK LAMONG**

Nama Mahasiswa : Misbahul Abror Wibisono  
NRP : 04111640000008  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRAK**

*Tugboat* adalah salah satu jenis kapal yang berfungsi untuk membantu menarik kapal besar di area pelabuhan. Dalam menjalankan kerjanya, *tugboat* beroperasi pada mode operasi yang berbeda-beda. Mode operasi kerja *tugboat* tersebut adalah sebagai berikut mode *standby*, mode *cruising*, dan mode *assisting*. Mode operasi *tugboat* yang berbeda-beda mengakibatkan konsumsi bahan bakar tidak optimal. Salah satu alternatif untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan sistem tenaga penggerak *hybrid* atau *hybrid propulsion system*. *Hybrid propulsion system* ini adalah konfigurasi permesinan dengan dua sistem tenaga penggerak dan juga dua sumber energi yang digunakan. Sistem tenaga penggerak *hybrid* bekerja dengan menyesuaikan jenis tenaga penggerak pada setiap mode operasi dari *tugboat* untuk mengoptimalkan kerja dan konsumsi bahan bakar. *Hybrid propulsion system* tersusun dari 2 mesin diesel dan 2 motor listrik. Motor listrik disuplai oleh generator dan juga baterai yang bersumber dari *charging port* di pelabuhan. Dengan menggunakan sistem tenaga penggerak *hybrid* dapat menghemat bahan bakar hingga 30% dari konfigurasi permesinan konvensional. Hasil dari Tugas Akhir ini berupa desain *hybrid tugboat* yang sesuai untuk kebutuhan di Terminal Teluk Lamong dengan *payload* 45 ton *Bollard Pull*, 6 orang kru, dengan ukuran utama kapal L: 29 m; B: 12 m; H: 5.1 m; T: 3.5; Vs: 11 Knot.

Kata kunci: *Tugboat*, *Hybrid propulsion system*, Konsumsi bahan bakar.



# **DESIGN OF HYBRID TUG BOAT FOR TELUK LAMONG TERMINAL**

Author : Misbahul Abror Wibisono  
Student Number : 04111640000008  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Tugboat is one of vessel types that has function to assist pull a big ship in port area. In that's work, tugboat has many differences mode of operation. Operation Mode of tugboat as standby mode, cruising mode, and assisting mode. Cause has differences in mode operation, makes not optimalization in fuel oil consumption. One alternative to overcome this is to use a hybrid propulsion system. Hybrid propulsion system is machining configuration with two propulsion system and two power sources. Hybrid propulsion system work in every mode of operation tugboat that give optimalization work and consumption fuel oil in propulsion system. Hybrid propulsion system consist of 2 diesel mechanical and 2 electric motor. Electric motor suplied by generator and battery power which sources form harbour charging port. Hybrid propulsion system give better economical fuel oil consumption until 30% than konvensional machinery. The result of this Final Project is a hybrid tugboat design which is suitable for Terminal Teluk Lamong needs with a payload of 45 ton bollard pull, 6 crew member, with the main size of the ship L: 29 m; B: 12 m; H: 5.1 m; T: 3.5 m; Vs: 11 Knots.

Keyword: Tugboat, Hybrid propulsion system, Fuel Oil Consumption.



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	v
LEMBAR REVISI.....	vii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
ABSTRAK .....	xiii
ABSTRACT .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL .....	xxiii
DAFTAR SIMBOL .....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat .....	4
1.6. Hipotesis .....	4
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Dasar Teori .....	5
2.1.1. Ukuran Utama Kapal .....	6
2.1.2. Koefisien Bentuk Kapal.....	7
2.1.3. Propulsi dan Daya Mesin Kapal .....	8
2.1.4. Berat Kapal.....	9
2.1.5. Perhitungan Stabilitas .....	11
2.1.6. Perhitungan <i>Trim</i> .....	12
2.2. Tinjauan Pustaka.....	13
2.2.1. Sistem Propulsi <i>Hybrid</i> .....	13
2.2.2. Karakteristik Kapal Jenis <i>Tugboat</i> .....	14
2.2.3. Mode Operasi <i>Tugboat</i> Pelabuhan ( <i>Harbour Tug</i> ).....	16
2.2.4. Bollard Pull.....	17
2.2.5. Karakteristik Motor Listrik.....	18
2.2.6. Desain <i>Hybrid Tugboat</i> .....	21

2.2.7. <i>Lithium-Ion Battery</i> .....	22
2.2.8. Analisis Ekonomis .....	24
2.2.9. Terminal Teluk Lamong .....	25
BAB 3 METODOLOGI.....	27
3.1. Diagram Alir.....	27
3.2. Proses Pengerjaan.....	27
3.2.1. Identifikasi Masalah dan Tujuan.....	27
3.2.2. Studi Literatur .....	27
3.2.3. Pengumpulan Data .....	28
3.2.4. Mendesain <i>Hybrid Tugboat</i> .....	29
3.2.5. Pengujian dan Analisis Desain <i>Hybrid Tugboat</i> .....	29
3.2.6. Kesimpulan dan Saran .....	30
BAB 4 ANALISIS TEKNIS .....	31
4.1. Umum.....	31
4.2. Misi dan Penentuan <i>Payload</i> .....	31
4.2.1. <i>Mission Statement</i> .....	31
4.2.2. Terminal Teluk Lamong .....	32
4.2.3. Peraturan Penundaan Kapal .....	33
4.2.4. Kebutuhan Daya <i>Bollard Pull</i> .....	34
4.3. Ukuran Utama <i>Hybrid Tugboat</i> .....	34
4.3.1. Ukuran Utama Awal .....	34
4.3.2. Perhitungan Koefisien Kapal .....	35
4.3.3. Pengecekan Rasio Ukuran Utama.....	36
4.4. Perhitungan Hambatan Kapal.....	36
4.4.1. Perhitungan Tahanan Gelombang .....	36
4.4.2. Perhitungan Koefisien ( $1 + k$ ).....	38
4.4.3. Perhitungan Koefisien Gesek .....	40
4.4.4. Perhitungan <i>Model-Ship Correlation Allowance</i> .....	41
4.4.5. Perhitungan Hambatan Total .....	41
4.5. Perhitungan Kebutuhan Daya Penggerak .....	41
4.5.1. Perhitungan Daya Saat <i>Bollard Pull Test</i> .....	41
4.5.2. Perhitungan Daya Saat Mode <i>Cruising</i> .....	43
4.5.3. Perhitungan Daya Saat Mode <i>Standby</i> .....	45
4.6. Perhitungan Kebutuhan Daya Listrik .....	45
4.6.1. Kebutuhan Daya Listrik <i>Equipment</i> .....	45
4.6.2. Kebutuhan Daya Motor Listrik .....	46

4.6.3. Perhitungan Kapasitas dan Daya Tahan Baterai.....	47
4.7. Konfigurasi <i>Hybrid Propulsion System</i> .....	49
4.7.1. Komponen Pendukung <i>Hybrid Propulsion System</i> .....	49
4.7.2. Desain Konfigurasi <i>Hybrid Propulsion System</i> .....	51
4.8. Perhitungan Berat Kapal.....	54
4.8.1. Perhitungan Berat DWT .....	54
4.8.2. Perhitungan Berat LWT.....	55
4.8.3. Berat Total Kapal.....	56
4.8.4. Pemeriksaan Displacement.....	56
4.9. Perhitungan <i>Trim</i> .....	57
4.10. Perhitungan Stabilitas.....	58
4.11. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar .....	60
4.11.1. Konsumsi Bahan Bakar <i>Tugboat</i> Konvensional .....	60
4.11.2. Konsumsi Bahan Bakar <i>Hybrid Tugboat</i> .....	63
BAB 5 DESAIN <i>HYBRID TUGBOAT</i> .....	65
5.1. Umum .....	65
5.2. Pembuatan Desain Rencana Garis ( <i>Lines Plan</i> ) .....	65
5.3. Pembuatan Desain Rencana Umum ( <i>General Arrangement</i> ).....	67
5.4. Pembuatan Desain Model 3 Dimensi ( <i>3D Modelling</i> ).....	68
BAB 6 ANALISIS EKONOMI.....	71
6.1. Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal ( <i>Building Cost</i> ).....	71
6.2. Koreksi Biaya Pembangunan.....	72
6.3. Biaya Operasional .....	72
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN .....	75
7.1. Kesimpulan .....	75
7.2. Saran .....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	77
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS DESAIN <i>HYBRID TUGBOAT</i>	
LAMPIRAN B SPESIFIKASI PERMESIN DAN EQUIPMENT <i>HYBRID TUGBOAT</i>	
LAMPIRAN C DESAIN <i>LINES PLAN HYBRID TUGBOAT</i>	
LAMPIRAN D DESAIN <i>GENERAL ARRANGEMENT HYBRID TUGBOAT</i>	
BIODATA PENULIS	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain Spiral yang Menggambarkan Proses SBSD .....	5
Gambar 2.2 Contoh Ilustrasi Analisis Fungsional.....	6
Gambar 2.3 Kondisi Stabilitas Positif .....	11
Gambar 2.4 Kondisi Stabilitas Netral.....	12
Gambar 2.5 Kondisi Stabilitas Negatif.....	12
Gambar 2.6 Sistem propulsi <i>tugboat</i> konvensional (a) dan <i>hybrid tugboat</i> (b) .....	13
Gambar 2.7 <i>Tugboat</i> Dengan Tipe <i>Azimuth Thrusters Propulsion with Kort-Nozzle</i> .....	16
Gambar 2.8 Ilustrasi <i>Bollard Pull Test</i> Pada <i>Tugboat</i> .....	17
Gambar 2.9 Bagian Motor Listrik 3 Fasa .....	18
Gambar 2.11 Klasifikasi Motor Listrik .....	20
Gambar 2.10 Prinsip Dasar Kerja Motor Listrik .....	20
Gambar 2.12 <i>Layout Awal Sistem Propulsi Hybrid Tugboat</i> .....	21
Gambar 2.13 Proses <i>Electrochemical</i> dalam Baterai <i>Lithium-Ion</i> .....	22
Gambar 2.14 <i>Lithium-Ion Battery</i> .....	23
Gambar 2.15 Peta Lokasi Terminal Teluk Lamong .....	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penggeraan Tugas Akhir .....	27
Gambar 4.1 Caterpillar <i>Diesel Engine</i> 3512C TIER 3 2300 HP .....	43
Gambar 4.2 Motor Listrik ABB M3BP 355LKA .....	45
Gambar 4.3 Caterpillar C 4.4 Marine Generator set 123 kVA.....	46
Gambar 4.4 MTU 16V 2000 M51B 770 kW .....	47
Gambar 4.5 Valence U 27-36XP <i>Battery</i> .....	48
Gambar 4.6 <i>Variable Speed Drive</i> (VSD) .....	50
Gambar 4.7 <i>Azimuth Propeller</i> yang Terintegrasi Dengan Motor Listrik.....	51
Gambar 4.8 Konfigurasi <i>Hybrid Propulsion System</i> .....	52
Gambar 4.9 Grafik SFOC Catterpillar 3512C TIER 3 .....	61
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar .....	64
Gambar 5.1 Mengubah <i>Main Dimension</i> Desain Menggunakan <i>Parametric Transformation</i>	65
Gambar 5.2 <i>Hydrostatic Properties</i> Desain <i>Tugboat</i> .....	66
Gambar 5.3 Desain Rencana Garis ( <i>Lines Plan</i> ) <i>Hybrid Tugboat</i> .....	66
Gambar 5.4 Desain Rencana Umum ( <i>General Arrangement</i> ) <i>Hybrid Tugboat</i> .....	67
Gambar 5.5 Model 3D <i>Hybrid Tugboat</i> Tampak Depan.....	68
Gambar 5.6 Model 3D <i>Hybrid Tugboat</i> Tampak Belakang .....	69



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Baterai Lithium-Ion Dengan Jenis Lain .....	23
Tabel 4.1 Statistik Terminal Teluk Lamong.....	32
Tabel 4.2 Kapal yang Berlabuh di Terminal Teluk Lamong.....	32
Tabel 4.3 Kebutuhan Daya Saat Mode <i>Cruising</i> .....	44
Tabel 4.4 Kebutuhan Daya <i>Equipment</i> Pada Tiap Mode Operasi.....	46
Tabel 4.5 Daya Tahan Baterai Pada Setiap Kecepatan Kapal.....	48
Tabel 4.6 Konfigurasi Permesinan <i>Hybrid</i> Pada <i>Tugboat</i> .....	53
Tabel 4.7 Perhitungan Komponen DWT .....	54
Tabel 4.8 Perhitungan Komponen LWT .....	55
Tabel 4.9 <i>Hybrid Tugboat Room Definition</i> dan <i>Loadcase</i> .....	58
Tabel 4.10 Hasil Uji Stabilitas Kapal Berdasarkan IS Code 2008 .....	59
Tabel 4.11 Hasil Uji Stabilitas Kapal Saat Melakukan <i>Towing 45 Ton Bollard Pull</i> .....	60
Tabel 4.12 SFOC Catterpillar 3512C TIER 3 .....	61
Tabel 4.13 Konsumsi Bahan Bakar Mesin Utama <i>Tugboat</i> Konvensional.....	62
Tabel 4.14 Konsumsi Bahan Bakar Mesin <i>Service Genset Tugboat</i> Konvensional.....	62
Tabel 4.15 Total Konsumsi Bahan Bakar <i>Tugboat</i> Konvensional .....	62
Tabel 4.16 Konsumsi Bahan Bakar <i>Propulsion Genset Hybrid Tugboat</i> .....	63
Tabel 4.17 Total Konsumsi Bahan Bakar <i>Hybrid Tugboat</i> .....	63
Tabel 6.1 Biaya Komponen Pembangunan <i>Hybrid Tugboat</i> .....	71
Tabel 6.2 Koreksi Biaya Pembangunan <i>Hybrid Tugboat</i> .....	72
Tabel 6.3 Perbandingan Biaya Operasional .....	73



## DAFTAR SIMBOL

Lpp	= panjang kapal dari titik AP ke FP
Lwl	= panjang kapal sesuai dengan garis air
Loa	= panjang kapal secara keseluruhan
B	= lebar kapal tanpa kulit
H	= tinggi kapal tanpa kulit
T	= sarat kapal
LCB	= letak memanjang titik gaya apung
LCG	= letak memanjang titik gaya berat
Cb	= koefisien blok kapal
Cm	= koefisien midship
Cwp	= <i>waterplane coefficient</i>
Cp	= <i>prismatic coefficient</i>
$\nabla$	= <i>volume displacement</i>
$\Delta$	= <i>displacement</i>
Vs	= kecepatan dinas (m/s)
Fn	= <i>Froude Number</i>
$\rho$	= <i>mass density salt water</i> (1025 kg/m <sup>3</sup> )
Cf	= <i>friction coefficient</i> (ITTC 1957)
Rn	= <i>Reynold Number</i>
EHP	= <i>Effective Horse Power</i>
THP	= <i>Thrust Horse Power</i>
DHP	= <i>Delivery Horse Power</i>
SHP	= <i>Shaft Horse Power</i>
BHP	= <i>Break Horse Power</i>
MCR	= <i>Maximum Continous Rating</i>
1 + k	= <i>form factor of vessel</i>
Rt	= <i>total resistance of vessel</i>
Ta	= <i>moulded draft at AP</i> [m]
Tf	= <i>moulded draft at FP</i> [m]
$\eta_h$	= <i>hull efficiency</i>
$\eta_o$	= <i>open water efficiency</i>
$\eta_r$	= <i>relative rotative efficiency</i>
$\eta_s$	= <i>seal efficiency</i>
$\eta_b$	= <i>line shaft bearing efficiency</i>
$\eta_t$	= <i>electrical transmission efficiency</i>
C <sub>Cr&amp;E</sub>	= <i>crew coefficient</i>
W <sub>Cr&amp;E</sub>	= berat kru
V <sub>FW</sub>	= total volume air tawar
W <sub>FW</sub>	= total berat air tawar
V <sub>FO</sub>	= total volume bahan bakar
W <sub>FO</sub>	= total berat bahan bakar
V <sub>LO</sub>	= total volume minyak lumas
W <sub>LO</sub>	= total berat minyak lumas

$W_{PR}$	= total berat <i>provision &amp; store</i>
LWT	= <i>Light Weight Tonnages</i>
DWT	= <i>Dead Weight Tonnages</i>
KG	= titik gravitasi kapal
$\rho_{FW}$	= berat jenis air tawar
KB	= tinggi titik apung
GM	= tinggi metasenter
GZ	= lengan stabilitas kapal
S	= Luas Permukaan basah (m <sup>2</sup> )
k	= koefisien bentuk tonjolan lambung
C <sub>A</sub>	= koefisien koreksi model kapal
R <sub>W</sub>	= Tahanan gelombang ( kN )
W	= berat displacement ( kN )

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam kondisi krisis energi sekarang ini negara-negara di dunia berlomba untuk mencari dan memanfaatkan sumber energi alternatif atau sistem yang lebih hemat energi untuk menjaga keamanan ketersediaan sumber energinya. Krisis energi ini dikarenakan beberapa sebab diantaranya semakin berkurangnya sumber daya alam terutama minyak bumi dan makin bertambahnya jumlah sarana industri yang membutuhkan pasokan energi dari sumber daya alam tadi. Sementara minyak bumi makin menipis tetapi jumlah produksi makin meningkat membuat harga minyak bumi makin mahal. Kondisi ini berdampak pula dalam bidang perkapalan karena konsumsi bahan bakar fosil yang cukup besar terutama sebagai bahan bakar untuk penggerak kapal (Ardiwijaya, 2015). Dalam kasus ini penulis mengambil kasus kapal jenis *tugboat* yang di pasar produsen kapal saat ini memiliki persaingan ketat dalam membuat kapal *tugboat* yang hemat bahan bakar serta ramah lingkungan.

*Harbour tug* atau kapal jenis *tugboat* adalah kapal yang beroperasi di pelabuhan yang bertugas untuk membantu kapal-kapal yang akan berlabuh ke dermaga untuk melaksanakan kegiatan bongkar muat. Mode operasi dari *tugboat* terdiri dari *standby*, *assisting/towing*, *cruising* atau *free running / free sailing*, dan *fire fighting mode*. Dalam setiap mode operasinya *tugboat* tersebut memerlukan daya yang berbeda. Dalam kondisi *assisting* atau *towing*, daya yang diperlukan adalah 100% dari daya seluruh mesin karena kondisi ini sedang menarik kapal. Sedangkan dalam kondisi *cruising* atau keadaan *free running* untuk berpindah tempat *tugboat* menggunakan daya rendah dan konstan yaitu sekitar 10-30% dari daya total mesin penggerak utama karena tidak diperlukannya kecepatan yang tinggi di pelabuhan. Dan dalam kondisi *standby* serta *fire fighting mode* *tugboat* menggunakan daya 10-20% yang hanya digunakan untuk menjaga posisi dari *tugboat* tersebut. Dalam waktu satu bulan kerja operasi *tugboat* tidak selalu dalam kondisi 100 % daya mesin utama. (Ardiwijaya, 2015)

Karakteristik dari mesin adalah jika mesin sering bekerja pada daya kurang dari 75% daya keseluruhan, *Time Between Overhaul* (TBO) akan semakin cepat. Semakin cepat dan pendeknya TBO dari suatu mesin akan merugikan dari pemilik kapal karena akan mengurangi operasional dari kapal serta konsumsi bahan bakar kapal akan meningkat. (Ardiwijaya, 2015)

Dari siklus operasional pada setiap mode operasional *tugboat* tersebut, perlu di desain sebuah sistem propulsi yang menghasilkan kerja kapal pada kondisi yang optimal. Konfigurasi propulsi yang umum pada *tugboat* adalah menggunakan mesin diesel untuk menggerakan *propeller*. Konfigurasi ini memiliki kelemahan yaitu pada pemakaian dari daya mesin yang bekerja pada mode operasi *standby* dan *cruising* atau saat mode *fire fighting* karena dalam mode operasi tersebut *tugboat* bekerja pada 10 - 30% daya. Desain alternatif yang bisa digunakan untuk saat ini adalah *hybrid propulsion system*. (Ardiwijaya, 2015)

Dengan sistem propulsi *hybrid* ini, dimungkinkan untuk mengurangi inefisiensi dalam penggunaan energi dengan memilih dari sumber daya dengan karakteristik yang berbeda, seperti mesin utama, baterai lithium-ion, atau generator diesel dan motor. Operator kapal tinggal memilih sumber daya tenaga penggerak yang optimal untuk mode operasi dari *tugboat*. Dalam kondisi *hybrid* ini, mode operasi *cruising* dan *standby* pada kapal akan menggunakan sistem propulsi lain dari mesin diesel yaitu motor listrik dengan sumber daya dari generator ataupun baterai karena tidak membutuhkan daya yang besar. Sedangkan saat *tugboat* bekerja pada kondisi assisting, maka *tugboat* membutuhkan kinerja daya yang besar dan menggunakan daya yang berasal dari mesin penggerak utama. Sehingga daya yang digunakan pada setiap mode operasi *tugboat* akan lebih optimal dalam kondisi kerjanya. (Shiraishi, 2015)

Dari penelitian sebelumnya didapatkan bahwa dengan menggunakan sistem propulsi *hybrid* ini dapat mengurangi penggunaan bahan bakar sampai 30% dibandingkan kapal *tugboat* konvensional. Sistem propulsi *hybrid* ini juga diketahui mengurangi emisi gas berbahaya yang dihasilkan yaitu sampai 40% pada penurunan gas Nox, HC, CO dan penurunan 30% dari gas PM, CO<sub>2</sub>, serta Sox dibandingkan kapal biasa (Damen, 2019). Hal ini tentu sangat mendukung dalam pengembangan teknologi ramah lingkungan.

Oleh karena sebab di atas, pada Tugas Akhir ini akan dibuat desain konsep *tugboat* dengan menggunakan sistem propulsi *hybrid*. Desain *hybrid tugboat* ditujukan untuk penggunaan di Terminal Teluk Lamong yang merupakan pelabuhan dengan konsep ramah lingkungan sehingga membutuhkan banyak teknologi ramah lingkungan dan hemat energi seperti *hybrid tugboat* ini.

## 1.2 Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana menentukan *operational requirement* dari *hybrid tugboat* untuk penggunaan di Terminal Teluk Lamong?
2. Bagaimana menentukan ukuran utama *hybrid tugboat* yang sesuai berdasarkan *operational requirement* dari *hybrid tugboat* di Terminal Teluk Lamong?
3. Bagaimana menentukan desain dari *hybrid tugboat* yang sesuai dengan karakteristik Terminal Teluk Lamong, meliputi rencana garis dan rencana umum.
4. Bagaimana mendesain sistem propulsi dari *hybrid tugboat* yang efisien dan hemat bahan bakar?
5. Bagaimana menentukan kapasitas *battery* dari *hybrid tugboat*?
6. Bagaimana performa dari *hybrid tugboat* yang meliputi *Fuel Oil Consumption* (FOC), *bollard pull*, *speed ahead main engines*, *speed ahead generator*, dan *speed ahead batteries*?

### 1.3. Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan *operational requirement* dari *hybrid tugboat* untuk penggunaan di Terminal Teluk Lamong
2. Menentukan ukuran utama *hybrid tugboat* yang sesuai berdasarkan *operational requirement* dari *hybrid tugboat* di Terminal Teluk Lamong.
3. Menentukan desain dari *hybrid tugboat* yang sesuai dengan karakteristik Terminal Teluk Lamong, meliputi rencana garis dan rencana umum.
4. Memperoleh desain sistem propulsi dari *hybrid tugboat* yang efisien dan hemat bahan bakar.
5. Menentukan kebutuhan kapasitas *battery* dari *hybrid tugboat*.
6. Mendapatkan perhitungan performance dari *hybrid tugboat* yang meliputi *Fuel Oil Consumption* (FOC), *bollard pull*, *speed ahead main engines*, *speed ahead generator*, dan *speed ahead batteries*.

### 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Desain *hybrid tugboat* untuk Terminal Teluk Lamong hanya sebatas *concept design*.
2. Desain sistem propulsi hanya penentuan jenis dan kapasitas dari setiap sumber daya propulsi dari sheet atau katalog yang sudah ada.

3. Detail *layout* sistem propulsi didapat dari *parent ship* atau penelitian yang sudah ada.
4. Kapal hanya beroperasi di perairan dermaga atau Terminal Teluk Lamong.
5. Pembuatan desain dibatasi oleh penggunaan *software Maxsurf, CAD* dan *Microsoft Excel*.
6. Perhitungan dalam perencanaan *hybrid tugboat* ini meliputi ukuran utama, hambatan, stabilitas, kapasitas *bollard pull*, kecepatan pada setiap jenis sumber daya propulsi, serta analisis penggunaan bahan bakar atau *fuel oil consumption* (FOC) menggunakan pemodelan matematika.

### **1.5. Manfaat**

Dari penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Secara akademis, dapat menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.
2. Dari hasil penelitian ini didapatkan suatu desain *hybrid tugboat* yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam pengembangan fasilitas di pelabuhan ataupun galangan khususnya di Terminal Teluk Lamong.

### **1.6. Hipotesis**

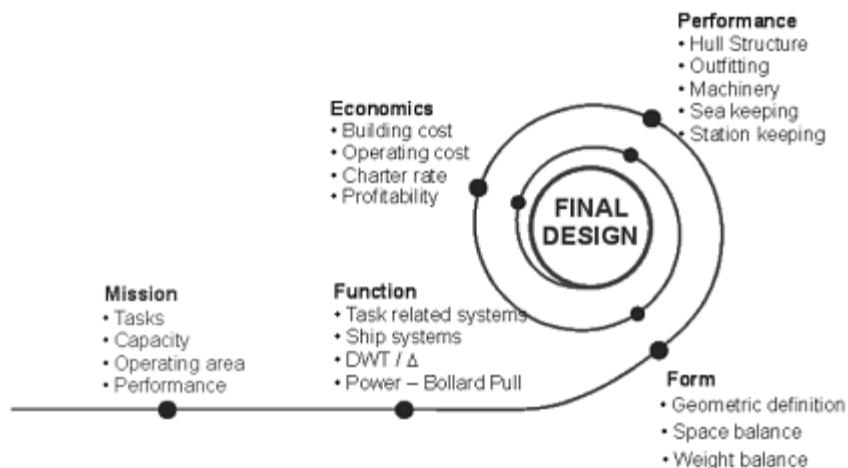
Hasil penelitian ini akan menghasilkan desain *hybrid tugboat* yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan beserta perhitungan performanya yang meliputi *fuel oil consumption* (FOC), *bollard pull*, *speed ahead main engines*, *speed ahead generator*, dan *speed ahead batteries*, sesuai dengan karakteristik dari Terminal Teluk Lamong.

## BAB 2

### STUDI LITERATUR

#### 2.1. Dasar Teori

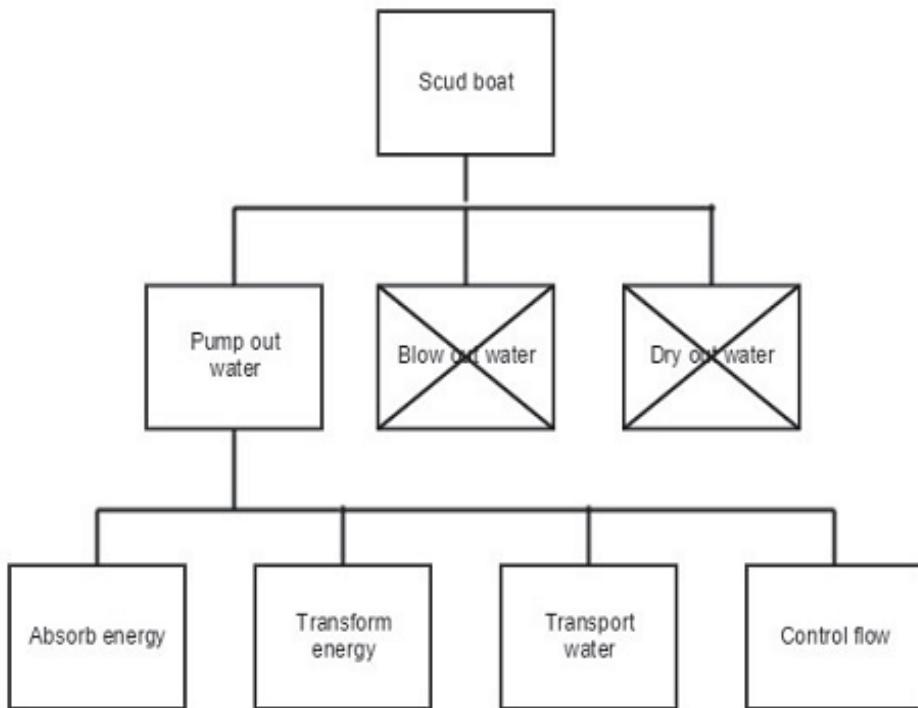
*System Based Ship Design* (SBSD) ditemukan oleh Kai Levander. Ini pertama kali dikenalkan pada tahun 1991 di *International Marine Design Conference* (IMDC) di Jepang (Levander, 2012). Pendekatan menggunakan metode ini mengurangi jumlah pengulangan yang diperlukan untuk menemukan solusi yang terbaik, dibandingkan dengan metode desain kapal secara konvensional. Ini karena metode tersebut membantu meluruskan diagram dari desain spiral. Erikstad dan Levander menyajikan spiral design untuk SBSD bangunan lepas pantai dalam laporan mereka "*System Based Design of Offshore Support Vessels*". Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.1. Diagram spiral ini terlihat hampir sama pada semua kasus desain dan dimasukkan hanya untuk menggambarkan metodologi.



Gambar 2.1 Desain Spiral yang Menggambarkan Proses SBSDesain  
(Erikstad & Levander, 2012)

Metode SBSD dimulai dengan penentuan tujuan (*mission*) yang akan dicapai oleh kapal. Tujuan ini adalah dasar untuk mendefinisikan fungsi (*function*) kapal yang relevan. Fungsi suatu produk ditentukan dari tujuan awal dibuatnya produk tersebut. Setelah fungsi diatur, solusi yang memungkinkan untuk memenuhi fungsi ini kemudian dipilih lewat pertimbangan desainer. Ketika solusi yang tepat dipilih, sub fungsi selanjutnya yang relevan ditentukan sampai fungsi utamanya tercapai. Fungsi ini adalah yang digunakan sebagai solusi (*solution*) dalam proses desain supaya produk beroperasi seperti yang diinginkan, dan dikenal dengan

nama persyaratan fungsional (*functional requirements*). (Jakobsen, 1990) menggambarkan pendekatan analisis fungsional ini dalam bukunya "*Produktutvikling*". Gambaran ilustrasinya disajikan pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Contoh Ilustrasi Analisis Fungsional  
(Jakobsen, 1990)

Setelah ditentukan, persyaratan fungsional ditransformasikan lebih lanjut menjadi data input yang relevan untuk proses desain. Input terdiri dari ketentuan dan item yang berkaitan untuk operasi kapal, berdasarkan persyaratan fungsional. Selanjutnya, akan ditentukan kapasitas kapal yang diperlukan. Dengan menerapkan input dalam eksplorasi parametrik, maka akan terbentuk dimensi utama kapal yang memenuhi persyaratan kapasitas tersebut. Setelah dimensi utama ditentukan, *performance* kapal ditentukan. Hal ini mencakup kecepatan, ketahanan (*endurance*) dan peralatan keselamatan. Akhirnya, biaya pembangunan dan operasi kapal dihitung (Erikstad & Levander, 2012). Dimungkinkan untuk melakukan proses desain menggunakan metode ini untuk lebih dari satu desain secara bersamaan. Dengan cara ini, berbagai alternatif hasil desain dapat dibandingkan pada tingkat yang lebih rinci daripada ketika menggunakan spiral desain konvensional.

### 2.1.1. Ukuran Utama Kapal

Perancangan sebuah kapal pada umumnya berawal dari penentuan ukuran utama kapal yang akan menjadi permulaan untuk menghitung karakteristik badan kapal dan juga performanya. Penentuan ukuran utama kapal dapat diperoleh dari data kapal pembanding yang

sudah ada dan beroperasi di Terminal Teluk Lamong. Adapun penjelasan mengenai ukuran utama kapal adalah sebagai berikut:

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

### 2.1.2. Koefisien Bentuk Kapal

Koefisien bentuk kapal adalah nilai yang menunjukkan karakteristik bentuk lambung dari kapal dan selanjutnya digunakan dalam perhitungan hambatan kapal. Beberapa koefisien bentuk kapal yang dihitung adalah sebagai berikut:

#### 1. Koefisien Blok ( $C_B$ )

Koefisien Blok adalah perbandingan volume antara badan kapal yang tercelup air dengan volume balok yang memiliki dimensi  $L \times B \times H$  kapal. Menurut Watson & Gilfillan dapat menggunakan rumus pendekatan melalui fungsi *Froud Number* (Parsons, 2001). Seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$C_B = -4.22 + 27.8\sqrt{Fn} - 39.1Fn + 46.6Fn^3 \quad (2.1)$$

#### 2. Koefisien Midship ( $C_M$ )

Untuk mendapatkan nilai  $C_M$  pada desain awal, Menurut Watson & Gilfillan dapat menggunakan rumus pendekatan melalui fungsi  $C_B$  (Parsons, 2001). Seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$C_M = (1 + (1 + CB)^{3.5})^{-1} \quad (2.2)$$

### 3. Keofisien Prismatik ( $C_P$ )

Keofisien Prismatik adalah perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup di dalam air dengan volume prisma segi empat yang memiliki luas penampang gading terbesar dan panjang L. Nilai  $C_P$  dapat dicari dengan perbandingan nilai  $C_B$  dengan  $C_M$  (Parsons, 2001).

$$C_P = C_B / C_M \quad (2.3)$$

### 4. Koefisien Waterplan ( $C_{WP}$ )

Keofisien *waterplan* merupakan perbandingan luas bidang air pada sarat dengan luas persegi yang memiliki dimensi  $Lwl \times B$ . Untuk mendapatkan nilai  $C_{WP}$  pada desain awal, Menurut Watson & Gilfillan dapat menggunakan rumus pendekatan melalui fungsi  $C_B$  (Parsons, 2001). Seperti yang di tunjukkan pada persamaan di bawah

$$C_{WP} = (1 + 2C_B) / 3 \quad (2.4)$$

### 5. Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)

LCB merupakan letak memanjang dari titik apung (*buoyancy*). Nilai LCB dapat bernilai positif maupun negatif dari titik tengah kapal (*midship*) yang mempengaruhi hambatan kapal dan juga trim (Parsons, 2001).

$$LCB = -13.5 + 19.4 C_P \quad (2.5)$$

### 6. Displacement

*Displacement* adalah berat air yang dipindahkan oleh badan kapal yang merupakan hasil konversi dari volume air yang dipindahkan (*volume displacement*) menjadi satuan massa (ton) (Parsons, 2001).

$$\text{Volume Disp. } (\nabla) = L \times B \times T \times C_B \text{ (m}^3\text{)} \quad (2.6)$$

$$\text{Displacement } (\Delta) = \nabla \times \text{massa jenis air laut (ton)} \quad (2.7)$$

## 2.1.3. Proporsi dan Daya Mesin Kapal

Setelah mengetahui hambatan total yang dihasilkan kapal, desainer dapat menentukan kapasitas mesin induk untuk melawan hambatan tersebut. Kapasitas dari mesin induk yang memenuhi dapat ditentukan dengan mencari nilai *Break Horse Power* (BHP). Berikut adalah cara mendapatkan BHP.

### 1. Effective Horse Power (EHP)

EHP merupakan daya yang diperlukan kapal untuk melawan hambatan yang terjadi sehingga kapal mampu bergerak sesuai dengan kecepatan yang ditentukan (Parsons, 2001). Untuk mendapatkan nilai EHP dapat dilakukan dengan persamaan di bawah,

$$P_E = R_T \times v \text{ (kW)} \quad (2.8)$$

## 2. *Thrust Horse Power* (THP)

THP merupakan daya dorong efektif yang berkurang dikarenakan perputaran *propeller* pada air (Parsons, 2001), didapatkan dengan persamaan di bawah,

$$P_T = P_E \times (1 - \omega) / (1 - t) \quad (2.9)$$

## 3. *Delivered Horse Power* (DHP)

DHP merupakan daya yang sampai pada *propeller*. Dipengaruhi oleh efisiensi *hull* ( $\eta_H$ ), *relative rotative efficiency* ( $\eta_R$ ), dan *open water efficiency* ( $\eta_O$ ) (Parsons, 2001).

Untuk mencari nilai DHP dapat menggunakan persamaan di bawah,

$$P_D = P_E / (\eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_O) \text{ (kW)} \quad (2.10)$$

## 4. *Shaft Horse Power* (SHP)

SHP merupakan daya yang telah melewati proses transmisi pada *reduction gear*.

SHP depengaruhi oleh letak kamar mesin dikarenakan letak kamar mesin di bagian belakang dan di tengah kapal memiliki *seal efficiency* ( $\eta_S$ ) dan *line shaft bearing efficiency* ( $\eta_B$ ) (Parsons, 2001).

$$P_S = P_D / (\eta_S \cdot \eta_B) \quad (2.11)$$

## 5. *Break Horse Power* (BHP)

BHP merupakan daya yang dibutuhkan oleh mesin penggerak untuk mencapai kecepatan yang direncanakan (Parsons, 2001). Persamaan untuk menghitung BHP adalah,

$$P_B = P_S / \eta_t \quad (2.12)$$

### 2.1.4. Berat Kapal

Perhitungan berat pada kapal pada umumnya terbagi menjadi dua komponen, yaitu LWT (*Light Weight Tonnage*) dan DWT (*Dead Weight Tonnage*). LWT digolongkan menjadi beberapa bagian, diantaranya adalah berat konstruksi kapal, berat peralatan dan perlengkapan, serta berat permesinan. Sedangkan untuk DWT dibagi terdiri atas beberapa komponen, meliputi berat bahan bakar, berat minyak pelumas, berat air tawar, berat *provision*, berat orang (kru dan penumpang), dan berat barang bawaan. Perhitungan DWT ini dilakukan untuk beberapa kondisi *loadcase* yaitu kapal kosong, kapal penuh, dan kapal setengah penuh.

Perhitungan untuk berat DWT dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. *Fuel Oil*

$$\begin{aligned} V_{FO} &= \text{Volume fuel oil} \\ V_{FO} &= W_{FO} / \text{massa jenis fuel oil} \end{aligned} \quad (2.13)$$

(Parsons, 2001)

Dimana,

$$W_{FO} = (\text{SFR} \times \text{MCR} \times \text{range} \times \text{margin}) / V_s \quad (2.14)$$

(Parsons, 2001)

Dimana,

SFR = *Specific Fuel Rate*

= Dapat dilihat di *catalouge* (ton/kW hr)

MCR =  $P_B$  (kW)

range = radius pelayaran (mil laut)

margin =  $(1 + (5\% \sim 10\%))$  (ton)

= 0.95 ton/m<sup>3</sup>

## 2. Lubrication Oil

$V_{LO}$  = *Volume lubricating oil*

$$V_{LO} = W_{LO} / \text{massa jenis } \textit{lubricating oil} \quad (2.15)$$

(Parsons, 2001)

Dimana,

$$W_{LO} = (\text{SLOC} \times \text{MCR} \times \text{range} \times \text{margin}) / V_s \quad (2.16)$$

(Lamb, 2003)

Dimana,

SLOC = *Specific lube oil consumption*

margin = Kebutuhan *lube oil* untuk 50 kali pelayaran

## 3. Fresh Water

$V_{FW}$  = *Volume fresh water*

$$V_{FW} = W_{FW} / \text{massa jenis } \textit{fresh water} \quad (2.17)$$

Dimana,

$$W_{FW} = 0.17 \text{ ton} / (\text{person} \times \text{day}) \quad (2.18)$$

(Lamb, 2003)

## 4. Crew and Effects Weight

$$W_{C&E} = 0.17 \text{ ton} / \text{person} \quad (2.19)$$

(Lamb, 2003)

## 5. Provisions and Stores Weight

$$W_{PR} = 0.01 \text{ ton} / \text{person} \quad (2.20)$$

(Lamb, 2003)

Selanjutnya setelah komponen berat kapal telah diketahui, maka perlu untuk dilakukan pengecekan *displacement* kapal dengan ketentuan toleransi selisih antara *displacement* awal dengan hasil perhitungan berat DWT + LWT adalah 2-10% dari *displacement* ( $\Delta$ ) awal.

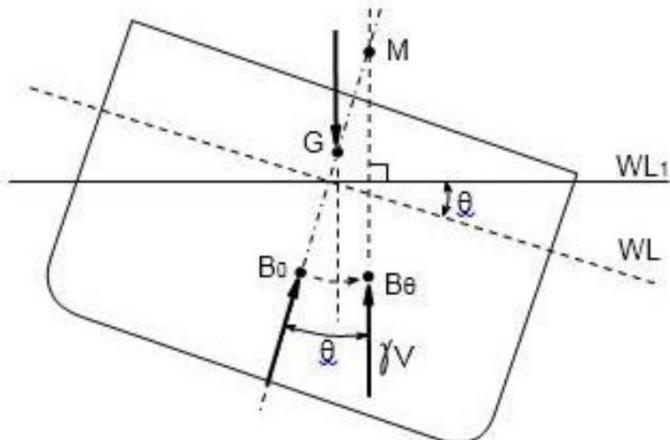
### 2.1.5. Perhitungan Stabilitas

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi kesetimbangannya setelah mendapat gangguan gaya eksternal pada saat berlayar/beroperasi ataupun diam yang dapat berupa angin, ombak dan gelombang. Adapun perhitungan stabilitas kapal dilakukan secara melintang kapal, dikarenakan pada prakteknya gerakan *rolling* adalah yang paling sering terjadi pada kapal karena kapal lebih mudah untuk diganggu kesetimbangannya secara melintang dibandingkan secara memanjang. (Iqbal, 2019)

Pada prinsipnya keadaan stabilitas dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)

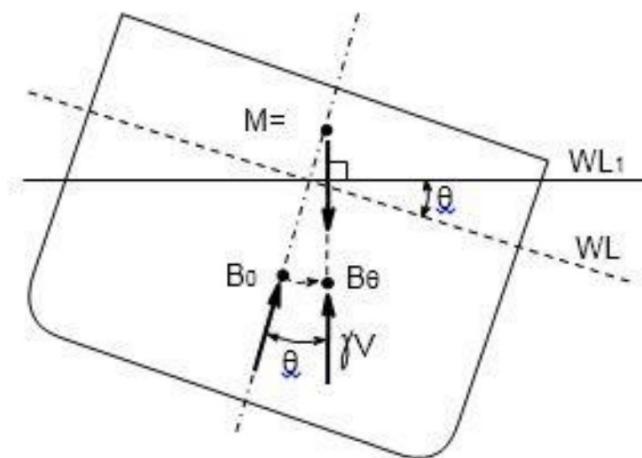
Suatu keadaan dimana titik G berada di bawah titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas mantap sewaktu oleng dan memiliki kemampuan untuk menegak kembali. (Iqbal, 2019)



Gambar 2.3 Kondisi Stabilitas Positif  
(Iqbal, 2019)

2. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)

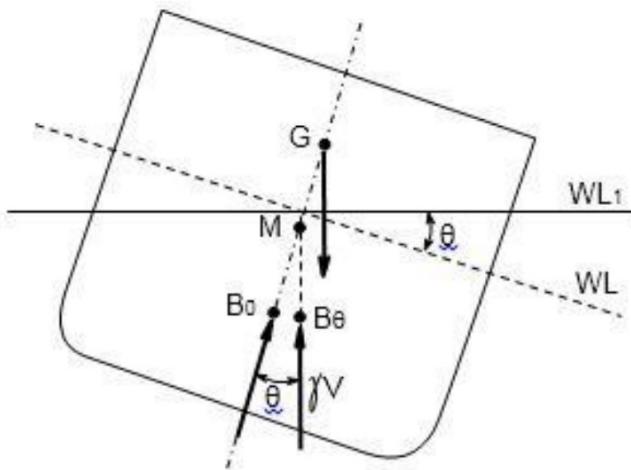
Suatu keadaan stabilitas dimana titik G berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu oleng. (Iqbal, 2019)



Gambar 2.4 Kondisi Stabilitas Netral  
(Iqbal, 2019)

### 3. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu oleng tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut oleng akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik/*capsize*. (Iqbal, 2019)



Gambar 2.5 Kondisi Stabilitas Negatif  
(Iqbal, 2019)

#### 2.1.6. Perhitungan *Trim*

*Trim* merupakan uatu keadaan kapal ang miring secara memanjang dan ditandai dengan perbedaan sarat depan dan sarat belakang kapal, hal ini terjadi dikarenakan titik berat kapal secara memanjang/LCG dan titik gaya apung kapal secara memanjang/LCB yang tidak terletak segaris. (Fakhira, 2020)

*Trim* dibedakan menjadi dua, yaitu *trim by bow* dan *trim by stern*. *Trim by bow* terjadi apabila LCG terletak di depan LCB kapal, sedangkan *trim by stern* terjadi apabila LCG terletak

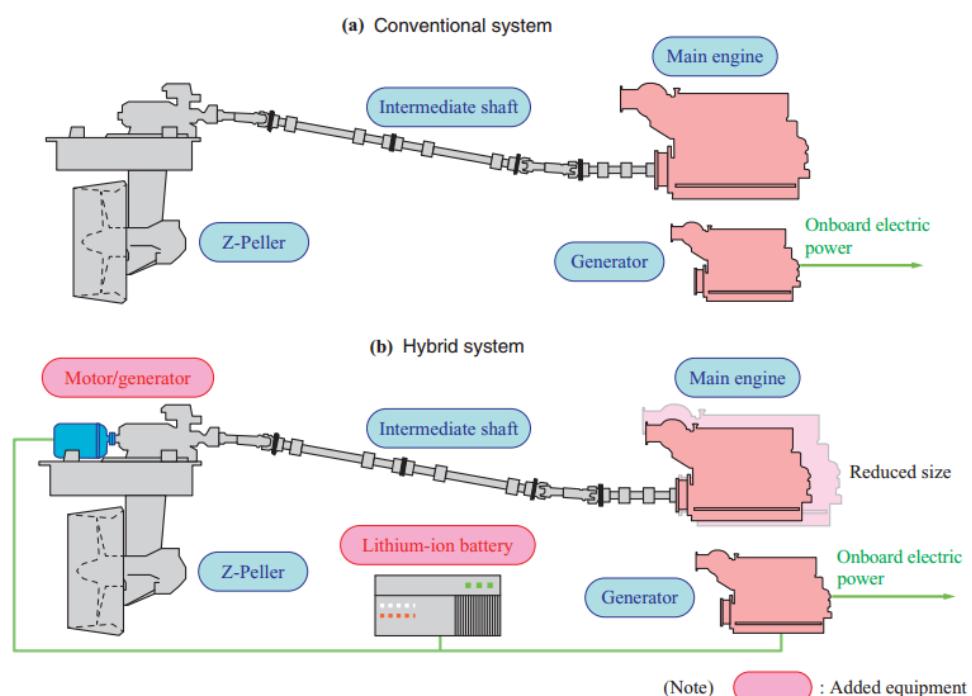
di belakang LCB kapal. Berdasarkan *SOLAS Chapter II-1, Part B-1, Reg 5-1*, keadaan yang dapat ditoleransi pada saat mendesain ialah *trim* kapal baik itu *by bow* ataupun *by stern* nilainya tidak boleh lebih dari  $\pm 0.5\% * \text{LWL}$ .

## 2.2. Tinjauan Pustaka

### 2.2.1. Sistem Propulsi *Hybrid*

Memperhatikan tentang kelangsungan bahan bakar fosil yang digunakan pada system tenaga penggerak kapal menyebabkan mendorong pemerintah untuk menegakan peraturan yang lebih ketat tentang emisi. Peraturan yang lebih ketat ini memaksa pemilik kapal dan desainer kapal untuk mengevaluasi kembali desain dari propulsi kapal dan *powering system*. Salah satunya solusi yang bisa dilakukan adalah menerapkan teknologi *hybrid propulsion system*.

Penelitian mengenai teknologi *Hybrid* yang Menggabungkan penggerak utama (*diesel engine*) dan penyimpanan (baterai) telah berhasil digunakan dalam kendaraan industri otomotif dan telah terbukti dalam pengurangan emisi CO<sub>2</sub>. (Alvarez, 2010)



Gambar 2.6 Sistem propulsi *tugboat* konvensional (a) dan *hybrid tugboat* (b)  
(Shiraishi, 2015)

Berbagai konfigurasi rancangan kamar mesin dari *tugboat* yang menjadi penelitian dari Klien Woud. Dimana menunjukan *tugboat* yang mempunyai 2 *propeller* yang digerakkan langsung oleh 2 mesin diesel. Sedangkan konsumsi beban elektrikal disuplai 2 generator yang dirangkai secara parallel. Dengan konfigurasi seperti ini kurang efektif dimana kebutuhan

bahan bakar menjadi besar. Sehingga pada laju kebutuhan bahan bakar menjadi besar dan emisi yang besar dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. (Ardiwijaya, 2015)

Kelebihan sistem *hybrid* ini adalah dalam hal efisiensi bahan bakar. Dalam suatu sistem *hybrid* yang ideal, sistem akan secara otomatis menentukan sumber tenaga yang paling efisien untuk beban yang ada. Saat *tugboat* dengan kondisi beban daya besar maka sumber tenaga yang dapat bekerja adalah dari mesin diesel dan saat daya rendah menggunakan motor listrik (Ardiwijaya, 2015). Pada penelitian sebelumnya diketahui *tugboat* dengan sistem propulsif *hybrid* memiliki effisiensi lebih baik dan lebih hemat bahan bakar hingga 30% dibandingkan *tugboat* konvensional. (Damen, 2019)

Dalam desain sistem *hybrid* yang akan digunakan pada *hybrid tugboat* di penelitian ini akan digunakan dua jenis mesin penggerak yaitu mesin utama berupa *diesel engine* dan mesin bantu berupa motor listrik. Mesin utama digunakan untuk kebutuhan operasi berdaya besar yaitu saat kegiatan *assisting* atau *towing*. Sedangkan motor listrik digunakan pada saat mode operasi yang membutuhkan daya yang relatif kecil yaitu saat *tugboat* melakukan mode operasi *standby* dan *cruising*.

Untuk suplai daya listrik yang dibutuhkan oleh motor listrik akan digunakan juga dua sumber daya listrik yaitu dari *generator set* dan baterai set. Kedua sumber daya listrik ini yang akan digunakan sebagai suplai mesin penggerak motor listrik secara bergantian sesuai dengan mode operasi dan kondisi kerja kapal.

### **2.2.2. Karakteristik Kapal Jenis *Tugboat***

Menurut Ardiwijaya (2015), *tugboat* adalah jenis kapal yang digunakan untuk membantu menarik ataupun mendorong kapal lain. Baik kapal-kapal besar yang akan bersandar kepelabuhan maupun kapal-kapal yang tidak mempunyai penggerak sampai bangunan lepas pantai. Sesuai dengan tenaga pendorongnya, fungsi *tugboat* pada umumnya adalah:

1. Menarik atau mendorong kapal - kapal yang berukuran besar yang kesulitan bersandar di dermaga. Contoh tanker, kapal induk maupun kapal-kapal yang tidak memiliki penggerak sendiri. Contoh kapal tongkang, Serta memindahkan bangunan lepas pantai.
2. Membantu melaksanakan *mooring* dan *unmooring* kapal - kapal niaga.
3. Membantu memadamkan api jika terjadi kebakaran dipelabuhan maupun dikapal karena *tugboat* yang dilengkapi dengan pompa air.

Sedangkan menurut Tasrun Sjahrun kapal tunda (*tugboat*) merupakan jenis kapal khusus yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai. Kapal ini digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak dan peralatan lainnya dan memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Sesuai dengan daerah pelayarannya kapal tunda dapat digolongkan menjadi :

1. Kapal tunda pelayaran besar (*Ocean Going Tug*), merupakan salah satu jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya di laut luar dan kapal ini biasanya digunakan sebagai penyuplai bahan bakar dari hasil kilang minyak (*Anchor Handling Suply Vessel*).
2. Kapal tunda pelayaran pantai (*Coastwise and Estuary Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya hanya disekitar perairan pantai.
3. Kapal tunda pelabuhan dan pengerukan (*Estuary and Harbour*) merupakan salah satu jenis kapal tunda yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal yang ada di pelabuhan dan juga berfungsi sebagai penarik kapal keruk.
4. Kapal tunda perairan dangkal (*Shallow Draught Pusher Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki sarat rendah.
5. Kapal tunda sungai dan dok (*River and Dock Tug*) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki kemampuan tarik kurang dari 3 knot dan hanya menunda kapal disekitar area sungai.

Bangunan kapal tunda hampir sama dengan bangunan kapal barang. Hanya saja tidak dilengkapi dengan palka barang besar, sehingga ukurannya lebih kecil untuk tenaga penggerak yang sama. Karena kapal tunda dirancang untuk dapat melakukan bermacam pekerjaan seperti menarik, menunda, menggandeng dan menambatkan kapal-kapal dan alat apung lainnya yang mempunyai bobot yang jauh lebih besar. Begitu pula dengan konstruksinya dirancang lebih kuat untuk menahan getaran, pada kapal tunda dilengkapi dengan peralatan tarik seperti *towing hook*, *stabilizher gilding ring*, *towing beam*, dan juga derek tambang tarik pada geladak tengah kapal.

*Tugboat* pada umumnya memiliki kemampuan manuver yang tinggi untuk mendukung operasinya dalam melakukan penundaan. Kemampuan manuver yang tinggi pada kapal tunda ini tergantung dari sistem dan tipe propulsinya. Saat ini telah ada jenis penggerak yang lazim digunakan antara lain jenis *Fixed Pitch Propeller* (FPP) dan *Controllable Pitch Propellers* (CPP), dengan dilengkapi sistem konstruksi *propeler* terbuka maupun dalam tabung *Kort-*

Nozzle. Tipe propeler lainnya adalah *Azimuth Thrusters* (misalkan *Schottel*, *Aquamaster*, *Z-peller*) dengan atau tanpa *Kort-Nozzle* dan *Cycloid Thrusters* (*Voith-Schneider Propulsion*)



Gambar 2.7 *Tugboat Dengan Tipe Azimuth Thrusters Propulsion with Kort-Nozzle*  
(Sumber: [www.kongsberg.com](http://www.kongsberg.com))

*Schottel Propulsion System (azimuth thruster/Z-peller)* dan yang akan digunakan dalam desain *hybrid tugboat* nantinya adalah bentuk sistem *propeller* yang berada di bawah-belakang badan kapal dengan hasil gaya dorong yang dapat diarahkan hingga mencapai sudut  $360^\circ$ . Dengan kemampuannya untuk memutar arah *propeller* maka akan mendukung kemampuan manuver dari *hybrid tugboat* dengan baik.

### 2.2.3. Mode Operasi *Tugboat* Pelabuhan (*Harbour Tug*)

Menurut Ardiwijaya (2015), mode Operasi *tugboat* dalam kondisi kerjanya memiliki berbagai macam kondisi kerja dan berbagai macam daya yang digunakan dalam setiap mode operasinya. Macam-macam mode operasi *tugboat* sebagai berikut :

#### 1. Mode Operasi *Standby*

Mode operasi *standby* adalah mode operasi *tugboat* yang berada di laut lepas kondisi dimana kapal menggunakan daya dari penggerak untuk mempertahankan posisinya disaat *tugboat* sudah dekat dengan kapal yang akan ditarik dan menunggu perintah untuk menarik tali dari kapal yang akan dipandu. Mesin bekerja pada 10-15% daya total mesin utama. Kondisi ini *tugboat* bekerja pada kecepatan 1-2 knot dalam menjaga posisinya.

#### 2. Mode Operasi *Freerunning*

Mode operasi ini adalah kondisi kerja dimana *tugboat* bekerja tanpa ada beban atau bekerja saat *tugboat* berlayar dari pelabuhan ke laut lepas untuk menjemput kapal

yang akan ditarik menuju ke pelabuhan. Pada kondisi ini *tugboat* bekerja pada kecepatan 7-12 knot. Daya mesin yang digunakan pada mode ini 25-35% dari daya total mesin utama yang ada di *tugboat*.

### 3. Mode Operasi *Towing* atau *Assisting*

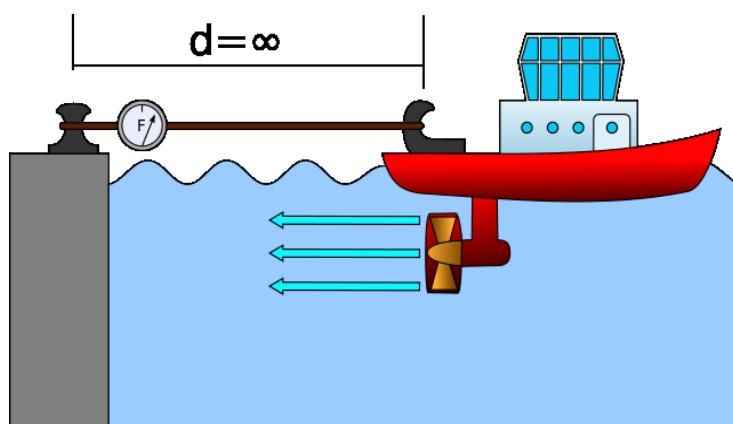
Kondisi dimana *tugboat* sedang menarik kapal besar yang akan merapat kepelabuhan dimana kondisi *tugboat* bekerja pada kecepatan 2-5 knot. Kondisi ini *tugboat* bekerja pada keadaan mesin *full throthlle* atau kondisi mesin bekerja penuh.

### 4. Mode Operasi *Fire Fighting*

Mode *fire-fighting* adalah saat operasi pemadaman kebakaran. Mesin utama menyala dan digunakan untuk memutar rudder dan *propeller* untuk menjalankan dan menjaga posisi dari *tugboat*. Generator set menyala dan memberikan daya pada pompa pemadam kebakaran. Kemudian generator bantu memberikan sumber daya pada sistem kelistrikan secara normal.

#### 2.2.4. Bollard Pull

*Bollard Pull* adalah kemampuan dari daya tarik beban statis *tugboat* menarik suatu beban. *Bollard pull* dihasilkan dari daya mesin yang dikombinasikan dengan *thrust propeller* sehingga menghasilkan daya dorong pada *tugboat*. *Bollard pull* di dapatkan pada saat pengujian *tugboat* yang dikaitkan dengan tali pada *towing hook* *tugboat* diikatkan pada bollard yang tertanam pada dermaga. Daya tarik *tugboat* diuji sampai berapa ton kemampuan daya tariknya. *Bollard pull* di hasilkan oleh daya mesin yang di salurkan melalui *thrust propeller* sehingga mendapatkan torsi yang diinginkan (Ardiwijaya, 2015).



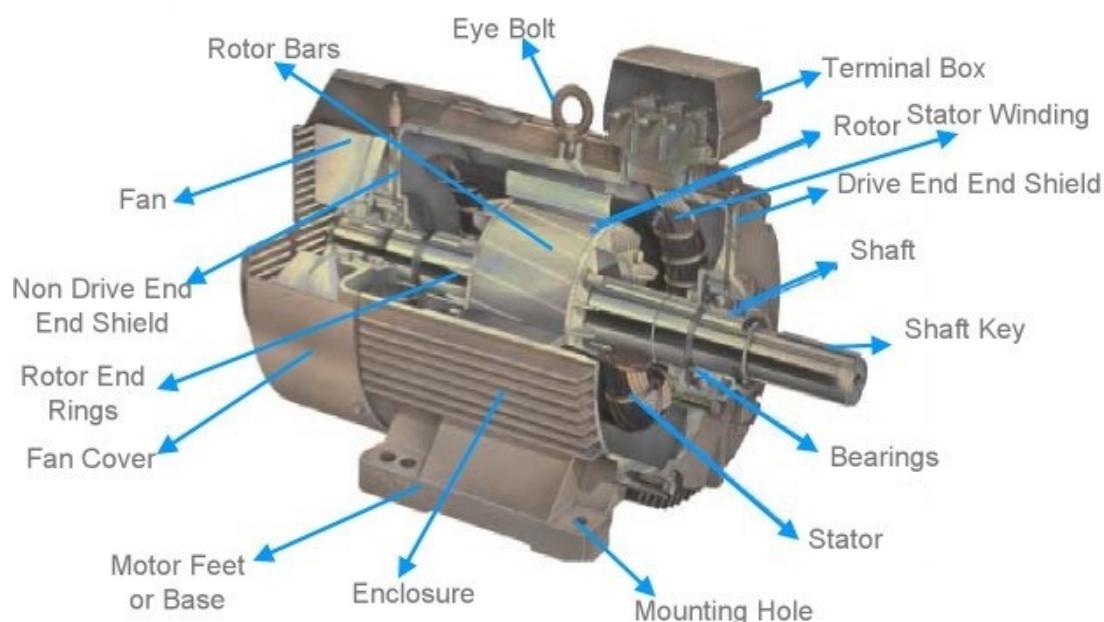
Gambar 2.8 Ilustrasi *Bollard Pull Test* Pada *Tugboat*  
(Sumber: promarineservices.com.au)

Pada kondisi di lapangan, sering terjadi ketidaksesuaian kemampuan *bollard pull* antara permintaan *bollard pull* oleh *owner* dengan hasil yang dicapai setelah dilakukan *bollard pull*

*test* (*test bollard pull/ujji tarik*). Ketidaksesuaian ini selain karena tidak ada kesesuaian antara daya engine yang terpasang dengan thrust *propeller* yang dihasilkan, juga karena ketidaksesuaian bentuk kontur lambung atau bentuk badan kapal yang dipengaruhi dengan ukuran utama kapal. Bentuk badan kapal yang tidak sesuai akan menghasilkan aliran air yang dapat menghambat supply *propeller*. Pada saat mendesain *tugboat* seharusnya kemampuan *bollard pull* paling tidak dapat menghasilkan kinerja yang mampu berkorelasi secara optimal sesuai dengan ukuran utama *tugboat*, kapasitas daya engine yang terpasang serta *thrust propeller* yang dihasilkan.

#### 2.2.5. Karakteristik Motor Listrik

Motor listrik adalah motor yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya, dimana arus rotor motor yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus rotor. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fase dan motor induksi 1 fase. Motor induksi 3 fase dioperasikan pada sistem tenaga 3 fase dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar (Ardiwijaya, 2015).



Gambar 2.9 Bagian Motor Listrik 3 Fasa  
(Sumber: [www.electrical4u.com](http://www.electrical4u.com))

Motor listrik termasuk kedalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakan kompresor, mengangkat barang dan dalam penelitian Tugas Akhir ini digunakan

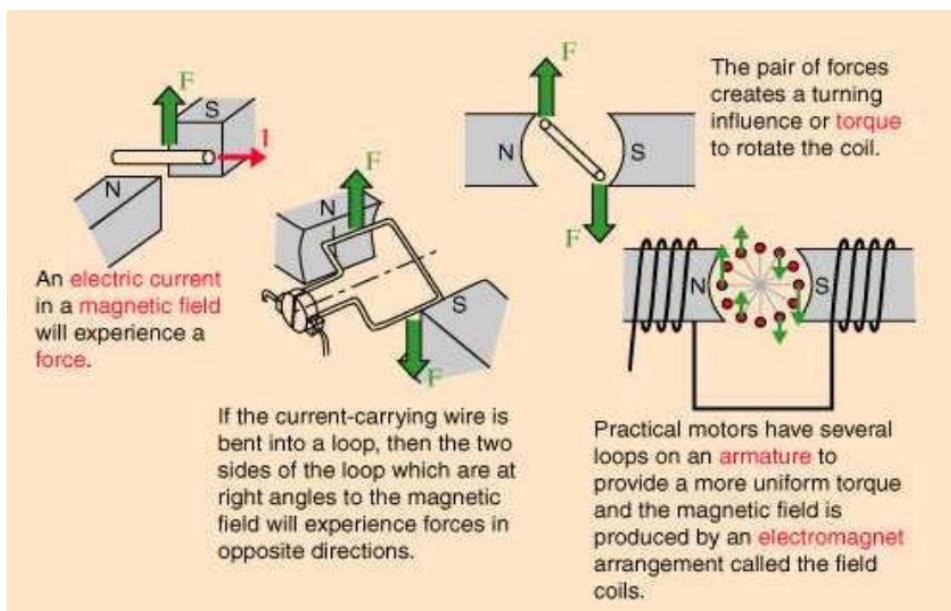
sebagai sumber daya penggerak propulsi. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri, sebab diperkirakan bahwa motor listrik menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri. Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor listrik secara umum sama, yaitu:

1. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
2. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/*loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
3. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/ torsi untuk memutar kumparan.
4. Motor listrik memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Pada sistem motor listrik, elemen penting yang perlu diketahui adalah beban dari motor listrik. Beban mengacu kepada keluaran tenaga putar/torsi sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan kedalam tiga kelompok:

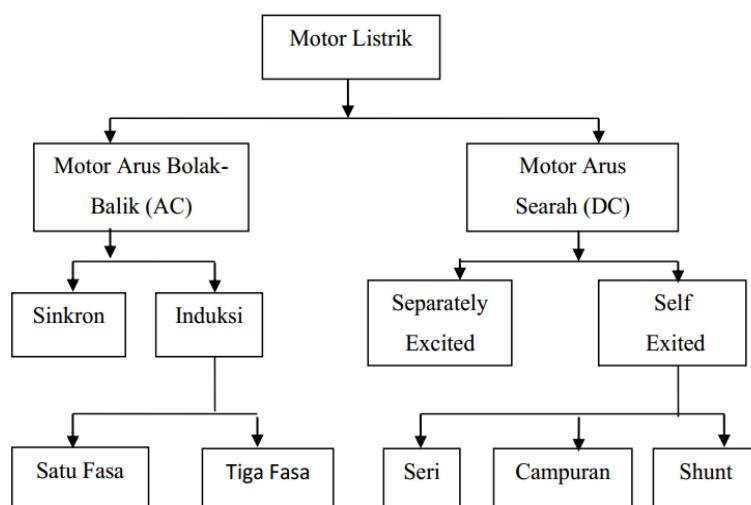
1. Beban torsi konstan, adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya, namun torsinya tidak bervariasi. Contoh beban dengan torsi konstan adalah *conveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
2. Beban dengan torsi variabel, adalah beban dengan torsi yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan torsi variabel adalah pompa sentrifugal dan fan (torsi bervariasi sebagai kwadrat kecepatan).
3. Beban dengan energi konstan, adalah beban dengan permintaan torsi yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

Pada dasarnya motor listrik dibedakan dari jenis sumber tegangannya. Jenis motor listrik terbagi 2 yaitu motor listrik AC (*Alternating Current*) atau motor listrik arus bolak-balik dan motor listrik DC (*Direct Current*) atau motor listrik arus searah. Kedua jenis motor listrik ini memiliki karakteristik dan kelebihan masing-masing.



Gambar 2.11 Prinsip Dasar Kerja Motor Listrik  
(Sumber: [www.ilmu-listrik.weebly.com](http://www.ilmu-listrik.weebly.com))

Motor listrik DC (*Direct Current*), sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*undirectional*. Motor listrik DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan daya torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas. Sedangkan motor listrik AC (*Alternating Current*) menggunakan arus listrik bolak-balik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik AC memiliki dua buah bagian dasar listrik yaitu *stator* dan *rotor*. *Rotor* merupakan komponen listrik berputar yang digunakan untuk memutar poros dari motor.

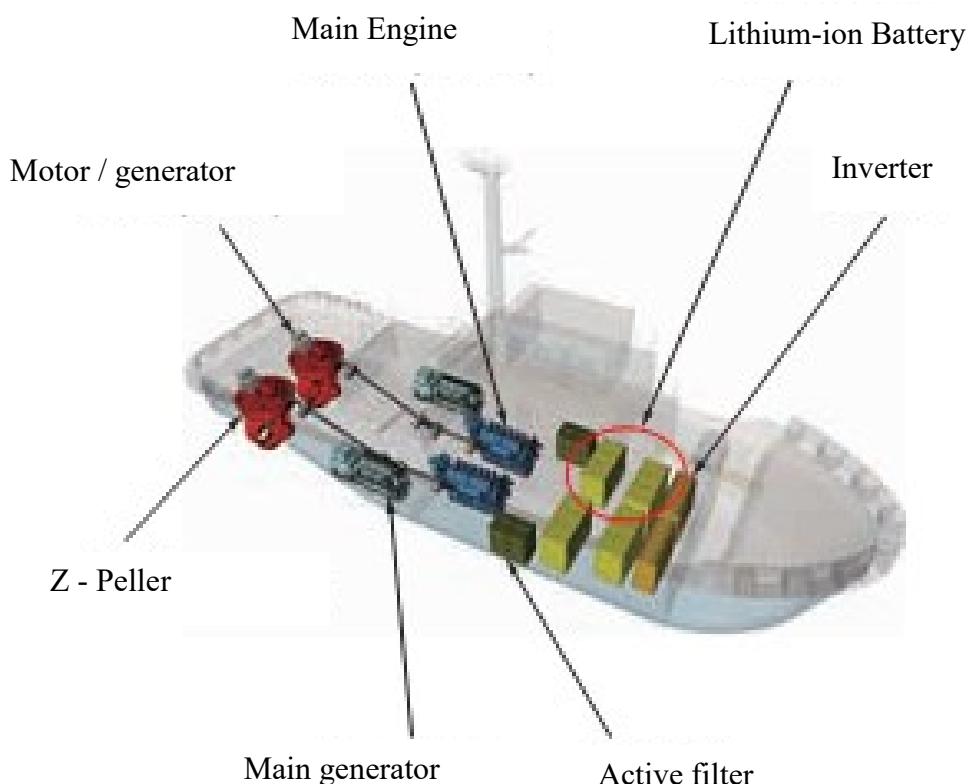


Gambar 2.10 Klasifikasi Motor Listrik  
(Sumber: [www.ilmu-listrik.weebly.com](http://www.ilmu-listrik.weebly.com))

Dari 2 jenis motor listrik tersebut terdapat klasifikasi jenis-jenis motor listrik berdasarkan prinsip kerja, konstruksi, operasi dan karakternya. Seperti yang terlihat gambar 2.11 di halaman sebelumnya.

### 2.2.6. Desain *Hybrid Tugboat*

Ukuran *hybrid tugboat* sama dengan *tugboat* konvensional. Komponen tambahan pada *tugboat hybrid* tidak mengambil banyak ruang di dalam kapal dan dengan berat yang relatif kecil terhadap berat keseluruhan kapal pada desain *tugboat* konvensional. Sehingga untuk kapal pembanding yang digunakan bisa mengambil dari desain *tugboat* dengan sistem permesinan konvensional.



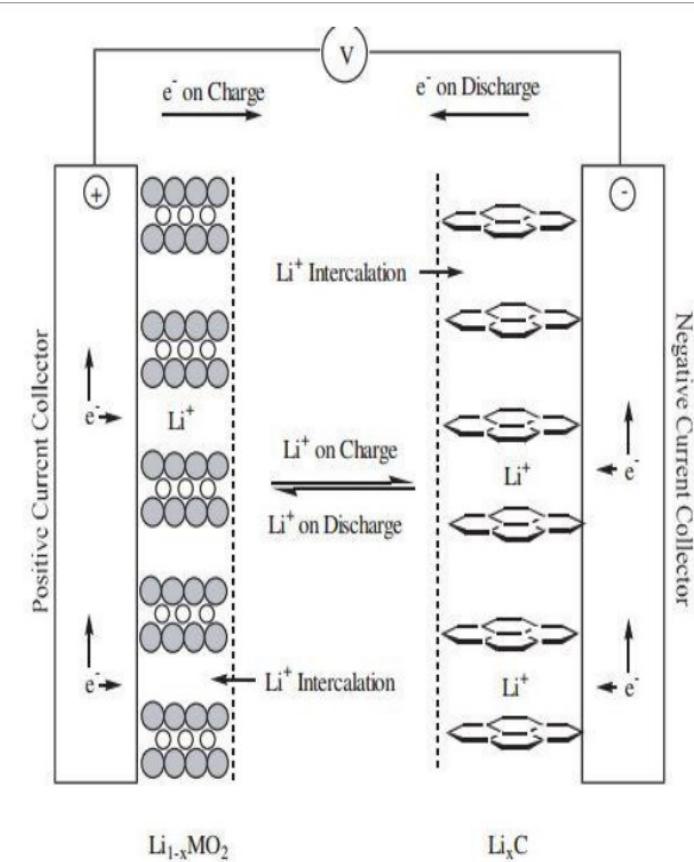
Gambar 2.12 *Layout* Awal Sistem Propulsi *Hybrid Tugboat*  
(Shiraishi, 2015)

Kapasitas *main engine*, kapasitas baterai, dan kapasitas motor/generator yang menghasilkan keseimbangan optimal antara kinerja lingkungan, efisiensi ekonomi, dan kinerja dari kapal diputuskan berdasarkan simulasi yang melibatkan berbagai kondisi dalam operasi kapal sebenarnya serta pada penyesuaian pada bagaimana *layout* di dalam kapal tunda yang seharusnya. Berkaitan dengan instalasi sistem *hybrid*, diberikan berbagai tindakan pengamanan. Salah satunya adalah sistem pemantauan jarak jauh yang diterapkan untuk

memungkinkan transmisi peringatan darurat kepada pengawas di darat. Dengan begitu, dimungkinkan untuk memantau keadaan perlengkapan sistem *hybrid* ini dari daratan. Meskipun sistem *hybrid* memerlukan lebih banyak instrumen dan peralatan daripada sistem konvensional, semua bagian peralatan dapat dipasang dengan mengoptimalkan *layout* kapal. Gambar 2.3 menunjukkan *layout* awal dari sistem propulsi *hybrid tugboat*. (Shiraishi, 2015)

### 2.2.7. *Lithium-Ion Battery*

Baterai *Lithium-ion* merupakan salah satu jenis baterai yang banyak digunakan pada kendaraan listrik maupun perangkai elektronik dimasa kini. Elektrode aktif pada baterai *Lithium-ion* merupakan lithium metal oxide untuk elektrode positif sedangkan carbon pada elektrode negatif. Material ini menganut arus kolektor logam dengan bahan pengikat, biasanya berupa *polivinilidena flourida* (PVDF) atau *kopolimer polivinilidena fluorida-hexafluoropropylene* (PVDF-HFP), dan pengencer konduktif. (Arfianto, 2016)



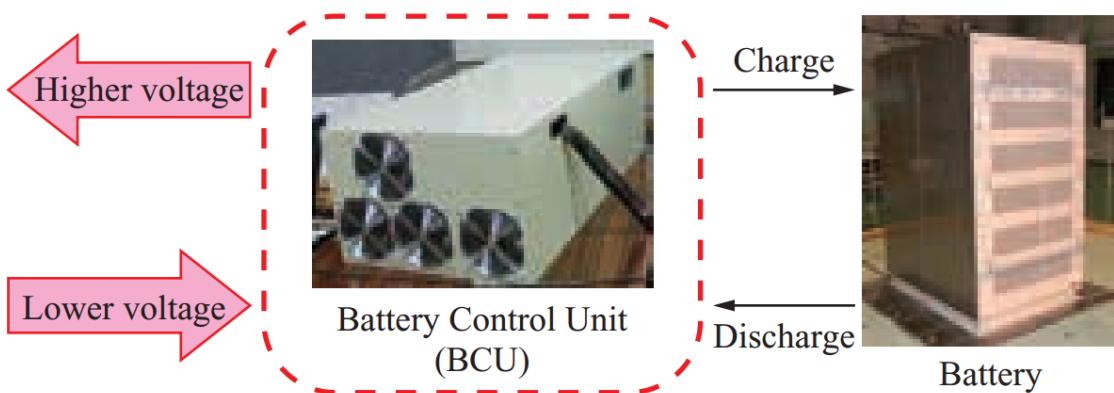
Gambar 2.13 Proses Electrochemical dalam Baterai *Lithium-Ion*  
(Arfianto, 2016)

Baterai *Lithium-Ion* banyak digunakan karena memiliki kelebihan dibandingkan jenis lain yang dapat dilihat pada tabel di halaman berikutnya.

Tabel 2.1 Perbandingan Baterai Lithium-Ion Dengan Jenis Lain  
 (Arfianto, 2016)

Tipe Baterai	Lead-Acid	Ni-Cd	Ni-MH	Lithium-Ion
<i>Energy Density (W/kg)</i>	30-50	45-80	60-120	110-160
<i>Power Density</i>	180	150	250-1000	1800
<i>Nominal Voltage</i>	2 V	1,25 V	1,25 V	3,6 V
<i>Overcharge Toleran</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>Very Low</i>
<i>Self-discharge</i>	<i>Low</i>	<i>Moderate</i>	<i>High</i>	<i>Very Low</i>
<i>Operating Temperature</i>	-20 - 60 °C	-40 - 60 °C	-20 - 60 °C	-20 - 60 °C
<i>Cycle Life</i>	200-300	1500	300-500	500-1000

Saat ini di Jepang, sudah ada beberapa contoh penerapan baterai lithium untuk digunakan di kapal. Dengan demikian, untuk memastikan keamanan, digunakan baterai lithium-ion dengan desain sistem yang lebih baik. Sistem baterai yang akan digunakan ini mengadopsi baterai lithium-ion milik perusahaan Jepang IHI Corporation yaitu IHI (A123 Systems) dengan lithium iron phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) sebagai elektroda. Karena LiFePO<sub>4</sub> digunakan sebagai anoda, pemisahan oksigen dan kebocoran panas tidak terjadi bahkan pada suhu tinggi yang disebabkan oleh panas yang dihasilkan karena internal shorting. Dengan begitu, risiko kebakaran atau ledakan sangat rendah. Dalam sistem *hybrid* ini menggunakan komponen pendukung baterai, termasuk pengatur tegangan (konverter DC / DC) dan *Battery Control Unit* (BCU). Contoh teknologi baterai ini seperti yang dibuat oleh IHI seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut. (Shiraishi, 2015)



Gambar 2.14 *Lithium-Ion Battery*  
 (Shiraishi, 2015)

## 2.2.8. Analisis Ekonomis

*Cost estimating* (perkiraan biaya) yang mungkin dilakukan dalam tahap *preliminary design* dari proses desain kapal berada pada level yang tinggi atau hanya seperti membuat asumsi tentang biaya dari desain kapal berdasarkan detail informasi yang didapatkan yaitu struktur lambung, perlengkapan kapal, dan sistem *outfit*. Selama proses *preliminary design*, perkiraan biaya dapat diintegrasikan dengan proses *design-engineering* untuk menghasilkan produk yang baik dan berguna dalam penelitian serta menentukan arah yang benar dalam proses desain kapal. Pada tahap desain level ini perkiraan biaya digunakan untuk menentukan kelayakan ekonomis dari desain kapal yang dibuat dan juga menentukan parameter dari basic design untuk memenuhi *mission requirements* dalam *general cost* dan batasan waktu pembangunan. Level selanjutnya yaitu setelah tahap *preliminary design* selesai dan berat sistem kapal telah ditentukan serta sering digunakan sebagai salah satu pertimbangan apakah kapal layak dibangun atau tidak (Lamb, 2003)

Analisis biaya pembangunan dilakukan dengan membagi komponen biaya pembangunan kapal menjadi beberapa faktor ekonomis. Faktor-faktor ekonomis yang harus diperhitungkan sehingga dapat diperoleh biaya pembangunan yang dibutuhkan dari desain kapal dan didapatkan berdasarkan perhitungan yang telah didapatkan dari perhitungan faktor teknis kapal. Dalam rincian biaya pembangunan kapal pada umumnya menurut buku *Ship Design and Construction Volume I* terdiri dari:

1. Biaya pembangunan komponen baja (*structural weight cost*)

Pada tahap awal perhitungan biaya berat struktur kapal atau *hull structure* sering dihitung harganya sesuai dengan basis dari berat lambung kapal dan jenis dari materialnya (baja, alumunium, dll.). Dalam prosedur estimasi biaya yang lebih detail, berat lambung dipecah menjadi *blocks* atau *parts*, seperti *double bottom*, *decks*, *fore peak*, *aft section* dll. (Lamb, 2003)

2. Biaya permesinan (*machinery cost*)

*Major equipment items* atau permesinan dari kapal seperti mesin propulsi biasanya dihitung perkiraan harganya dengan cara mendapatkan *quotation* dari pihak vendor, kemudian menambahkan estimasi biaya pekerja untuk installasinya serta proses *testing* yang akan dilakukan. Untuk kontrak jangka panjang, koreksi biaya untuk inflasi dan efek ekonomi lainnya juga ditambahkan. (Lamb, 2003)

3. Biaya peralatan dan perlengkapaan (*hull outfitting cost*)

Biaya *outfit systems* atau perlengkapan pendukung pada kapal dihitung estimasinya dengan memperhitungkan biaya pekerja atau material pada rata-rata biaya per *parametric unit*. Sejarah data biaya yang dibutuhkan pada pembangunan kapal sebelumnya atau yang sudah ada dapat digunakan sebagai perbandingan dengan parameter ukuran material kapal yang akan dibangun dengan kapal yang sudah ada. (Lamb, 2003)

4. Biaya Galangan (*shipyard support services*)

Biaya galangan sebagai pihak yang membangun kapal yang termasuk biaya engineering, project management dan dukungan usaha produksi lainnya (material handling, temporary service, dll.) biasanya diestimasikan sebagai persentase dari semua biaya *man-hour*, dan juga dipertimbangkan tambahan biaya dampak dari durasi kontrak, tingkat kesulitan teknis, dan faktor lain yang mungkin mempengaruhi. (Lamb, 2003)

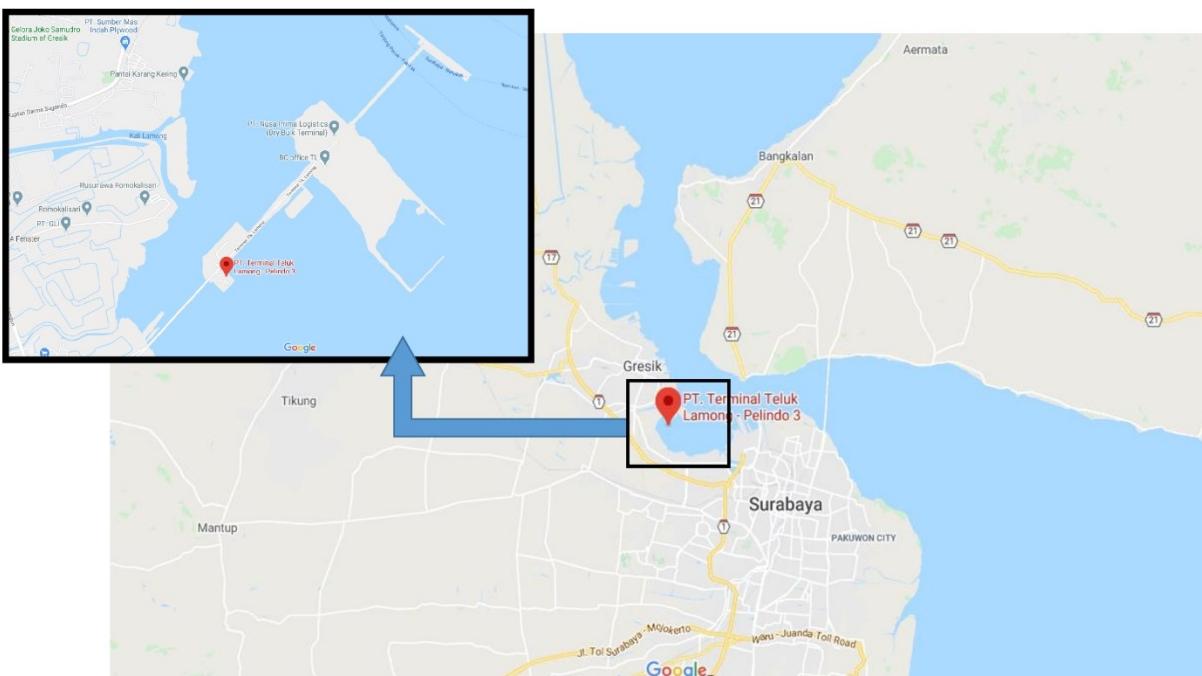
Untuk mengetahui nilai ekonomis sebuah kapal dan kelayakannya untuk dibangun atau tidak, perhitungannya dibedakan menjadi dua bagian yaitu biaya investasi dan biaya operasional kapal. Biaya investasi yaitu biaya pembangunan kapal itu sendiri yang terdiri dari biaya faktor ekonomis pembangunan kapal seperti yang disebutkan di atas. Sedangkan biaya operasional kapal terbagi menjadi dua, yaitu biaya tetap (biaya penyusutan kapal, biaya bunga modal, biaya asuransi kapal, biaya ABK) dan biaya tidaktetap (biaya bahan bakar, biaya pelumas, biaya perbekalan dan perlengkapan, biaya air tawar, biaya repair, maintenance, and supplies). (Fakhira, 2020)

### 2.2.9. Terminal Teluk Lamong

Terminal Teluk Lamong adalah pelabuhan yang berlokasi di wilayah perbatasan antara kota Surabaya dan Kabupaten Gresik (kota Gresik), merupakan terminal *multipurpose* yang diapit oleh 2 (dua) pelabuhan milik PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero), yaitu Pelabuhan Gresik di sebelah barat, dan Pelabuhan Utama Tanjung Perak di sebelah timur. Terminal Teluk Lamong (TTL) ini adalah anak perusahaan Pelabuhan Indonesia III (Persero) yang berkonsep ramah lingkungan dan semi otomatis.

Terminal Teluk Lamong merupakan pelabuhan berkonsep ramah lingkungan dan berteknologi semi-otomatis pertama di Indonesia. Terminal Teluk Lamong memiliki 2 dermaga yaitu dermaga petikemas sepanjang 500 meter dan dermaga curah kering sepanjang 250 meter. Terminal Teluk Lamong memiliki 4 (empat) tahap pembangunan dan pada tahun 2017 sedang berada pada tahap kedua. Dermaga curah kering yang kini mulai dioperasikan memiliki panjang

250 meter dan lebar 80 meter. Luasan tersebut akan diperpanjang menjadi 500 meter pada pembangunan tahap berikutnya. Kedalaman dermaga curah kering Terminal Teluk Lamong mencapai -14 LWS (14 meter) sehingga dapat menampung kapal berjenis Panamax berkapasitas 50.000-80.000 DWT (*Dead Weight Tonage*).



Gambar 2.15 Peta Lokasi Terminal Teluk Lamong  
(Google, 2019)

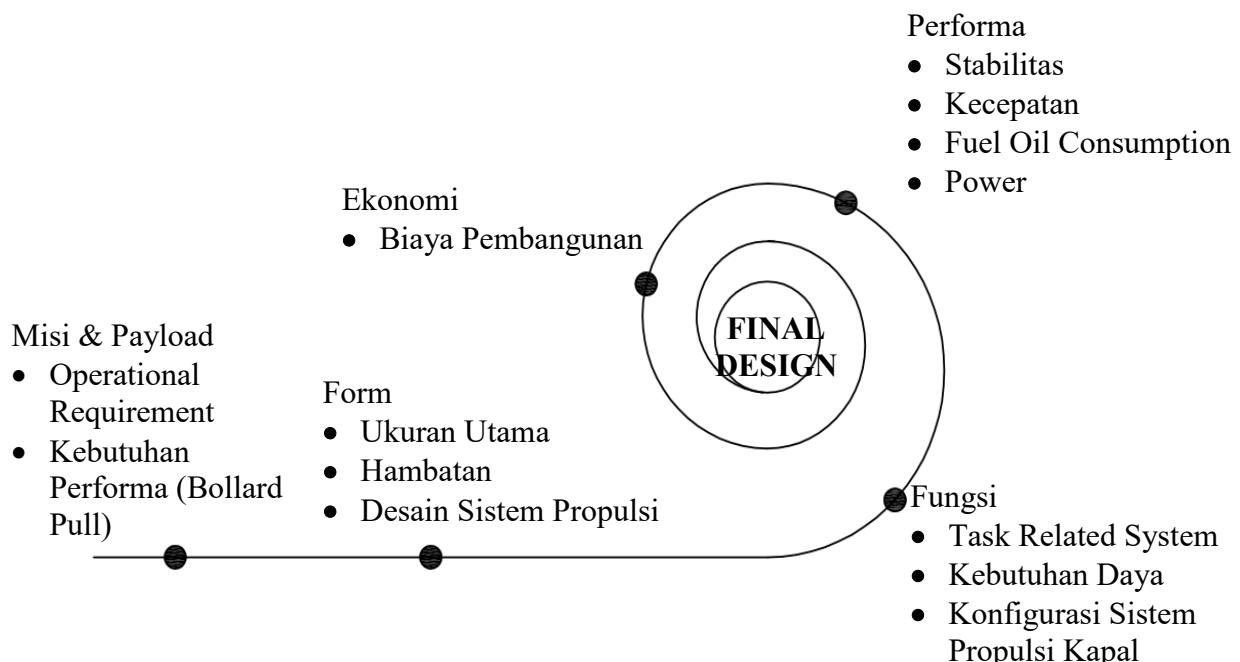
Terminal Teluk Lamong menampilkan diri sebagai terminal ramah lingkungan karena seluruh kegiatan pelayanan di Terminal menggunakan energi ramah lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan pula teknologi yang dapat mendukung visi *green port* dari Terminal Teluk Lamong seperti desain *hybrid tugboat* yang akan dibuat dalam penelitian ini. Pada gambar 2.15 di atas ditunjukkan lokasi dari PT. Terminal Teluk Lamong yang berlokasi di perbatasan kota Surabaya dan kota Gresik. PT. Terminal Teluk Lamong memiliki lokasi yang strategis karena berada di antara dua kota besar dan di tengah lokasi industri.

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1. Diagram Alir

Secara umum metodologi dalam penggerjaan Tugas Akhir ini adalah seperti pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penggerjaan Tugas Akhir  
(Erikstad & Levander, 2012)

#### 3.2. Proses Penggerjaan

##### 3.2.1. Identifikasi Masalah dan Tujuan

Pada tahap awal ini dilakukan identifikasi permasalahan berupa perlunya *tugboat* yang memiliki *fuel oil consumption* yang lebih irit dan ramah lingkungan untuk digunakan di Terminal Teluk Lamong. Misi atau tujuan dari proses desain ditentukan berdasarkan masalah tersebut yaitu mendapatkan *tugboat* dengan sistem propulsi *hybrid* yang lebih hemat bahan bakar dan ramah lingkungan.

##### 3.2.2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan pada Tugas Akhir ini. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan serta teori-teori yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini, bisa dalam bentuk hasil penelitian sebelumnya agar bisa

lebih memahami permasalahan dan pengembangan yang dilakukan. Studi yang dilakukan diantaranya:

1. Desain *General Arrangement*

Perlu untuk diketahui bagaimana proses mendesain *general arrangement* kapal. Sehingga, ketika direalisasikan dalam pembuatan sistem dapat sesuai dengan kebutuhan dan komponen yang akan digunakan pada kapal.

2. Sistem Propulsi

Perlu untuk diketahui desain sistem propulsi khususnya sistem propulsi *hybrid* pada *tugboat* serta proses pembuatannya.

3. Mode Operasi dan Karakteristik Kapal Jenis Tugboat

Perlu untuk diketahui mode operasi dan karakteristik dari *tugboat* sehingga bisa menentukan konfigurasi sistem propulsi yang sesuai dengan tugas dan kerja kapal.

4. *Fuel Oil Consumption* (FOC)

Perlu untuk diketahui bagaimana menghitung *Fuel Oil Consumption* (FOC) dari kapal dan membandingkannya dengan *tugboat* konvensional.

5. Analisis Ekonomi

Perlu diketahui teori dalam menghitung nilai ekonomis dari kapal sehingga dapat diketahui kelayakan kapal untuk dibangun.

### 3.2.3. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam Tugas Akhir ini adalah metode pengumpulan secara tidak langsung (sekunder). Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengambil data terkait dengan permasalahan dalam tugas ini yaitu *operational requirement* dari desain *hybrid tugboat*. Adapun data-data yang diperlukan adalah:

1. Model *Tugboat*

Model kapal yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah model baru yang akan dibuat sesuai kebutuhan *owner* yaitu *tugboat* untuk keperluan penundaan kapal di PT. Terminal Teluk Lamong.

2. Kebutuhan Sistem Propulsi *Hybrid*

Untuk spesifikasi komponen sistem propulsi yang akan digunakan nantinya akan diambil dari *data sheet/katalog* masing-masing komponen.

### 3. Kebutuhan Performa *Tugboat*

Penentuan kebutuhan performa *tugboat* yang meliputi kecepatan dan *bollard pull* ditentukan dengan kebutuhan *owner* yaitu *tugboat* untuk keperluan penundaan kapal di Terminal Teluk Lamong.

#### 3.2.4. Mendesain *Hybrid Tugboat*

Tahap-tahap desain *hybrid tugboat* dalam Tugas Akhir ini adalah:

##### 1. Mendapatkan *Lines Plan* Kapal

Pembuatan *lines plan* dilakukan menggunakan bantuan *software Maxsurf* dengan sebelumnya memperhitungkan kebutuhan *payload*, hambatan, dan stabilitas dari ukuran utama awal kapal.

##### 2. Mendapatkan Desain *General Arrangement*

Pembuatan *general arrangement* dilakukan dengan bantuan *software Autocad* sesuai kebutuhan yang diperlukan seluruh sistem yang digunakan di atas kapal.

##### 3. Mendapatkan Desain Sistem Propulsi *Hybrid*

Desain sistem propulsi *hybrid* dilakukan berdasarkan spesifikasi masing-masing komponen sistem propulsi berdasarkan *data sheet/katalog* yang tersedia dan menggunakan *layout* dari peneitian yang sudah ada sebelumnya.

##### 4. Menentukan Kapasitas *Battery Hybrid Tugboat*

Kapasitas dan ukuran *battery* ditentukan lewat kebutuhan daya pada penggerak motor listrik.

#### 3.2.5. Pengujian dan Analisis Desain *Hybrid Tugboat*

Tahap-tahap pengujian dan analisa desain *hybrid tugboat* dalam Tugas Akhir ini adalah:

##### 1. Pengujian dan Analisis Desain *Hybrid Tugboat*

Pengujian dan analisa desain *hybrid tugboat* mencakup kesesuaian terhadap *general arrangement* yang telah didesain, daya apung, dan tingkat kestabilan.

##### 2. Pengujian dan Analisis Sistem Propulsi

Pengujian dan analisa dilakukan pada sistem propulsi mencakup kinerja mesin utama, motor bantu, generator, baterai, *propeller*, dan *rudder* pada purwarupa. Analisa dilanjutkan pada bagaimana performa *tugboat* yang meliputi *Fuel Oil Consumption* (FOC), *bollard pull*, *speed ahead main engines*, *speed ahead generator*, dan *speed ahead batteries*.

### 3. Analisis Ekonomi *Hybrid Tugboat*

Analisis ekonomi dilakukan pada hasil desain *Hybrid Tugboat* yaitu mencari biaya pembangunan dan operasional dari kapal.

#### **3.2.6. Kesimpulan dan Saran**

Tahapan ini berupa hasil desain yang didapat dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, selanjutnya ditarik kesimpulan dari analisis dan perhitungan. Kesimpulan berupa ukuran utama kapal dan koreksi terhadap standar yang ada. Saran dibuat untuk menyempurnakan terhadap beberapa hal yang belum tercakup di dalam proses desain ini.

## **BAB 4**

### **ANALISIS TEKNIS**

#### **4.1. Umum**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses perhitungan dan analisis teknis yang digunakan dalam membuat desain dari *hybrid tugboat* ini. Perhitungan meliputi penentuan *payload*, ukuran utama kapal, koefisien kapal, hambatan dan perhitungan kebutuhan daya sistem propulsi kapal. Kemudian dilakukan penentuan permesinan beserta dengan desain konfigurasi sistem propulsi hibrida yang digunakan. Selain itu juga dilakukan perhitungan dan pemeriksaan terhadap berat dan titik berat kapal, tonase kapal, stabilitas kapal, dan tingkat konsumsi bahan bakar kapal yang kemudian dibandingkan dengan tingkat konsumsi bahan bakar dari kapal dengan sistem propulsi konvensional.

#### **4.2. Misi dan Penentuan *Payload***

##### **4.2.1. *Mission Statement***

Desain *tugboat* yang akan dibuat ditujukan untuk penggunaan di wilayah perairan Terminal Teluk Lamong dan akan digunakan sebagai sarana penundaan kapal yang berlabuh dan melakukan bongkar muat. Untuk itu maka *tugboat* harus memenuhi kriteria dan peraturan yang berlaku terkait penundaan kapal di Terminal Teluk Lamong.

Tugas atau misi dari kapal yang akan didesain ini menunjukkan fokus dari proses desain yang dilakukan dan juga aspek yang harus dipenuhi. Misi dari desain *tugboat* dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu berlayar di perairan Terminal Teluk Lamong dengan kecepatan dinas yang dibutuhkan.
2. Mampu menarik atau menunda kapal terbesar yang melakukan bongkar muat di Terminal Teluk Lamong dengan aman dan sesuai regulasi yang berlaku.
3. Mampu beroperasi dengan effisiensi bahan bakar yang lebih baik dan emisi yang lebih sedikit daripada *tugboat* konvensional.
4. Mampu beroperasi pada daya optimal dari setiap komponen mesin penggerak sehingga mengurangi *Time Between Overhaul* (TBO) dari mesin.
5. Mampu beroperasi dalam jumlah jam kerja yang dibutuhkan.

#### 4.2.2. Terminal Teluk Lamong

Terminal Teluk Lamong yang berlokasi di wilayah perbatasan antara kota Surabaya dan Kabupaten Gresik (kota Gresik), merupakan terminal *multipurpose* yang diapit oleh 2 (dua) pelabuhan milik PT Pelabuhan Indonesia III (Persero), yaitu Pelabuhan Gresik di sebelah barat, dan Pelabuhan Utama Tanjung Perak di sebelah timur.

Terminal Teluk Lamong merupakan pelabuhan berkonsep ramah lingkungan dan berteknologi semi-otomatis pertama di Indonesia. Terminal Teluk Lamong memiliki 2 dermaga yaitu dermaga petikemas sepanjang 500 meter dan dermaga curah kering sepanjang 250 meter. Terminal Teluk Lamong memiliki 4 (empat) tahap pembangunan dan pada tahun 2017 sedang berada pada tahap kedua. Dermaga curah kering yang kini mulai dioperasikan memiliki panjang 250 meter dan lebar 80 meter. Luasan tersebut akan diperpanjang menjadi 500 meter pada pembangunan tahap berikutnya. Kedalaman dermaga curah kering Terminal Teluk Lamong mencapai -14 LWS (14 meter) sehingga dapat menampung kapal berjenis Panamax berkapasitas 50.000-80.000 DWT (*Dead Weight Tonage*).

Statistik dari kapal yang berlabuh dan melakukan bongkar-muat di Terminal Teluk Lamong pada tahun 2019 dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Statistik Terminal Teluk Lamong  
(TTL, 2019)

Statistik Terminal Teluk Lamong	Domestik	Internasional
Jumlah Total Kapal	531 unit	198
Kapal Kontainer	263.319 TEU	216.763 TEU
Kapal Curah	0 Ton	1.902.335 Ton

Didapatkan data sampel jenis dan spesifikasi kapal yang berlabuh serta melakukan bongkar-muat di PT. Terminal Teluk Lamong pada bulan November 2019 yang dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut dengan diketahui kapal YM Eminence memiliki dimensi paling besar.

Tabel 4.2 Kapal yang Berlabuh di Terminal Teluk Lamong  
(TTL, 2019)

Nama Kapal	Jenis Kapal	LOA (m)	Breadth (m)
BILLY JIM	Bulk Carrier	229	32
FP PROTEIOS	Bulk Carrier	200	32
NEW GLORY	Bulk Carrier	179	28
YM EMINENCE	Container Ship	268	32
HARPY HUNTER	Container Ship	262	32

ALS JUPITER	Container Ship	261	32
JACKSON BAY	Container Ship	261	32
SENDANG MAS	Container Ship	215	30
SEGARA MAS	Container Ship	215	30
TANTO BERSINAR	Container Ship	162	26
MERATUS WAIGEO	Container Ship	145	17
MERATUS LABUAN BAJO	Container Ship	124	22
MERATUS BORNEO	Container Ship	107	21
AKASHIA	Container Ship	96	15
KUALA MAS	General Cargo Ship	128	18
BELIK MAS	General Cargo Ship	120	22
DERAJAT	General Cargo Ship	97	18
LINTAS BATANGHARI	General Cargo Ship	86	14

#### 4.2.3. Peraturan Penundaan Kapal

Dalam tata cara pemanduan dan penundaan kapal di pelabuhan, diberlakukan peraturan yang dikeluarkan oleh pihak Kementerian Perhubungan Indonesia sebagai berikut:

1. PM Nomor 93 tahun 2014 tentang sarana bantu dan prasarana pemanduan kapal, Pasal 14 Ayat (1): Setiap Kapal Tunda, yang digunakan dalam pelayanan pemanduan, harus diawaki sekurang-kurangnya 9 (sembilan) orang dengan persyaratan ijazah minimal Ahli Nautika Tingkat III untuk Kepala Kamar Mesin serta sertifikat kecakapan lainnya yang diperlukan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. (Kemenhub, PM Nomor 93 tahun 2014, 2019)
2. PM Nomor 57 tahun 2015 tentang pemanduan dan penundaan kapal, Pasal 38 Ayat (3): Penggunaan kapal tunda sebagai sarana bantu pemanduan untuk membantu oleh gerak kapal sebagaimana dimaksud pada ayat (1) diatur sebagai berikut:
  - a. Panjang kapal 70 (tujuh puluh) meter sampai dengan 150 (seratus lima puluh) meter menggunakan minimal 1 (satu) unit kapal tunda yang dengan jumlah daya paling rendah 2000 (dua ribu) DK dengan jumlah gaya tarik paling rendah 24 ton bollard pull;
  - b. Panjang kapal di atas 150 (seratus lima puluh) meter sampai dengan 250 (dua ratus lima puluh) meter menggunakan minimal 2 (dua) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 6.000 (enam ribu) DK dengan jumlah gaya tarik paling rendah 65 ton bollard pull; atau

- c. Panjang kapal 250 (dua ratus lima puluh) meter ke atas minimal 3 (tiga) unit kapal tunda dengan jumlah daya paling rendah 11.000 (sebelas ribu) DK dengan jumlah gaya tarik paling rendah 125 ton bollard pull.

(Kemenhub, PM Nomor 57 tahun 2015, 2019)

#### **4.2.4. Kebutuhan Daya *Bollard Pull***

Mengacu dari data jenis dan spesifikasi kapal yang berlabuh dan melakukan bongkar muat di PT. Terminal Teluk Lamong serta Peraturan Menteri yang berlaku untuk kegiatan penundaan kapal maka dapat dihitung *payload* dari desain *hybrid tugboat* yang berupa daya *bollard pull* sebagai berikut:

Bollard Pull dibutuhkan	= 125 Ton/ 3 Kapal
	= 41,67 Ton
Bollard Pull diambil	= 45 Ton
BHP dibutuhkan	= 11.000 HP/ 3 Kapal
	= 3666,67 HP
BHP diambil	= <b>4.000 HP (2 propeller)</b>

### **4.3 Ukuran Utama *Hybrid Tugboat***

#### **4.3.1. Ukuran Utama Awal**

Dari perhitungan *payload* sebelumnya maka diambil *parent ship* sebagai desain awal dari kapal *tugboat* yang digunakan di PT. Terminal Teluk Lamong yaitu KT. Jayanegara 302 milik PT. Pelindo Marine Service. Data kapal yang akan digunakan tersebut adalah sebagai berikut:

<i>Length Overall</i>	=	29,00 m
<i>Length Between Perpendicular</i>	=	27,885 m
<i>Beam Moulded</i>	=	12,00 m
<i>Depth Moulded</i>	=	5,10 m
<i>Draft</i>	=	3,5 m
<i>Bollard Pull</i> awal	=	35 Ton
<i>Bollard Pull</i> digunakan	=	45 Ton
Kecepatan	=	11,00 Knots
Jumlah Kru	=	9 Orang

(PMS, 2019)

### 4.3.2. Perhitungan Koefisien Kapal

Penentuan koefisien pada kapal meliputi perhitungan *froude number* ( $F_n$ ), *block coefficient* ( $C_b$ ), *midship coefficient* ( $C_m$ ), *prismatic coefficient* ( $C_p$ ), *waterplane coefficient* ( $C_{wp}$ ), *longitudinal center of buoyancy* (LCB), dan displacement ( $\Delta$ ). Pada Tugas Akhir ini, model kapal dibuat terlebih dahulu dengan menggunakan *software Maxsurf Modeler Student Version*. Setelah itu, didapatkan nilai *displacement* yaitu sebesar 731.12 ton dan LCB sepanjang 14.569 meter dari AP. Setelah itu, dilakukan perhitungan koefisien kapal sebagai berikut:

1. Perhitungan *Froude Number* ( $F_n$ )

$$\begin{aligned} F_n &= \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}} \\ &= 0,335475 \end{aligned} \tag{4.1}$$

2. Perhitungan *Block Coefficient*

$$\begin{aligned} C_b &= \Delta / (1.025 \cdot L \cdot B \cdot T) \\ &= 0,602 \end{aligned} \tag{4.2}$$

3. Perhitungan *Coefficient Midship* ( $C_m$ )

$$C_m = A_m / (T \cdot B_m) \tag{4.3}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_m &= \text{Luas station midship} \\ B_m &= \text{Lebar lambung kapal di midship} \end{aligned}$$

Maka, didapatkan  $C_m = 0,97$

4. Perhitungan *Waterplan Coefficient* ( $C_{wp}$ )

Untuk perhitungan dari *Waterplan Coefficient* digunakan rumus pendekatan melalui fungsi  $C_b$  sebagai berikut. (Parsons, 2001)

$$\begin{aligned} C_{wp} &= C_b / (0,471 + 0,551 \cdot C_b) \\ &= 0,689 \end{aligned} \tag{4.4}$$

5. Perhitungan *Prismatic Coefficient* ( $C_p$ )

Untuk perhitungan dari *Prismatic Coefficient* digunakan rumus pendekatan melalui fungsi  $C_b$  dan  $C_m$  sebagai berikut. (BKI, 2016)

$$\begin{aligned} C_p &= C_b / C_m \\ &= 0,602 \end{aligned} \tag{4.5}$$

#### 4.3.3. Pengecekan Rasio Ukuran Utama

Berdasarkan ukuran utama awal yang didapatkan, kemudian diperiksa rasio ukuran utama tersebut dengan berdasarkan perbandingan-perbandingan pada ukuran kapal sebagai berikut:

Fn	= 0,335	Fn < 0,38	Memenuhi
Cp	= 0,602	0,55 < Cp < 0,65	Memenuhi
L/B	= 2,417	2 < L/B < 4	Memenuhi
B/T	= 3,429	1,8 < B/T < 5	Memenuhi
B/H	= 2,35	1,47 < B/H < 2,38	Memenuhi
L/16	= 1,743	L/16 < H	Memenuhi

#### 4.4. Perhitungan Hambatan Kapal

Untuk perhitungan tahanan kapal digunakan metode Holtrop dengan persamaan sebagai berikut. (Lewis, Edward V., *Principles of Naval Architecture, Volume II Resistance, Propulsion, and Vibration*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, NJ, 1988.)

$$RT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{tot} \cdot [C_F \cdot (1 + k) + C_A] + (R_w / W) \cdot W \quad (4.6)$$

##### 4.4.1. Perhitungan Tahanan Gelombang

R<sub>w</sub> adalah tahanan gelombang yang melalui lambung kapal. Untuk menentukan besarnya nilai koefisien tahanan gelombang diperoleh sesuai dengan rumus pada *Principles of Naval Architecture, Vol. II. 92–94* sebagai berikut:

$$R_w/W = C_1 \times C_2 \times C_3 \times e^{m1 \times F_n^d + m2 \cos(\lambda F_n^2)} \quad (4.7)$$

Pada persamaan ini, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, λ dan m adalah koefisien pada bentuk lambung kapal yang akan dihitung tahanan gelombangnya. Untuk perhitungan pada setiap koefisien adalah sebagai berikut:

###### 1. Perhitungan Koefisien C<sub>1</sub>

$$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} \cdot (T/B)^{1.0796} \cdot (90-iE)^{(-1.3757)} \quad (4.8)$$

Dengan,

$$C_4 = 0.5 - 0.0625 \cdot L / B \quad \text{untuk } B / L \geq 0.25$$

Dimana,

$$B / L = 0.414$$

Maka,

$$C_4 = 0,474$$

$$\text{Mencari nilai } (T/B)^{1.0796}$$

$$= (T/B)^{1.0796}$$

$$= 0,264$$

$i_E$  adalah sudut masuk air yang mengenai lambung pada garis air. Untuk mencari nilai  $i_E$  digunakan persamaan sebagai berikut:

$$i_E = 125.67(B/L) - 162.25C_p^2 + 234.32C_p^3 + 0.1551(LCB + (6.8(Ta-Tf)/T))^3 \quad (4.9)$$

$$= 41,65 \text{ degree}$$

Dari perhitungan di atas maka dapat diperoleh nilai  $C_1 = 167.887$

## 2. Perhitungan Koefisien $C_2$

$$C_2 = \text{Koefisien pengaruh } bulbous bow$$

$$C_2 = 1,00 \quad (\text{untuk kapal tanpa } bulbous bow)$$

## 3. Perhitungan Koefisien $C_3$

$$C_3 = \text{Koefisien pengaruh bentuk transom stern terhadap hambatan}$$

$$C_3 = 1 - 0.8 \times A_T / B \times T \times C_m \quad (4.10)$$

Dimana,

$$A_T = \text{Immersed area of the transom at zero speed} = 0$$

$$A_T = 0 \text{ m}^2$$

$$C_3 = 1$$

## 4. Perhitungan Koefisien $C_5$

$$C_5 = \text{Koefisien dengan fungsi koefisien prisma (Cp)}$$

Untuk ( $C_p \leq 0,8$ ), maka  $C_5$  dihitung sebagai berikut :

$$C_5 = 8,0798 \cdot C_p - 13,8673 \cdot C_p^2 + 6,9844 \cdot C_p^3 \quad (4.11)$$

$$C_5 = 1,419$$

## 5. Perhitungan Koefisien $C_6$

$$C_6 = \text{Koefisien pengaruh terhadap harga } L^3 / \nabla \quad (4.12)$$

$$L^3 / \nabla = 38,213$$

Dimana, untuk ( $L^3 / \nabla \leq 512$ ), maka nilai koefisien  $C_6$  adalah :

$$C_6 = -1,69385$$

6. Perhitungan Koefisien  $m_1$

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,01404 (L/T) - 1,7525 (\nabla^{1/3} / L) - 4,7932 (B / L) - C_5 \quad (4.13) \\ &= -3,806 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Koefisien  $m_2$

$$\begin{aligned} m_2 &= C_6 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times Fn^{(-3.29)}} \quad (4.14) \\ &= -0,197 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Koefisien  $\lambda$

$\lambda$  = koefisien pengaruh lambung kapal terhadap harga  $L / B$

Dimana,

$$L / B = 2,417$$

Untuk ( $L / B < 12$ ), maka  $\lambda$  adalah:

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,446 Cp - 0,03 L / B \quad (4.15) \\ &= 0,708 \end{aligned}$$

9. Perhitungan  $W$

Nilai  $W$  adalah gaya keatas yang ditimbulkan oleh fluida. Untuk menentukan nilai  $W$  adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} W &= \rho g V \quad (4.16) \\ &= 6417,582 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari perhitungan koefisien yang dilakukan di atas maka didapatkan hasil perhitungan nilai hambatan gelombang ( $R_w$ ) = 33,797 kN

#### 4.4.2. Perhitungan Koefisien $(1 + k)$

Perhitungan dari koefisien faktor bentuk  $(1 + k)$  dalam buku *Principles of Naval Architecture*, Vol. II halaman 91. Rumusan baku untuk perhitungan koefisien bentuk  $(1 + k)$  yaitu :

$$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] S_{app} / S_{tot} \quad (4.17)$$

Pada persamaan ini,  $(1+k_1)$ ,  $(1+k_2)$ ,  $S_{app}$  dan  $S_{tot}$  adalah koefisien pada bentuk lambung kapal yang akan dihitung tahanannya. Untuk perhitungan pada setiap koefisien adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan  $1+k_1$

$$1+k_1 = 0.93 + 0.4871c (B / L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V) 0,3649 (1 - Cp)^{(-0.6042)} \quad (4.18)$$

Dimana,

$c$	= koefisien bentuk <i>afterbody</i>
$c$	= $1 + 0.011C_{stern} \gg C_{stern} = 0$
	= 1 <i>for normal section shape</i>
$c_{stern}$	= -25 <i>for pram with gondola</i>
$c_{stern}$	= -10 <i>for V-shaped sections</i>
$c_{stern}$	= 0 <i>for normal section shape</i>
$c_{stern}$	= 10 <i>for U-shaped sections with Hogner stern</i>

$L_R$  (*the length of the run*) adalah panjang gaya gesek lambung kapal dengan air saat berjalan. Dengan nilai LCB 2.0 – 2.8% panjang Lpp ke AP dari *midship*. Jika nilai  $L_R$  tidak diketahui maka menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} L_R / L &= 1 - C_p + 0.06 C_p LCB / (4C_p - 1) \\ &= 0,481 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Sehingga,

$$1+k_1 = 1,403$$

## 2. Perhitungan $1+k_2$

Koefisien ini merupakan koefisien akibat pengaruh tonjolan yang terdapat pada lambung kapal di bawah permukaan garis air.

$$\begin{aligned} 1 + k_2 &= 2.80 \quad \textit{for spade - type rudder of twin screw ships} \\ 1 + k_2 &= 1.4 \quad \textit{for bilge keels} \\ (1 + k_2)\text{eff} &= \sum S_i (1 + k_2)i / \sum S_i \\ &= \sum S_{\text{kemudi}} (1 + k_2_{\text{rudder of twin screw}}) + \sum S_{\text{bilge keels}} (1 + k_2_{\text{bilge keels}}) / \\ &\quad \sum (S_{\text{kemudi}} + S_{\text{bilge keels}}) \\ &= 1,696 \end{aligned} \quad (4.20)$$

## 3. Perhitungan $1+k_2$

Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA) badan kapal dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} WSA &= L (2T + B) C_m^{0.5} (0.4530 + 0.4425C_b - 0.2863C_m - 0.003467 \\ &\quad (B/T) + 0.3696 C_{wp}) + 2.38 (A_{BT} / C_b) \\ &= 352,857 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (4.20)$$

Dimana,

$$\begin{aligned} A_{BT} &= \textit{cross sectional area of bulb in FP} \\ &= 0 \quad (\textit{tidak memiliki bulbous bow}) \end{aligned}$$

#### 4. Perhitungan Luas Permukaan Basah Tonjolan Pada Kapal

$$\begin{aligned} S_{\text{Kemudi}} &= \text{Luasan daun kemudi} \\ &= C_1 C_2 C_3 C_4 ((1.75 L T) / 100) \end{aligned} \quad (4.21)$$

Dimana,

$$\begin{aligned} C_1 &= 1,7 && \text{factor for the ship type tugboat} \\ C_2 &= 0,9 && \text{factor for rudder type semi-spade rudders} \\ C_3 &= 1,0 && \text{factor for the rudder profile NACA profile and} \\ &&& \text{plate rudder} \\ C_4 &= 1,0 && \text{factor for the rudder arrangement rudder in the} \\ &&& \text{propeller jet} \\ S_{\text{Kemudi}} &= 5,435 \text{ m}^2 && (\text{dikali 2 karena tercelup kanan dan kiri}) \\ S_{\text{Bilge}} &= \text{Luasan bilge keels} \\ &= 0,6 C_b L (0,18 / (C_b - 0,2)) && (4.22) \\ &= 20,261 \text{ m}^2 && (\text{dikali 4 karena tercelup kanan-kiri, atas-bawah}) \\ S_{\text{app}} &= S_{\text{Kemudi}} + S_{\text{Bilge}} && (4.23) \\ &= 25,697 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} S_{\text{tot}} &= S_{\text{app}} + \text{WSA} \\ &= 378,553 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (4.24)$$

Dari perhitungan yang dilakukan di atas maka didapatkan hasil perhitungan nilai dari koefisien  $(1 + k) = 1,423$

#### 4.4.3. Perhitungan Koefisien Gesek

Untuk mendapatkan nilai dari koefisien gesek ini, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus berdasarkan ITTC 1957, yaitu:

$$C_F = 0,075 / (\log R_n - 2)^2 \quad (4.25)$$

Dimana untuk mencari nilai  $R_n$  dilakukan dengan persamaan berikut:

$$R_n = V_s \times L / v \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned} v &= \text{viskositas kinematis} \\ &= 1,1883 \times 10^{-6} \text{ m} / \text{s}^2 \end{aligned}$$

$$R_n = 138089892,4$$

Maka,

$$C_F = 0,001989$$

#### **4.4.4. Perhitungan Model-Ship Correlation Allowance**

Untuk mendapatkan nilai dari koefisien  $C_A$  ini, jika nilai ( $T / L > 0.04$ ) maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_A &= 0,006 (L + 100) - 0,16 - 0,00205 \\ T / L &= 0,121 \\ C_A &= 0,000707 \end{aligned} \quad (4.27)$$

#### **4.4.5. Perhitungan Hambatan Total**

Berdasarkan perhitungan setiap komponen dari persamaan hambatan kapal metode Holtrop & Mennen maka diperoleh hambatan total sebesar 55,768 kN. Selanjutnya koreksi besar hambatan dilakukan untuk jalur pelayaran di Asia Tenggara sebesar 15% - 20% (ITTC 1957).

$$\begin{aligned} R_T &= 55,768 \text{ kN} + (15\% \times 55,768 \text{ kN}) \\ &= 64,133 \text{ kN} \end{aligned} \quad (4.28)$$

### **4.5. Perhitungan Kebutuhan Daya Penggerak**

Perhitungan daya penggerak ini dihitung pada setiap mode operasi kerja dari *tugboat*. Dalam mendesain *tugboat*, hal yang sangat dipertimbangkan adalah daya tarik yang dihasilkan dengan konfigurasi permesinan yang ada. Mode operasi *tugboat* ada beberapa yaitu *standby*, *cruising*, dan *assisting*. Pada setiap mode operasinya daya yang dibutuhkan berbeda-beda, sehingga konfigurasi sistem propulsi hibrida ini disesuaikan dengan mode operasi dari *tugboat* tersebut.

#### **4.5.1. Perhitungan Daya Saat *Bollard Pull Test***

*Bollard Pull* adalah kemampuan dari daya tarik beban statis *tugboat* menarik suatu beban dan mewakili kemampuan kapal dalam melakukan mode *assisting*. Mode *assisting* ini adalah kondisi kerja dimana *tugboat* bekerja menarik maupun mendorong kapal besar yang akan bersandar dipelabuhan dengan kecepatan 1-3 knot. *Tugboat* akan bekerja menggunakan daya yang dihasilkan oleh mesin utama. Saat mode *assisting* ini, sangat dibutuhkan torsi yang besar.

*Bollard pull* sendiri dihasilkan dari daya mesin yang dikombinasikan dengan *thrust* dari *propeller* sehingga menghasilkan daya dorong pada *tugboat*. *Bollard pull* didapatkan pada saat pengujian *tugboat* yang dikaitkan dengan tali pada *towing hook* kapal dan diikatkan pada *bollard* yang tertanam pada dermaga.

Dalam perhitungan mencari nilai dari *bollard pull tugboat* terdapat beberapa rumus pendekatan yang dapat digunakan. Berikut merupakan rumus pendekatan perhitungan *bollard pull* berdasarkan Capt. P. Zahalka dari *Association of Hanseatic Marine Underwriters*:

Kapal *tugboat* dengan menggunakan *fixed pitch propeller (freewheeling)*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,10 / 100 = (t) \quad (4.29)$$

Kapal *tugboat* dengan menggunakan *fixed pitch propeller* dengan *kort-nozzle*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,20 / 100 = (t) \quad (4.30)$$

Kapal *tugboat* dengan menggunakan *controllable pitch propeller (freewheeling)*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,25 / 100 = (t) \quad (4.31)$$

Kapal *tugboat* dengan menggunakan *controllable pitch propeller* dengan *kort-nozzle*

$$\text{BHP} \times 0,9 \times 1,40 / 100 = (t) \quad (4.32)$$

(Zahalka, 2010)

Persamaan-persamaan di atas digunakan untuk memperkirakan konversi dari BHP ke “t” pada bollard pull efektif dimana  $t = 45$  ton. Desain dari hybrid *tugboat* dalam Tugas Akhir ini diputuskan memakai *fixed pitch propeller* dengan *kort-nozzle* sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung kebutuhan daya BHP adalah sebagai berikut:

$$(t) = 45 \text{ ton}$$

$$(t) = \text{BHP} \times 0,9 \times 1,20 / 100 \quad (4.33)$$

(Zahalka, 2010)

Maka,

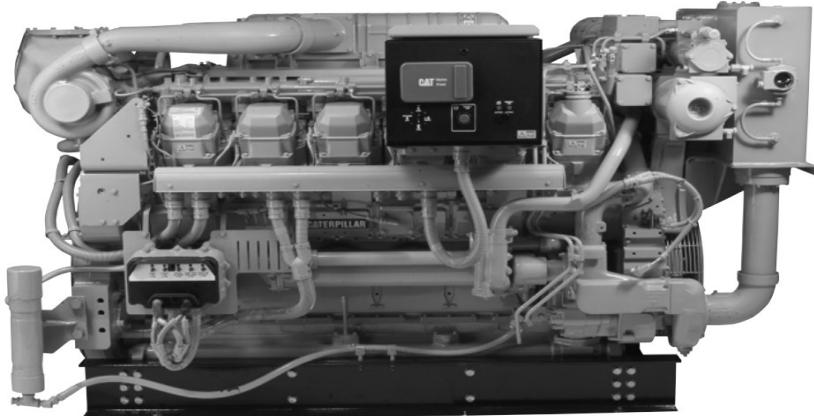
$$\text{BHP} = 45 \text{ ton} \times 100 / (0.9 \times 1.2) \quad (4.34)$$

$$= 4375 \text{ HP}$$

$$\text{BHP} = 3217,81 \text{ kW}$$

$$= 2187,50 \text{ HP} \quad \text{Untuk satu propeller}$$

Dari hasil perhitungan, daya yang dibutuhkan saat keadaan *bollard test* didapatkan yaitu senilai 2187.5 HP untuk satu *propeller* sehingga dipilih mesin diesel sebagai mesin utama dari kapal untuk memenuhi kebutuhan daya tersebut dengan mesin diesel 2 X 2300 HP Caterpillar 3512C TIER 3 1800 rpm dengan spesifikasi lebih rinci dapat dilihat pada lampiran B. Pada Gambar 4.1 berikut ini dapat dilihat *diesel engine* yang dipilih sebagai penggerak kapal.



Gambar 4.1 Caterpillar Diesel Engine 3512C TIER 3 2300 HP  
(Caterpillar, 2020)

#### 4.5.2. Perhitungan Daya Saat Mode *Cruising*

Kondisi *cruising* adalah kondisi dimana *tugboat* bekerja tanpa beban tarik, sehingga daya yang dibutuhkan hanya untuk menggerakkan kapal melawan tahanan kapal sesuai kecepatan kapal tersebut. Daya yang diperlukan paling sedikit yaitu berdasarkan hambatan pada kecepatan dinas 11 knot = 5,66 m / s.

Setelah didapatkan nilai hambatan total kapal di subbab perhitungan hambatan sebelumnya, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan proporsi/daya mesin yang dibutuhkan untuk mode *cruising*, yaitu BHP<sub>Cruising</sub>, ditentukan dengan persamaan dibawah ini:

$$\text{BHP} = \text{EHP} / (\eta_h \cdot \eta_o \cdot \eta_r \cdot \eta_g) \quad (4.35)$$

Dimana:

$$\text{EHP} = R_T \cdot V_s \quad (4.36)$$

$$= 362,89 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \eta_h &= \text{Hull efficiency} \\ &= (1 - t) / (1 - w) \end{aligned} \quad (4.37)$$

$t$  = Nilai tambahan tahanan kapal karena thrust yang mengenai *propeller*

$$\begin{aligned} t &= 0,325 C_b - 0,1885 D / \sqrt{B \cdot T} \\ &= 0,1005 \end{aligned} \quad (4.38)$$

$$w = 0,3 C_b + 10 C_v C_b - 0,1 \quad (4.39)$$

$$w = 0,0757 \quad (\text{Edward, 1988})$$

$$\eta_o = 0,973$$

$$\begin{aligned} \eta_r &= \text{Efficiency open water test} \\ &= 0,6 \quad (\text{Edward, 1988}) \end{aligned}$$

$$\eta_r = \text{Efficiency rotative} \\ = 0,98 \quad (\text{Molland, 2011})$$

$$\eta_g = \text{Reduction gear efficiency} \\ = 0,98 \quad (\text{Parsons, 2001})$$

Maka,

$$\text{BHP} = 636,37 \text{ kW} \\ = \mathbf{318,18 \text{ kW}} \quad \text{Untuk 1 propeller}$$

Efisiensi pengurangan daya akibat effisiensi oleh *shaft propeller* tidak dihitung karena pada konfigurasi *hybrid* motor listrik terintegrasi dengan *azimuth propeller* sehingga motor listrik tidak menggunakan komponen *shaft*. Ditunjukkan dalam tabel 4.3 berikut adalah hasil perhitungan kebutuhan daya BHP yang diperlukan kapal untuk melakukan mode *cruising* pada setiap kondisi kecepatan.

Tabel 4.3 Kebutuhan Daya Saat Mode *Cruising*  
(Caterpillar, 2020)

Vs (Knot)	Vs (m/s)	R <sub>T</sub> (kN)	BHP (kW)	BHP (HP)
1	0,514	0,286	0,257	0,344
2	1,029	1,037	1,863	2,499
3	1,543	2,209	5,957	7,988
4	2,058	3,783	13,602	18,241
5	2,572	5,747	25,83	34,638
6	3,086	8,116	43,776	58,703
7	3,601	11,086	69,76	93,548
8	4,115	15,466	111,217	149,142
9	4,63	24,026	194,374	260,656
10	5,144	39,595	355,924	477,294
11	5,658	64,358	636,367	853,369

Dalam kondisi *cruising* ini, penggerak yang akan digunakan adalah motor listrik, sehingga dipilih motor listrik untuk memenuhi daya pada kecepatan *service* 11 knot dengan daya 636.367 kW. Dipilih motor listrik 2 X ABB M3BP 355LKA 6 Poles 355 kW  $\eta_{\text{rated}}$  95.7% dengan daya total  $2 \times 355 \text{ kW} = 710 \text{ kW}$  dengan spesifikasi lebih rinci dapat dilihat pada lampiran B untuk memenuhi kebutuhan daya penggerak.

Motor listrik yang dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut akan menjadi mesin penggerak kedua bagi *tugboat* dan digunakan ketika mode *cruising* dan *satndby* menggantikan mesin utama diesel yang memiliki daya besar.



Gambar 4.2 Motor Listrik ABB M3BP 355LKA  
(ABB, 2020)

#### 4.5.3. Perhitungan Daya Saat Mode *Standby*

Kondisi *standby* adalah kondisi dimana sumber tenaga gerak bekerja memutar *propeller* untuk mempertahankan posisi *tugboat* melawan arus air yang melewati badan kapal. Kondisi ini bekerja pada kecepatan 1-3 knot dan memakai motor listrik sebagai tenaga penggerak. Untuk mencari EHP dan BHP yang dibutuhkan pada setiap kondisi kerjanya, dihitung dari pembebanan tahanan kapal terhadap kecepatan yang hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.3 di halaman sebelumnya dengan daya maksimum yang dibutuhkan pada kecepatan 3 knot yaitu 5,957 kW.

### 4.6. Perhitungan Kebutuhan Daya Listrik

Perhitungan kebutuhan daya listrik ini digunakan untuk menentukan daya genset dan juga kapasitas baterai yang nantinya akan digunakan pada *tugboat*. Daya listrik ini untuk memenuhi seluruh komponen yang ada pada *tugboat* dan juga mesin penggerak motor listrik. Oleh karena itu maka akan dipakai dua genset pada kapal yaitu genset untuk kebutuhan komponen equipment kapal dan untuk kebutuhan motor listrik. Kemudian akan digunakan baterai sebagai sumber daya listrik tambahan pada kapal.

#### 4.6.1. Kebutuhan Daya Listrik *Equipment*

Ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut kebutuhan daya listrik *equipment* sesuai mode operasinya pada tiap komponen *equipment* yang ada pada *tugboat* dengan spesifikasi lebih rinci dapat dilihat pada lampiran B.

Tabel 4.4 Kebutuhan Daya *Equipment* Pada Tiap Mode Operasi

<i>Equipment</i>	<i>Power</i> (kW)	<i>Standby</i>	<i>Cruising</i>	<i>Assisting</i>
<i>Deck Crane + Towing Winch</i>	15	-	-	15
<i>Anchor/Towing Winch</i>	7	7	-	-
<i>fifi Pump</i>	40	-	-	-
<i>Fuel oil system</i>	25	25	25	25
<i>Lubricating Oil system</i>	10	10	10	10
<i>Nav. / Comm. Equipment</i>	10	10	10	10
<i>Compressed Air System</i>	4	4	-	-
<i>Cooling system</i>	22	22	22	22
<i>General service</i>	7	7	7	7
Total		85	74	89

Total kebutuhan daya listrik terbesar dari *equipment* kapal adalah 89 kW yaitu pada mode *assisting*. Maka untuk memenuhi kebutuhan daya listrik *equipment* kapal pada tiap mode operasinya, maka dipilih genset 1 X Caterpillar C 4.4 Marine Generator set 123 kVA (99 kW) 230/240 Volt 60 Hz yang dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut. Spesifikasi lebih rinci dari genset dapat dilihat pada lampiran B.



Gambar 4.3 Caterpillar C 4.4 Marine Generator set 123 kVA  
(Caterpillar, 2020)

#### 4.6.2. Kebutuhan Daya Motor Listrik

Pada konfigurasi mode *hybrid*, motor listrik bekerja dengan memperoleh daya listrik dari genset atau baterai. Sehingga daya yang diperlukan untuk memutar kedua motor listrik tersebut dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{\text{input}} = P_{\text{output}} / \eta_{\text{rated}} \quad (4.40)$$

Dimana,

$P$  = Daya (Watt)

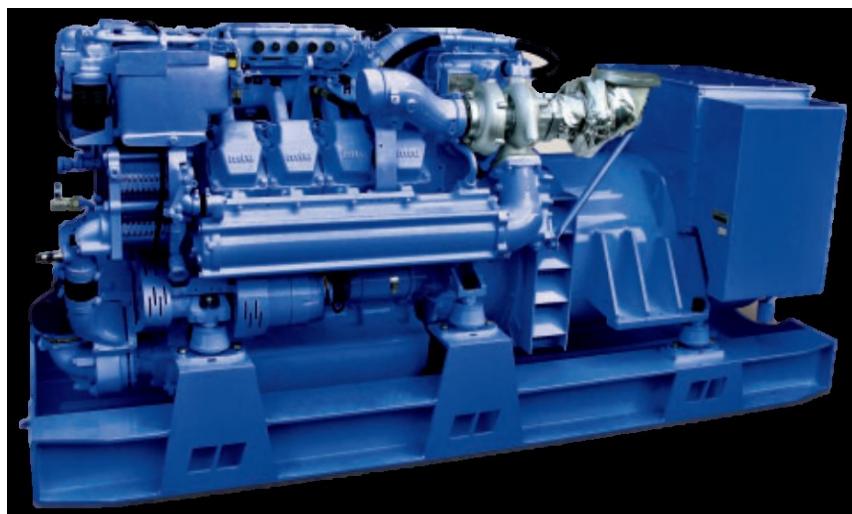
$\eta_{\text{rated}}$  = Effisiensi motor listrik

Untuk mencari daya terbesar yang dibutuhkan oleh motor listrik maka digunakan  $P_{\text{output}}$  berupa nilai BHP pada kecepatan 11 knot yaitu 636.367 kW.

$$P_{\text{input}} = 636,367 \text{ kW} / 95,7\%$$

$$= 664,961 \text{ kW}$$

Jadi kebutuhan genset untuk memberikan energi listrik pada sistem propulsinya disesuaikan dengan daya masukan ( $P_{\text{input}}$ ) yang dibutuhkan oleh dua motor listrik seperti pada perhitungan di atas yaitu sebesar 664.961 kW. Untuk memenuhi kebutuhan daya listrik motor listrik kapal tersebut dipilih genset 1 X MTU 16V 2000 M51B 770 kW 450V/690V-60Hz yang dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut. Spesifikasi lebih rinci dari genset dapat dilihat pada lampiran B.



Gambar 4.4 MTU 16V 2000 M51B 770 kW  
(MTU, 2020)

#### 4.6.3. Perhitungan Kapasitas dan Daya Tahan Baterai

Pada sistem propulsi *hybrid* digunakan sumber daya listrik tambahan berupa baterai dengan jenis Lithium-Ion yang saat ini banyak digunakan secara luas termasuk dalam penggunaan sebagai sumber daya penggerak kapal. Dalam desain *hybrid tugboat* ini akan digunakan baterai 3 X 117.5 kWh Valence U 27-36XP dengan kapasitas total energi senilai 352.5 kWh untuk menyuplai kebutuhan daya dari motor listrik. Untuk spesifikasi lebih rinci

dapat dilihat pada lampiran B. Baterai ini berupa *battery package* yang terdiri dari *battery module* yang lebih kecil seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Valence U 27-36XP Battery  
(Lithium-Werks, 2020)

Untuk mengitung daya tahan baterai berdasarkan penggunaan energi yang digunakan maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Daya tahan baterai} = \text{Total Battery Energy} / P_{\text{input}} \quad (4.41)$$

Dengan penggunaan battery pada motor listrik dibatasi pada kecepatan 8 knot mode *cruising* maka kebutuhan  $P_{\text{input}}$  pada battery dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{input}} &= P_{\text{output}} / \eta_{\text{rated}} \\ &= \text{BHP (8 knot)} / \eta_{\text{rated}} \\ &= 111,217 / 95,7\% \\ &= 116,214 \text{ kW} \end{aligned} \quad (4.42)$$

Maka daya tahan baterai pada kecepatan kapal 8 knot didapatkan yaitu selama 3 jam dalam mode operasi *cruising*. Pada tabel 4.5 di berikut dapat dilihat hasil perhitungan daya tahan baterai pada konfigurasi kecepatan kapal lainnya.

Tabel 4.5 Daya Tahan Baterai Pada Setiap Kecepatan Kapal

Vs (Knot)	$P_{\text{output}}$ (kW)	$P_{\text{input}}$ (kW)	Daya tahan baterai (Jam)
1	0,257	0,268	1313,2
2	1,863	1,947	181,0
3	5,957	6,225	56,6

4	13,602	14,214	24,8
5	25,830	26,990	13,1
6	43,776	45,743	7,7
7	69,760	72,894	4,8
8	111,217	116,214	3,0

#### 4.7. Konfigurasi *Hybrid Propulsion System*

Pada sistem propulsi kapal *tugboat* konvensional hanya digunakan satu jenis mesin penggerak dan digunakan pada setiap mode operasi kerja dari *tugboat*. Sistem konvensional ini, pada setiap mode operasinya menggunakan mesin utama dengan pembebanan yang berbeda-beda. Dari setiap kondisi kerja dari *tugboat*, diketahui bahwa kondisi mesin bekerja tidak dalam kondisi *full throttle* sehingga menyebabkan mesin akan butuh semakin sering untuk dilakukan *over haul*. Untuk menanggulangi hal tersebut dibuat alternatif lain untuk mencegah hal tersebut. Salah satunya adalah dengan penambahan sumber tenaga gerak yang lain yang disebut *Hybrid Propulsion System*.

Konfigurasi *Hybrid Propulsion System* menggunakan dua sumber tenaga penggerak yang berasal dari mesin diesel dan motor listrik. Sistem ini menggunakan konfigurasi PTO (*power take off*) yaitu sumber tenaga penggerak yang bekerja satu persatu secara bergantian sesuai dengan mode operasinya dengan tujuan untuk menghemat bahan bakar dan juga memperpanjang TBO (*time between overhauls*) dari mesin penggerak utama. Pada *Hybrid Propulsion System* ini digunakan *azimuth propeller* yang terintegrasi dengan motor listrik sehingga desain sistem propulsi menjadi semakin *compact* dan menghemat penggunaan tempat dari ruang mesin *tugboat*. Effisiensi daya dari motor listrik juga akan semakin baik karena berkurangnya komponen penghubung antara mesin penggerak dengan *propeller*.

##### 4.7.1. Komponen Pendukung *Hybrid Propulsion System*

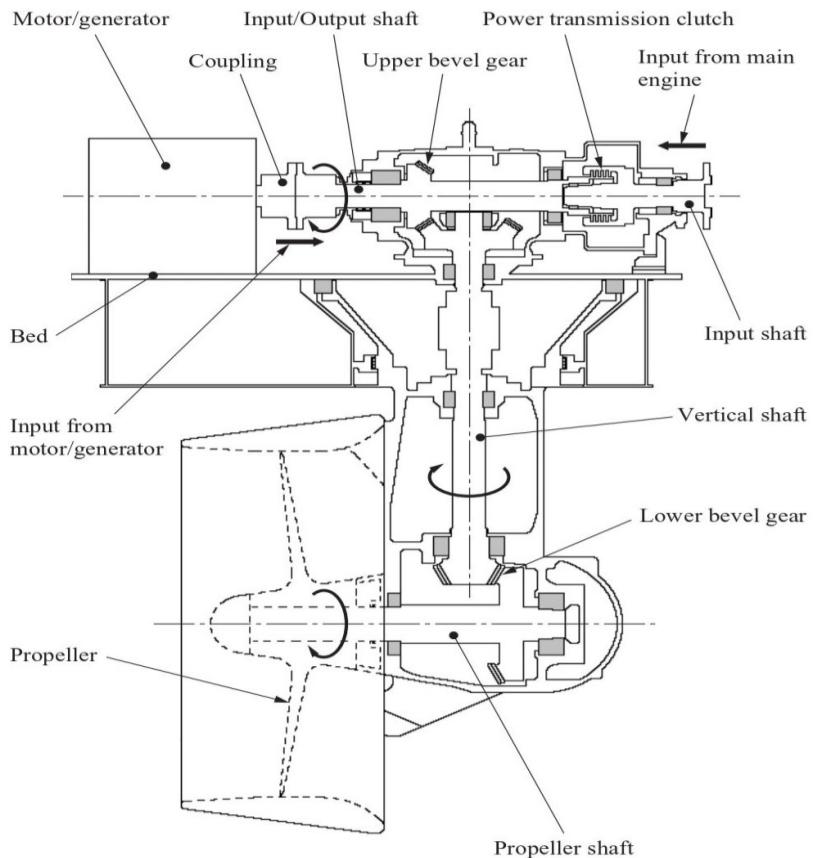
*Hybrid propulsion system* dapat bekerja baik dengan pendukung komponen lain. Dengan penambahan motor listrik pada sistem propulsi kapal menunjukkan perlunya ada penambahan komponen untuk menunjang sistem tersebut agar dapat bekerja. Motor listrik adalah sumber tenaga gerak yang berasal dari tenaga listrik yang berasal dari generator kemudian disalurkan ke motor listrik sehingga menjadi sumber tenaga gerak baru di dalam konfigurasi sistem tersebut.

Untuk mengatur putaran motor listrik dibutuhkan alat *Variable Speed Drive* (VSD) seperti pada gambar 4.6. Ini digunakan untuk mengatur putaran motor listrik, yang berfungsi menyesuaikan putaran motor listrik pada setiap kondisi kecepatan kapal dan juga sebagai pengganti *gear box* dari mesin penggerak. Pengaturan putaran motor listrik untuk mempertimbangkan kondisi kerja putaran motor listrik yang tidak selalu sama pada setiap kondisi kerja. Diperlukan variasi putaran motor listrik untuk mengoptimalkan kerja motor listrik di setiap putaran yang dihasilkan. *Variable Speed Drive* ini akan mengatur putaran dari motor listrik pada kecepatan 1800 Rpm.



Gambar 4.6 *Variable Speed Drive* (VSD)  
(Sumber: [www.se.com](http://www.se.com))

Motor listrik pada sistem propulsi *tugboat* ini digunakan sebagai sumber tenaga gerak dimana digunakan saat kondisi kapal tidak mendapatkan beban besar atau pada penggunaan daya kecil untuk menggerakan *propeller* pada kapal. Oleh karena itu maka dibutuhkan kustomisasi pada komponen *azimuth propeller* yang diintegrasikan dengan motor listrik seperti pada gambar 4.7. Ketika kapal membutuhkan daya kecil maka *built-in clutch* yang ada pada *azimuth propeller* akan menghubungkan motor listrik dengan propeller kapal dan memutuskan hubungan transmisi daya dari *main engine*. Begitu pula sebaliknya ketika kapal membutuhkan daya besar maka transmisi daya dari motor listrik diputus dan menghubungkan *propeller* dengan *shaft* yang digerakkan oleh *main engine*. Perhitungan effisiensi untuk menentukan kebutuhan daya BHP yang dibutuhkan *Azimuth Propeller* dapat dilihat pada subbab 4.5.2 dan kebutuhan suplai listrik berdasarkan effisiensi motor listrik pada subbab 4.6.2.

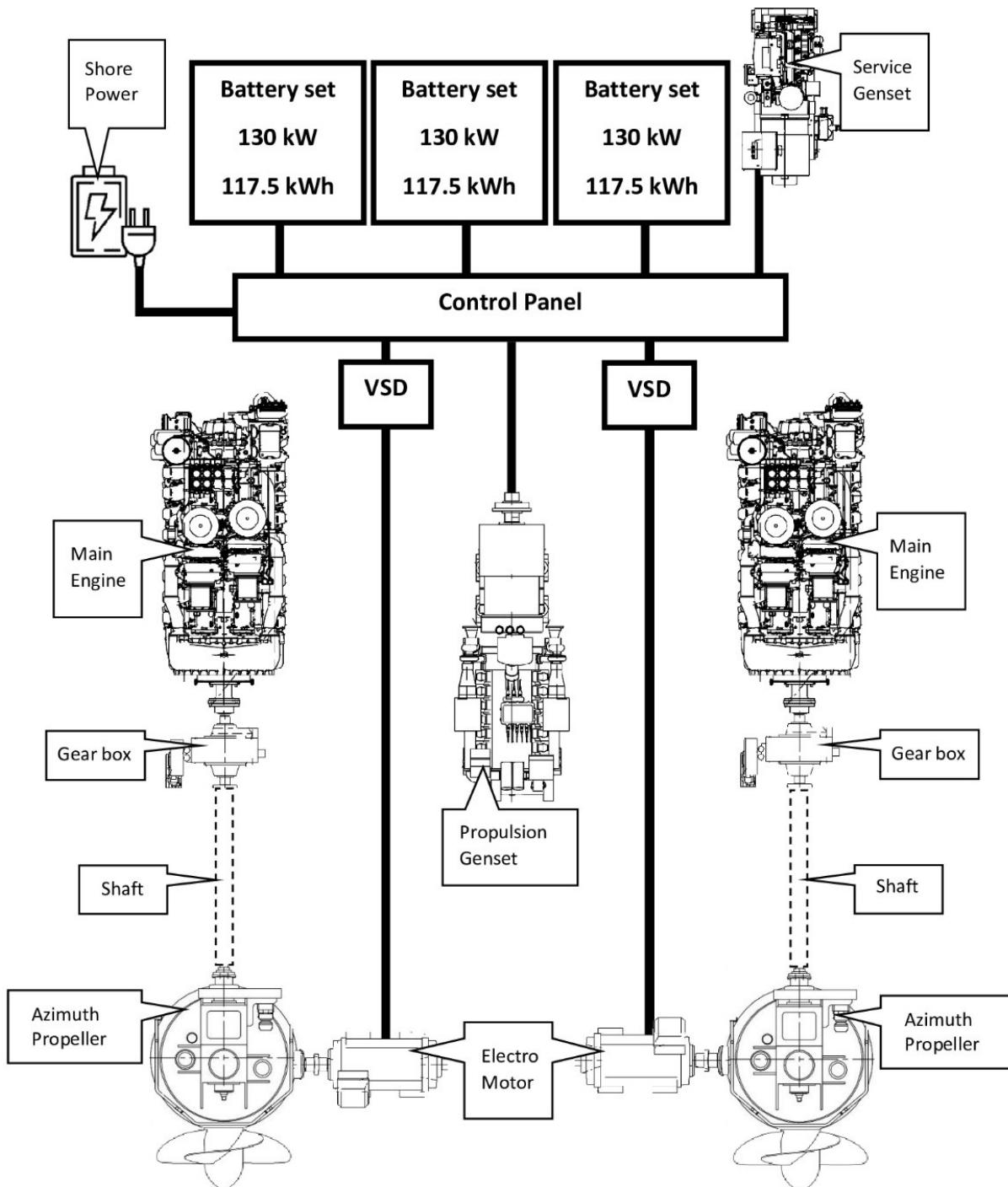


Gambar 4.7 *Azimuth Propeller* yang Terintegrasi Dengan Motor Listrik  
 (Shiraishi, 2015)

#### 4.7.2. Desain Konfigurasi *Hybrid Propulsion System*

Desain konfigurasi sistem propulsi adalah pemodelan suatu sistem propulsi dengan menggunakan sistem hibrida. Beberapa hal yang dipertimbangkan dalam pemodelan sistem ini yaitu komponen pendukung bekerja dengan baik dan juga penggunaan bahan bakar yang lebih effisien atau hemat.

Digunakan desain konfigurasi *power take off system* dimana dua sumber tenaga penggerak bekerja secara bergantian untuk menggerakkan *propeller* pada setiap kondisi kerja dari *tugboat*. Desain konfigurasi yang dibuat berupa penambahan motor listrik pada desain sistem propulsi konvensional *tugboat* dengan cara mengintegrasikan motor listrik dan *azimuth propeller*. Untuk mengatur putaran pada motor listriknya digunakan komponen pendukung *Variable Speed Drive* dan juga ditambahkan baterai sebagai komponen sumber daya listrik tambahan. Sumber daya listrik tambahan berupa baterai ini mendapatkan suplai listrik dari *charger port* di pelabuhan. *Layout* dari konfigurasi *hybrid propulsion system* dengan dua sumber tenaga penggerak dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Konfigurasi *Hybrid Propulsion System*

Dalam kondisi kerjanya, *tugboat* memiliki beberapa kondisi kerja yang berbeda-beda. Pada tabel 4.6 di halaman brikutnya ditunjukkan komponen-komponen yang bekerja sesuai dengan kondisi kerjanya.

Tabel 4.6 Konfigurasi Permesinan *Hybrid* Pada *Tugboat*

Device	Mode Operasi <i>Tugboat</i>		
	Standby	Cruising	Assisting
Main Engine 1	Off	Off	On
Main Engine 2	Off	Off	On
Electro Motor 1	On	On	Off
Electro Motor 2	On	On	Off
Propulsion Genset	Off	On / off	Off
Service Genset	On	On	On
Battery Power	Discharge	Discharge / Idle	Idle

Konfigurasi permesinan pada *tugboat* di atas untuk menunjukkan komponen yang bekerja saat mode operasinya. Sumber energi gerak bekerja yang digunakan tergantung pada kondisi masing-masing mode kerjanya.

### 1. Mode *Standby*

Pada mode *standby* dimana kondisi *tugboat* bekerja dengan penggerak untuk mempertahankan posisinya saat berada ditengah laut untuk mempersiapkan bekerja menarik kapal hanya membutuhkan daya yang relatif kecil. Kondisi kapal pada mode ini bekerja pada kecepatan 1-3 knot. Karena itu digunakan mesin penggerak motor listrik yang disuplai daya listriknya oleh *battery set*. Berdasarkan perhitungan daya tahan baterai maka *tugboat* dapat berada di mode *standby* selama minimum 54.4 jam. Konfigurasi kerja permesinan pada mode *standby* dapat dilihat pada lampiran A.

### 2. Mode *Cruising*

Kondisi *cruising* atau *free running* adalah kondisi dimana saat *tugboat* bekerja tanpa beban. *Tugboat* berlayar dari pelabuhan menuju kapal yang akan ditunda atau kembali ke pelabuhan setelah menarik kapal yang. Pada mode ini kapal bekerja pada kecepatan 4-11 knot. Pada mode ini digunakan mesin penggerak motor listrik yang dapat memberikan daya penggerak pada kapal sampai kecepatan 11 knot.

Sumber daya lisrik yang dibutuhkan motor penggerak disuplai dari dua sumber energi yaitu *battery set* dan *propulsion genset*. Saat *tugboat* melakukan mode *cruising* dengan kecepatan di bawah 8 knot maka motor listrik akan disuplai oleh baterai. Pada mode *cruising* baterai dapat bertahan selama minimum 2.9 jam di kecepatan 8 knot. Sedangkan ketika *tugboat* bekerja pada mode *cruising* dengan kecepatan di atas 8 knot

atau saat energi baterai habis maka daya listrik disuplai oleh *propulsion genset*. Konfigurasi kerja permesinan pada mode *cruising* dapat dilihat pada lampiran A.

### 3. Mode *Assisting*

Kondisi *tugboat* saat mode operasi *assisting* adalah kondisi dimana *tugboat* sedang menarik maupun mendorong kapal yang akan bersandar atau pergi dari pelabuhan. Mode operasi ini membutuhkan daya yang relatif besar, sehingga digunakan sumber tenaga gerak dari mesin utama diesel untuk mendapatkan torsi yang besar untuk dapat menarik kapal tersebut. Pada mode *assisting* ini motor listrik dan *propulsion genset* tidak bekerja. Konfigurasi kerja permesinan pada mode *assisting* dapat dilihat pada lampiran A.

## 4.8. Perhitungan Berat Kapal

Berat kapal terdiri dari dua komponen, yaitu komponen DWT (*Dead Weight Tonnage*) dan komponen LWT (*Light Weight tonnage*). Kedua komponen berat kapal ini dihitung beserta dengan titik beratnya terhadap *baseline* atau *vertical center of gravity* (VCG) dan titik berat terhadap AP atau *longitudinal center of gravity* (LCG).

### 4.8.1. Perhitungan Berat DWT

Komponen berat kapal DWT (*Dead Weight Tonnage*) dalam Tugas Akhir ini terdiri dari berat bahan bakar, berat minyak pelumas, dan berat kru kapal dan bawaannya yang dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut. Untuk perhitungan lebih rinci dari komponen DWT dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4.7 Perhitungan Komponen DWT

Barat Kapal Bagian DWT				
No	Item	Berat (ton)	VCG (m)	LCG (m)
1	<b>Berat Fuel Oil (FO)</b>			
	<i>Day Fuel Oil (S&amp;P)</i>	13,64	2,10	18,00
	<i>Forward Tank FO (S&amp;P)</i>	26,45	1,43	20,40
	<i>Double Bottom Tank FO (Centre)</i>	53,43	0,72	14,40
	<i>Double Bottom Tank FO (S&amp;P)</i>	39,78	0,74	12,50
	<b>Total Berat dan Titik Berat</b>	<b>133,30</b>	<b>1,01</b>	<b>15,39</b>
2	<b>Berat Lube Oil</b>			
	<i>Main Engine Lube Oil</i>	0,28	2,80	6,25
	<i>Propulsion Genset Lube Oil</i>	0,06	2,80	6,25

	<i>Service Genset Lube Oil</i>	0,01	2,80	6,25
	<b>Total Berat dan Titik Berat</b>	<b>0,90</b>	<b>2,80</b>	<b>6,25</b>
3	<i>Fresh Water Tank</i>	<b>28,93</b>	<b>1,80</b>	<b>24,68</b>
<b>Berat Crew and Effects</b>				
4	<i>Accomodation Room</i>	1,33	3,95	22,20
	<i>Bridge Deck</i>	0,67	6,30	17,40
	<b>Total Berat dan Titik Berat</b>	<b>2,00</b>	<b>4,73</b>	<b>20,60</b>
5	<i>Provisions and Stores Weight</i>	<b>1,50</b>	<b>6,30</b>	<b>17,40</b>

Kemudian, berat setiap komponen DWT pada tabel 4.7 dijumlahkan dan dihitung titik berat total setiap komponennya. Hasil perhitungan berat dan titik berat DWT adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Berat DWT} &= 166,63 \text{ ton} \\
 \text{VCG}_{\text{DWT}} &= 1,247 \text{ meter dari baseline} \\
 \text{LCG}_{\text{DWT}} &= 17,04 \text{ meter dari AP}
 \end{aligned}$$

#### 4.8.2. Perhitungan Berat LWT

Berat LWT (*Light Weight Tonnage*) merupakan berat kapal kosong dan terdiri dari berat komponen kamar mesin, berat konstruksi kapal, berat *main deck equipment*, berat akomodasi kapal, dan berat *miscellaneous*. Komponen berat LWT selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut. Untuk perhitungan lebih rinci dari komponen LWT dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 4.8 Perhitungan Komponen LWT

<b>Barat Kapal Bagian LWT</b>				
<b>No</b>	<b>Item</b>	<b>Berat (ton)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>LCG (m)</b>
<b>Berat Kamar Mesin</b>				
	<i>Berat Main Engine</i>	14,98	2,80	14,00
	<i>Berat Motor Listrik</i>	1,92	3,00	9,50
	<i>Berat Azimuth Thruster + shaft</i>	36,00	3,80	3,60
1	<i>Berat Propulsion Genset</i>	7,03	2,40	14,40
	<i>Berat Service Genset</i>	0,81	2,10	8,60
	<i>Berat Battery Set</i>	3,46	1,1	23,4
	<i>Other Weight</i>	33,32	1,4	15
	<b>Total Berat dan Titik Berat</b>	<b>97,51</b>	<b>2,60</b>	<b>10,73</b>

		<b>Berat Struktur</b>		
2	<i>Bridge Deck Structure</i>	22,86	6,30	18,40
	<i>Top Deck Structure</i>	12,70	8,70	18,10
	Berat Lambung	258,13	2,41	13,98
	<b>Total Berat dan Titik Berat</b>	<b>293,70</b>	<b>2,98</b>	<b>14,50</b>
		<b>Berat Main Deck Equipment</b>		
3	Jangkar	0,72	5,89	14,72
	<i>Anchors / Towing Winch</i>	4,40	5,89	14,72
	<i>Crane + Winch</i>	7,70	5,89	14,72
	<b>Total Berat dan Titik Berat</b>	<b>12,82</b>	<b>5,89</b>	<b>14,72</b>
		<b>Berat Accomodation</b>		
4	<i>Bridge Deck Accomodation</i>	11,57	6,30	18,40
	<i>Top Deck Accomodation</i>	6,43	8,70	18,10
	<b>Total Berat dan Titik Berat</b>	<b>17,99</b>	<b>7,50</b>	<b>18,25</b>
5	<b>Berat Miscellaneous</b>	<b>76,23</b>	<b>5,89</b>	<b>14,72</b>

Kemudian, berat setiap komponen LWT pada tabel 4.8 dijumlahkan dan dihitung titik berat total setiap komponennya. Hasil perhitungan berat dan titik berat LWT adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Berat LWT} &= 498,24 \text{ ton} \\
 \text{VCG}_{\text{LWT}} &= 3,532 \text{ meter dari } \textit{baseline} \\
 \text{LCG}_{\text{LWT}} &= 13,81 \text{ meter dari AP}
 \end{aligned}$$

#### 4.8.3. Berat Total Kapal

Selanjutnya, dapat dihitung total berat dan titik berat dari *hybrid tugboat* lewat hasil perhitungan DWT dan LWT sebelumnya yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total Weight} &= \text{DWT} + \text{LWT} \\
 &= 664,87 \text{ ton} \\
 \text{VCG}_{\text{total}} &= 2,96 \text{ meter dari } \textit{baseline} \\
 \text{LCG}_{\text{total}} &= 14,62 \text{ meter dari AP}
 \end{aligned}$$

#### 4.8.4. Pemeriksaan Displacement

Setelah diketahui berat DWT dan LWT dari kapal, kemudian berat kapal dibandingkan dengan *displacement* kapal. Selisih antara berat kapal dan displacement kapal yang diizinkan

yaitu sebesar 2%-10%. Berdasarkan hasil perhitungan berat yang telah dilakukan di atas, didapatkan selisih dengan displacement kapal yaitu sebesar 9,06% atau 66,25 ton.

#### 4.9. Perhitungan *Trim*

*Trim* merupakan keadaan pada kapal dimana terjadi perbedaan tinggi sarat kapal antara sarat depan dan belakang. Sedangkan *even keel* merupakan kondisi dimana sarat belakang Tf dan sarat depan Ta adalah sama. Trim terbagi dua yaitu:

*Trim haluan* ( $Ta \leq Tf$ )      *Trim buritan* ( $Tf \leq Ta$ )

Hasil perhitungan *trim* dengan rumus pendekatan yang diambil dari buku *Parametric Design, Chapter 11* adalah sebagai berikut:

Data *hybrid tugboat*:

L	= 29 m	Vol. Displacement	= 713,3 m <sup>3</sup>
B	= 12 m	KG	= 2,560 m
T	= 3,5 m	LCG dari AP	= 14,449 m
Cm	= 0,971	LCB dari AP	= 14,569 m
Cb	= 0,524	Cwp	= 0,690

*Hydrostatic properties*:

$$\begin{aligned} KB &= 2,06 \text{ m} \\ C_{IT} &= 0,1216 \cdot Cwp - 0,041 \\ &= 0,0429 \end{aligned} \quad (4.43)$$

$$\begin{aligned} I_T &= C_{IT} \cdot L \cdot B^3 \\ &= 2148,324 \end{aligned} \quad (4.44)$$

$$\begin{aligned} BM_T &= \text{Jarak antara titik tekan buoyancy terhadap titik metacenter secara melintang} \\ &= I_T / \nabla \\ &= 4,465 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.45)$$

$$\begin{aligned} C_{IL} &= \text{longitudinal inertia coefficient} \\ &= 0,350 Cwp^2 - 0,405 Cwp + 0,146 \\ &= 0,0332 \end{aligned} \quad (4.46)$$

$$\begin{aligned} I_L &= C_{IL} \cdot B \cdot L^3 \\ &= 9706 \end{aligned} \quad (4.47)$$

$$\begin{aligned} BM_L &= \text{longitudinal distance between buoyancy center to metacenter} \\ &= I_L / \nabla \\ &= 13,61 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.48)$$

$$\begin{aligned} GM_L &= BML + KB - KG \\ &= 24,57 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.49)$$

$$\begin{aligned} Trim &= (LCG - LCB) \cdot L / GM_L \\ &= 0,057 \text{ m} \quad (\text{Trim haluan}) \end{aligned} \quad (4.50)$$

Berdasarkan SOLAS Reg. II-1/5-1 Part B-1 untuk syarat kelayakan kapal disebutkan bahwa *trim* kapal tidak boleh lebih dari  $\pm 0.5\%$ .  $LWL = \pm 0.145 \text{ m}$ . Jadi berdasarkan regulasi tersebut dan berdasarkan pemeriksaan *displacement* pada subbab 4.8.4. maka dapat disimpulkan bahwa kapal *hybrid tugboat* memenuhi kriteria *trim* dan dapat mengapung.

#### 4.10. Perhitungan Stabilitas

Pada perhitungan stabilitas *hybrid tugboat* dalam Tugas Akhir ini menggunakan *software Maxsurf Stability Enterprise* dengan model desain kapal yang telah dibuat pada *Maxsurf Modeler Advance*. Pada *software Maxsurf Stability Enterprise* sebelumnya dilakukan pengaturan pada tangki, kompartemen, dan titik berat kapal terlebih dahulu. Kemudian perhitungan dilakukan berdasarkan kemungkinan *loadcase* yang terjadi pada kapal selama berlayar dan diambil tiga *loadcase* yang mewakili yaitu kondisi kapal kosong, kapal penuh, dan kapal setengah penuh.

Untuk input definisi ruang dan *loadcase* pada *software Maxsurf Stability Enterprise* disesuaikan dengan pembagian tangki-tangki pada *hybrid tugboat* yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.9 *Hybrid Tugboat Room Definition* dan *Loadcase*

Item	Tipe	Jenis Fluida	Kapal Kosong	Kapal Setengah Penuh	Kapal Penuh
<i>Oil Lube Aux</i>	<i>Tank</i>	<i>Lube Oil</i>	0%	50%	98%
<i>Oil Lube ME</i>	<i>Tank</i>	<i>Lube Oil</i>	0%	50%	98%
<i>FO DB Sbd</i>	<i>Tank</i>	<i>Fuel Oil</i>	0%	50%	98%
<i>FO DB Port</i>	<i>Tank</i>	<i>Fuel Oil</i>	0%	50%	98%
<i>FO DB Centre</i>	<i>Tank</i>	<i>Fuel Oil</i>	0%	50%	98%
<i>Day FO Sbd</i>	<i>Tank</i>	<i>Fuel Oil</i>	0%	50%	98%
<i>Day FO Port</i>	<i>Tank</i>	<i>Fuel Oil</i>	0%	50%	98%
<i>FO Fwd Sbd</i>	<i>Tank</i>	<i>Fuel Oil</i>	0%	50%	98%
<i>FO Fwd Port</i>	<i>Tank</i>	<i>Fuel Oil</i>	0%	50%	98%
<i>Fresh Water Sbd</i>	<i>Tank</i>	<i>Fresh Water</i>	0%	50%	98%
<i>Fresh Water Port</i>	<i>Tank</i>	<i>Fresh Water</i>	0%	50%	98%

Kriteria yang digunakan berdasarkan “IMO A. 749(18) International Code on Intact Stability, Chapter 3 Design Criteria applicable to all ships”. Berdasarkan regulasi tersebut maka kriteria stabilitas yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Luas (A) dibawah kurva lengan pengembali (kurva GZ) sampai sudut 30 derajat tidak kurang dari 3,1513 m.deg.
2. Luas (A) dibawah kurva GZ sampai sudut 40 derajat atau *downflooding* θf, jika sudut ini kurang dari 40 derajat, tidak boleh kurang dari 5,1566 meter.deg.
3. Luas dibawah kurva antara  $\theta = 0^\circ$  dan  $\theta = 40^\circ$  atau antara  $\theta = 30^\circ$  dan sudut *downflooding* θf, jika sudut ini kurang dari  $40^\circ$ , tidak boleh kurang dari 1,7189 meter.deg.
4. GZ tidak boleh kurang dari 0,2 meter pada sudut 30 derajat.
5. GZ maksimal harus terjadi pada sudut minimal 25 derajat.
6. Ketinggian metasenter ( $GM_0$ ) tidak boleh kurang dari 0,15 meter.

(IMO, 2016)

Rangkuman hasil perhitungan stabilitas dari *hybrid tugboat* dapat dilihat dalam tabel 4.10 berikut dengan rincian uji stabilitas menggunakan *software Maxsurf Stability Enterprise* dapat dilihat pada lampiran A dari laporan Tugas Akhir ini. Berdasarkan hasil perhitungan dalam tabel tersebut dapat diketahui desain *hybrid tugboat* memenuhi semua kriteria dari regulasi yang digunakan.

Tabel 4.10 Hasil Uji Stabilitas Kapal Berdasarkan IS Code 2008

<b>Criteria</b>	<b>Kapal Kosong</b>	<b>Kapal Penuh</b>	<b>Kapal Setengah Penuh</b>	<b>Unit</b>	<b>Status</b>
$\geq 3,1513$	24,6405	26,6190	24,5676	meter.deg	Accepted
$\geq 5,1566$	41,3755	44,4148	41,1473	meter.deg	Accepted
$\geq 1,7189$	16,735	17,7957	16,5796	meter.deg	Accepted
$\geq 0.2$	1,696	1,808	1,679	meter	Accepted
$\geq 25$	37,3	38,2	36,4	degree	Accepted
$\geq 0.15$	3,109	3,439	3,108	meter	Accepted

Kriteria stabilitas tambahan untuk jenis kapal *tugboat* juga dihitung saat melakukan proses *towing* atau dengan beban tarik sebesar 45 ton dengan arah beban dari *stern* (belakang) dan dari samping kapal serta dalam kondisi kapal muatan penuh. Kriteria yang digunakan berdasarkan regulasi *Australian NSCV* dan *US Coast Guard* dengan hasil uji stabilitas di

software *Maxsurf Stability Enterprise* yang dapat dilihat di Lampiran A. Rangkuman uji stabilitas tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Uji Stabilitas Kapal Saat Melakukan *Towing 45 Ton Bollard Pull*

Jenis Kriteria	Arah Tegangan Tali 0° ( <i>stern</i> )		Arah Tegangan Tali 90° ( <i>samping</i> )		Satuan	Status
	Criteria	Value	Criteria	Value		
Area A - GZ40°	≥ 8,275	16,367	≥ 2,9025	11,5916	m.deg	Accepted
Area A / Area B	≥ 40	87,89	≥ 40	70,30	%	Accepted
GM <sub>0</sub>	≥ 0,419	3,109	≥ 0,405	1,685	meter	Accepted
Residual Area	≥ 0,7	7,683	≥ 0,7	5,818	m.deg	Accepted

#### 4.11. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Perhitungan konsumsi bahan bakar untuk mengetahui jumlah kebutuhan bahan bakar dari *tugboat* untuk selang waktu tertentu pada semua mode operasi *tugboat* tersebut. Konsumsi bahan bakar pada mesin diesel dapat digambarkan dalam beberapa cara berdasarkan aplikasinya. Pada putaran yang konstan, total konsumsi bahan bakar bervariasi secara linier dengan besarnya beban pada mesin diesel.

Prediksi konsumsi bahan bakar ini untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar pada konfigurasi permesinan konvensional dan konsumsi bahan bakar pada konfigurasi *hybrid* di semua mode operasi dari *tugboat*. Perhitungan bahan bakar ini meliputi semua konsumsi bahan bakar yang digunakan pada setiap mode operasi *tugboat*, yaitu perhitungan konsumsi bahan bakar pada mesin diesel dan dari mesin bantu atau genset. Dihitung juga konsumsi bahan bakar saat *tugboat* memakai baterai sebagai sumber energi dari motor listrik.

##### 4.11.1. Konsumsi Bahan Bakar *Tugboat* Konvensional

Perhitungan konsumsi bahan bakar pada konfigurasi permesinan *tugboat* konvensional adalah perhitungan konsumsi bahan bakar dari mesin utama diesel dan *service genset* pada semua kondisi kerjanya. Untuk menghitung kebutuhan bahan bakar pada mesin adalah menggunakan rumus sebagai berikut:

$$FO_{\text{mass}} = P \times SFOC \quad (4.51)$$

Dimana,

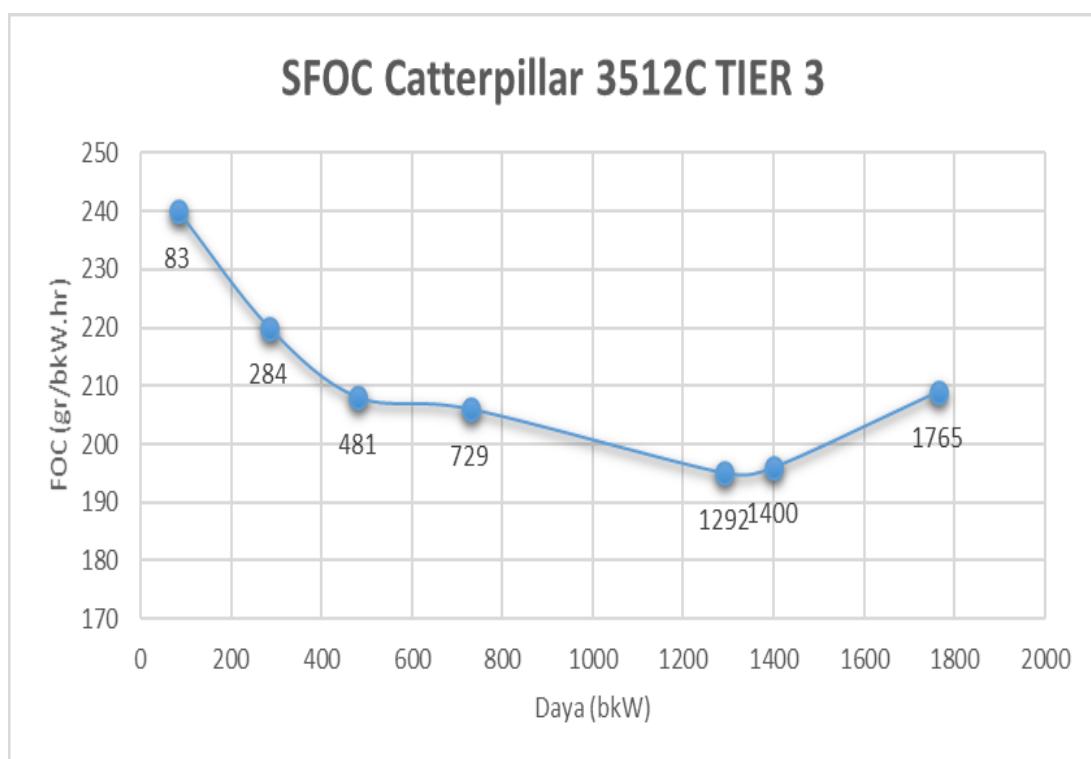
P = daya yang digunakan (kW)

SFOC = *Specific fuel oil consumption* (g / kW . hr)

Diketahui SFOC dari spesifikasi mesin utama *tugboat* yaitu Catterpillar 3512C TIER 3 2300 HP seperti pada tabel 4.12 dan gambar 4.9 berikut.

Tabel 4.12 SFOC Catterpillar 3512C TIER 3  
(Sumber: www.cat.com)

RPM	Daya (HP)	Daya (kW)	SFOC (g/bkW.hr)
1800	2367	1765	209
1500	1877	1400	196
1300	1733	1292	195
1100	978	729	206
900	645	481	208
700	381	284	220
650	111	83	240



Gambar 4.9 Grafik SFOC Catterpillar 3512C TIER 3

Berdasarkan data dari konsumsi bahan bakar mesin utama di atas maka kebutuhan bahan bakar mesin diesel Catterpillar 3512C TIER 3 pada tiap mode operasi dan variasi kecepatan ditunjukkan pada tabel 4.13 di halaman berikutnya.

Tabel 4.13 Konsumsi Bahan Bakar Mesin Utama *Tugboat* Konvensional

Mode	<i>Speed</i>	<b>Daya</b>	<b>SFOC</b>	<b>Fuel Consumption</b>
	(Knot)	(kW)	(gr / kWh)	(gr / hr)
<i>Standby</i>	3	6,2	240	1488,61
<i>Cruising</i>	8	115,8	240	27792,65
<i>Cruising</i>	11	662,6	220	145773,47
<i>Assisting</i>	3	3217,8	201	646780,31

Selanjutnya perhitungan konsumsi bahan bakar pada mesin *service genset* sesuai dengan beban daya yang dibutuhkan untuk pelayanan *equipment* kapal di setiap mode operasi *tugboat* adalah seperti pada tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Konsumsi Bahan Bakar Mesin *Service Genset Tugboat* Konvensional

Mode	<b>Daya</b>	<b>SFOC</b>	<b>Fuel Consumption</b>
	(kW)	(gr/kWh)	(gr / hr)
<i>Standby</i>	85	207,5	17640,4
<i>Cruising</i>	74	207,5	15357,6
<i>Cruising</i>	74	207,5	15357,6
<i>Assisting</i>	89	207,5	18470,6

Dari perhitungan sebelumnya maka hasil perhitungan total konsumsi bahan bakar *tugboat* konvensional pada setiap mode operasi dan variasi kecepatan adalah seperti ditunjukkan tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Total Konsumsi Bahan Bakar *Tugboat* Konvensional

<b>Mode Operasi</b>	<b>Speed (knot)</b>	<b>Mesin Bekerja</b>	<b>Total Fuel Consumption (gr/hr)</b>
<i>Standby</i>	3	<i>2 x Main Engine</i>	19129,04
		<i>Service Genset</i>	
<i>Cruising</i>	8	<i>2 x Main Engine</i>	43150,21
		<i>Service Genset</i>	
<i>Cruising</i>	11	<i>2 x Main Engine</i>	161131,02
		<i>Service Genset</i>	
<i>Assisting</i>	3	<i>2 x Main Engine</i>	665250,89
		<i>Service Genset</i>	

#### 4.11.2. Konsumsi Bahan Bakar Hybrid Tugboat

Perhitungan konsumsi bahan bakar pada konfigurasi *hybrid* ini dihitung pada saat mode operasi kapal *cruising* dan *standby* dengan atau tanpa daya dari baterai, karena saat mode *assisting* kondisi *main engine* mati sehingga yang bekerja sebagai penggerak adalah motor listrik yang daya listriknya berasal dari generator propulsi atau baterai. Untuk konsumsi bahan bakar *service genset* menggunakan hasil perhitungan pada subbab 4.11.1. konsumsi bahan bakar tugboat konvensional sebelumnya.

Perhitungan konsumsi bahan bakar generator propulsi pada setiap mode operasi tugboat dan variasi kecepatan ditunjukkan pada tabel 4.16 berikut.

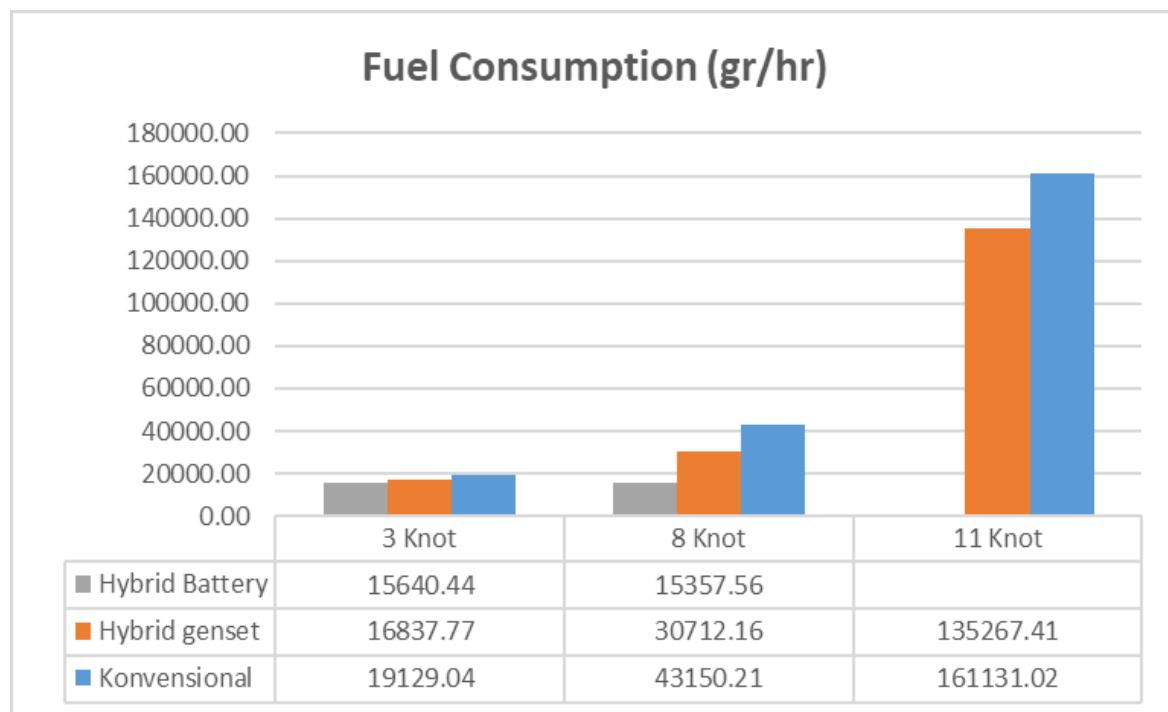
Tabel 4.16 Konsumsi Bahan Bakar *Propulsion Genset Hybrid Tugboat*

<b>Mode</b>	<b>Speed</b>	<b>Daya</b>	<b>SFOC</b>	<b>Fuel Consumption</b>
	(knot)	(kW)	(gr / kWh)	(gr / hr)
<i>Standby</i>	3	5,96	201,00	1197,34
<i>Cruising</i>	8	111,22	201,00	22354,60
<i>Cruising</i>	11	636,37	201,00	127909,86

Dari perhitungan konsumsi bahan bakar permesinan sebelumnya maka didapatkan hasil perhitungan total konsumsi bahan bakar *hybrid tugboat* pada setiap mode operasi dan variasi kecepatan adalah seperti ditunjukkan tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.17 Total Konsumsi Bahan Bakar *Hybrid Tugboat*

<b>Mode Operasi</b>	<b>Kecepatan (knot)</b>	<b>Mesin Bekerja</b>	<b>Total Fuel Consumption (gr / hr)</b>
<i>Standby</i>	3	Baterai	15640,44
		<i>Service Genset</i>	
<i>Standby</i>	3	Motor Listrik	16837,77
		<i>Service Genset</i>	
		<i>Propulsion Genset</i>	
<i>Cruising</i>	8	Baterai	15357,56
		<i>Service Genset</i>	
<i>Cruising</i>	8	Motor Listrik	30712,16
		<i>Service Genset</i>	
		<i>Propulsion Genset</i>	
<i>Cruising</i>	11	Motor Listrik	135267,41
		<i>Service Genset</i>	
		<i>Propulsion Genset</i>	



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

Pada gambar 4.10 di atas ditunjukkan grafik perbandingan konsumsi bahan bakar *tugboat* yang memakai konfigurasi sistem propulsi konvensional dengan sistem propulsi *hybrid*. Ditunjukkan juga perbandingan konsumsi bahan bakar saat memakai sumber energi dari baterai atau tidak. Dapat diketahui dari grafik bahwa konsumsi bahan bakar konfigurasi sistem propulsi *hybrid tugboat* lebih sedikit daripada konsumsi bahan bakar konfigurasi sistem propulsi *tugboat* konvensional.

## BAB 5

# DESAIN *HYBRID TUGBOAT*

### 5.1. Umum

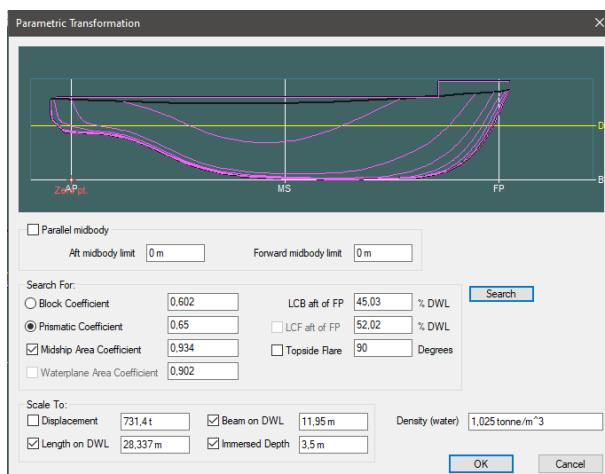
Setelah dilakukan analisis teknis dan analisis ekonomis pada bab-bab sebelumnya, maka pada bab ini akan dibahas mengenai desain dari *hybrid tugboat*. Desain dari kapal ini meliputi gambar *Lines Plan* dan *General Arrangement* dari kapal.

### 5.2. Pembuatan Desain Rencana Garis (*Lines Plan*)

Proses pembuatan *Lines Plan* dilakukan dengan menggunakan *software* desain *hull form*, yaitu *Maxsurf Modeler Student Version*. Desain *Lines Plan* menggunakan *sample design* yang disediakan oleh software tersebut yaitu desain *harbour tug*. *Sample design* ini kemudian disesuaikan dengan desain serta *hydrostatic properties* dari *tugboat* yang telah dilakukan perhitungan analisis teknisnya pada bab 4 sebelumnya.

*Lines Plan* sendiri merupakan gambar yang menyatakan bentuk potongan lambung kapal yang memiliki tiga sudut pandang yaitu, *body plan* (secara melintang), *buttock plan* (secara memanjang) dan *half-breadth plan* (dilihat dari atas).

Langkah awal dari pembuatan Rencana Garis ini adalah melakukan *parametric transformation* pada *sample design harbour tug* yang digunakan seperti pada gambar 5.1. *Main dimension* dari kapal diubah sesuai desain yang ditentukan lalu melakukan perubahan pada bentuk lambungnya sehingga menghasilkan *hydrostatic properties* yang sama atau mendekati dengan hasil perhitungan analisis teknis pada bab sebelumnya seperti pada gambar 5.2.



Gambar 5.1 Mengubah *Main Dimension* Desain Menggunakan *Parametric Transformation*

Hydrostatics at DWL		
Measurement	Value	Units
1 Displacement	731.1	t
2 Volume (displaced)	713,287	m <sup>3</sup>
3 Draft Amidships	3,500	m
4 Immersed depth	3,499	m
5 WL Length	28,337	m
6 Beam max extents o	11,948	m
7 Wetted Area	403,352	m <sup>2</sup>
8 Max sect. area	38,752	m <sup>2</sup>
9 Waterpl. Area	306,091	m <sup>2</sup>
10 Prismatic coeff. (Cp)	0,650	
11 Block coeff. (Cb)	0,602	
12 Max Sect. area coeff	0,935	
13 Waterpl. area coeff.	0,904	
14 LCB length	15,118	from z
15 LCF length	13,121	from z
16 LCB %	53,353	from z
17 LCF %	46,304	from z
18 KB	2,056	m
19 KG fluid	0,000	m
20 BMT	4,465	m
21 BML	25,074	m
22 GMT corrected	6,520	m
23 GML	27,130	m
24 KMT	6,520	m
25 KML	27,130	m
26 Immersion (TPc)	3,137	tonne/c
27 MTC	7,113	tonne
28 RM at 1deg = Gmt.Dl	83,199	tonne

Density (water)

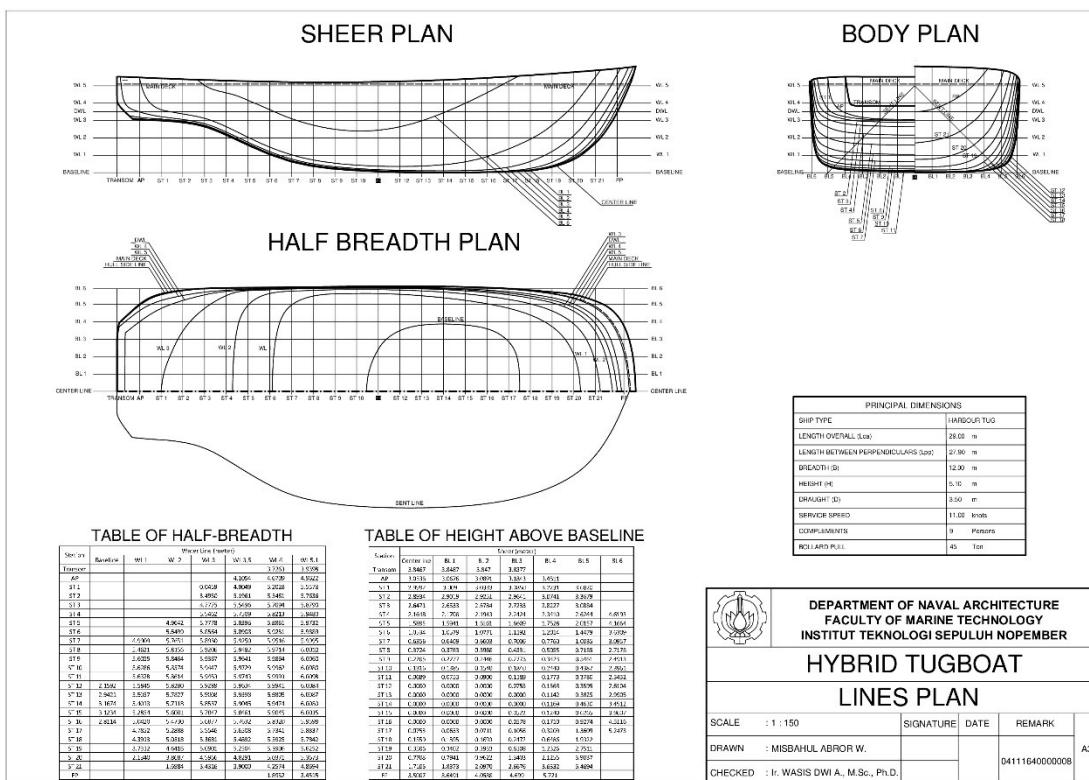
Std. densities

VCG  Recalculate

Select Rows ... Close

Gambar 5.2 Hydrostatic Properties Desain Tugboat

Setelah didapatkan desain dari tugboat pada software *Maxsurf Modeler Student Version*, langkah selanjutnya adalah melakukan *export* data desain menjadi format file DXF untuk setiap sudut pandang yaitu *body plan*, *buttock plan* dan *half-breadth plan*. Langkah akhir pengerjaan *Lines Plan* adalah menggunakan bantuan *software AutoCAD* untuk menambahkan keterangan dan juga menggabungkan ketiga sudut pandang dari gambar desain dengan model 3A seperti yang dapat dilihat pada gambar 5.3.

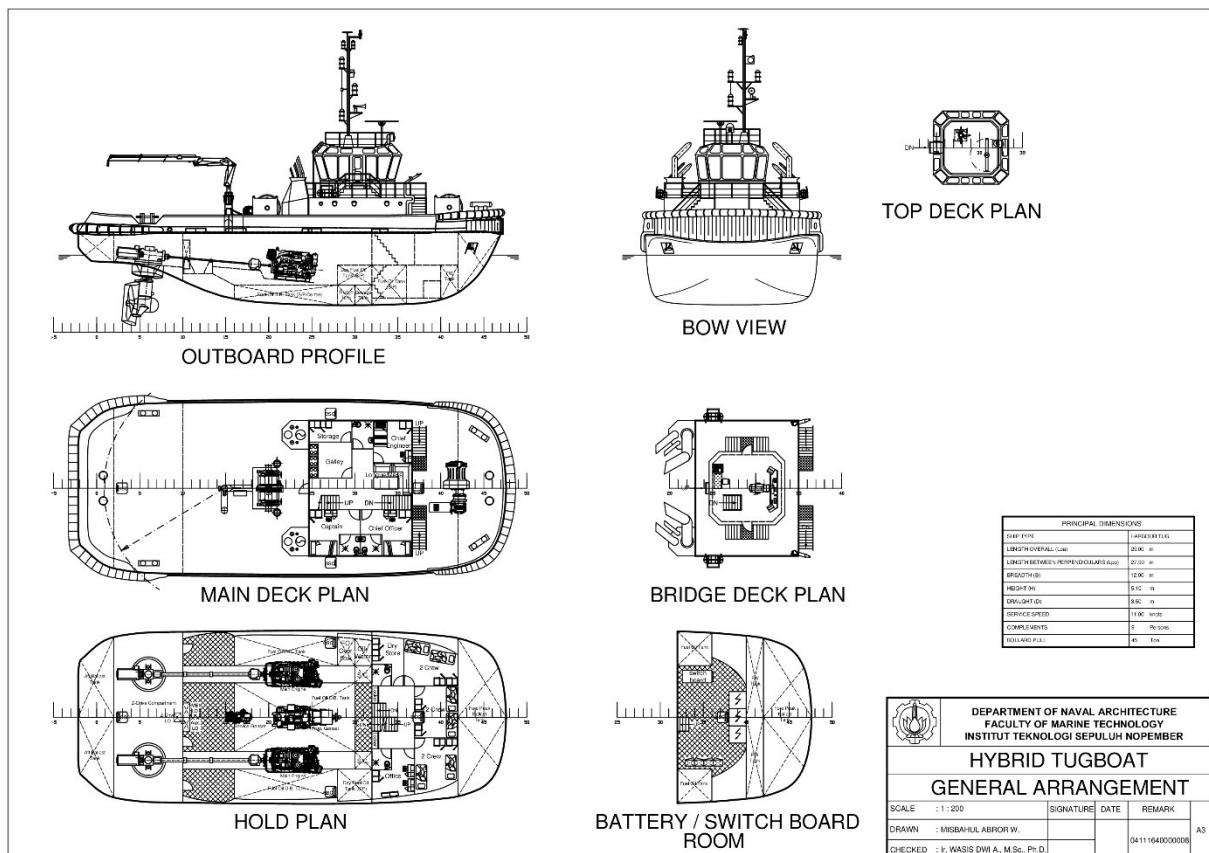


Gambar 5.3 Desain Rencana Garis (*Lines Plan*) Hybrid Tugboat

### 5.3. Pembuatan Desain Rencana Umum (*General Arrangement*)

Pembuatan Rencana Umum (*General Arrangement*) dilakukan dengan bantuan software AutoCAD. Gambar Rencana Umum mengikuti desain dari Rencana Garis dan menyesuaikan beberapa ketentuan, seperti ketinggian *railing*, ukuran ruang akomodasi bagi kru kapal dan juga keergonomisan dari desain Rencana Umum ini serta ketentuan-ketentuan lainnya.

*Hybrid Tugboat* ini didesain memiliki dua buah *deck house* dan satu dek akomodasi di bawah *main deck* kapal. *Deck house* pertama di atas *main deck* yaitu *bridge deck* yang menjadi ruang akomodasi bagi kapten kapal dan *chief engineer* serta terdapat ruang dapur dan juga *mess* untuk para kru kapal. *Deck house* selanjutnya adalah *top deck* yang menjadi dek kapal paling atas dan pada *deck house* ini menjadi ruang kendali utama *tugboat*. Gambar dari desain Rencana Umum *hybrid tugboat* dapat dilihat pada gambar 5.4.



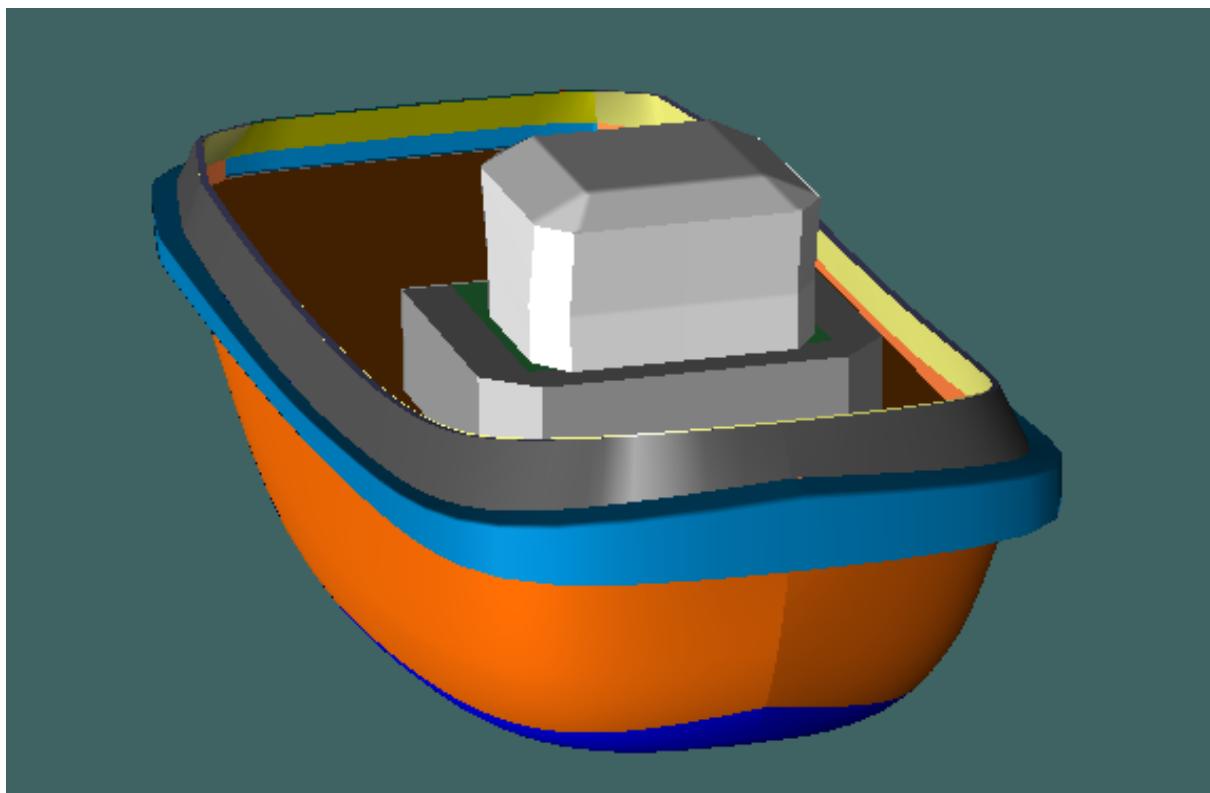
Gambar 5.4 Desain Rencana Umum (*General Arrangement*) *Hybrid Tugboat*

Pada gambar *hold plan* dari rencana umum yang dibuat terdapat ruang mesain, ruang *z-drive*, dan ruang *battery* yang menjadi satu dengan perangkat *switchboard* kapal. Pada setiap ruang atau kompartemen di dalam kapal yang berada di bawah *main deck* dilengkapi dengan

*escape trunk*. Ruang mesin yang relatif luas berada di sekitar *midship* dan menjadi tempat mesin propulsori kapal yaitu main *diesel engine*, motor listrik, dan kedua mesin bantu kapal.

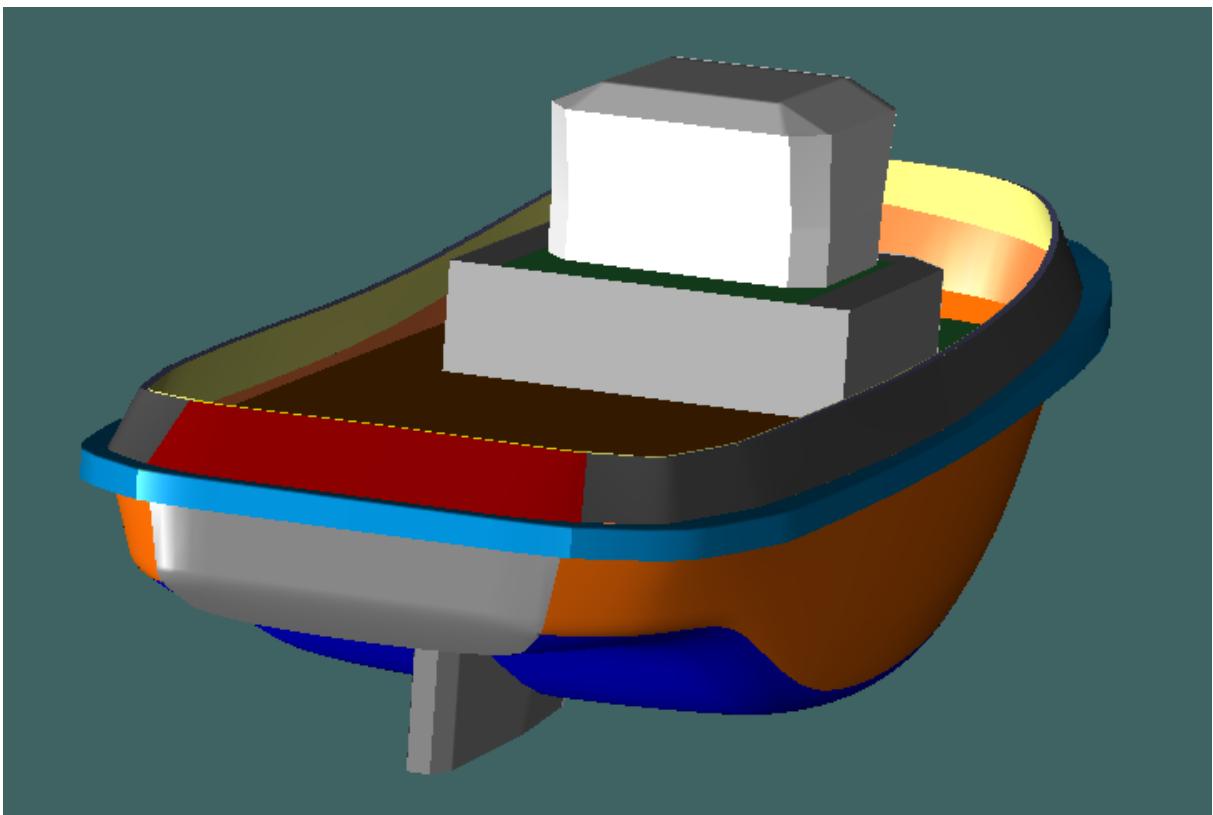
#### 5.4. Pembuatan Desain Model 3 Dimensi (3D Modelling)

Setelah dilakukan pembuatan desain Rencana Umum, selanjutnya pemodelan 3D dapat dilakukan dengan proyeksi dari Rencana Umum. Pengerjaan pemodelan 3D dibantu dengan software *Maxsurf Modeler Advance*. Semua bagian dari tugboat yang tampak dari luar dibuat desain 3 dimensinya menyesuaikan dengan desain yang telah dibuat pada Rencana Umum.



Gambar 5.5 Model 3D *Hybrid Tugboat* Tampak Depan

Pada gambar 5.5 di atas dapat dilihat hasil desain 3D *hybrid tugboat* dari tampak depan kapal. *Fender* dan juga *bulwark* dibuat sesuai dengan desain dari Rencana Umum dan sesuai regulasi yang berlaku untuk kapal jenis *tugboat*. Lambung kapal juga dibuat dengan bentuk sedemikian rupa untuk memaksimalkan stabilitas dari kapal sesuai dengan karakteristiknya yaitu *tugboat* yang beroperasi pada kecepatan relatif rendah untuk tujuan melakukan penundaan kapal. Pada bagian *superstructure* dari *tugboat* dibuat dua *deck* yaitu *bridge deck* dan juga *top deck*.



Gambar 5.6 Model 3D *Hybrid Tugboat* Tampak Belakang

Pada gambar 5.6 di atas dapat dilihat tampak belakang desain 3D dari *hybrid tugboat* yang dibuat. *Fender* pada bagian *stern tugboat* relatif lebih kecil daripada pada bagian haluan. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bagian *main deck* kapal yang luas sebagai ruang untuk mengangkut barang atau alat berat dan bisa dipakai sebagai pendukung transportasi logistik pelabuhan. Penambahan *skeg* pada bagian *stern* kapal juga dilakukan untuk menambah stabilitas serta kemampuan manuver dari *hybrid tugboat*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB 6

### ANALISIS EKONOMI

#### 6.1. Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal (*Building Cost*)

Dalam analisis biaya pembangunan kapal, terbagi menjadi 3 komponen utama yaitu biaya pelat dan konstruksi beserta biaya pengelasannya, biaya *equipment* dan *outfitting*, serta biaya untuk tenaga penggerak *hybrid propulsion system*. Selain itu juga dalam analisis ekonomis dilakukan perhitungan koreksi yang meliputi keuntungan galangan, biaya inflasi, dan biaya pajak pemerintah. Masing-masing komponen tersebut dibuat *list* untuk harga dan dilakukan kalkulasi untuk dapat mengetahui biaya dari pembangunan *hybrid tugboat*. Rekapitulasi dari perhitungan biaya pembangunan dapat dilihat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1 Biaya Komponen Pembangunan *Hybrid Tugboat*

Kategori	Jenis	Jumlah	Satuan	Harga/Satuan Dollar	Harga/Satuan Rupiah	harga Total
<i>Ship Structure</i>	Pelat dan Profil	259	Ton	\$ 1,000.00	Rp 14,350,000	Rp 3,716,650,000.00
<i>Welding</i>	Elektroda	16	Ton	\$ 7,770.00	Rp 111,499,500	Rp 1,783,992,000.00
<i>Hybrid Propulsion System</i>	<i>Main Engine</i>	2	Buah	\$ 392,000.00	Rp 5,625,200,000	Rp 11,250,400,000.00
	Motor Listrik	2	Buah	\$ 102,500.00	Rp 1,470,875,000	Rp 2,941,750,000.00
	Genset Propulsi	1	Buah	\$ 128,800.00	Rp 1,848,280,000	Rp 1,848,280,000.00
	<i>Battery</i>	184	Buah	\$ 1,250.00	Rp 17,937,500	Rp 3,300,500,000.00
	Genset Service	1	Buah	\$ 55,300.00	Rp 793,555,000	Rp 793,555,000.00
	<i>Azimuth Thruster</i>	2	Buah	\$ 225,000.00	Rp 3,228,750,000	Rp 6,457,500,000.00
	<i>Deck Crane + Towing Winch</i>	1	Buah	\$ 113,000.00	Rp 1,621,550,000	Rp 1,621,550,000.00
<i>Equipment and Outfitting</i>	<i>Anchor/Towing Winch</i>	1	Buah	\$ 78,000.00	Rp 1,119,300,000	Rp 1,119,300,000.00
	Pompa dan Perpipaan	1	Buah	\$ 155,008.00	Rp 2,224,364,800	Rp 2,224,364,800.00
	Radar	1	Buah	\$ 5,000.00	Rp 71,750,000	Rp 71,750,000.00
	Kompas	1	Buah	\$ 55.00	Rp 789,250	Rp 789,250.00
	GPS	1	Buah	\$ 4,000.00	Rp 57,400,000	Rp 57,400,000.00
	<i>Masthead Light</i>	1	Buah	\$ 10.00	Rp 143,500	Rp 143,500.00
	<i>Anchor Light</i>	1	Buah	\$ 9.00	Rp 129,150	Rp 129,150.00
	<i>Starboard Light</i>	1	Buah	\$ 12.00	Rp 172,200	Rp 172,200.00
	<i>Portside Light</i>	1	Buah	\$ 12.00	Rp 172,200	Rp 172,200.00
	S-VDR	1	Buah	\$ 13,500.00	Rp 193,725,000	Rp 193,725,000.00
	AIS	1	Buah	\$ 1,400.00	Rp 20,090,000	Rp 20,090,000.00
	<i>Radiotelephone</i>	1	Buah	\$ 300.00	Rp 4,305,000	Rp 4,305,000.00
	Navtex	1	Buah	\$ 1,000.00	Rp 14,350,000	Rp 14,350,000.00
	EPIRB	1	Buah	\$ 300.00	Rp 4,305,000	Rp 4,305,000.00
	SART	2	Buah	\$ 280.00	Rp 4,018,000	Rp 8,036,000.00
	SSAS	1	Buah	\$ 19,500.00	Rp 279,825,000	Rp 279,825,000.00
	<i>Portable 2-way VHF Radiotelephone</i>	2	Buah	\$ 350.00	Rp 5,022,500	Rp 10,045,000.00

Kategori	Jenis	Jumlah	Satuan	Harga/Satuan Dollar	Harga/Satuan Rupiah	Harga Total
<i><b>Equipment and Outfitting</b></i>	<i>Life Jacket</i>	10	Buah	\$ 10.00	Rp 143,500	Rp 1,435,000.00
	<i>Lifebuoy</i>	8	Buah	\$ 20.00	Rp 287,000	Rp 2,296,000.00
	<i>Liferaft</i>	2	Buah	\$ 1,500.00	Rp 21,525,000	Rp 43,050,000.00
	<i>Jangkar</i>	2	Buah	\$ 970.00	Rp 13,919,500	Rp 27,839,000.00
	Perlengkapan Pemadam Kebakaran	1	Set	\$ 19,120.00	Rp 274,372,000	Rp 274,372,000.00
	Total Biaya Pembangunan awal					Rp 38,072,071,100.00

## 6.2. Koreksi Biaya Pembangunan

Berdasarkan biaya komponen pembangunan *hybrid tugboat* di atas, maka dapat dihitung koreksi biaya pembangunan seperti berikut.

Tabel 6.2 Koreksi Biaya Pembangunan *Hybrid Tugboat*

<i>Item</i>	<i>Value</i>
<b>Keuntungan Galangan</b>	
20% dari biaya pembangunan awal	
Keuntungan galangan	= Rp 5.710.810.665,00
<b>Biaya Untuk Inflasi</b>	
5% dari biaya pembangunan awal	
Biaya Inflasi	= Rp 1.903.603.555,00
<b>Biaya Pajak Pemerintah</b>	
10% PPn (Pajak Pertambahan nilai)	
15% PPh (Pajak Penghasilan)	
Biaya Pajak Pemerintah	= Rp 9.518.017.775,00
<b>Total Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi</b>	= Rp 17.132.431.995,00
<b>Total Biaya Pembangunan</b>	= Rp 55.204.503.095,00

Setelah dilakukan perhitungan koreksi terhadap biaya pembangunan *hybrid tugboat* maka didapatkan total biaya yang diperlukan adalah sebesar 55.204.503.095,00 Rupiah. Besar biaya pembangunan ini bisa berubah mengikuti perkembangan kondisi ekonomi, nilai mata uang, dan juga inflasi yang terjadi.

## 6.3. Biaya Operasional

Menurut data yang diperoleh dari DAMEN Shipyard (2019), biaya operasi dari *hybrid tugboat* lebih murah karena effisiensi bahan bakarnya yang mencapai hingga 30% dan juga TBO (*Time Between Overhaul*) mesin utama yang lebih panjang dibandingkan *tugboat* konvensional sehingga mengurangi biaya *maintenance*. Pada tabel 6.3 berikut perbandingan perhitungan biaya operasional *hybrid tugboat* dengan *tugboat* konvensioanl.

Tabel 6.3 Perbandingan Biaya Operasional

<b>Biaya</b>	<b>Tugboat Konvensional (Fahad, 2016)</b>	<b>Hybrid Tugboat</b>	<b>Masa</b>
Penyusutan	Rp 2.275.599.882	Rp 2.275.599.882	Per Tahun
Pemeliharaan	Rp 1.235.475.445	Rp 864.832.812	Per Tahun
Bahan Bakar	Rp 652.270.708	Rp 456.589.496	Per Tahun
Pegawai	Rp 1.878.714.625	Rp 1.878.714.625	Per Tahun
Asuransi	Rp 606.374.818	Rp 606.374.818	Per Tahun
Surat-surat	Rp 53.046.060	Rp 53.046.060	Per Tahun
Overhead	Rp 565.584	Rp 565.584	Per Tahun
<b>Total</b>	<b>Rp 6.702.047.122</b>	<b>Rp 6.135.723.276</b>	<b>Per Tahun</b>

Dari perhitungan biaya operasional yang dilakukan maka diketahui selisih biaya operasional antara *hybrid tugboat* dengan *tugboat konvensional* adalah senilai Rp. 566.323.846,00 atau selisih sebesar 8% dari biaya operasional total per tahunnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 7**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1. Kesimpulan**

Berdasarkan dari penelitian dan analisis yang telah dilakukan dalam Tugas Akhir ini maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Performa yang dibutuhkan oleh *tugboat* untuk bisa digunakan di Terminal Teluk Lamong sesuai regulasi yang berlaku adalah minimal memiliki daya *bollard pull* sebesar 42 ton. Sehingga diambil *payload* dari desain *hybrid tugboat* sebesar 45 ton *bollard pull*.
2. Ukuran utama akhir yang diperoleh untuk hybrid tugboat yaitu:

- <i>Length overall</i>	= 29,00	m
- <i>Length between perpendicular</i>	= 27,88	m
- <i>Breadth</i>	= 12,00	m
- <i>Depth</i>	= 5,10	m
- <i>Draught</i>	= 3,50	m
3. Desain Rencana Garis (*Lines Plan*) dan Rencana Umum (*General Arrangement*) dari hybrid tugboat yang dapat dilihat pada lampiran Tugas Akhir ini.
4. Konfigurasi permesinan *hybrid* pada *tugboat* 45 ton *bollard pull*, dengan konfigurasi permesinan dua sumber tenaga gerak yaitu konfigurasi dua mesin diesel dengan dua motor listrik untuk mode operasi *tugboat* yang berbeda-beda. Melalui konfigurasi permesinan *hybrid* motor listrik dan mesin diesel didapatkan suatu sistem propulsi yang lebih hemat bahan bakar. Frekuensi dari *maintenance* mesin diesel akan semakin lebih kecil, *time between overhaul* dari mesin menjadi lebih lama karena mesin bekerja selalu di atas 75% dari daya. Konfigurasi permesinan dari hybrid tugboat dapat dilihat pada lampiran Tgas Akhir ini.
5. Baterai yang digunakan pada *hybrid tugboat* adalah tiga buah *battery set* 117,5 kWh dengan energi total yaitu 352,5 kWh.
6. Perhitungan performa *hybrid tugboat* yang meliputi:
  - a. *Fuel oil consumption* (FOC) dan kecepatan pada setiap mode dan sumber daya dari *hybrid tugboat* yaitu:

- <i>Fuel oil consumption standby</i> 3 knot on battery	= 15640,44	gr / hr
---	------------	---------

- *Fuel oil consumption standby 3 knot on genset* = 16837,77 gr / hr
  - *Fuel oil consumption cruising 8 knot on battery* = 15357,60 gr / hr
  - *Fuel oil consumption cruising 8 knot on genset* = 30712,16 gr / hr
  - *Fuel oil consumption cruising 11 knot on genset* = 135267,41 gr / hr
  - *Fuel oil consumption assisting 3 knot on main engine* = 665250,89 gr / hr
- b. Performa *bollard pull* dari *hybrid tugboat* yaitu sebesar 45 ton *bollard pull*.

## 7.2. Saran

Saran yang dapat penulis berikan dari pembuatan Tugas Akhir ini yaitu:

1. Sebaiknya pada penelitian berikutnya dilakukan analisa pada variasi konfigurasi sistem permesianan *hybrid* yang berbeda.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian selanjutnya dengan menggunakan sumber energi terbarukan yang berbeda dan lebih ramah lingkungan.
3. Pembuatan desain *hybrid tugboat* ini menggunakan metode pendekatan sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada perhitungan konstruksi dan permesinannya agar hasil penelitian lebih mendekati kondisi sesungguhnya.
4. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada biaya operasi *hybrid tugboat* dan perbandingannya dengan *tugboat* konvensional.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABB. (2020). Product Catalogue. *ABB Electric Motor M3BP 355LKA*. ABB Corporation.
- Alvarez, R. S. (2010). Effect of Hybrid System Battery Performance On Determining Hybrid Electric Vehicles In Real-World Conditions. *Elsevier Energy Policy Volume 38*, 6919-6925.
- Ardiwijaya, I. N. (2015). *Desain Konseptual Hybrid Propulsion Mesin Diesel Dengan Motor Listrik Pada Tugboat 70 Ton Bollard Pull Untuk Aplikasi Dipelabuhan*. Surabaya: Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arfianto, D. F. (2016). Pemantauan, Proteksi, dan Ekualisasi Baterai Lithium-ion Tersusun Seri Menggunakan Konverter Buck-Boost dan LC Seri dengan Kontrol Synchronous Phase Shift. *Jurnal Teknik ITS Volume 5*, B122-B127.
- BKI. (2016). *Rules for the Classification and Construction - Part 1 Seagoing Ships Ships (Volume II: Rules for Hull)*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia Head Office.
- Caterpillar. (2020). Product Catalogue. *Marine Engine Selection Guide*. Caterpillar Corporation.
- Damen, S. (2019, Nopember 12). *DAMEN Hybrid ASD Tug Products*. Diambil kembali dari Damen Shipyard Corporation Web site: <http://www.damen.com>
- Edward, V. L. (1988). *Principles of Naval Architecture Volume II*. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Erikstad, S., & Levander, K. (2012). *System Based Design of Offshore Support Vessels*. Trondheim: NTNU Marine Technology.
- Fahad, M. H. (2016). *Penentuan Harga Pokok Pelayanan Tugboat Service Pada PT X Dengan Menggunakan Metode Time-Driven Activity-Based Costing*. Surabaya: Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fakhira, N. A. (2020). *Desain Glass Bottom Catamaran Boat Dengan Hybrid Propulsion System Sebagai Sarana Wisata Di Kepulauan Karimunjawa, Jawa Tengah*. Surabaya: Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- Google. (2019, Mei 9). *Peta Peabuhan Tanjung Perak, Kota Surabaya, Jawa Timur*. Diambil kembali dari Google Maps Web site: <http://www.google.co.id/maps/>
- IMO. (2016). *International Code on Intact Stability, 2008*. London: IMO Publishing.
- Iqbal, M. (2019). *Desain Kapal Ikan Hibrida Berbahan Dasar High Density Polyethylene (HDPE) Sebagai Penunjang Potensi Laut Provinsi Kepulauan Riau*. Surabaya: Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jakobsen, E. (1990). *Produktutvikling*. Oslo: Statens Institutt for Forbruksforskning.
- Kemenhub. (2019). PM Nomor 57 tahun 2015. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Kemenhub. (2019). PM Nomor 93 tahun 2014. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Lamb, T. (2003). *Ship Design and Construction*. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Levander, K. (2012). *System Based Ship Design*. Trondheim: NTNU Marine Technology.
- Lithium-Werks. (2020). Product Catalogue. *Valence U 27-36XP Battery*. Valence Company.
- Molland, A. F. (2011). *Ship Resistance and Propulsion*. New York: Cambridge University Press.
- MTU. (2020). Product Catalogue. *Diesel Engine 16V 2000 m51a/b*. MTU Corporation.

- Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design, Chapter 11*. Michigan: University of Michigan, Departement of Naval Architecture and Marine Engineering.
- PMS. (2019, Nopember 12). *Pelindo Marine Service Vessels Facility*. Diambil kembali dari Pelindo Marine Service Web site: <https://www.pelindomarine.com>
- Shiraishi, K. (2015). Development of the Hybrid Tugboat System. *IHI Engineering Review Volume 48*, 23-28.
- TTL. (2019, Oktober 29). *Jadwal Bongkar Muat Kapal*. Diambil kembali dari Terminal Teluk Lamong Web site: <http://teluklamong.co.id>
- Zahalka, C. P. (2010). *Bollard Pull*. Hamburg: Association of Hanseatic Marine Underwriters.

## **LAMPIRAN**

LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS DESAIN *HYBRID TUGBOAT*

LAMPIRAN B SPESIFIKASI PERMESIN DAN *EQUIPMENT HYBRID TUGBOAT*

LAMPIRAN C DESAIN *LINES PLAN HYBRID TUGBOAT*

LAMPIRAN D DESAIN *GENERAL ARRANGEMENT HYBRID TUGBOAT*



**LAMPIRAN A**  
**PERHITUNGAN TEKNIS DESAIN *HYBRID TUGBOAT***



**Data Parentship**

Nama = KT. Jayanegara 302	Jumlah Kru =	9 Orang
LOA = 29 m	Midship from AP =	13.8 m (Maxurf)
LPP = 27.885 m		
B = 12 m		
H = 5.1 m		
T = 3.5 m		
Bollard Pull = 35 Ton	Bollard Pull dibutuhkan =	45 Ton
Speed = 11 Knots	frame spacing =	0.6 m
= 5.6584 m/s		

**Koefisien**

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

$$= 0.335475$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = 1.025 \text{ Ton/m}^3$$

**Block Coefficient (Schneekluth)**CB Calculation =  $-4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3$  Parametric design halaman 11-11

CB Calculation = 0.524151

CB digunakan = 0.524 CB (Maxurf) = 0.602

**Midship Section Coefficient (Series 60')**

Parametric design halaman 11-12

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

$$= 0.971 Cm (\text{Maxurf}) = 0.977$$

**Waterplan Coefficient**

Parametric design halaman 11-16

$$Cwp = CB / (0.471 + 0.551 CB)$$

$$= 0.689724 Cwp (\text{Maxurf}) = 0.792$$

**Longitudinal Center of Bouyancy (LCB) (Schneekluth)**

Parametric design halaman 11-19

$$LCB = 8.80 - 38.9Fn$$

$$= -4.250 \% \text{LWL}, \text{LCB from midship}$$

$$= 14.569 \text{ m}, \text{LCB from AP} = 14.569 \text{ m}$$

$$= 0.769 \text{ m}, \text{LCB from midship}$$

$$= \text{Maxurf}$$

**Prismatic Coefficient**

Biro Klasifikasi Indonesia Vol.II 2014 30-1

$$Cp = CB/CM$$

$$= 0.539906 Cp (\text{Maxurf}) = 0.602$$

$$\nabla(\text{m}^3) = L \cdot B \cdot T \cdot CB$$

$$= 638.232 \text{ m}^3$$

$$\Delta (\text{ton}) = L \cdot B \cdot T \cdot CB \cdot \rho$$

$$= 654.1878 \text{ Ton}$$

$$\nabla(\text{m}^3) \text{ maxurf} = 713.290 \text{ m}^3 \Delta (\text{ton}) \text{ maxurf} = 731.1223 \text{ Ton}$$

**Ratio**

$$Lo/Bo = 2.417$$

$$Bo/To = 3.429$$

$$Lo/To = 7.967$$

$$Lo/Ho = 5.468$$

$$Bo/Ho = 2.353$$

$$Lo/16 = 1.743$$

## Resistance Calculation

### [ Holtrop & Mennen Method ]

#### Input Data

LOA =	29 m	Fn =	0.335
LPP =	27.885 m	CB =	0.524
B =	12 m	Cm =	0.971
H =	5.1 m	Cwp =	0.690
T =	3.5 m	Cp =	0.540
Bollard Pull =	35 Ton		
Speed =	11 Knots		
	= 5.6584 m/s		

#### Perhitungan (Rw/W)

$$Rw/W = C1 \times C2 \times C3 \times e^{(m1 \times Fn^d + m2 \cos(\lambda Fn^2))}$$

#### Mencari nilai C1

$$C1 = 2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{(-1.3757)}$$

dengan

$$C4 = B/L \quad \text{untuk } 0.11 \leq B/L \leq 0.25$$

$$C4 = 0.5 - 0.0625 B/L \quad \text{untuk } B/L \geq 0.25$$

$$B/L = 0.414$$

maka

$$C4 = 0.474$$

$$(T/B)^{1.0796} = 0.264418$$

iE = sudut masuk air yang mengenai lambung pada garis air

$$\begin{aligned} iE &= 125.67(B/L) - 162.25 C_p^2 + 234.32 C_p^3 + 0.1551(LCB + (6.8(Ta-Tf)/T))^3 \\ &= 41.65397 \text{ degree} \end{aligned}$$

$$C1 = 2223105 C_4^{3.7861} (T/B)^{1.0796} (90 - iE)^{(-1.3757)}$$

$$C1 = 167.8879$$

#### Mencari nilai C2

C2 = koefisien pengaruh bulbous bow

$$C2 = 1.00 \quad (\text{untuk kapal tanpa bulbous bow})$$

$$d = -0.9$$

#### Mencari nilai C3

C3 = koefisien pengaruh bentuk transom stern terhadap hambatan

$$C3 = 1 - 0.8 \times A_T / B \times T \times C_m$$

Dimana

$A_T$  = Immersed area of the transom at zero speed = 0

$$A_T = 0$$

$$C3 = 1$$

#### Mencari nilai C5

C5 = koefisien dengan fungsi koefisien prismatic (Cp)

Dimana

$$Cp = 0.540$$

Untuk ( $Cp \leq 0.8$ ), maka C5 dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C5 &= 8.0798Cp - 13.8673 C_p^2 + 6.9844 C_p^3 \\ &= 1.419 \end{aligned}$$

### Mencari nilai C6

C6 = koefisien pengaruh terhadap harga  $L^3/V$

Dimana

$$L^3/V = 38.21338$$

Untuk ( $L^3/V \leq 512$ ), maka nilai koefisien C6 adalah :

$$C6 = -1.69385$$

### Perhitungan Koefisien m1

$$\begin{aligned} m1 &= 0.01404 (L/T) - 1.7525 (\nabla^{1/3}/L) - 4.7932 (B/L) - C5 \\ &= -3.80661 \end{aligned}$$

### Perhitungan Koefisien m2

$$\begin{aligned} m2 &= C6 \times 0.4 \times e^{-0.034 \times F_n^{-3.29}} & F_n^{-3.29} &= 36.35617 \\ &= -0.19683 & e^{-0.034 \times F_n^{-3.29}} &= 0.290512 \end{aligned}$$

### Perhitungan Koefisien $\lambda$

$\lambda$  = koefisien pengaruh lambung kapal terhadap harga L / B

Dimana

$$L/B = 2.416667$$

Untuk ( $L/B < 12$ ), maka  $\lambda$  adalah :

$$\begin{aligned} \lambda &= 1.446C_p - 0.03 L/B \\ &= 0.708204 \end{aligned}$$

### Perhitungan W

Nilai W adalah gaya keatas yang ditimbulkan oleh fluida

$$\begin{aligned} W &= \rho g V \\ &= 6417.582 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_w/w &= C1 \times C2 \times C3 \times e^{(m1 \times F_n^d + m2 \cos(\lambda F_n^{-2}))} & \left\{ \cos(\lambda F_n^{-2}) \right\} &= 0.999955 \\ &= 0.005266 & \\ R_w &= 33.79696 \text{ kN} & \\ &= 33796.96 \text{ N} & \left\{ m_i \cdot F_n^d \right\} &= -10.1729 \end{aligned}$$

### PERHITUNGAN (1+k)

$$(1+k) = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)] Sapp/Stot$$

Dimana

$$(1+k_1) = 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1 - C_p)^{(-0.6042)}$$

Dimana

c = koefisien bentuk afterbody

$$c = 1 + 0.011c_{stern} >> c_{stern} = 0$$

= 1 for normal section shape

c stern = -25 for pram with gondola

c stern = -10 for V-shaped sections

c stern = 0 for normal section shape

c stern = 10 for U-shaped sections with Hogner stern

### Perhitungan LR/L

LR(the length of the run) adalah panjang gaya gesek lambung kapal dengan air saat berjalan.

Dengan nilai LCB 2.0 – 2.8 % Lpp to afterpeak from a midship.

Jika nilai LR tidak diketahui maka menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} LR/L &= 1 - Cp + 0.06 Cp LCB / (4Cp - 1) \\ &= 0.481577 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} (1+k1) &= 0.93 + 0.4871c (B/L)^{1.0681} (T/L)^{0.4611} (L/LR)^{0.1216} (L^3/V)^{0.3649} (1 - Cp)^{(-0.6042)} \\ &= 1.402653 \end{aligned}$$

### Perhitungan 1+k2

Koefisien ini merupakan koefisien akibat pengaruh tonjolan yang terdapat pada lambung kapal di bawah permukaan garis air.

$$\begin{aligned} 1+k2 &= 2.8 \text{ (for spade - type rudder of twin screw ships)} \\ &= 1.4 \text{ (for bilge keels)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1+k2)\text{eff} &= \sum Si (1 + k2)i / \sum Si \\ &= (\sum Skemudi (1+k2 rudder of twin screw) + Sbilge keels (1+k2 bilge keels)) \\ &\quad / \sum (Skemudi + Sbilge keels) \end{aligned}$$

### Perhitungan Luas Permukaan Basah (WSA)

$$\begin{aligned} WSA &= L(2T+B)C_M^{0.5} (0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467\frac{B}{T} + 0.3696C_{WP}) + 2.38\frac{A_{BT}}{C_B} \\ &= 352.8565 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$A_{BT}$  = cross sectional area of bulb in FP  
= 0 (tidak memakai bulbosbow)

### Perhitungan Luas Permukaan basah tonjolan pada kapal

$$\begin{aligned} S_{kemudi} &= luasan daun kemudi \\ &= C1 C2 C3 C4 ((1.75 LT) / 100) \end{aligned}$$

dimana

$$\begin{aligned} C1 &= 1.70 \text{ factor for the ship type tugboat} \\ C2 &= 0.90 \text{ factor for rudder type semi-spade rudders} \\ C3 &= 1.00 \text{ factor for the rudder profile NACA profile and plate rudder} \\ C4 &= 1.00 \text{ factor for the rudder arrangement rudder in the propeller jet} \end{aligned}$$

$$S_{kemudi} = 5.435 \text{ m}^2 \quad (\text{dikali 2 karena yang tercelup kanan dan kiri})$$

$$\begin{aligned} S_{bilge} &= luasan bilge keels \\ &= 0.6 Cb L (0.18/(Cb-0.2)) \\ &= 20.261 \text{ m}^2 \quad (\text{dikali 4 karena yang tercelup kanan dan kiri,atas dan bawah}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{app} &= S_{kemudi} + S_{Bilge} \\ &= 25.697 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka, total luas permukaan basah kapal adalah :

$$\begin{aligned} S_{total} &= WSA + S_{app} \\ &= 378.553 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1+k2)\text{eff} &= \sum Si (1 + k2)i / \sum Si \\ &= 1.696 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1+k) &= (1+k1) + [(1+k2) - (1+k1)] Sapp/Stot \\ &= 1.423 \end{aligned}$$

**Perhitungan Koefisien Gesek, CF**

$$C_F = 0.075 / (\log Rn - 2)^2$$

$$= 0.001989$$

$$Rn = L_{wl} \cdot \frac{\mathbf{V} \cdot \boldsymbol{\varsigma}}{v}$$

$$= 138089892.4$$

$$v = 1.1883 \times 10^{-6}$$

**Perhitungan model-ship correlation allowance, CA**

$$C_A = 0.006 (L + 100)^{-0.16} - 0.00205$$

dimana

$$T/L = 0.12069$$

Untuk ( $T / L > 0.04$ ), maka CA adalah :

$$C_A = 0.006 (L + 100)^{-0.16} - 0.00205$$

$$= 0.000707$$

**Perhitungan hambatan total RT**

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

$$= 55768.01 \text{ N}$$

$$= 55.76801 \text{ kN}$$

Koreksi untuk jalur pelayaran di Asia Tenggara sebesar 15% - 20% (ITTC 1957)

$$= R_T + (15\% \times R_T)$$

$$= 64.13321 \text{ kN}$$

### Perhitungan daya saat bollard pull test

Bollard Pull Test =	45 Ton	Cv = (1+k)Cf+Ca
Vs =	0 Knot	= 0.003537
N Propeller =	272.72 Rpm	
D Propeller =	2400 mm	
=	2.4 m	
w = 0.3 Cb + 10 Cv Cb - 0.1		
=	0.075734212	

Thrust Propeller

$$T = Rt / 1-t$$

Dimana,

$$\begin{aligned}Rt &= 45 \text{ Ton} \\&= 441.45 \text{ kN}\end{aligned}$$

t = nilai tambahan tahanan kapal karena thrust yang mengenai bagian propeller

t = 0.325 Cb - 0.1885 D vB T

t = 0.100493164

Maka,

$$\begin{aligned}T &= Rt (\text{kN}) / 1-t \\&= 490.7689 \text{ kN} \\&= T / 2 \quad \text{dibagi 2 karena untuk menghitung pembebahan pada 1 propel} \\&= 245.3845 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Kt &= T / \rho \times n^2 \times D^4 \\&= 0.097016198\end{aligned}$$

### Tugboat menggunakan fixed pitch propeller dengan kort-nozzle

Perhitungan BHP menggunakan rumus

$$BHP \times 0.9 \times 1.20 / 100 = (t) \quad t = \text{beban daya tarik (ton)}$$

$$\begin{aligned}BHP &= (t) \times 100 / 0.9 \times 1.2 \\&= 4375.00 \text{ Hp} \\&= 3217.81 \text{ Kw} \quad = 1608.906 \text{ Kw untuk satu Propeller} \\&= 2187.50 \text{ Hp Untuk satu propeller}\end{aligned}$$

### Dipilih mesin Induk Diesel 2 X 2300 HP Caterpillar 3512C TIER 3 1800 RPM

Spesifikasi Mesin

Daya = 2300 HP

Emisi = EPA Tier 3, IMO II

Kapasitas Silinder = 58.6 L

Konfigurasi = Diesel Siklus 12 Silinder V, 4 Langkah

Bobot Kering =	7488 kg	
Panjang =	2465 mm	= 2.465 m
Tinggi =	2222.6 mm	= 2.223 m
Lebar =	2037 mm	= 2.037 m

### Perhitungan daya saat mode Cruising

$$\begin{aligned}
 R_t &= 64.13 \text{ kN} \\
 V_s &= 11.00 \text{ Knot} \\
 &= 5.66 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Nilai EHP (effective Horse Power)

$$\begin{aligned}
 EHP &= R_t \times V_s \\
 &= 362.89 \text{ kN m/s}
 \end{aligned}$$

Nilai DHP (Delivered Horse Power)

$$\begin{aligned}
 DHP &= EHP / \eta_D \\
 &= 634.15 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_D &= \eta_H \times \eta_R \times \eta_O \\
 \eta_H &= \text{Hull efficiency}
 \end{aligned}$$

$$= (1-t) / (1-w)$$

$$= (1 - 0.09786) / (1 - 0.075677)$$

$$= 0.973212$$

$$\eta_R = \text{efficiency rotative}$$

$$= 0.98$$

$$\eta_O = \text{efficiency open water test}$$

$$= 0.50 \leq \eta_O \leq 0.699$$

Nilai BHP (Break Horse Power)

$$\begin{aligned}
 BHP &= SHP / \eta_g \\
 &= 660.30 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$BHP \text{ 1 prop} = 330.15 \text{ kW}$$

$$\eta_D = 0.976 \times 0.98 \times 0.6$$

$$= 0.572249$$

$$\eta_S \eta_B = \text{Shaft efficiency}$$

$$= 0.98$$

$$\eta_g = \text{reduction gear efficiency}$$

$$= 0.98$$

### Dipilih motor listrik 2 X ABB M3BP 355LKA 355kW 690V 50Hz

Spesifikasi Mesin

Model = M3BP 355LKA 6	Dimensi =			
Speed = 992 Rpm	Panjang = 1584 mm	=	1.584 m	
Kutub = 6 Poles	Lebar = 746 mm	=	0.746 m	
Torsi = 3032 Nm	Tinggi = 958 mm	=	0.958 m	
Power Factor = 0.830				
Frequency = 50 Hz				
Second Frequency = 60 Hz				
Pout = 355 kW				
	= 476 HP			
ηrated = 95.70%				
Bobot = 2210 kg				
	= 2.21 Ton			
Voltase = 690 Volt				
Current = 330 Ampere				

$$P_{input \text{ MCR}} = P_{out} / \eta_{rated}$$

$$= 370.9509 \text{ kW}$$

$$P_{input \text{ MCR}} \text{ untuk 2 motor listrik} = 741.9018 \text{ kW}$$

## Perhitungan daya saat mode standby

Kondisi standby adalah kondisi dimana sumber tenaga gerak bekerja memutar propeller untuk mempertahankan posisi tugboat melawan arus air yang melewati badan kapal. Kondisi ini bekerja pada kecepatan 1 – 3 knot

Vs (Knot)	Vs (m/s)	Rt (kN)	EHP (kNm/s)
			= Rt x Vs
1	0.514	0.286	0.147
2	1.029	1.037	1.066
3	1.543	2.209	3.409
4	2.058	3.783	7.784
5	2.572	5.747	14.781
6	3.086	8.116	25.051
7	3.601	11.086	39.920
8	4.115	15.466	63.644
9	4.630	24.026	111.230
10	5.144	39.595	203.677
11	5.658	64.358	364.161

DHP (kW)	SHP (kW)	BHP <sub>SCR</sub> (kW)	BHP <sub>SCR</sub> (HP)
= EHP / ηD	= DHP / ηS	= SHP / ηg	= SHP / ηg
0.257	0.262	0.267	0.359
1.863	1.902	1.940	2.602
5.957	6.078	6.203	8.318
13.602	13.880	14.163	18.993
25.830	26.357	26.895	36.066
43.776	44.669	45.581	61.124
69.760	71.183	72.636	97.405
111.217	113.487	115.803	155.291
194.374	198.341	202.389	271.404
355.924	363.188	370.600	496.975
636.367	649.355	662.607	888.556

Pada mode operasi standby, menghitung kebutuhan daya untuk motor listrik adalah

$$\begin{array}{ll}
 P = \sqrt{3} V I \cos\phi & P = \text{Daya Motor (watt)} \\
 \text{Pin} = 6.481 \text{ kW} & V = \text{Tegangan (Volt)} \\
 = 6481.217 \text{ watt} & = 690 \text{ Volt} \\
 6481.217 \text{ watt} = \sqrt{3} V I \cos\phi & I = \text{Arus (Ampere)} \\
 I = \text{Pin} / (\sqrt{3} V \cos\phi) & \cos\phi = 0.830 \\
 = 6.534 \text{ A} &
 \end{array}$$

**Kebutuhan daya listrik yang masuk (Pin) ke dalam motor pada mode standby (3 Knot) :**

$$\begin{array}{ll}
 \eta_{rated} = (\text{Pout}/\text{Pin}) \times 100\% & \\
 \eta_{rated} = 95.70\% & \\
 95.70\% = (\text{Pout}/\text{Pin}) \times 100\% & \\
 \text{Pin 2 motor} = 6.481 \text{ kW} & \text{(Disupply Battery)} \\
 \text{Pin 1 motor} = 3.241 \text{ kW} &
 \end{array}$$

**Kebutuhan daya listrik yang masuk (Pin) ke dalam motor pada mode cruising (8 Knot) :**

$$\begin{aligned}\eta_{rated} &= (\text{Pout}/\text{Pin}) \times 100\% \\ \eta_{rated} &= 95.70\% \\ 95.70\% &= (\text{Pout}/\text{Pin}) \times 100\% \\ \text{Pin 2 motor} &= 121.006 \text{ kW} \quad (\text{Disupply Genset / Battery}) \\ \text{Pin 1 motor} &= 60.503 \text{ kW}\end{aligned}$$

**Kebutuhan daya listrik yang masuk (Pin) ke dalam motor pada mode cruising (11 Knot) :**

$$\begin{aligned}\eta_{rated} &= (\text{Pout}/\text{Pin}) \times 100\% \\ \eta_{rated} &= 95.70\% \\ 95.70\% &= (\text{Pout}/\text{Pin}) \times 100\% \\ \text{Pin 2 motor} &= 692.379 \text{ kW} \\ \text{Pin 1 motor} &= 346.189 \text{ kW} \quad (\text{Disupply Genset}) \\ \text{Pin MCR} &= 370.951 \text{ kW} \\ \text{Pin 2 motor MCR} &= 741.902 \text{ kW}\end{aligned}$$

Dipilih GenSet Propulsi 1x MTU 16V 2000 M51B, 770 kWe, 450V/690V-60Hz

Engine =

Power =	800 kW	Dimension Genset with Engine =	
=	1073 HP	Panjang =	4200 mm
Speed =	1800 RPM	Lebar =	1850 mm
Silinder =	16	Tinggi =	1500 mm
Exhaust Optimization =	IMO II	Bobot Kering =	7030 kg
		=	7.03 Ton

Generator =

Frequency =	60 Hz
Voltase =	450 Volt
=	690 Volt
Rated Power ICXN =	770 kWe
Rated Power ICXN =	960 kVA

$$\begin{aligned}\text{Load Factor Cruising} &= \frac{\text{Pembebatan Daya} \times 100\%}{\text{Daya Genset} \times \text{jumlah genset}} \\ &= 96.35\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Load Factor Standby} &= \frac{\text{Pembebatan Daya} \times 100\%}{\text{Daya Genset} \times \text{jumlah genset}} \\ &= 0.84\%\end{aligned}$$

Karena terlalu kecil kebutuhan daya propulsi mode standby disupply battery atau genset ship service

Dipilih Battery 3x 117.5 kWh Valence U 27-36XP

Voltage (nominal) =	38.4 Volt	Module size	
Capacity @C/5, 25°C =	50 Ah	Panjang =	306 mm
Energy =	1.92 kWh	Lebar =	172 mm
Discharge Cont./Peak =	100 A	Tinggi =	225 mm
=	150 A		
ischarge Cutoff Voltage =	30 Volt		
Specific Energy =	102 Wh/kg		
=	0.102 kWh/kg		
Charge Voltage =	43.8 Volt		
gy per Module Package =	117.5 kWh		
Energy total =	352.5 kWh		
Berat Module Package =	1151.96 kg		
=	1.15 Ton	Berat Total 3 Package Module Battery =	3.46 Ton
Jumlah Module =	Module package Energy / module energy		
=	61 Module Battery per Package		
Jumlah Total Module =	184		

**Arus dan Kemampuan kapasitas daya battery untuk menyuplai motor listrik**

Speed = 3 Knot  
BHPscr = 6.20 kW  
Pin 2 motor = 6.48 kW  
 $P_{in} = \sqrt{3} V I \cos\phi$   
 $I = 3.267 \text{ A}$   
Kemampuan Battery = Battery Energy / P input  
= 54.4 Jam

Speed = 8 Knot  
BHPscr = 115.803 kW  
Pin 2 motor = 121.006 kW  
 $P_{in} = \sqrt{3} V I \cos\phi$   
 $I = 60.99426 \text{ A}$   
Kemampuan Battery = Battery Energy / P input  
= 2.9 Jam

Speed = 11 Knot  
BHPscr = 662.607 kW  
Pin 2 motor = 692.379 kW  
 $P_{in} = \sqrt{3} V I \cos\phi$   
 $I = 349.0005 \text{ A}$   
Kemampuan Battery = Battery Energy / P input  
= 0.5 Jam

## Perhitungan kebutuhan daya listrik tiap mode operasi

Equipment	Power (kW)	Standby	Cruising	Assisting
Deck Crane + Towing Winch	15			15
Anchor/Towing Winch	7	7		
fifi Pump	40			
Fuel oil system	25	25	25	25
Lubricating Oil system	10	10	10	10
Nav./Comm Equipment	10	10	10	10
Compressed Air System	4	4		
Cooling system	22	22	22	22
General servise	7	7	7	7
Total	85	74	89	

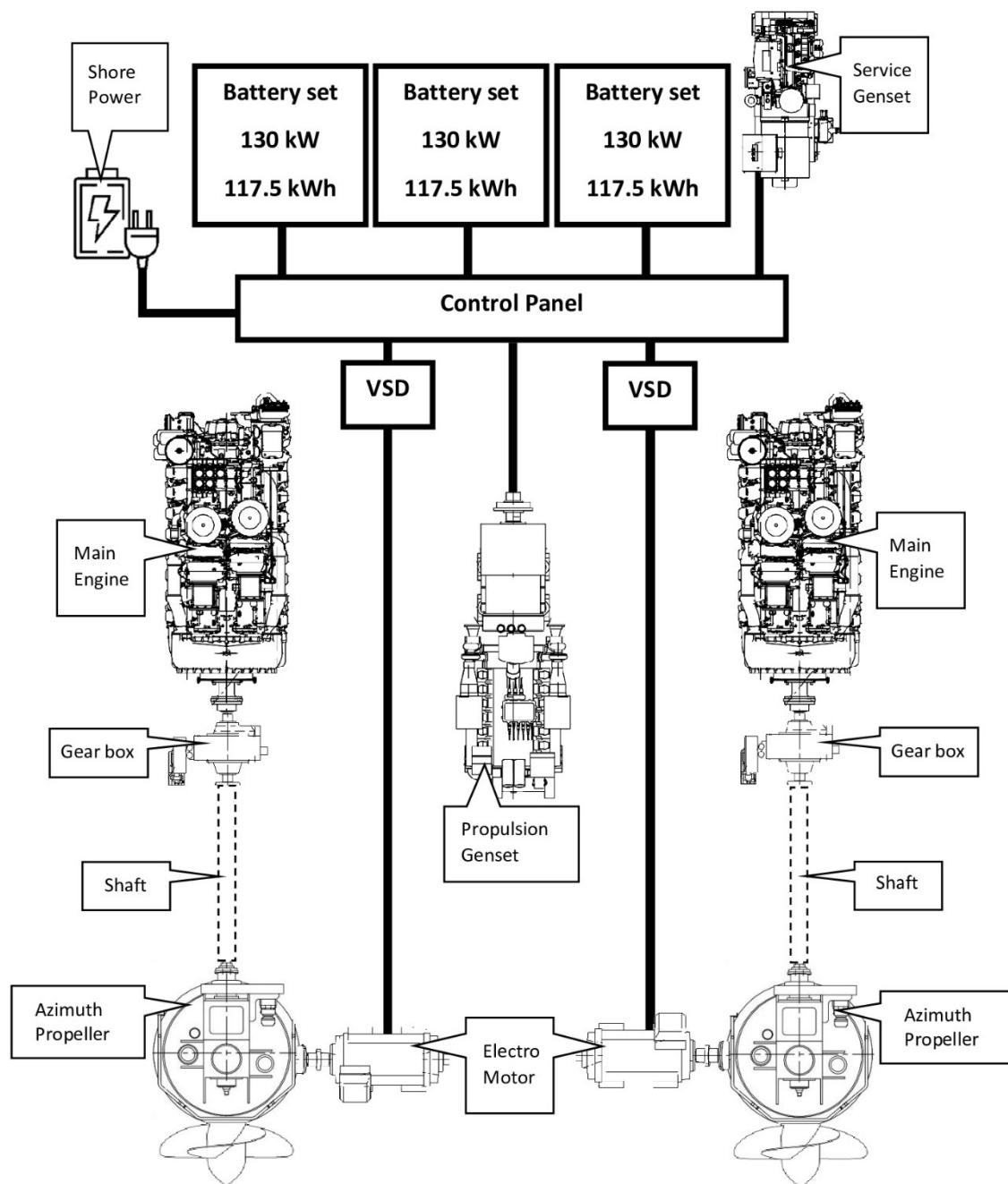
Dipilih GenSet 1x Caterpillar C 4.4 Marine Generator set 123 kVA (99 ekW) 230/240 Volt 60Hz

Daya Minimum =	36 ekW
=	45 kVA
Daya Maksimum =	99 ekW
=	123 kVA
Frekuensi =	60 Hz
Kecepatan =	1800 Rpm
Panjang =	1750 mm
=	1.75 m
Lebar =	1215 mm
=	1.215 m
Tinggi =	1000 mm
=	1 m
Bobot =	805 Kg
=	0.805 Ton

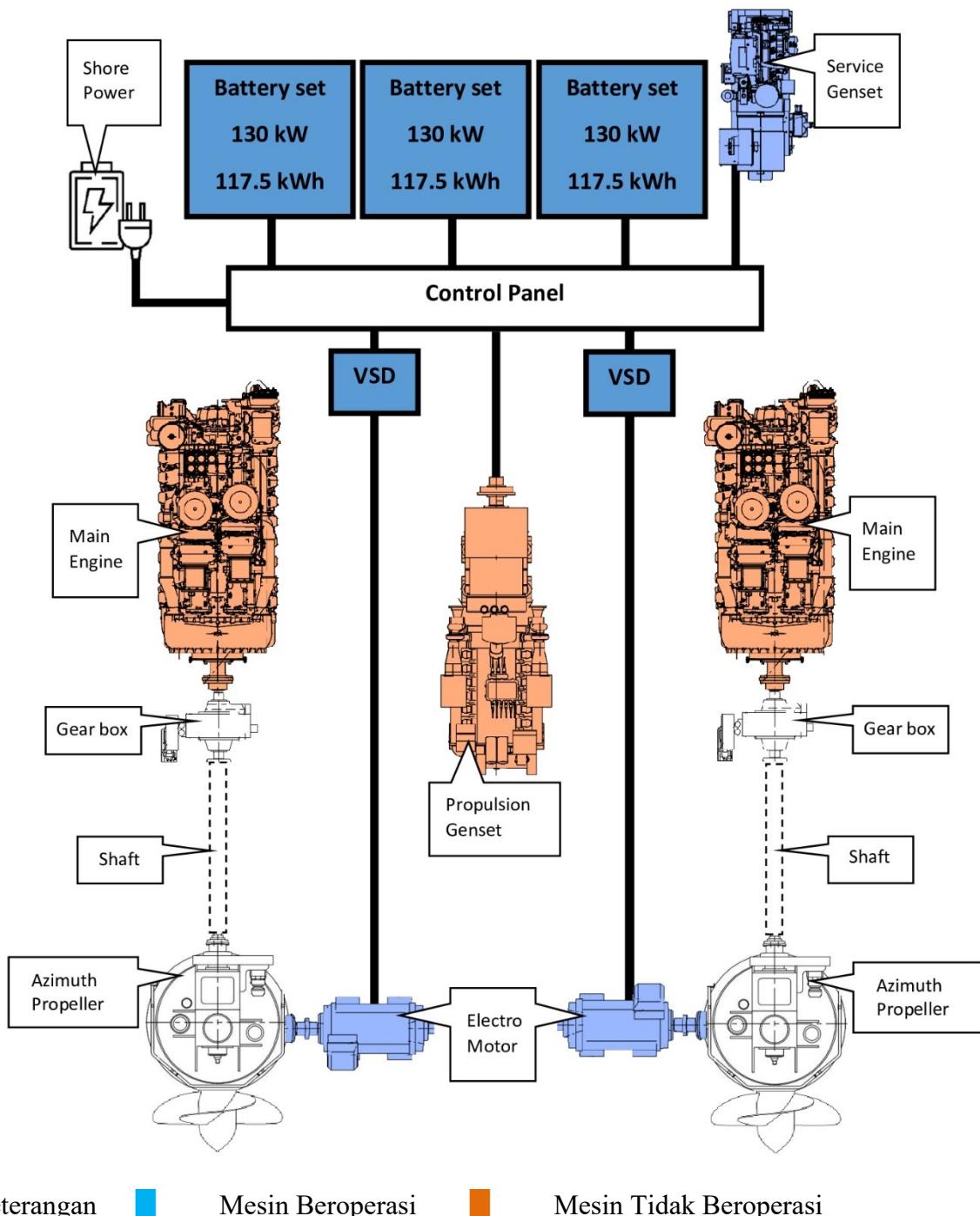
$$\text{Load Factor Cruising} = \frac{\text{Pembebatan Daya} \times 100\%}{\text{Daya Genset} \times \text{jumlah genset}}$$

Mode Operasi	Power (kW)	Load Factor
		caterpillar C 4.4 Genset
Standby	85	86%
Cruising	74	75%
Assisting	89	90%

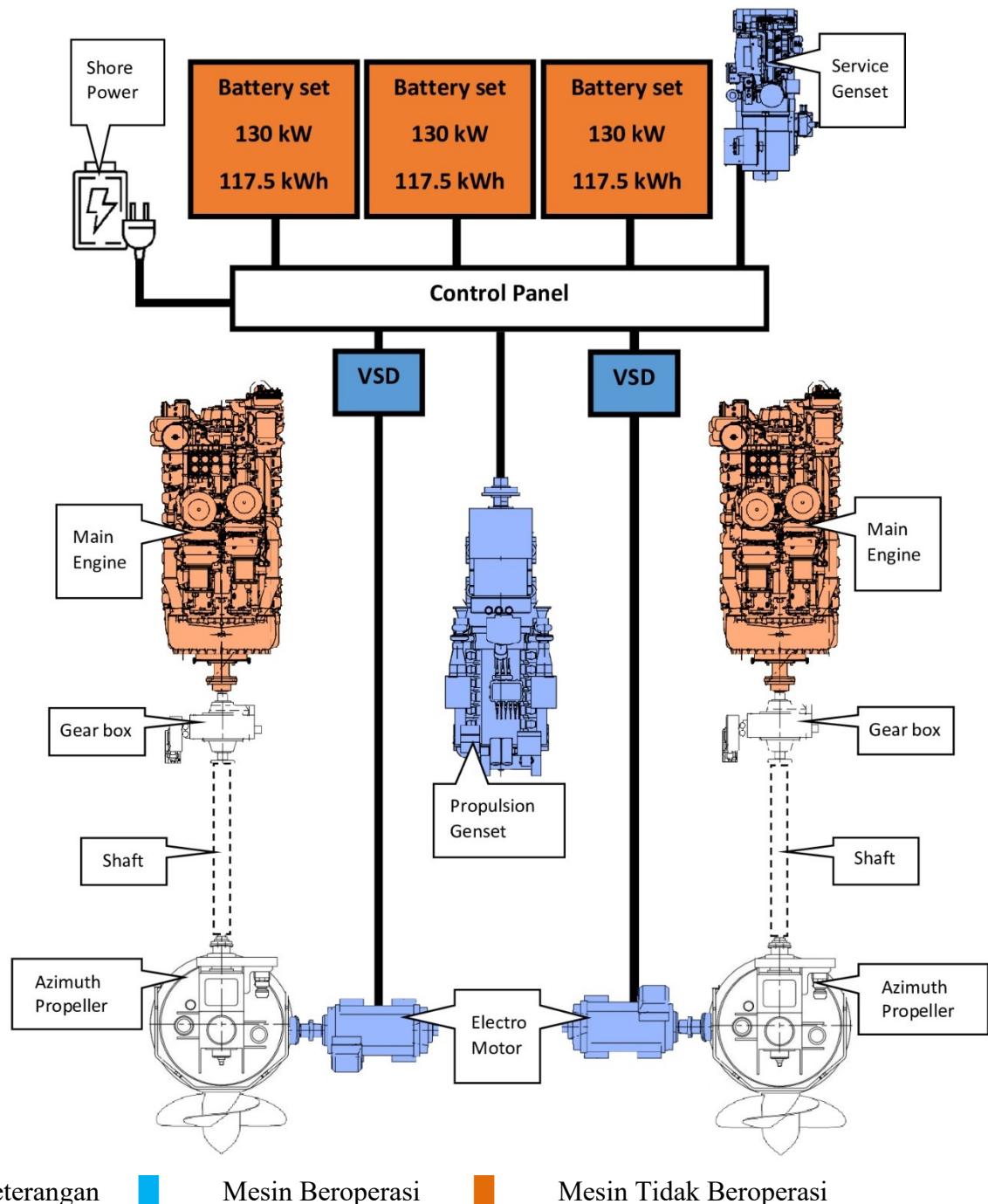
## Konfigurasi Hybrid Propulsion System



## Konfigurasi Hybrid Propulsion System Standby



## Konfigurasi Hybrid Propulsion System Cruising - Pada Genset Propulsi



Keterangan

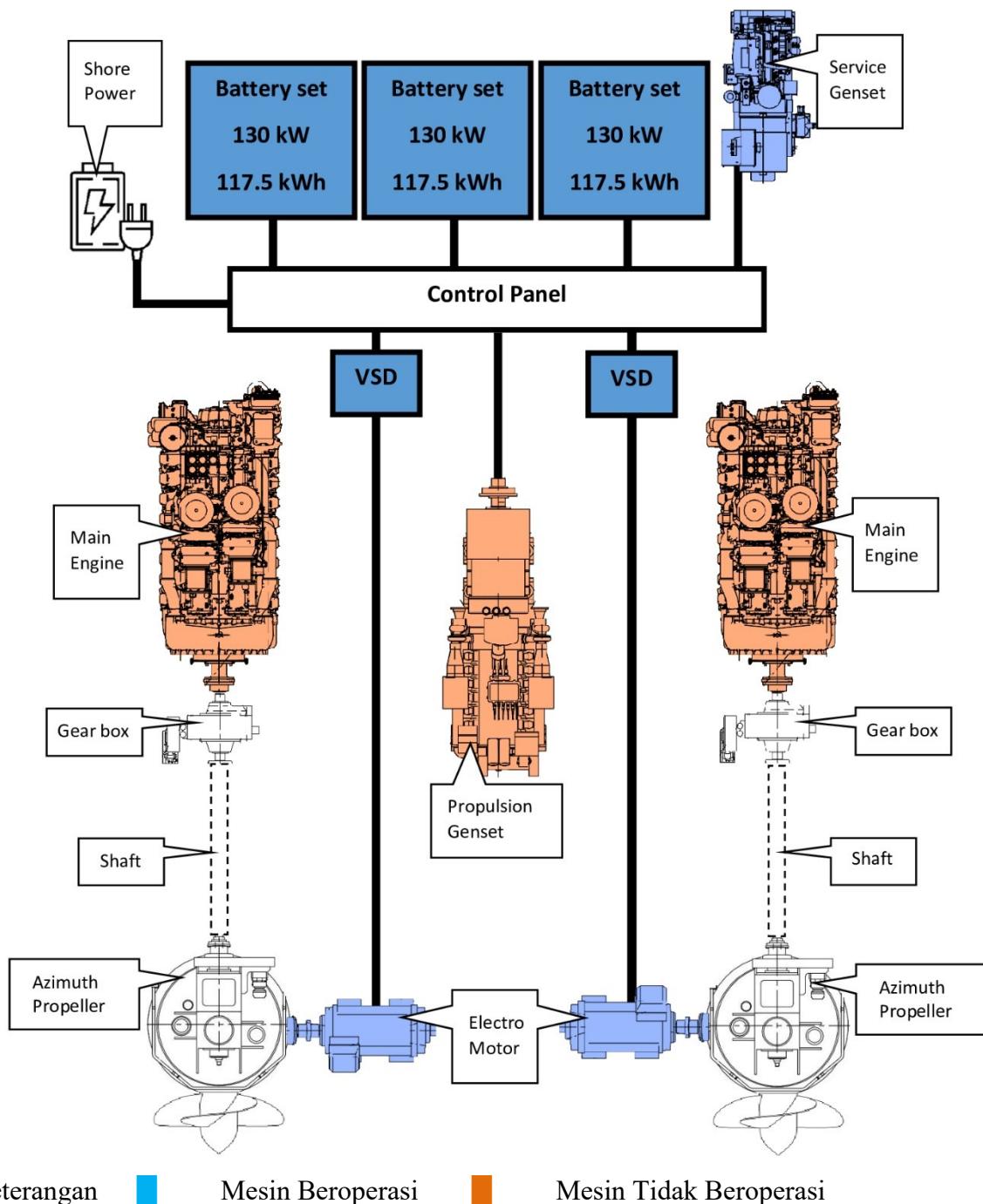


Mesin Beroperasi



Mesin Tidak Beroperasi

## Konfigurasi Hybrid Propulsion System Cruising - Pada Daya Baterai



## Ship Machinery Weight Calculations

Main engine specifications		Generator Propulsion	
Engine type =	2X Catterpillar 3512C TIER 3	Genset type =	1x MTU 16V 2000 M51B
Jumlah =	2 Unit	Jumlah =	1 Unit
MCR =	1765 kW	Engine output =	800 kW
MCR =	2300 HP	Diesel eff. =	96%
Speed =	1800 r/min	Diesel output =	770 kWe
Cyl. number =	12	Diesel output =	960 kVA
Bore =	170 mm	Fuel Oil Consumption	
Stroke =	215 mm	FOC =	201 g/kWh
Specific Fuel Oil Consumption		Lube Oil Consumption	
SFOC =	209 g/kWh	LOC =	0.22 g/kWh
Specific Lube Oil Consumption		Dimensions	
SLOC =	0.17 g/kWh	Length =	4200 mm
Dimensions		Width =	1850 mm
Length =	2465 mm	Height =	1500 mm
Width =	2037 mm	Dry mass =	7.03 ton
Height =	2222.6 mm		
Dry mass =	7.488 ton		
Motor Listrik		Generator Service	
Genset type =	ABB M3BP 355MLB	Genset type =	1x Caterpillar C 4.4 Generator
Jumlah =	2 Unit	Jumlah =	1 Unit
Engine output =	355 kW	Engine output =	103 kW
Speed =	992 Rpm	Diesel eff. =	96%
Kutub =	6 Poles	Diesel output =	99 kWe
Torsi =	3032 Nm	Diesel output =	123 kVA
Dimensions		Fuel Oil Consumption	
Length =	1584 mm	FOC =	207.5 g/kWh
Width =	746 mm	Lube Oil Consumption	
Height =	958 mm	LOC =	0.19 g/kWh
Dry mass =	0.958 Ton	Dimensions	
Battery Packgage		Azimuth Thrusters	
Battery Type =	Valence U 27-36XP	Propulsion Type =	Rolls Royce US 205
Specific Energy =	102 Wh/kg	Jumlah =	2 Unit
=	0.102 kWh/kg	Diameter Propeller =	2400 mm
Charge Voltage =	43.8 Volt	Daun Propeller =	5 buah
Energy / Package =	117.5 kWh	Input Speed Min =	750 rpm
Energy total =	352.5 kWh	Input Speed Max =	1800 rpm
Jumlah =	3 Unit	Berat =	18 Ton
Dimensions			
Berat =	1.15 Ton		
Length =	1200 mm		
Width =	1200 mm		
Height =	1200 mm		

## **Propulsion Unit**

### **Engine weight**

$$W_{\text{main engine}} = 14.976 \text{ ton}$$

$$W_{\text{electric engine}} = 1.916 \text{ ton}$$

### **Propeller weight**

$$W_{\text{azimuth thrusters + Shaft}} = 36 \text{ ton}$$

$$W_{\text{propulsion total}} = 52.892 \text{ ton}$$

## **Electrical Source Unit**

$$W_{\text{genset propulsion}} = 7.03 \text{ ton}$$

$$W_{\text{genset service}} = 0.805 \text{ ton}$$

$$W_{\text{battery pack}} = 3.46 \text{ ton}$$

$$W_{\text{electrical total}} = 11.29 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{other}} &= 0.04P_{\text{engine}} - 0.07P_{\text{engine}} \\ &= 19.0 \text{ ton} \end{aligned}$$

## **Total of machinery weight**

$$W_{\text{total Kamar Mesin}} = 83.2 \text{ ton}$$

## **Center of machinery weight**

$$VCG_{\text{Main Engines}} = 2.8 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Main Engines}} = 14 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

$$VCG_{\text{Electric Engines}} = 3 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Electric Engines}} = 9.5 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

$$VCG_{\text{Azimuth Thrusters}} = 3.8 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Azimuth Thrusters}} = 3.6 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

$$VCG_{\text{Genset Prop}} = 2.4 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Genset Prop}} = 14.4 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

$$VCG_{\text{Genset Serv}} = 2.1 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Genset Serv}} = 8.6 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

$$VCG_{\text{Battery}} = 1.1 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Battery}} = 23.4 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

$$VCG_{\text{Other}} = 1.4 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Other}} = 15 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

$$VCG_{\text{Kamar Mesin}} = 2.806 \text{ m}$$

$$LCG_{\text{Kamar Mesin}} = 9.998 \text{ m} \quad \text{from AP}$$

## Ship Consumable Weight Calculations

Ship dimensions		Ship personnel	
$L_{PP}$ =	27.88 m	n =	9 person
$L_{WL}$ =	29.00 m	frame spacing =	0.6 m
B =	12.00 m		
H =	5.10 m	Required Running Hours =	8 Hours
T =	3.50 m	Required Endurance Period =	15 Days
$V_s$ =	11.00 knot	=	360 Hours
$V_s$ =	5.658 m/s	Assumed FO Density =	870 kg/m <sup>3</sup>
		Assumed LO Density =	900 kg/m <sup>3</sup>

### Engine Fuel Oil

#### Main Engine

Average Power Factor =	1 MCR
ME SFOC =	209 g/kWh
ME Fuel Consumption = (SFOC/1000) x ME MCR / FO Density	
=	0.55 m <sup>3</sup> /hr
Untuk 2 ME =	1.11 m <sup>3</sup> /hr
Required Capacity in Day Tank =	8.84 m <sup>3</sup>

#### Genset Propulsi

Average Power Factor =	0.96 MCR
Genset Propulsi SFOC =	201 g/kWh
Genset Propulsi Fuel Consumption = (SFOC/1000) x GP MCR / FO Density	
=	0.18 m <sup>3</sup> /hr
Required Capacity in Day Tank =	1.42 m <sup>3</sup>

#### Genset Service

Average Power Factor =	0.86 MCR
Genset Service SFOC =	207.5 g/kWh
Genset Service Fuel Consumption = (SFOC/1000) x GS MCR / FO Density	
=	0.02 m <sup>3</sup> /hr

Required Capacity in Day Tank = 0.17 m<sup>3</sup>

Total Required Capacity in Day Tank = 10.43 m<sup>3</sup>  
 Capacity in Day Tank Taken = 16.00 m<sup>3</sup>

#### Day FO Tank Weight & Position

Day Tank Weight (at 98%) =	13.64 Ton
Day Tank KG =	2.10 m
Day Tank LCG from AP =	18.00 m

### **FO Tank Weight & Position**

- FO Forward Tank (S&P)

Tank Volume =	31.02 m <sup>3</sup>
Tank Weight (at 98%) =	26.45 Ton
Tank KG =	1.43 m
Tank LCG from AP =	20.40 m

- FO Double Bottom Tank (Centre)

Tank Volume =	62.67 m <sup>3</sup>
Tank Weight (at 98%) =	53.43 Ton
Tank KG =	0.72 m
Tank LCG from AP =	14.40 m

- FO Double Bottom Tank (S&P)

Tank Volume =	46.66 m <sup>3</sup>
Tank Weight (at 98%) =	39.78 Ton
Tank KG =	0.74 m
Tank LCG from AP =	12.50 m

- Total FO Tank

Total Tank Volume =	140.34 m <sup>3</sup>
Total Tank Weight (at 98%) =	133.30 Ton
Tank KG =	1.01 m
Tank LCG from AP =	15.39 m

### **Engine Lube Oil**

#### **Main Engine**

Average Power Factor = 1 MCR

ME SLOC = 0.17 g/kWh

ME LO Consumption = (SLOC/1000) x Power Factor x ME MCR / LO Density  
= 0.000 m<sup>3</sup>/hr

Untuk 2 ME = 0.001 m<sup>3</sup>/hr

Required LO Tank = 0.313 m<sup>3</sup>

#### **Genset Propulsi**

Average Power Factor = 0.96 MCR

Genset Propulsi SFOC = 0.22 g/kWh

Genset Propulsi LO Consumption = (SLOC/1000) x GP MCR / FO Density  
= 0.000 m<sup>3</sup>/hr

Required LO Tank = 0.068 m<sup>3</sup>

#### **Genset Service**

Average Power Factor = 0.86 MCR

Genset Service SLOC = 0.19 g/kWh

Genset Service LO Consumption = (SLOC/1000) x GS MCR / LO Density  
= 0.000 m<sup>3</sup>/hr

Required LO Tank = 0.007 m<sup>3</sup>

Total Required LO Tank = 0.387 m<sup>3</sup>

Capacity in LO Tank Taken = 1.00 m<sup>3</sup>

**LO Tank Weight & Position**

LO Tank Weight (at 98%) = 0.90 Ton  
 LO Tank KG = 2.80 m  
 LO Tank LCG from AP = 6.25 m

**Fresh Water Tank**

Weight  
 $W_{FW} = 0.17 \text{ ton}/(\text{person} \times \text{day})$   
 $W_{FW} = 22.95 \text{ ton}$

Volume  
 $\rho_{FW} = 1000 \text{ kg/m}^3$   
 $\rho_{FW} = 1 \text{ ton/m}^3$   
 $V_{FW} \text{ Required} = 22.95 \text{ m}^3$

$V_{FW} \text{ Taken} = 28.93 \text{ m}^3$   
 $W_{FW} \text{ Taken} = 28.93 \text{ ton}$

Position  
 FW Tank KG = 1.80 m  
 FW Tank LCG from AP = 24.68 m

**Crew and Effects Weight**

$W_{C&E} = 0.17 \text{ ton/person}$   
 $W_{C&E} = 1.53$   
 $W_{C&E} \text{ Taken} = 2 \text{ ton}$

Room Layer	VCG	LCG [AP]	Total Person	$W_{C&E} (\text{ton})$
Accomodation Room	3.950	22.200	6	1.333
Bridge Deck	6.300	17.400	3	0.667

$KG_{C&E} = 4.73 \text{ m}$   
 $LCG_{C&E} = 20.60 \text{ m}$

**Provisions and Stores Weight**

$W_{PR} = 0.01 \text{ ton}/(\text{person} \times \text{day})$   
 $W_{PR} = 1.35 \text{ ton}$   
 $W_{PR} \text{ Taken} = 1.50 \text{ ton}$

$KG_{PR} = 6.30 \text{ m}$   
 $LCG_{PR} = 17.40 \text{ m}$

**Center of consumables and crew weight**

Total C&Cr Weight = 166.63 ton  
 KG C&Cr = 1.25 m  
 LCG C&Cr = 17.04 m

## Structure Weight Calculation

No	Ship Type	CSO
1	Bulk carriers	0.07
2	Cargo ship (1 deck)	0.07
3	Cargo ship (2 decks)	0.076
4	Cargo ship (3 decks)	0.082
5	Passenger ship	0.058
6	Product carriers	0.0664
7	Reefers	0.0609
8	Rescue vessel	0.0232
9	Support vessels	0.0974
10	Tanker	0.0752
11	Train ferries	0.65
12	Tugs	0.0892
13	VLCC	0.0645

Input Data :

$L_o =$	27.885 m	$L_c =$	29.000 m
$L_{WL} =$	29.000 m	Frame Spacing =	0.6 m
$H_o =$	5.100 m		
$B_o =$	12.000 m		
$T_o =$	3.500 m		
$F_n =$	0.335		
$C_B =$	0.524		
LCB =	0.769 from midship		

### Volume Deck House

- Volume Bridge Deck

Length (BD) taken =	7.200 m	Assumption
Length (BD) taken =	12 frame spacing	
Breadth (BD) taken =	9.450 m	Gangway = 1.2 m
Height (hBD) taken =	2.4 m	Assumption
$VDH\ BD = LD2.BD2.hD2$		
$VDH\ BD = 163.30\ m^3$		

- Volume Top Deck

Length (TD) taken =	5.400 m	Assumption
Length (TD) taken =	9 frame spacing	
Breadth (TD) taken =	7.000 m	Gangway = 1.225 m
Height (hTD) taken =	2.4 m	Assumption
$VDH\ TD = LD2.BD2.hD2$		
$VDH\ TD = 90.72\ m^3$		

Total Volume Deck House = 254.02 m<sup>3</sup>

## Weight Deck House

The specific volumetric weights are:

For small and medium sized ship	60 - 70	kg/m <sup>3</sup>
For large cargo ships, large tanker, etc	80 - 90	kg/m <sup>3</sup>
Therefore, for this design, it is used	60	kg/m <sup>3</sup>
• Volume Bridge Deck	• Volume Top Deck	
Length (BD) = 7.200 m	Length (TD) = 5.400 m	
Breadth (BD) = 9.450 m	Breadth (TD) = 7.000 m	
Volume (BD) = 163.296 m <sup>2</sup>	Volume (TD) = 90.720 m <sup>2</sup>	
W <sub>BD</sub> = 9.80 ton	W <sub>TD</sub> = 5.44 ton	
W <sub>Deck House</sub> = 15.24 ton		

## Structural Weight

D<sub>A</sub> = corrected depth due to superstructure and deckhouses volume

$$D_A = H + V_{DH}/(L \cdot B)$$

$$D_A = 5.83 \text{ m}$$

C<sub>SO</sub> = Tugs

$$C_{SO} = 0.0892 \text{ t/m}^3$$

$$\Delta_{\text{kapal}} = 654.1878 \text{ ton}$$

$$U = \log \left( \frac{\Delta}{100} \right)$$

$$U = 0.816$$

$$C_S = C_{SO} + 0.06 \cdot e^{-(0.5U + 0.1U^{2.45})}$$

$$C_S = 0.132$$

$$\text{Margin} = 4\%$$

$$W_{ST} = L \cdot B \cdot D_A \cdot C_S \\ = 277.68 \text{ ton}$$

## Weight of basic hull

$$W_{\text{hull}} = W_{ST} - W_{dh}$$

$$W_{\text{hull}} = 262.436 \text{ ton}$$

## Center of Deckhouse structural weight

### • Bridge Deck

Vertical

$$VCG_{BD} = H + 0.5 h_{BD}$$

$$VCG_{BD} = 6.300 \text{ m}$$

Longitudinal

from AP

$$LCG_{BD} = 18.4 \text{ m}$$

### • Top Deck

Vertical

$$VCG_{TD} = H + h_{BD} + 0.5 h_{TD}$$

$$VCG_{TD} = 8.700 \text{ m}$$

Longitudinal

from AP

$$LCG_{TD} = 18.1 \text{ m}$$

- **Deck Houses**

Vertical

$$VCG_{dh} = (VCG_{BD} \times W_{BD} + VCG_{TD} \times W_{TD}) / W_{dh}$$

$$VCG_{dh} = 7.157 \text{ m}$$

Longitudinal

from AP

$$LCG_{dh} = (LCG_{BD} \times W_{BD} + LCG_{TD} \times W_{TD}) / W_{dh}$$

$$LCG_{dh} = 18.293 \text{ m}$$

### **Center of basic hull structural weight**

Vertical

$$VCG_{hull} = 0.01D [46.6 + 0.135(0.81 - C_B) (L/D)^2] + 0,008D (L/B - 6,5)$$

$$VCG_{hull} = 2.407 \text{ m}$$

Longitudinal

$$\%LCG_{hull} = -0.15 + LCB$$

$$\%LCG_{hull} = 0.619\% \text{ } \% L_{WL}$$

from midship

$$LCG_{hullM} = 0.17951 \text{ m}$$

from AP

$$LCG_{hull} = 0.5 L_{PP} + LCG_{hullM}$$

$$LCG_{hull} = 13.980 \text{ m}$$

### **Center of ship structural weight**

Vertical

$$VCG_S = (VCG_{hull} \times W_{hull} + VCG_{dh} \times W_{dh}) / W_{ST}$$

$$VCG_S = 2.668 \text{ m}$$

Longitudinal

from AP

$$LCG_S = (LCG_{hull} \times W_{hull} + LCG_{dh} \times W_{dh}) / W_{ST}$$

$$LCG_S = 14.216 \text{ m}$$

## Equipment and Outfitting Calculation

[ Referensi : Ship Design Efficiency and Economy , 1998 ]

Input Data :

$$L = 29.000 \text{ m}$$

$$B = 12.000 \text{ m}$$

$$H = 5.100 \text{ m}$$

### Main Deck Equipment Weight

Anchors = 2x 360 kg Pool (High Holding Power)

$$= 720 \text{ kg}$$

$$= 0.72 \text{ ton}$$

Anchors / Towing Winch = Electrically driven two speed winch with double drum and warping head, pull 35 ton at 9.2 m/min, slack rope speed up to 28 m/min, 150 ton brake

$$\text{Weight} = 2200 \text{ kg}$$

$$= 2.2 \text{ ton}$$

Crane + Winch = Heila HLM 10-2S + Heila WM 14

$$= 3850 \text{ kg}$$

$$= 3.85 \text{ ton}$$

Total Main Deck Equip. = 6.77 ton

### Accommodation Weight

The specific unit area weights are:

For small and medium sized cargo ship 160 - 170 kg/m<sup>2</sup>

For large cargo ships, large tanker, etc 180 - 200 kg/m<sup>2</sup>

Therefore, for this design, it is used 160 kg/m<sup>2</sup>

#### • Bridge Deck

$$\text{Length}_{BD} = 7.2 \text{ m}$$

$$\text{Breadth}_{BD} = 9.45 \text{ m}$$

$$\text{Area}_{BD} = 68.04 \text{ m}^2$$

$$\text{Weight}_{BD} = 10.89 \text{ ton}$$

#### • Volume Top Deck

$$\text{Length}_{TD} = 5.4 \text{ m}$$

$$\text{Breadth}_{TD} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Area}_{TD} = 37.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Weight}_{TD} = 6.05 \text{ ton}$$

$$\text{Weight}_{Accommodation} = 16.93 \text{ ton}$$

### Miscellaneous Weight

$$C = (0.18 \text{ ton/m}^2 < C < 0.26 \text{ ton/m}^2)$$

$$= 0.18 [\text{ton/m}^2]$$

$$W_{Miscellaneous} = (L * B * D)^{2/3} * C$$

$$= 26.39 \text{ ton}$$

**Equipment and Outfitting Total Weight**

$$W_{E\&O} = 50.09 \text{ ton}$$

**Outfit Weight Center Estimation**

$$D_A = 5.830 \text{ m}$$

$$KG_{E\&O} = 1.01-1.05 D_A$$

$$VCG_{E\&O} = 5.89 \text{ m}$$

$$25\% W_{E\&O} = 12.52 \text{ ton}$$

$$L_{stem} = 0.35T + L_{sterntube}$$

$$LCG_{Kamar Mesin \text{ from AP}} = 9.998 \text{ m}$$

$$37.5\% W_{E\&O} = 18.78 \text{ ton}$$

$$LCG_{dh \text{ from AP}} = 18.29 \text{ m}$$

$$37.5\% W_{E\&O} = 18.78 \text{ ton}$$

$$L_{midship} = 13.8 \text{ m}$$

(LCG from AP)

$$LCG_{E\&O} = 14.53 \text{ m}$$

## Light Weight Tonnes (LWT)

• Steel Weight
$W_{ST} = 277.677 \text{ ton}$
$KG = 2.668 \text{ m}$
$LCG \text{ dr AP} = 14.216 \text{ m}$
• Equipment & Outfitting Weight
$W_{E\&O} = 50.090 \text{ ton}$
$KG_{E\&O} = 5.888 \text{ m}$
$LCG \text{ dr AP} = 14.534 \text{ m}$
• Machinery Weight
$W_M = 83.225 \text{ ton}$
$KG = 2.806 \text{ m}$
$LCG \text{ dr AP} = 9.998 \text{ m}$
Total LWT = 410.992 ton
$KG \text{ LWT} = 3.088 \text{ m}$
$LCG \text{ LWT from AP} = 13.401 \text{ m}$

## Dead Weight Tonnes (DWT)

• Consumable Weight
$W_{consum} = 166.630 \text{ ton}$
$KG = 1.247 \text{ m}$
$LCG \text{ dr AP} = 17.036 \text{ m}$

## Total Weight

Total weight = LWT + DWT

Total weight = 577.622 ton

KG Total = ((LWT x KG LWT)+(DWT x KG DWT))/Total Weight

KG Total = 2.56 m

LCG Total (dr AP) = ((LWT x LCG LWT)+(DWT x LCG DWT))/Total Weight

LCG Total (dr AP) = 14.449 m

## Trim Calculation

### *Chapter 11 Parametric Design , Michael G. Parsons*

#### **Hydrostatic Properties**

KB

$$\begin{aligned} KB/T &= 0.90 - 0.30*C_M - 0.1C_B \\ &= 0.5564 \\ KB &= 1.95 \quad m \end{aligned} \qquad KB = 2.06 \quad m \quad (\text{Maxsurf})$$

BM<sub>T</sub>

$$C_{IT} = 0.1216*C_{WP} - 0.0410$$

$$= 0.0429$$

$$I_T = C_I \cdot L \cdot B^3$$

$$= 2148.324402$$

BM<sub>T</sub> = transverse distance between buoyancy center to metacenter

$$BM_T = I_T/vol$$

$$= 3.01 \quad m \qquad BM_T = 4.465 \quad m \quad (\text{Maxsurf})$$

BM<sub>L</sub>

C<sub>IL</sub> = longitudinal inertia coefficient

$$C_{IL} = 0.350 C_{WP}^2 - 0.405 C_{WP} + 0.146$$

$$= 0.0332$$

I<sub>L</sub> = moment of inertia of waterplane relative to ship's longitudinal axis

$$I_L = C_{IL} \cdot B \cdot L^3$$

$$= 9706$$

BM<sub>L</sub> = longitudinal distance between buoyancy center to metacenter

$$BM_L = I_L/vol$$

$$= 13.61 \quad m \qquad BM_L = 25.074 \quad m \quad (\text{Maxsurf})$$

$$GM_L = BM_L + KB - KG$$

$$= 13.00 \quad m \qquad GM_L = 24.57 \quad m \quad (\text{Maxsurf})$$

$$\text{Trim} = (LCG - LCB) \cdot L / G_{ML}$$

$$= -0.267 \quad m \qquad \text{Trim} = -0.136 \quad m$$

Trim condition = Trim by stern

$$\text{Trim boundary condition} = 0.145 \quad m$$

$$\text{Trim} = 0.136 \quad m$$

ACCEPTED

## Stability Calculation

### Code on Intact Stability

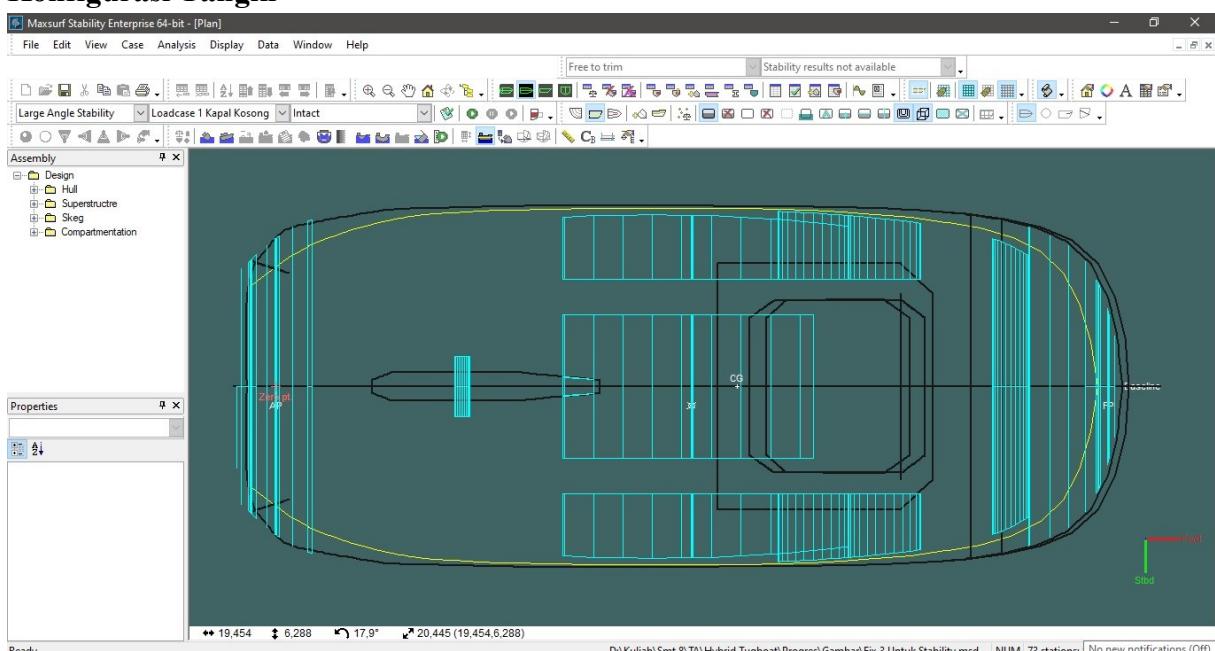
The Code on Intact Stability, IMO Resolution A.749(18), consolidates several previous stability regulations (IMO, 1995). The code contains regulations concerning all cargo ships exceeding 24m in length with additional special rules for:

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

The main design criteria of the code are:

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

## Konfigurasi Tangki



## Room Definition

Maxsurf Stability Enterprise 64-bit - [Input]

File Edit View Case Analysis Display Data Window Help

Large Angle Stability Loadcase 1 Kapal Kosong Intact

Free to trim Stability results not available

Assembly

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m	A
1	WB Aft Std	Tank	100	100	1,025	Water Ball	none	-1,295	1,2	-5,6	0	5,15	2,9	DITTO	DITTO	DITTO	
2	WB Aft Port	Tank	100	100	1,025	Water Ball	none	-1,295	1,2	-5,6	0	5,15	2,9	DITTO	DITTO	DITTO	
3	Oil Lube Au	Tank	100	100	0,92	Lube Oil	none	6	6,5	0	1	4,544	2,544	DITTO	DITTO	DITTO	
4	Oil Lube ME	Tank	100	100	0,92	Lube Oil	none	6	6,5	-1	0	4,545	2,545	DITTO	DITTO	DITTO	
5	FO DB Std	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	9,6	16,8	3,6	6,04	1,405	0	DITTO	DITTO	DITTO	
6	FO DB Port	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	9,6	16,8	-6,04	-3,6	1,405	0	DITTO	DITTO	DITTO	
7	FO DB Centr	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	9,6	18	-2,4	2,4	1,405	0	DITTO	DITTO	DITTO	
8	Day FO Std	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	16,8	19,2	3,6	6	2,8	1,402	DITTO	DITTO	DITTO	
9	Day FO Port	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	16,8	19,2	-6	-3,6	2,8	1,402	DITTO	DITTO	DITTO	
10	FO Fwd Std	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	19,2	21,6	3,6	6	2,8	0	DITTO	DITTO	DITTO	
11	FO Fwd Port	Tank	100	100	0,9443	Fuel Oil	none	19,2	21,6	-6	-3,6	2,8	0	DITTO	DITTO	DITTO	
12	FV Std	Tank	100	100	1	Fresh Water	none	24	25,2	0	6	2,8	0,37	DITTO	DITTO	DITTO	
13	FV Port	Tank	100	100	1	Fresh Water	none	24	25,2	-6	0	2,8	0,37	DITTO	DITTO	DITTO	
14	WB Fore Std	Tank	100	100	1,025	Water Ball	none	25,2	29,25	0	6	5,15	0,86	DITTO	DITTO	DITTO	
15	WB Fore Port	Tank	100	100	1,025	Water Ball	none	25,2	29,25	-6	0	5,15	0,86	DITTO	DITTO	DITTO	

Properties

Ready D:\Kuliah\Smth 8\TA\Hybrid Tugboat\Progres\Gambar\Fix 3 Untuk Stability.msd NUM 73 stations; Skin-N; Medium; Cor.VCG

## Loadcase

Maxsurf Stability Enterprise 64-bit - [Loadcase 1 Kapal Kosong]

File Edit View Case Analysis Display Data Window Help

Large Angle Stability Loadcase 1 Kapal Kosong Intact

Free to trim Stability results not available

Assembly

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightship	1	498,242	498,242			14,810	0,000	3,532	0,000	User Specif
2	WB Aft Std	0%	21,408	0,000	20,886	0,000	1,160	0,008	3,002	0,000	Maximum
3	WB Aft Port	0%	21,402	0,000	20,880	0,000	1,160	-0,008	3,002	0,000	Maximum
4	Oil Lube Aux	0%	0,920	0,000	1,000	0,000	6,250	0,500	2,544	0,000	Maximum
5	FO DB Std	0%	13,606	0,000	14,409	0,000	16,723	3,600	0,079	0,000	Maximum
6	Oil Lube ME	0%	0,920	0,000	1,000	0,000	6,250	-0,500	2,545	0,000	Maximum
7	FO DB Port	0%	13,606	0,000	14,409	0,000	16,723	-3,600	0,079	0,000	Maximum
8	FO DB Centre	0%	48,957	0,000	51,844	0,000	17,371	0,000	0,001	0,000	Maximum
9	Day FO Std	0%	6,555	0,000	6,952	0,000	17,974	4,543	1,402	0,000	Maximum
10	Day FO Port	0%	6,557	0,000	6,954	0,000	17,974	-4,543	1,402	0,000	Maximum
11	FO Fwd Std	0%	8,952	0,000	9,480	0,000	19,214	3,600	0,083	0,000	Maximum
12	FO Fwd Port	0%	8,952	0,000	9,480	0,000	19,214	-3,600	0,083	0,000	Maximum
13	FV Std	0%	9,618	0,000	9,618	0,000	24,007	0,000	0,395	0,000	Maximum
14	FV Port	0%	9,618	0,000	9,618	0,000	24,007	0,000	0,395	0,000	Maximum
15	WB Fore Std	55%	27,494	15,121	26,823	14,753	25,998	1,761	2,998	24,621	Maximum
16	WB Fore Port	55%	27,494	15,121	26,823	14,753	25,998	-1,761	2,998	24,621	Maximum
17	Total Loadca		528,485	230,176	29,505	15,450	0,000	3,501	49,242		
18	FS correction								0,093		
19	VCG fluid								3,595		

Properties

Ready D:\Kuliah\Smth 8\TA\Hybrid Tugboat\Progres\Gambar\Fix 3 Untuk Stability.msd NUM 73 stations; Skin-N; Medium; Cor.VCG

Maxsurf Stability Enterprise 64-bit - [Loadcase 2 Kapal Penuh]

File Edit View Case Analysis Display Data Window Help

Large Angle Stability Loadcase 2 Kapal Penuh Intact

Assembly

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightsip	1	496,242	496,242			14,810	0,000	3,532	0,000	User Specified
2	WB Aft Std	0%	21,408	0,000	20,886	0,000	1,160	0,006	3,002	0,000	Maximum
3	WB Aft Port	0%	21,402	0,000	20,880	0,000	1,160	-0,006	3,002	0,000	Maximum
4	Oil Lube Aux	98%	0,920	0,902	1,000	0,980	6,250	0,500	3,525	0,000	Maximum
5	Oil Lube ME	98%	0,920	0,902	1,000	0,980	6,250	-0,500	3,525	0,000	Maximum
6	FO DB Sbd	98%	13,606	13,334	14,409	14,121	13,412	4,503	0,675	0,000	Maximum
7	FO DB Port	98%	13,606	13,334	14,409	14,121	13,412	-4,503	0,675	0,000	Maximum
8	FO DB Centre	98%	48,957	47,978	51,844	50,808	14,006	0,000	0,743	0,000	Maximum
9	Day FO Std	98%	6,565	6,434	6,952	6,813	17,982	4,638	2,105	0,000	Maximum
10	Day FO Port	98%	6,567	6,435	6,954	6,815	17,982	-4,638	2,105	0,000	Maximum
11	FO Fwd Sbd	98%	6,952	6,773	9,480	9,290	20,341	4,410	1,665	0,000	Maximum
12	FO Fwd Port	98%	6,952	6,773	9,480	9,290	20,341	-4,410	1,665	0,000	Maximum
13	FW Sbd	98%	9,618	9,426	9,618	9,426	24,558	1,938	1,822	0,000	Maximum
14	FW Port	98%	9,618	9,426	9,618	9,426	24,558	-1,938	1,822	0,000	Maximum
15	WB Fore Sbd	12,5%	27,494	3,437	26,823	3,353	25,713	1,389	1,907	24,621	Maximum
16	WB Fore Port	12,5%	27,494	3,437	26,823	3,353	25,713	-1,389	1,907	24,621	Maximum
17	Total Loadca			630,830	230,176	138,774	16,294	0,000	3,058	49,242	
18	FS correction								0,078		
19	VCG fluid								3,136		

Properties

Assembly

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
1	Lightsip	1	496,242	496,242			14,810	0,000	3,532	0,000	User Specified
2	WB Aft Std	0%	21,408	0,000	20,886	0,000	1,160	0,006	3,002	0,000	Maximum
3	WB Aft Port	0%	21,402	0,000	20,880	0,000	1,160	-0,006	3,002	0,000	Maximum
4	Oil Lube Aux	50%	0,920	0,460	1,000	0,500	6,250	0,500	3,044	0,038	Maximum
5	Oil Lube ME	50%	0,920	0,460	1,000	0,500	6,250	-0,500	3,045	0,038	Maximum
6	FO DB Sbd	50%	13,606	6,803	14,409	7,204	13,626	4,398	0,610	5,271	Maximum
7	FO DB Port	50%	13,606	6,803	14,409	7,204	13,626	-4,398	0,610	5,271	Maximum
8	FO DB Centre	50%	48,957	24,478	51,844	25,922	14,204	0,000	0,429	73,102	Maximum
9	Day FO Std	50%	6,565	3,282	6,952	3,476	17,979	4,602	1,771	2,005	Maximum
10	Day FO Port	50%	6,567	3,283	6,954	3,477	17,979	-4,602	1,771	2,005	Maximum
11	FO Fwd Sbd	50%	6,952	4,476	9,480	4,740	20,316	4,283	1,098	1,519	Maximum
12	FO Fwd Port	50%	6,952	4,476	9,480	4,740	20,316	-4,283	1,098	1,519	Maximum
13	FW Sbd	50%	9,618	4,809	9,618	4,809	24,534	1,680	1,327	10,387	Maximum
14	FW Port	50%	9,618	4,809	9,618	4,809	24,534	-1,680	1,327	10,387	Maximum
15	WB Fore Sbd	35%	27,494	9,623	26,823	9,388	25,895	1,841	2,573	24,621	Maximum
16	WB Fore Port	35%	27,494	9,623	26,823	9,388	25,895	-1,841	2,573	24,621	Maximum
17	Total Loadca			581,628	230,176	86,158	16,391	0,000	3,207	160,785	
18	FS correction								0,276		
19	VCG fluid								3,483		

D:\Kuliah\Smt 8\TA\Hybrid Tugboat\Progres\Gambar\Fix 3 Untuk Stability.msд NUM 73 stations; Skin-N; Medium; Cor,VCG

Ready

## Hasil Uji Stabilitas

The figure consists of three vertically stacked screenshots of the Maxsurf Stability Enterprise software interface. Each screenshot shows a different loadcase (Loadcase 1, Loadcase 2, and Loadcase 3) for a ship's stability analysis. The interface includes a toolbar at the top, a menu bar, and a main workspace with tabs for Assembly, Properties, and MARPOL Criteria.

**Loadcase 1: Kapal Kosong (Intact)**

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to 30	from the greater of:				Pass
1	spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
2	to the lesser of:					
3	spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
4	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
5	angle of vanishing stability	10.4	deg	10.4		
6	shall not be less than (=)	3.1612	m.deg	24.4405	Pass	+881.91
7						
8	A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to 40				Pass
9	from the greater of:					
10	spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
11	to the lesser of:					
12	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
13	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
14	first downflooding angle	n/a	deg			
15	angle of maximum GZ	40.0	deg	40.0		
16	shall not be less than (=)	5.1604	m.deg	41.3765	Pass	+702.36
17						
18	A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to All				Pass
19	from the greater of:					
20	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
21	to the lesser of:					
22	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
23	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
24	angle of vanishing stability	10.4	deg	10.4		
25	shall not be less than (=)	3.1612	m.deg	16.7330	Pass	+873.59
26						
27	A.749(B) C30	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
28	in the range from the greater of:					
29	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
30	to the lesser of:					
31	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
32	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
33	shall not be less than (=)	2.00	m	1.00	Pass	+740.00
34						
35	A.749(B) C30	3.1.2.3: Angle at which GZ occurs				Pass
36	shall not be less than (=)	25.0	deg	27.3		+48.00
37	A.749(B) C30	3.1.2.4: Initial GM				Pass
38	spec. heel angle	0.0	deg			
39	shall not be less than (=)	6.160	m	3.109	Pass	+192.67
40						
41						
42						

**Loadcase 2: Kapal Penuh**

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	MARGIN %
A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to 30	from the greater of:				Pass
1	spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
2	to the lesser of:					
3	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
4	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
5	angle of vanishing stability	11.0	deg	11.0		
6	shall not be less than (=)	3.1612	m.deg	26.0190	Pass	+744.70
7						
8	A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to 40				Pass
9	from the greater of:					
10	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
11	to the lesser of:					
12	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
13	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
14	angle of vanishing stability	11.0	deg	11.0		
15	shall not be less than (=)	5.1604	m.deg	44.4148	Pass	+781.32
16						
17	A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to All				Pass
18	from the greater of:					
19	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
20	to the lesser of:					
21	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
22	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
23	angle of vanishing stability	11.0	deg	11.0		
24	shall not be less than (=)	3.1612	m.deg	17.7957	Pass	+806.36
25						
26	A.749(B) C30	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
27	in the range from the greater of:					
28	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
29	to the lesser of:					
30	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
31	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
32	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
33	shall not be less than (=)	2.00	m	1.00	Pass	+804.00
34						
35	A.749(B) C30	3.1.2.3: Angle at which GZ occurs				Pass
36	shall not be less than (=)	30.0	deg	30.2		+0.67
37	A.749(B) C30	3.1.2.4: Initial GM				Pass
38	spec. heel angle	0.0	deg			
39	shall not be less than (=)	6.160	m	3.109	Pass	+192.67
40						
41						
42						

**Loadcase 3: Kapal Setengah**

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	MARGIN %
A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to 30	from the greater of:				Pass
1	spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
2	to the lesser of:					
3	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
4	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
5	angle of vanishing stability	10.4	deg	10.4		
6	shall not be less than (=)	3.1612	m.deg	24.3470	Pass	+876.00
7						
8	A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to 40				Pass
9	from the greater of:					
10	spec. heel angle	0.0	deg	0.0		
11	to the lesser of:					
12	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
13	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
14	angle of vanishing stability	11.0	deg	11.0		
15	shall not be less than (=)	3.1604	m.deg	41.1473	Pass	+897.36
16						
17	A.749(B) C30	3.1.2.1: Area to All				Pass
18	from the greater of:					
19	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
20	to the lesser of:					
21	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
22	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
23	angle of vanishing stability	11.0	deg	11.0		
24	shall not be less than (=)	3.1604	m.deg	16.5776	Pass	+864.56
25						
26	A.749(B) C30	3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater				Pass
27	in the range from the greater of:					
28	spec. heel angle	30.0	deg	30.0		
29	to the lesser of:					
30	spec. heel angle	40.0	deg	40.0		
31	angle of max. GZ	30.0	deg	30.0		
32	shall not be less than (=)	25.0	deg	36.4		+45.40
33	A.749(B) C30	3.1.2.4: Initial GM				Pass
34	spec. heel angle	0.0	deg			
35	shall not be less than (=)	6.160	m	3.109	Pass	+192.67
36						
37	A.749(B) C30	3.1.2.3: Angle at which GZ occurs				Pass
38	shall not be less than (=)	30.0	deg	30.2		+0.67
39						
40						
41						
42						

Subpart E - Towing	173.095: b - Required GM Calculation - Towing GM = [a / disp] . [B / (f + fa)] a = moment magnitude Amplitude is heeling moment (ie divide by disp.) Displacement, Stability calculated B, moulded breadth, user spec. f, Stability calculated to DeckEdge L, Stability calculated length on waterline Apply heel correction with angle, phi0: the lesser of the following Fraction of immersion angle of DeckEdge Fraction of immersion angle cosine power: n = sine power: m = Evaluates to Intermediate values	45,000 tonne.m 528,520 tonne 12,000 m 2,440 m 24,020 m 25,0 (12,5) deg 50,00 % 0 0 0,419 m			
Ch.6G - Additional comprehensive criterion for vessels engaged in towing	6G.1 - Towing heeling arm  Towline Pull arm = $T ((v1-v2) \cos^n(\phi+\tau) - h \sin(\phi+\tau)) / (g \text{ disp.})$ tension or thrust: T = 441450,00 N vert. height of tow attachment above zp: v1 = 6,850 m vert. height of propeller above zp: v2 = 1,850 m horizontal offset of tow attachment: h = 9,000 m cosine power: n = 1 angle of tow above horizontal: tau = 0,0 deg Intermediate values Heel arm constant 0,0852 amplitude of cos component m 5,000 amplitude of sin component m 9,000				
Ch.6G - Additional comprehensive criterion for vessels engaged in towing	6G.1a&b - Towing heeling - GZ area between limits type 2 6G.1 - Towing heeling arm  Area1 integrated from the greater of spec. heel angle 0,0 deg angle of equilibrium (with heel arm) 6,2 deg 6,2 to the lesser of spec. heel angle 40,0 deg 40,0 first downflooding angle n/a deg Area2 integrated from the greater of spec. heel angle 0,0 deg angle of equilibrium (ignoring heel arm) 0,0 deg 0,0 to the lesser of spec. heel angle 40,0 deg 40,0 first downflooding angle n/a deg Area1 shall be greater than (>) 0,0003 + 0,2 Area2 82,754 m.deg 363,670 Pass +339,46 Intermediate values Area1 (under GZ), from 6,2 to 40,0 deg. m.deg 403,235 Area1 (under HA), from 6,2 to 40,0 deg. m.deg 39,565 Area1, from 6,2 to 40,0 deg. m.deg 363,670 Area2, from 0,0 to 40,0 deg. m.deg 413,755		Pass		
Ch.6G - Additional comprehensive criterion for vessels engaged in towing	6G.1c&d - Towing heeling ratio of areas 6G.1 - Towing heeling arm  Area1 integrated from the greater of spec. heel angle 0,0 deg angle of equilibrium (with heel arm) 6,2 deg 6,2 to the lesser of spec. heel angle 40,0 deg 40,0 first downflooding angle n/a deg Area2 integrated from the greater of spec. heel angle 0,0 deg angle of equilibrium (ignoring heel arm) 0,0 deg 0,0 to the lesser of spec. heel angle 40,0 deg 40,0 first downflooding angle n/a deg Area1 / Area2 shall be greater than (>) 40,00 % 87,89 Pass +119,72 Intermediate values Area1 (under GZ), from 6,2 to 40,0 deg. m.deg 403,235 Area1 (under HA), from 6,2 to 40,0 deg. m.deg 39,565 Area1, from 6,2 to 40,0 deg. m.deg 363,670 Area2, from 0,0 to 40,0 deg. m.deg 413,755		Pass		
Subpart E - Towing	173.095: b - GMt- Towing angle of equilibrium 0,0 deg 173.095: b - Required GM Calculation - Towing 0,419 m 0,419 shall be greater than (>) 0,419 m 3,109 Pass +642,41		Pass		
Subpart E - Towing	173.095: c2 - Residual area Heeling arm = $A \cos^n(\phi)$ A = 1,200 m n = 1 Area integrated from the greater of angle of equilibrium (with heel arm) 20,5 deg 20,5 to the lesser of angle of max. GZ 37,3 deg 37,3 first downflooding angle n/a deg angle of vanishing stability (with heel arm) 96,6 deg shall be greater than (>) 0,6100 m.deg 76,834 Pass +1159,58 Intermediate values Area under GZ curve. m.deg 252,424 Area under heeling arm curve. m.deg 175,590		Pass		

## Fuel Oil Consumption Calculation

### Perbandingan Fuel Oil Consumption Tugboat Konvensional (Mesin Diesel)

**SFOC Catterpillar 3512C TIER 3 2300HP @1800 Rpm**

RPM	BHP	bkW	g/bkW.hr
1800	2366.865	1765	209
1500	1877.4	1400	196
1300	1732.572	1292	195
1100	977.589	729	206
900	645.021	481	208
650	380.844	284	220
651	111.303	83	240

$$\begin{aligned} FC_{max} &= P \times SFOC \\ &= 1765 \text{ KW} \times 216 \text{ gr/bKW.hr} \\ &= 368885 \text{ gr/hr} \end{aligned}$$

**Kebutuhan bahan bakar mesin diesel pada tiap mode operasi dan kecepatan**

Mode	Speed	Daya 2x Main Engine	SFOC	Fuel Consumption (gr/hr)
				(gr/kWh)      FC = P x SFOC
Standby	3	6.20	240.00	1488.61
Cruising	8	115.80	240.00	27792.65
Cruising	11	662.61	220.00	145773.47
Assisting	3	3217.81	201.00	646780.31

**Load Factor GenSet Caterpillar C 4.4 99 ekW**

Mode Operasi	Power (kW)	Load Factor
		caterpillar C 4.4 Genset
Standby	85	86%
Cruising	74	75%
Assisting	89	90%

**Kebutuhan bahan bakar GenSet Caterpillar C 4.4 pada tiap mode operasi dan kecepatan**

Mode	Speed	Daya	SFOC	Fuel Consumption (gr/hr)
				(gr/kWh)      FC = P x SFOC
Standby	3	85.00	207.53	17640.44
Cruising	8	74.00	207.53	15357.56
Cruising	11	74.00	207.53	15357.56
Assisting	3	89.00	207.53	18470.57

**Kebutuhan bahan bakar GenSet Caterpillar C 4.4 pada tiap mode operasi dan kecepatan**

Mode	Speed	Daya	SFOC	Fuel Consumption (gr/hr)
	(Knot)	(kW)	(gr/kWh)	$FC = P \times SFOC$
Standby	3	85.00	207.53	17640.44
Cruising	8	74.00	207.53	15357.56
Cruising	11	74.00	207.53	15357.56
Assisting	3	89.00	207.53	18470.57

**Kebutuhan bahan bakar total pada konfigurasi permesinan konvensional**

Mode Operation	Total Fuel Consumption (gr/hr)
Standby ( 2 ME + 1 Aux )	19129.04
Cruising 8 Knot ( 2 ME + 1 Aux )	43150.21
Cruising 11 Knot ( 2 ME + 1 Aux )	161131.02
Assisting ( 2 ME + 1 Aux )	665250.89

### **Tugboat Hybrid (Mesin Diesel + Motor Listrik)**

**Kebutuhan bahan bakar GenSet MTU 16V 2000 M51B pada tiap mode operasi dan kecepatan**

Mode	Speed	Daya 2x Motor Listrik	SFOC	Fuel Consumption (gr/hr)
	(Knot)	(kW)	(gr/kWh)	$FC = P \times SFOC$
Standby	3	6.20	201.00	1246.71
Cruising	8	115.80	201.00	23276.34
Cruising	11	662.61	201.00	133183.94

**Kebutuhan bahan bakar total pada konfigurasi permesinan Hybrid**

Mode Operation	Total Fuel Consumption (gr/hr)
Standby ( Battery + 1 Aux )	17640.44
Standby ( 2 Aux )	18887.14
Cruising 8 Knot ( Battery + 1 Aux )	15357.56
Cruising 8 Knot ( 2 Aux )	38633.90
Cruising 11 Knot ( 2 Aux )	148541.50

Kategori	Jenis	Jumlah	Satuan	Harga/Satuan Dollar	Harga/Satuan Rupiah	harga Total
<b>Ship Structure</b>	Pelat dan Profil	259	Ton	\$ 1,000.00	Rp 14,350,000	Rp 3,716,650,000.00
<b>Welding</b>	Elektroda	16	Ton	\$ 7,770.00	Rp 111,499,500	Rp 1,783,992,000.00
<b>Hybrid Propulsion System</b>	Main Engine	2	Buah	\$ 392,000.00	Rp 5,625,200,000	Rp 11,250,400,000.00
	Motor Listrik	2	Buah	\$ 102,500.00	Rp 1,470,875,000	Rp 2,941,750,000.00
	Genset Propulsi	1	Buah	\$ 128,800.00	Rp 1,848,280,000	Rp 1,848,280,000.00
	Battery	184	Buah	\$ 1,250.00	Rp 17,937,500	Rp 3,300,500,000.00
	Genset Service	1	Buah	\$ 55,300.00	Rp 793,555,000	Rp 793,555,000.00
	Azimuth Thruster	2	Buah	\$ 225,000.00	Rp 3,228,750,000	Rp 6,457,500,000.00
<b>Equipment and Outfitting</b>	Deck Crane + Towing Winch	1	Buah	\$ 113,000.00	Rp 1,621,550,000	Rp 1,621,550,000.00
	Anchor/Towing Winch	1	Buah	\$ 78,000.00	Rp 1,119,300,000	Rp 1,119,300,000.00
	Pompa dan Perpipaan	1	Buah	\$ 155,008.00	Rp 2,224,364,800	Rp 2,224,364,800.00
	Radar	1	Buah	\$ 5,000.00	Rp 71,750,000	Rp 71,750,000.00
	Kompas	1	Buah	\$ 55.00	Rp 789,250	Rp 789,250.00
	GPS	1	Buah	\$ 4,000.00	Rp 57,400,000	Rp 57,400,000.00
	Masthead Light	1	Buah	\$ 10.00	Rp 143,500	Rp 143,500.00
	Anchor Light	1	Buah	\$ 9.00	Rp 129,150	Rp 129,150.00
	Starboard Light	1	Buah	\$ 12.00	Rp 172,200	Rp 172,200.00
	Portside Light	1	Buah	\$ 12.00	Rp 172,200	Rp 172,200.00
	S-VDR	1	Buah	\$ 13,500.00	Rp 193,725,000	Rp 193,725,000.00
	AIS	1	Buah	\$ 1,400.00	Rp 20,090,000	Rp 20,090,000.00
	Radiotelephone	1	Buah	\$ 300.00	Rp 4,305,000	Rp 4,305,000.00
	Navtex	1	Buah	\$ 1,000.00	Rp 14,350,000	Rp 14,350,000.00
	EPIRB	1	Buah	\$ 300.00	Rp 4,305,000	Rp 4,305,000.00
	SART	2	Buah	\$ 280.00	Rp 4,018,000	Rp 8,036,000.00
	SSAS	1	Buah	\$ 19,500.00	Rp 279,825,000	Rp 279,825,000.00
	Portable 2-way VHF Radiotelephone	2	Buah	\$ 350.00	Rp 5,022,500	Rp 10,045,000.00
Kategori	Jenis	Jumlah	Satuan	Harga/Satuan Dollar	Harga/Satuan Rupiah	Harga Total
<b>Equipment and Outfitting</b>	Life Jacket	10	Buah	\$ 10.00	Rp 143,500	Rp 1,435,000.00
	Lifebuoy	8	Buah	\$ 20.00	Rp 287,000	Rp 2,296,000.00
	Liferaft	2	Buah	\$ 1,500.00	Rp 21,525,000	Rp 43,050,000.00
	Jangkar	2	Buah	\$ 970.00	Rp 13,919,500	Rp 27,839,000.00
	Perlengkapan Pemadam Kebakaran	1	Set	\$ 19,120.00	Rp 274,372,000	Rp 274,372,000.00
Total Biaya Pembangunan awal						Rp 38,072,071,100.00

#### Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi dan Kebijakan Pemerintah

sumber: Watson, Practical Ship Design, 1998

Item	Value	
<b>Keuntungan Galangan</b>		
15% dari biaya pembangunan awal		
Keuntungan galangan	=	Rp 5,710,810,665.00
<b>Biaya Untuk Inflasi</b>		
5% dari biaya pembangunan awal		
Biaya Inflasi	=	Rp 1,903,603,555.00
<b>Biaya Pajak Pemerintah</b>		
10% PPn (Pajak Pertambahan nilai)		
15% PPh (Pajak Penghasilan)		
Biaya Pajak Pemerintah	=	Rp 9,518,017,775.00
<b>Total Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi</b>	=	Rp 17,132,431,995.00
<b>Total Biaya Pembangunan</b>	=	Rp 55,204,503,095.00



**LAMPIRAN B**  
**SPESIFIKASI PERMESIN DAN *EQUIPMENT HYBRID***  
***TUGBOAT***



## Main Engine

### Caterpillar 3512C TIER 3



**3512C HD  
MARINE ENGINE  
FAST COMMERCIAL/PASSENGER VESSEL**

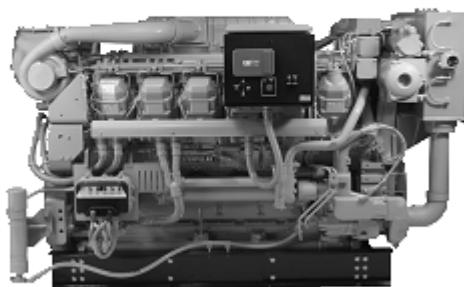


Image shown may not reflect actual engine

#### SPECIFICATIONS

##### V-12, 4-Stroke-Cycle-Diesel

Emissions	IMO Compliant
Bore	170.0 mm (6.7 in)
Stroke	215.0 mm (8.5 in)
Displacement	58.6 L (3576 in <sup>3</sup> )
Rotation (from flywheel end)	Counterclockwise
Compression Ratio	14.7:1
Capacity for Liquids	
Cooling System (engine only)	156.8 L (41.4 gal)
Lube Oil System (refill)	613.2 L (163 gal)
Oil Change Interval	1000 hr
Minimum Lube Oil Grade (required)	CH-4
Weight, Net Dry	
(Comm configuration approx)	7484 kg (16,500 lb)
(LW configuration approx)	6725 kg (14,830 lb)

#### STANDARD ENGINE EQUIPMENT

##### Air Inlet System

Corrosion-resistant separate circuit aftercooler core, power-core air cleaners with service indicator, dual turbochargers

##### Cooling System

Both combined and separate circuit options — auxiliary fresh water pump, centrifugal non-self-priming auxiliary sea water pump, gear driven centrifugal jacket water pump, expansion tank, engine oil cooler, thermostats and housing

##### Control System

Dual A3 engine control modules provide engine control and monitoring, rigid wiring harness with plug and run connectors on port and starboard sides

##### Exhaust System

Dry gas tight exhaust manifolds with SOLAS compliant heat shields, dual turbochargers with water-cooled bearings and heat shields, wastegate, modular pulse exhaust manifold, single exhaust outlet

##### Fuel System

Electronically controlled unit injectors, fuel filter with service indicators, fuel transfer pump, SOLAS compliant fuel connections with spill shield

##### Instrumentation

Engine-mounted instrument panel with Marine Power Display (MPD), four-position engine control switch, alarm horn, overspeed shutdown notification light, emergency stop notification light, secondary ECM "Ready" light, secondary ECM "Active" light, graphic display unit for analog or digital display of oil and fuel pressure, oil and fuel filter differential, system DC voltage, exhaust and water temperature, air inlet restriction, service meter, engine speed, fuel consumption (total and instantaneous)

##### Lube System

Pre-lube strategy, top-mounted dual crankcase breathers, oil filter with service indicators, oil level gauge, oil filler, gear-type oil pump

##### Mounting System

Three point trunnion mounts or mounting rails

##### Power Take-Offs

Accessory drives — lower RH and lower LH for standard rotation; upper and lower RH, upper and lower LH for opposite rotation; two-sided front housing

##### Protection System

A3 engine control module with customer programmable engine derate strategies, engine alarms and diagnostics displayed on local and remote MPDs, emergency stop pushbutton, safety shutoff protection for oil pressure and water temperature, overspeed protection

##### Standard Commercial (COMM) Configuration

1000-hour oil pan, mounting rails, expansion tank, engine-mounted SW pump and heat exchanger

##### Optional Lightweight (LW) Configuration

250-hour oil pan, trunnion mounts, high performance cooling pipe, engine-mounted SW pump and heat exchanger

##### General

Vibration damper and guard, Caterpillar® yellow paint, lifting eyes

Factory-designed systems built at Caterpillar ISO 9001:2000 certified facilities.

#### COMMON OPTIONAL EQUIPMENT

- Pilot house panel with Marine Power Display (MPD), remote start/stop, E-stop, alarm display, override
- Cat® engine-mounted plate-type heat exchanger with integrated fuel cooler
- Gateway for modbus/ethernet communications
- Individual cylinder exhaust temperature scanner
- Local speed control
- High capacity engine-mounted SW pumps
- Spare parts kit
- Vertical or horizontal exhaust connections
- Engine-mounted electric pre-lube pump



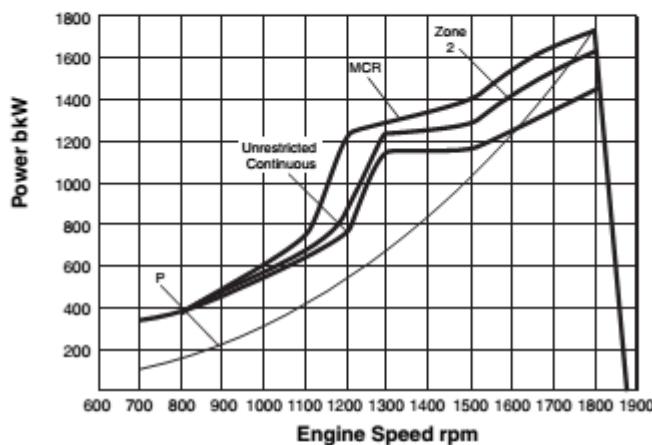
## 3512C HD MARINE ENGINE

2365 bhp/1765 bkW @ 1800 rpm

### MARINE ENGINE PERFORMANCE

C Rating (Maximum Continuous Rating — MCR)

Aftercooler Water Temperature 40°C

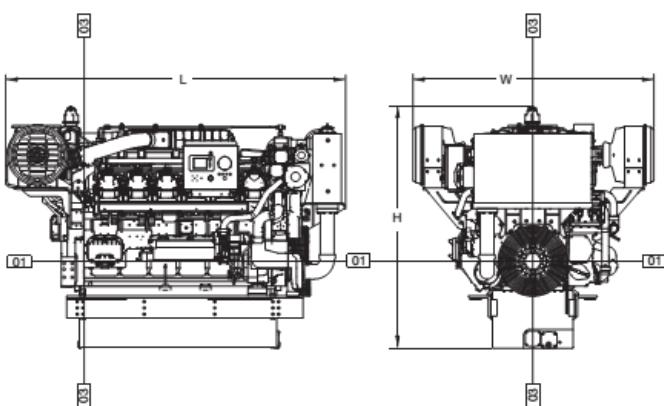


	Engine Speed rpm	Engine Power bkW	BSFC g/kW-hr	Fuel Rate L/hr
Prop Demand	1800	1765	216	447
	1500	1021	196	239
	1300	665	201	159
	1100	403	201	97
	900	221	202	53
MCR Power	650	83	240	24
	1800	1765	209	447
	1500	1400	196	327
	1300	1292	195	300
	1100	729	206	179
	900	481	208	119
	650	284	205	69

Engine Speed rpm	Engine Power bkW	BSFC g/kW-hr	Fuel Rate L/hr
Unrestricted Continuous	1820	1417	209
	1500	1158	196
	1300	1153	196
	1100	624	205
	900	469	207
Zone 2	650	284	205
	1815	1630	209
	1500	1278	196
	1300	1225	196
	1100	666	205
	900	481	208

Heat rejection to coolant ..... 634 kW  
Heat rejection to aftercooler ..... 430 kW  
Heat rejection to atmosphere ..... 138 kW

Operation in Zone 2 is permitted for periods up to four hours followed by a one hour period in the Unrestricted Continuous Zone.



Engine Dimensions		
Length	3153 mm	124.13 in
Width	2230 mm	87.79 in
Height	2240 mm	88.18 in
Weight, Net Dry (Comet configuration approx) (LW configuration approx)	7484 kg 6725 kg	16,500 lb 14,830 lb

Note: Do not use for installation design. See general dimension drawings for detail (Drawing #276-0041).

## Electro Motor

ABB M3BP 355LKA

---

### PRODUCT-DETAILS

# 3GBP353810-AEL

## M3BP 355LKA 6



---

### General Information

Product ID	3GBP353810-AEL
ABB Type Designation	M3BP 355LKA 6
Catalog Description	M3BP 355LKA 6

---

### Additional Information

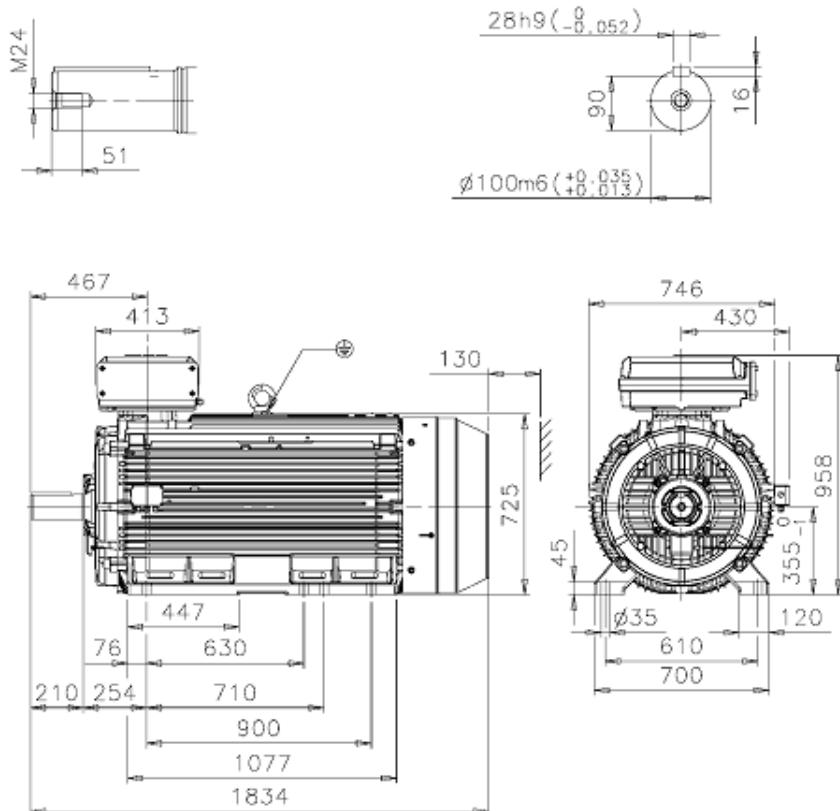
ABB Type Designation	M3BP 355LKA 6
Altitude	1000 m
Ambient Temperature	40 °C
Bearing	6322/C3
Bearing NDE	6316/C3
Country of Origin	Finland (FI) Poland (PL)
Customs Tariff Number	85015381
Direction of Rotation	Both sides
Electrical Data	

Conn	Temp Class	Freq	Voltage	Power	Speed	Current	Power Efficiency Factor	Torque	IS/IN
D	--	50 Hz	500 V	355.00 kW	993 r/min	526.00 A	0.810	95.80 %	3413.00 N·m 7.50
D	--	60 Hz	575 V	355.00 kW	1194 r/min	463.00 A	0.800	95.80 %	2840.00 N·m 8.60

Gross Weight	2530 kg
IC Class	IC411

IE Class Data (50 Hz)	IE Class IE3 Full Load (100%) 95.8 % Partial Load (75%) 96.1 % Partial Load (50%) 96.0 %
IE Class Data (60 Hz)	IE Class IE3 Full Load (100%) 95.8 % Partial Load (75%) 95.7 % Partial Load (50%) 94.9 %
IM Class	IMB3 IM1001
IP Class	IP55
Insulation Class	ICLF
Invoice Description	M3BP 355LKA 6
Made To Order	No
Minimum Order Quantity	1 piece
Number of Poles (High)	6
Order Multiple	1 piece
Package Level 1 Units	0 pallet (lift)
Product Name	3-Phase squirrel cage motor
Product Net Weight	2500 kg
Product Type	SBP3 M3BP CI
Quote Only	No
Selling Unit of Measure	piece
Temperature Class	--
Default:	
Terminator Box Location	Top
Two Speed Motor	No
Type of Duty	S1
Voltage Code	E
WEEE Category	

#### 4. Large Equipment (Any External Dimension More Than 50 cm)



## Battery Set

### Valence U 27-36XP

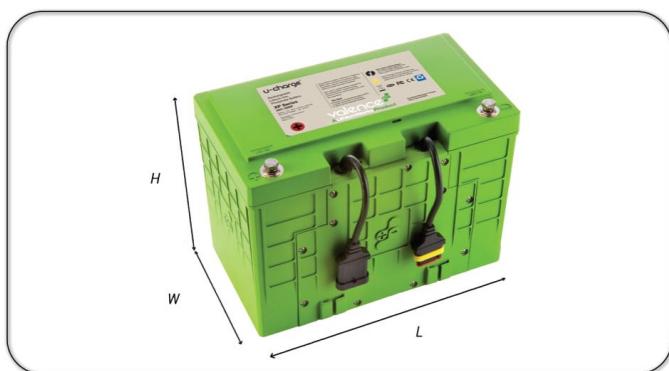
**U27-36XP**

Part Number 1008847

#### Group 27, 36 Volt 50 Ah Lithium Ion Battery Module

The U27-36XP is a high-performance, 36 volt battery, built on a lithium iron phosphate chemistry platform providing a safe, reliable and mobile energy solution. Customers now have a choice of a 36 volt battery in a Group 27 size case providing over 1.9 kWh.

The U27-36XP is ideal for material handling, stationary energy storage, and commercial EV or marine applications. The module's inherent safety, long cycle life, and zero maintenance offers end-users another alternative to lead acid by replacing with this reliable lithium ion solution.



#### Electrical Specifications

Voltage (nominal)	38.4 V
Capacity @ C/5, 25 °C (typical)	50 Ah
Energy	1.92 kWh
Discharge Cont./Peak (30 sec)	100 A / 150 A
Discharge Cutoff Voltage	30 V
Recommended Charge Voltage	43.8 V
Charge Float Voltage Range	41.4 - 43.8 V
Recommended Charge CCCV	≤ 25 A to 43.8 V

Discharge Temperature	-10 °C to 50 °C
Charge Temperature	0 °C to 45 °C
Self Discharge @ 25 °C	< 2% per month
Specific Energy	102 Wh/kg
Energy Density	162 Wh/l

#### Mechanical Specifications

Height (excluding bolts)	225 mm	8.86"
Width	172 mm	6.77"
Length	306 mm	12.0"
Weight	18.7 ± 0.1 kg	41.1 lbs
Cell Configuration	12IFpR19/66-33	

Terminal Hardware	M8 x 1.25	
Terminal Torque	16 Nm	142 in-lbs
Plastic Case	Flame Retardant	
IP Rating	IP56	



#### Features

- >4000 cycles at 80% DOD
- Create systems 36 - 1000 V
- Series and/or parallel operation
- Automatic cell monitoring & balancing
- Temperature monitoring of cells
- Rugged mechanical design
- Footprint of Group 27 lead acid case
- Maintenance-free
- No hydrogen generation or gassing

#### Benefits of Lithium (LiFePO<sub>4</sub>)

##### Efficient & Fast Charging

High charge efficiency of >90%. Increases productivity, reduces energy costs and eliminates the need for investments in battery change out systems.

##### High, Uniform Discharge Voltage

Delivers stable voltage during discharge. Increases equipment performance and reduces motor heat.

##### Longer Life

Provides > 10 times the life of lead acid batteries.

##### Robust Safety

Multiple levels of protection prevent operation outside of current, voltage, and temperature limits.

- No thermal runaway
- No corrosive acid leaks
- No explosive gassing

##### Space and Weight Efficiency

Systems provide >3 times the energy per weight of lead acid.

##### Environmentally Safe

Does not contain toxic metals such as cobalt, lead, cadmium, nor any corrosive acids or alkalis.

#### Contact Us

[www.lithiumwerks.com/contact](http://www.lithiumwerks.com/contact)

North American Office: +1 (512) 527-2900  
European Office: +44 (0)28 9084 5400

## Battery Management System

The U-Charge Battery Management System (U-BMS) integrates seamlessly with U27-36XP applications. The battery system manages all battery module parameters in real-time and system information can be monitored via CANbus.



Event	Default Warning (Adj)	Fault
High Temperature	55 °C	65 °C
Low Temperature	-5 °C	-15 °C
High Voltage	3.9 V	any cell 4.2 V
Low Voltage	2.8 V	any cell 2.0 V
Over Current	time + current	
Low SOC	20%	

### Protection

Over/Under Voltage  
Over/Under Temperature  
Over Current  
Pre-Charge Control

### Data Logging w/External Device

Faults/Warnings  
I/V/T History  
State of Charge

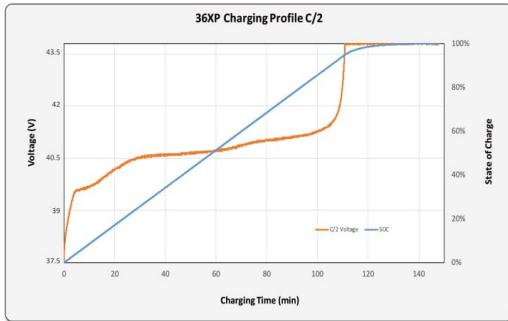
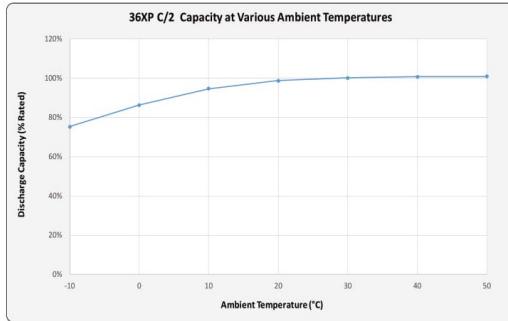
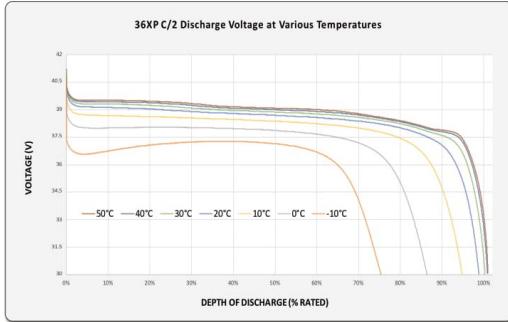
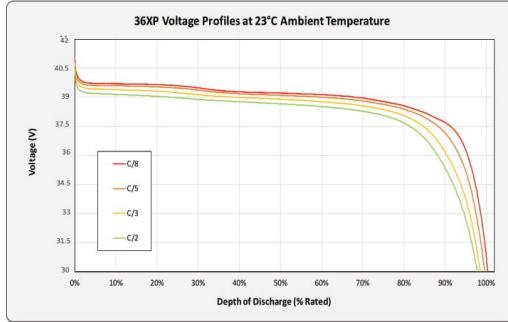
### Software

Firmware  
Real Time Diagnostics  
Data Download  
Data Analysis

### Communication

Cable to USB  
CAN2.0B

## Performance



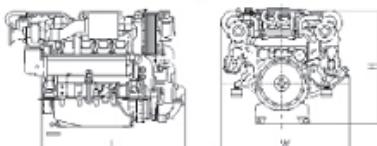
## Propulsion Genset

### MTU 16V 2000 M51B

Genset with engine model	8V 2000 M51A	8V2000M41A	12V 2000 M51A	12V 2000 M41A	16V 2000 M51A	16V 2000 M41A
50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
400 V/690 V	400 V/690 V	400 V/690 V	400 V/690 V	400 V/690 V	400 V/690 V	400 V/690 V
<b>Rated power ICXN kW<sup>1)</sup> (@cosphi 0.8)</b>	<b>320</b>	<b>370</b>	<b>470</b>	<b>550</b>	<b>630</b>	<b>740</b>
<b>Rated power ICXN kVA<sup>1)</sup> (@cosphi 0.8)</b>	<b>400</b>	<b>460</b>	<b>590</b>	<b>690</b>	<b>790</b>	<b>930</b>
<b>Speed rpm</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>
<b>Exhaust optimization<sup>2)</sup></b>	<b>IMO II</b>					

Genset with engine model	8V 2000 M51B	8V2000M41B	12V 2000 M51B	12V 2000 M41B	16V 2000 M51B	16V 2000 M41B
60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
450 V/690 V	450 V/690 V	450 V/690 V	450 V/690 V	450 V/690 V	450 V/690 V	450 V/690 V
<b>Rated power ICXN kW<sup>1)</sup> (@cosphi 0.8)</b>	<b>380</b>	<b>440</b>	<b>570</b>	<b>660</b>	<b>770</b>	<b>890</b>
<b>Rated power ICXN kVA<sup>1)</sup> (@cosphi 0.8)</b>	<b>480</b>	<b>550</b>	<b>710</b>	<b>830</b>	<b>960</b>	<b>1110</b>
<b>Speed rpm</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>
<b>Exhaust optimization<sup>2)</sup></b>	<b>IMO II</b>					

Genset with engine model	8V	12V	12V
<b>Dimensions and masses</b>			
Length mm	3000	4000	4200
Width mm	1600	1600	1850
Height mm	1500	1500	1500
Mass, dry kg	3500	5020	7030



Optional equipment and finishing shown. Standard may vary.

Engine type	16V 2000 M51A 50 Hz	16V 2000 M51B 60 Hz
Rated power ICXN kW (bhp)	664 (890)	800 (1073)
Speed rpm	1500	1800
No. of cylinders	16	16
Bore/stroke mm (in)	130/150 (5.1/5.9)	130/150 (5.1/5.9)
Displacement, total l (cu in)	31.8 (1943)	31.8 (1943)
Flywheel housing	SAE O	SAE O
Exhaust optimization <sup>2)</sup>	IMO II	IMO II
Solas compliance	Yes	Yes

<sup>1)</sup> IMO – International Maritime Organisation (Marpol-convention)

Performance & fuel consumption <sup>1)</sup>		16V 2000 M51A	16V 2000 M51B
Speed	rpm	1500	1800
Maximum power	kW	664	800
	bhp	890	1073
75% Power	kW	498	600
	bhp	668	805
Fuel consumption	g/kWh	208	207
at 75% power	l/h	124.4	149.1
	gal/h	32.8	39.4

1) Tolerance +5% per ISO 3046, Diesel fuel to DIN EN 590 with a min L.H.V. of 42800 kJ/kg (18390 BTU/lb)  
All pumps necessary for engine operation included. Heat exchanger version without sea water pump: -2 g/kWh

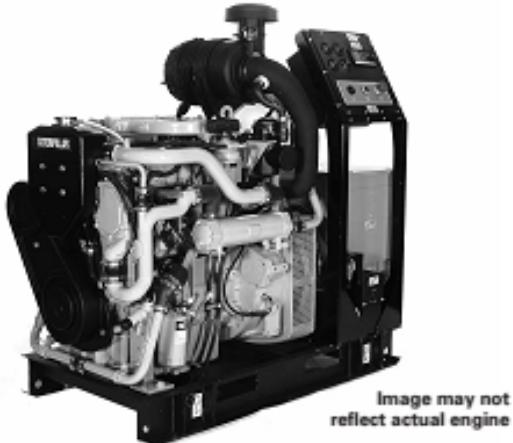
Standard equipment	
Starting system	Electric starter 24 V
Auxiliary PTO	Charging generator, 140A, 28V, 2 pole
Oil system	Gear driven lube oil pump, lube-oil duplex filter with diverter valve, lube-oil heat exchanger, handpump for oil extraction
Fuel system	Fuel feed pump, fuel pre-filter, fuel main filter with diverter valve, on-engine fuel oil cooler, leak-off tank level monitored
Cooling system	Coolant-to-raw water plate core heat exchanger, self priming centrifugal raw water pump, gear driven coolant circulation pump
Combustion air system	Turbocharging with 2 water-cooled exhaust-gas turbochargers, on-engine intake air filters
Exhaust system	Triple-walled, liquid-cooled, on-engine exhaust manifolds, twin exhaust outlet, exhaust bellows horizontal discharge, SOLAS Kit
Mounting system	Resilient mounts at free end and driving end
Electronics and instrumentation	Engine and gearbox control and monitoring system (MDEC)
Optional equipment	
Starting system	Pneumatic starter
Fuel oil system	Duplex fuel prefilter, fuel conditioning system
Cooling System	Coolant preheating system, integr. seawater gearbox piping
Exhaust System	Exhaust bellows vertical discharge
Engine Management System	In compliance with Classification Society Regulations (EMU + MEU)
Monitoring / Control System	genoline
Power Transmission	Torsionally resilient coupling

**Service Genset**  
Caterpillar C 4.4 Generator



**C4.4 MARINE GENERATOR SET** 86 ekW  
(107 kVA)

50 Hz, 1500 rpm



## STANDARD EQUIPMENT

### Air Inlet System

Air cleaner, single element canister type with service indicator and rain cap; dry insulated turbocharger; glowplug cold start system

### Cooling System

Heat exchanger-cooled packages with Cupro-nickel tube bundle (sized for 50°C amb. air and 32°C sea water) or keel-cooled packages (sized for 50°C ambient air); deaeration expansion tank, plate-type engine, gear-driven centrifugal jacket water pump, gear-driven self priming sea water pump, Caterpillar® Extended Life Coolant (heat exchanger-cooled packages)

### Exhaust System

Dry insulated turbocharger, water-cooled exhaust manifolds

### Fuel System

Primary fuel filter/water separator with NPT and BSP connectors (ship loose), secondary fuel filter (LH), fuel priming pump — electric, energize-to-run shutoff solenoid

## CATERPILLAR® ENGINE SPECIFICATIONS

### I-4, 4-Stroke-Cycle-Diesel

Displacement.....	4.4 L (269 cu. in.)
Bore .....	105 mm (4.13 in.)
Stroke .....	127 mm (4.99 in.)
Combustion.....	Direct Injection
Aspiration.....	Turbocharged-Aftercooled
Governor .....	Electronic
Gen Set Package Dry Weight (approx) .....	1029 kg (2269 lb)
Total System Capacity	
Cooling System.....	16.5 L (4.36 U.S. gal)
Lube Oil System .....	8.5 L (2.25 U.S. gal)
Oil Change Interval .....	500 hr
Rotation (from flywheel end).....	Counterclockwise

### Generator

12 lead reconnectable, 3 phase all models, brushless, separately excited from auxiliary winding to provide 300% short circuit current up to 10 seconds, 2/3 pitch, broad voltage band, IP23 water protection, solid state voltage regulator with integral voltage adjustment potentiometer, Class H insulation, connection poles

### Governing System

Electronic governor

### Lube System

Lubricating oil, oil filter (LH), dipstick (LH), fumes disposal (closed system)

### Mounting System

Steel base frame with drip pan, anti-vibration mounts

### Starting/Charging System

Negative isolated ground electric system

### General

Single-side service (LH), keel-cooled gensets do not include the keel cooler(s)

## OPTIONAL ATTACHMENTS

### Control System

Governor droop kit (selecting this kit enables paralleling with appropriate customer-supplied switchgear)

### Generators & Generator Attachments

Space heater kit, installed — 120V AC, 240V AC

### Fuel System

Double wall fuel lines and mounted alarm reservoir

### Starting System

Jacket water heater options, additional 12 or 24 volt starter

### Cooling System

Remote expansion tank kit (box supplied loose)

### Sound Attenuation Enclosure

Aluminum-framed enclosure with zinc-plated steel panels finished in tough polyester powder coating

### Marine Classification Society (MCS)

MCS-approved packages available direct from the factory through RINA, ABS, DNV, CCS, Lloyds, GL, and BV

### General

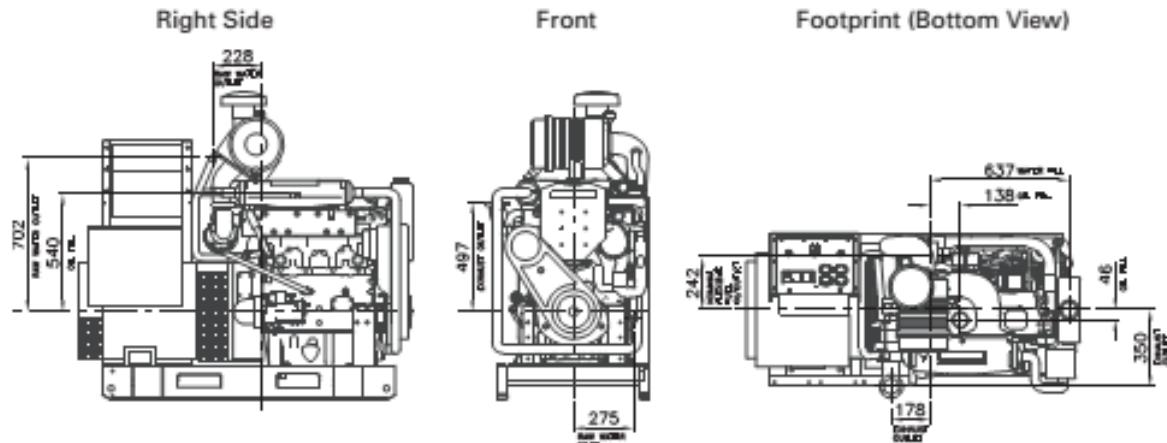
PGS test report @ 1.0 power factor, extra literature, storage preservation, export packing: single engine shipment to U.S., 20-foot container engine shipments, 40-foot container engine shipments



## C4.4 MARINE GENERATOR SET

50 Hz, 1500 rpm

86 ekW (107 kVA)



### DIMENSIONS

Engine Dimensions		
	Open mm (in)	Enclosed mm (in)
Overall Length	1589 (62.56)	1750 (68.9)
Overall Height*	1132 (44.60)	1215 (47.8)
Overall Width	724 (28.54)	1000 (39.4)

\*Height dimension does not include remote-mounted air filter or electronic control panel.

### CATERPILLAR GENERATOR

Power Factor .....	1.0
Frame .....	C4.4
Insulation .....	Class H
Temperature Rise @ 40°C Ambient .....	Class H (150°K)
Winding Pitch Code.....	2/3
Terminals .....	12 lead reconnectable
Drip Proof .....	IP 23
Air Flow 50 Hz .....	0.37 m <sup>3</sup> /s (784 cfm)
Excitation System .....	AREP
Voltage Regulation (steady state) .....	±0.5%
Total Harmonic Content LL/LN.....	<4%
Wave Form: NEMA=TIF.....	<5%
Wave Form: I.E.C.=THF .....	<2%

### PERFORMANCE DATA

#### 50 Hz DITA

Fuel Consumption  
@ Full Power      24.6 L/hour      6.50 gph

### ENCLOSED SOUND DATA

#### 50 Hz DINA

Sound levels are average sound pressure level @ 1 meter and 100% load      71.9 db(A)

### RATING CONDITIONS

\*Ratings are based on SAE J1228/ISO8665 standard conditions of 100 kPa (29.61 in. Hg), 25°C (77°F), and 30% relative humidity. These ratings also apply at ISO3046/1, DIN6271/3, and BS5514 conditions of 100 kPa (29.61 in. Hg), 27°C (81°F), and 60% relative humidity.

Fuel rates are based on fuel oil of 35° API [16°C (60°F)] gravity having an LHV of 42 780 kJ/kg (18,390 Btu/lb) when used at 29°C (85°F) and weighing 838.9 g/L (7.001 lb/U.S. gal).

Additional ratings may be available for specific customer requirements. Consult your Caterpillar representative for additional information.

\*Ratings at 50°C (122°F) ambient are 85.5 ekW (107 kVA).

**Deck Crane**  
HEILA HLM 10-2S



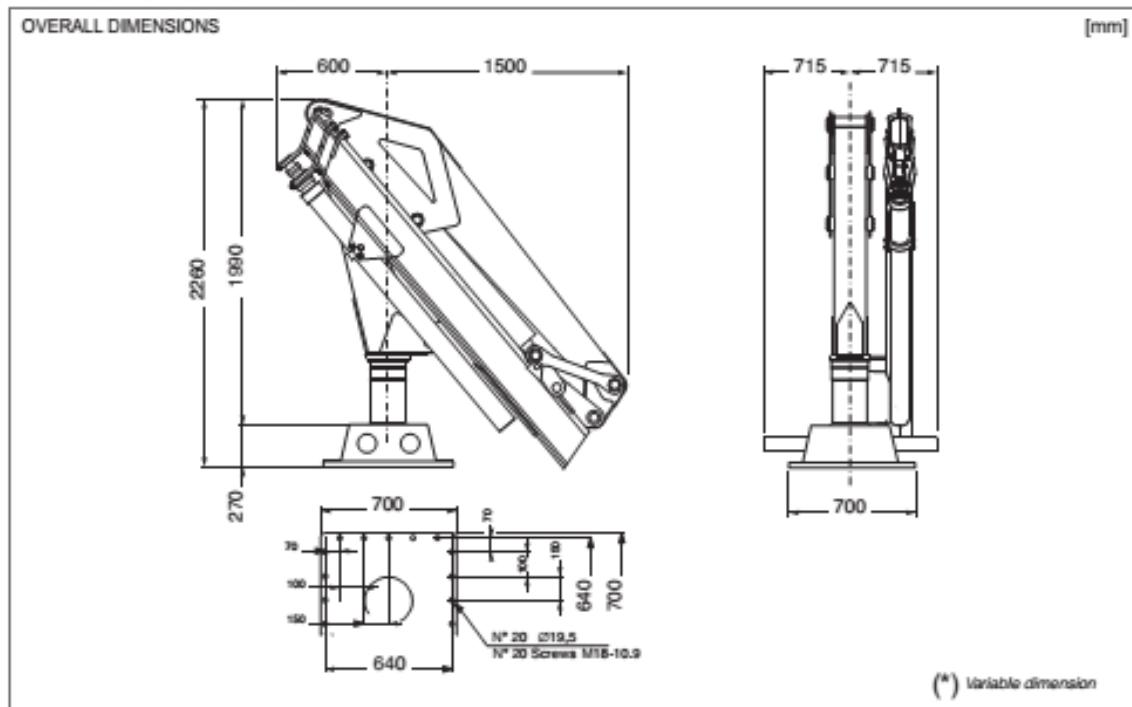
Custom Built Marine & Offshore Cranes

FULLY FOLDABLE CRANE

**HLM 10-2S**

MODEL

**TECHNICAL SPECIFICATION**



**TECHNICAL DATA**

Hydraulic extensions	N*	2	Empty weight of the crane	kg	1650
Net lifting moment	t-m	10	Recommended amount of oil	lt	100
Slewing torque	kg-m	1300	Slewing speed	rpm	1,2
Slewing angle (continuous)	*	360	Main boom lifting time	sec	19
Pump capacity	l/min	30	Secondary boom articulation time	sec	20
Max working pressure	bar	220	Boom element extension time	sec	18

April 2017

**STANDARD FEATURES**

**AVAILABLE OPTIONALS**

1,5 ton direct pull winch rope Ø 10
Winch limit switch
Load limiting device
Size 3 electrohydraulic power pack (HP 20)
Control panel out of the crane
Sheave block with Ø 200 pulley
1st manual extension 0,80 ton @ 10,34 m
2nd manual extension 0,60 ton @ 12,24 m

The technical data contained in this card are only indicative and can be changed without notice.

HLM10-2S Rev.00

## Azimuth Thrusters

Rolls Royce US 205

# Fixed mounted thrusters

The Kongsberg US range comprises standard azimuth thruster units with input powers from 250 - 5000kW to deliver a bollard pull ranging from 11 to over 170 tonnes. Modular design allows the configuration, mounting type and size to be closely matched to user requirements. The US type is available with FP/CP propeller, open or ducted. For high propulsive efficiency contra-rotating propellers are available. Different propeller diameters are available to suit the vessel application.



### Mounting options

**Weld in:** The thruster is mounted in two stages: upper assembly with the hull fitting is raised/ lowered into position and welded in place. The underwater assembly is then bolted to the thruster.

**Bolt-in, top mounted:** The casing plate is welded into the hull. The complete thruster unit is lowered onto the casing flange and bolted into position.

### Technical data

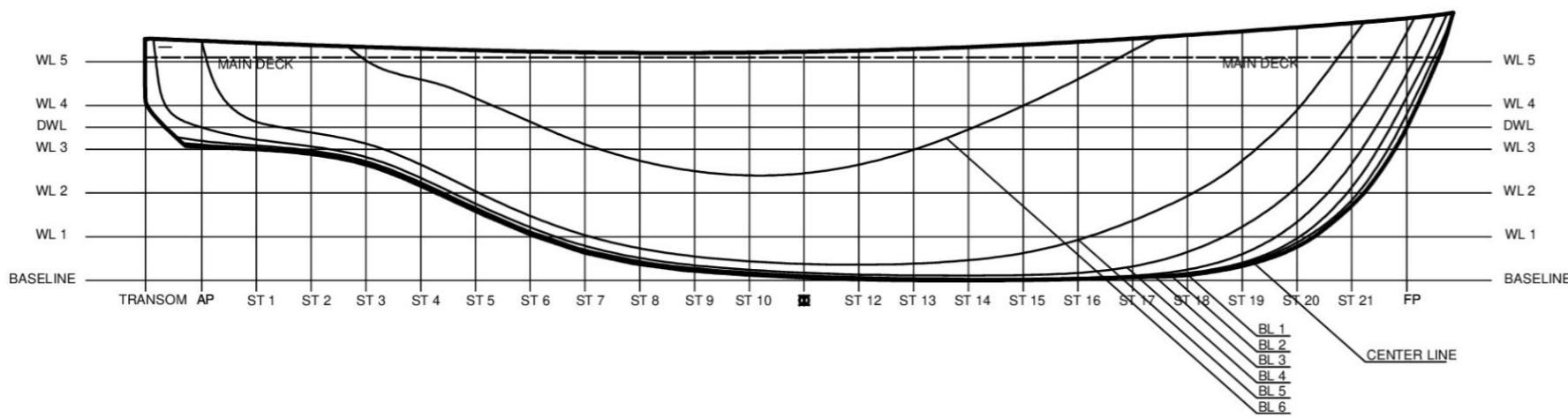
Thruster type	Max Input Power (kW)	Input speed (rpm)	Weight (t)	Bollard pull two units (t)	Prop. Dia (mm)
<b>US 55-P4</b>	330	1500 - 2100	1.9	10	1050
<b>US 105-P6</b>	480	1500 - 1800	3.6	16	1300
<b>US 105-P9</b>	720	1000 - 1800	6	24 - 25	1500 1600
<b>US 155-P12</b>	1000	750 - 2000	9.5 - 11	32 - 35	1600 1800
<b>US 155-P14</b>	1280	750 - 2000	11.5 - 12.5	38 - 43	1800 2000
<b>US 205-P18</b>	1500	750 - 1800	18	51	2200
<b>US 205-P20</b>	1920	750 - 1800	18 - 19	60 - 63	2300 2400
<b>US 255-P30</b>	2470	750 - 1800	27 - 28	78 - 83	2600 2800
<b>US 35</b>	2790	750 - 1800	36 - 37.5	90 + - 94 +	2800 3000
<b>US 305-P40</b>	3200	750 - 1600	41 - 43	102 + - 108 +	3000 3200
<b>US 355-P50</b>	3700	720 - 1200	54 - 56	115 + - 125 +	3200 3500
<b>US 60</b>	5000	750 - 1200	78 - 82	165 + - 173 +	3800 4000

For performance predictions please contact Kongsberg.

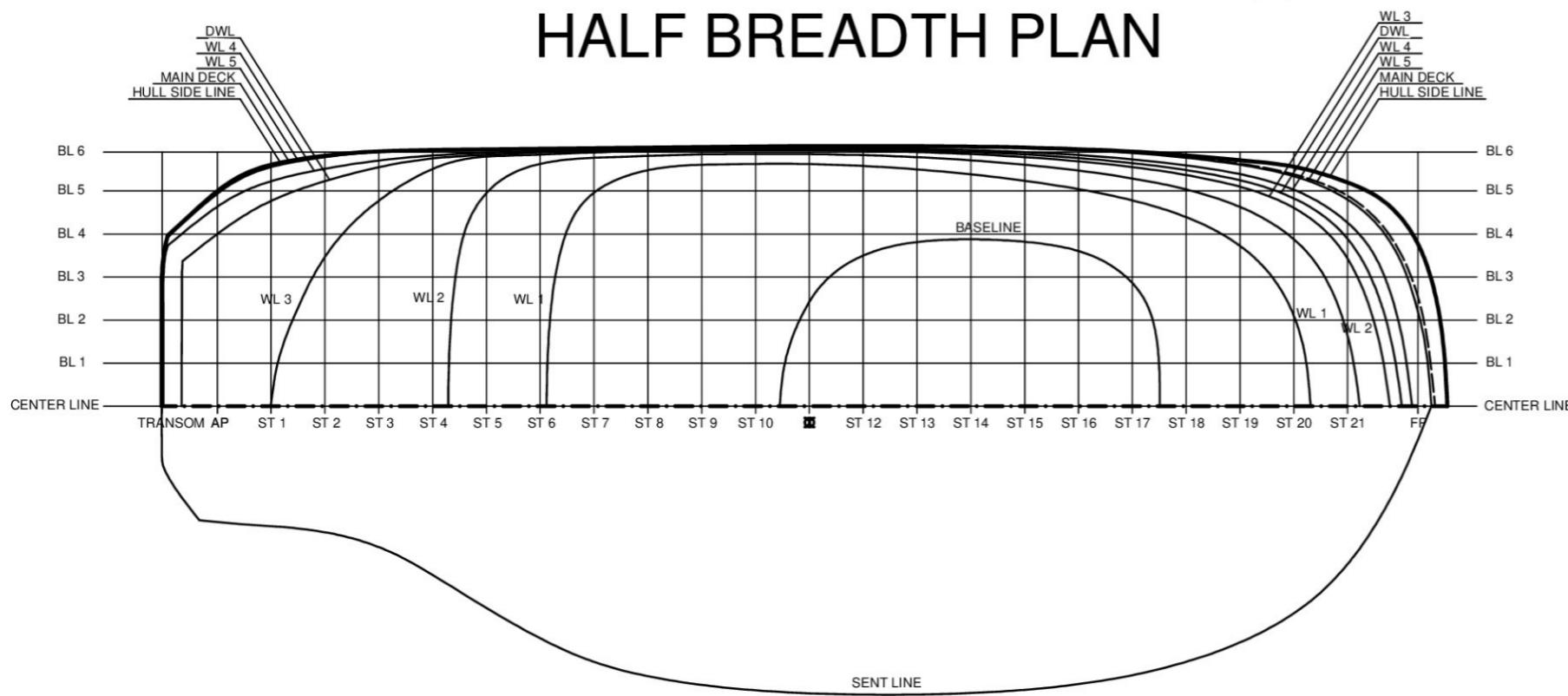
**LAMPIRAN C**  
**DESAIN *LINES PLAN HYBRID TUGBOAT***



# SHEER PLAN



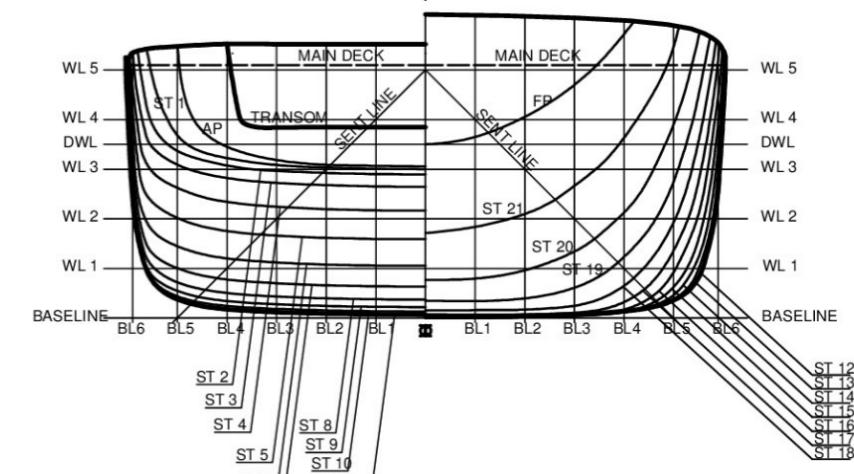
# HALF BREADTH PLAN



## TABLE OF HALF-BREADTH

Station	Water Line (meter)						
	Baseline	WL 1	WL 2	WL 3	WL 3,5	WL 4	WL 5,1
Transom					3.7263	3.9398	
AP				4.1054	4.6709	4.9622	
ST 1		0.0459	4.8049	5.2028	5.5573		
ST 2		3.4950	5.1961	5.5461	5.7636		
ST 3		4.7775	5.5496	5.7094	5.8790		
ST 4		5.5462	5.7509	5.8213	5.9480		
ST 5	4.9642	5.7778	5.8396	5.8861	5.9732		
ST 6	5.6499	5.8564	5.8908	5.9251	5.9889		
ST 7	4.9909	5.7651	5.8930	5.9250	5.9516	5.9995	
ST 8	5.4621	5.8156	5.9206	5.9482	5.9714	6.0010	
ST 9	5.6035	5.8464	5.9367	5.9641	5.9864	6.0060	
ST 10	5.6286	5.8574	5.9447	5.9729	5.9962	6.0080	
ST 11	5.6378	5.8614	5.9453	5.9743	5.9993	6.0098	
ST 12	2.1592	5.5845	5.8280	5.9289	5.9634	5.9941	6.0084
ST 13	2.9421	5.5057	5.7827	5.9008	5.9398	5.9805	6.0087
ST 14	3.1674	5.4013	5.7118	5.8537	5.9045	5.9474	6.0080
ST 15	3.1234	5.2854	5.6081	5.7847	5.8461	5.9045	6.0035
ST 16	2.8114	5.0420	5.4730	5.6877	5.7632	5.8320	5.9598
ST 17	4.7852	5.2888	5.5546	5.6508	5.7341	5.8837	
ST 18	4.3913	5.0318	5.3681	5.4892	5.5925	5.7842	
ST 19	3.7312	4.6416	5.0901	5.2504	5.3906	5.6252	
ST 20	2.1340	3.8687	4.5966	4.8291	5.0371	5.3673	
ST 21		1.6984	3.4316	3.9000	4.2574	4.8694	
FP					1.8932	3.4515	

# BODY PLAN



## TABLE OF HEIGHT ABOVE BASELINE

Station	Sheer (meter)						
	Centerline	BL 1	BL 2	BL 3	BL 4	BL 5	BL 6
Transom	3.8467	3.8487	3.847	3.8377			
AP	3.0536	3.0676	3.0891	3.1843	3.4511		
ST 1	2.9997	3.009	3.0333	3.0850	3.2231	3.6820	
ST 2	2.8934	2.9019	2.9251	2.9641	3.0741	3.3679	
ST 3	2.6471	2.6533	2.6784	2.7233	2.8227	3.0884	
ST 4	2.1648	2.1708	2.1943	2.2424	2.3410	2.6244	4.6193
ST 5	1.5895	1.5941	1.6161	1.6609	1.7528	2.0157	4.1664
ST 6	1.0534	1.0579	1.0771	1.1192	1.2014	1.4479	3.6309
ST 7	0.6356	0.6409	0.6603	0.7006	0.7760	1.0035	3.0957
ST 8	0.3724	0.3783	0.3968	0.4331	0.5055	0.7185	2.7178
ST 9	0.2205	0.2277	0.2446	0.2773	0.3423	0.5461	2.4913
ST 10	0.1316	0.1385	0.1540	0.1840	0.2440	0.4387	2.3961
ST 11	0.0689	0.0753	0.0900	0.1189	0.1773	0.3780	2.3432
ST 12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0755	0.1363	0.3595	2.6104
ST 13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1142	0.3825	2.9905
ST 14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1169	0.4630	3.4512
ST 15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0522	0.1240	0.6265	3.9607
ST 16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0578	0.1710	0.9274	4.5116
ST 17	0.0753	0.0653	0.0711	0.1056	0.3209	1.3609	5.2473
ST 18	0.1559	0.1595	0.1693	0.2472	0.6486	1.9322	
ST 19	0.3506	0.3402	0.3953	0.6108	1.2326	2.7511	
ST 20	0.7708	0.7941	0.9622	1.3403	2.1255	3.9037	
ST 21	1.7105	1.8373	2.0970	2.6676	3.6332	5.4694	
FP	3.5007	3.6491	4.0538	4.699	5.721		

## PRINCIPAL DIMENSIONS

SHIP TYPE	HARBOUR TUG
LENGTH OVERALL (Loa)	29.00 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (Lpp)	27.90 m
BREADTH (B)	12.00 m
HEIGHT (H)	5.10 m
DRAUGHT (D)	3.50 m
SERVICE SPEED	11.00 knots
COMPLEMENTS	9 Persons
BOLLARD PULL	45 Ton



DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

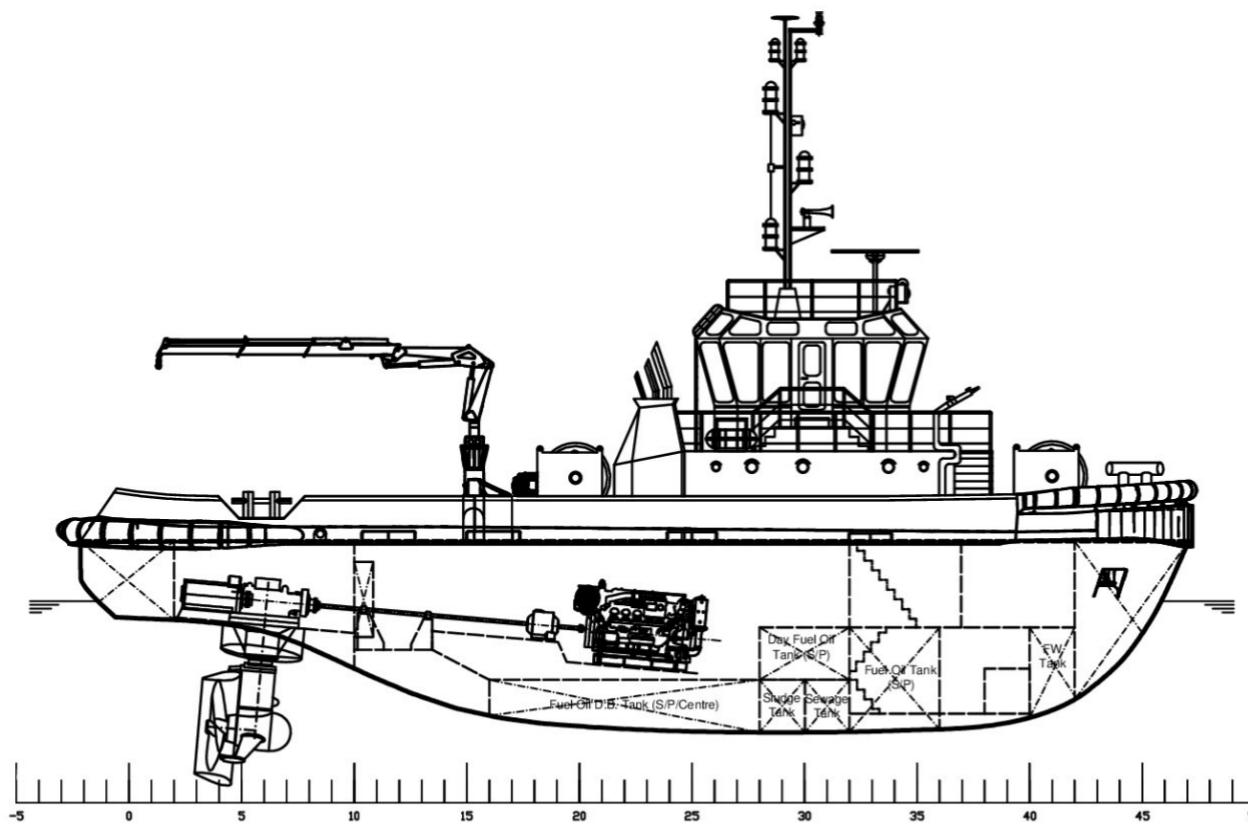
# HYBRID TUGBOAT LINES PLAN

SCALE	SIGNATURE	DATE	REMARK	A3 04111640000008
DRAWN : MISBAHUL ABROR W.				
CHECKED : Ir. WASIS DWI A., M.Sc., Ph.D.				

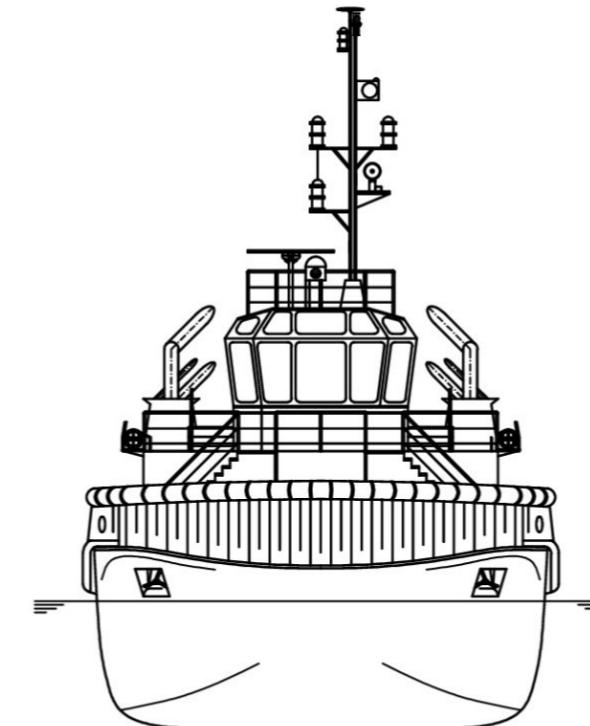


**LAMPIRAN D**  
**DESAIN *GENERAL ARRANGEMENT HYBRID TUGBOAT***

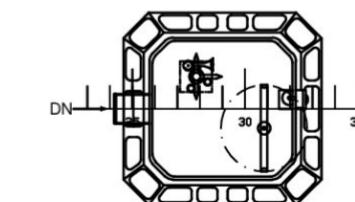




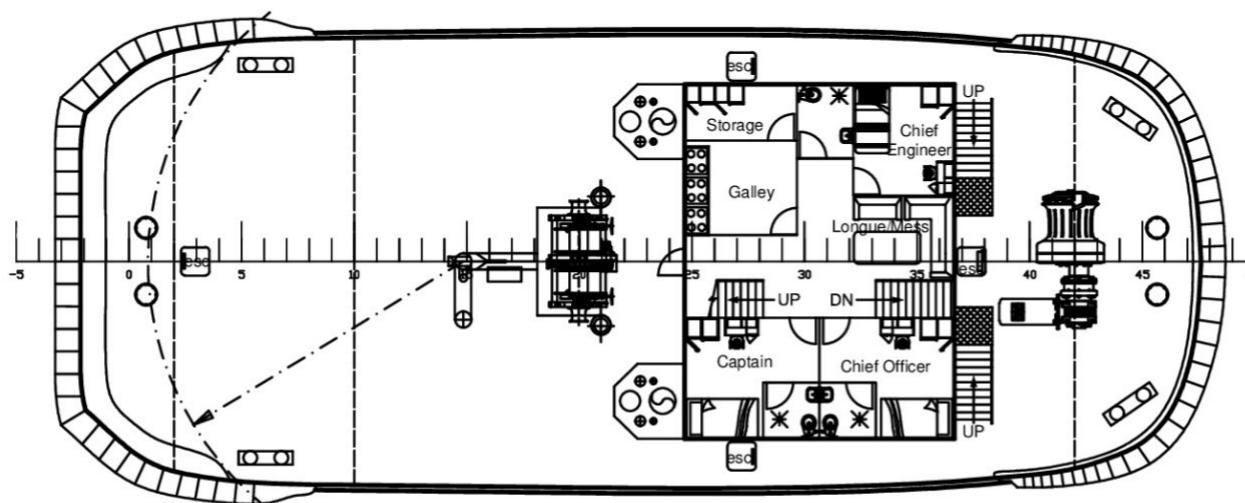
OUTBOARD PROFILE



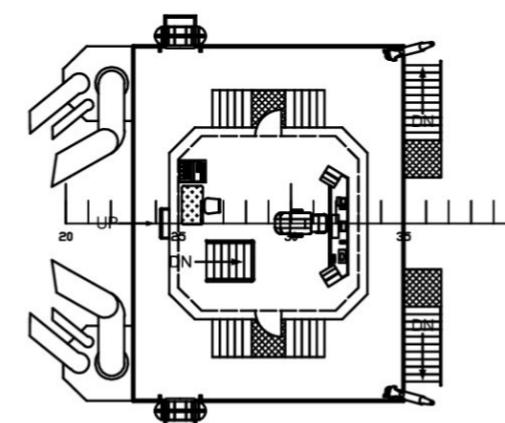
BOW VIEW



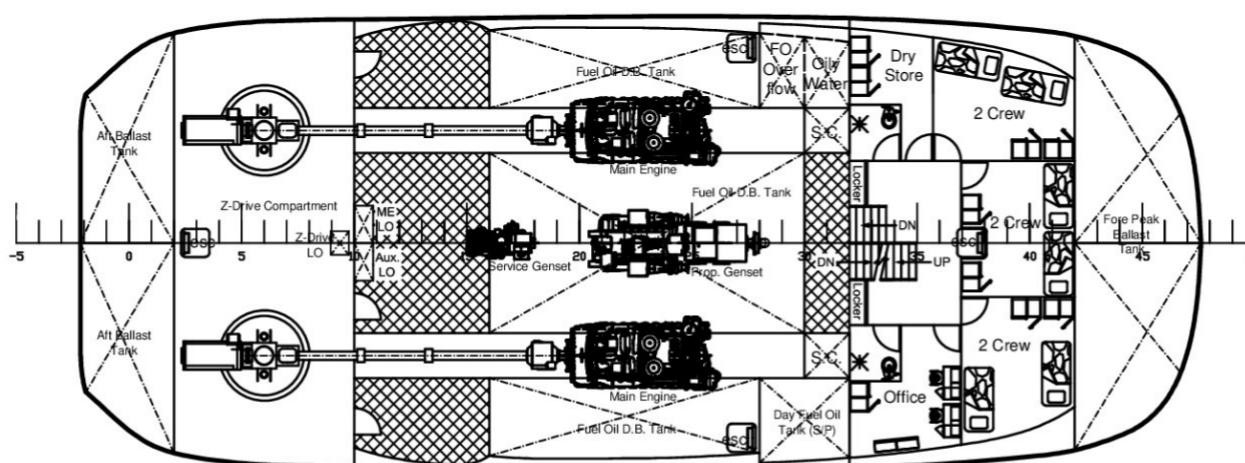
TOP DECK PLAN



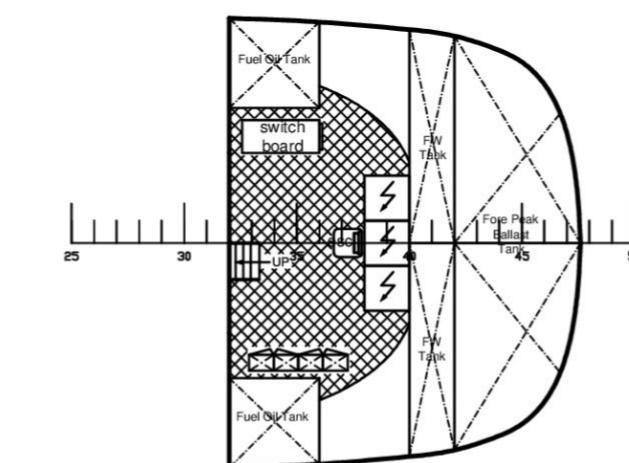
MAIN DECK PLAN



BRIDGE DECK PLAN



HOLD PLAN



BATTERY / SWITCH BOARD ROOM

PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	HARBOUR TUG
LENGTH OVERALL (Loa)	29.00 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS (Lpp)	27.90 m
BREADTH (B)	12.00 m
HEIGHT (H)	5.10 m
DRAUGHT (D)	3.50 m
SERVICE SPEED	11.00 knots
COMPLEMENTS	9 Persons
BOLLARD PULL	45 Ton

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



## HYBRID TUGBOAT GENERAL ARRANGEMENT

SCALE	: 1 : 200	SIGNATURE	DATE	REMARK	A3
DRAWN	: MISBAHUL ABROR W.				
CHECKED	: Ir. WASIS DWI A., M.Sc., Ph.D.			04111640000008	



## BIODATA PENULIS



**MISBAHUL ABROR WIBISONO**, adalah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Ponorogo pada 10 April 1997 silam. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Mulyadi dan Ibu Siti Nurul Amriastarti. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar TK ‘Aisyiyah Kauman, kemudian melanjutkan pendidikan ke MI Muhammadiyah 2 Plalangan, SMP Negeri 1 Jenangan, dan SMA Negeri 1 Ponorogo. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2016 melalui jalur undangan SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Rumpun Mata Kuliah Rekayasa Perkapalan - Desain Kapal. Selama masa studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, selain kuliah Penulis juga aktif untuk kegiatan non-akademik yaitu dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL) FTK ITS sebagai Ketua Divisi Pengembangan Departemen Kemahasiswaan Himpunan untuk periode 2018-2019. Selain itu Penulis juga pernah menjadi pengurus Lembaga Dakwah Jurusan “As-Safinah” sebagai Staff Divisi Pelatihan periode 2017-2018.

Email : misbahulabror@gmail.com