TESIS – ME185401

OPTIMASI DESAIN PROPELLER MELALUI PENDEKATAN POLYNOMIAL UNTUK MENGOPTIMALKAN EFISIENSI ENERGI KAPAL

SURATNO

04211850010010

DOSEN PEMBIMBING
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MARINE POWER PLANT
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TESIS - ME185401

OPTIMASI DESAIN PROPELLER MELALUI PENDEKATAN POLYNOMIAL UNTUK MENGOPTIMALKAN EFISIENSI ENERGI KAPAL

SURATNO
04211850010010

DOSEN PEMBIMBING
Dr. I. Made Ariana, S.T., M.T.
Beny Cahyono, S.T., M.T.,Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MARINE POWER PLANT
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

THESIS - ME185401

OPTIMIZATION OF PROPELLER DESIGN THROUGH POLYNOMIAL APPROACH TO OPTIMIZE THE SHIP ENERGY EFFICIENCY

SURATNO
04211850010010

SUPERVISOR
Dr. I. Made Ariana, S. T.,M.T.
Beny Cahyono, S.T., M.T.,Ph.D

MASTER PROGRAM
FIELD OF EXPERTISE MARINE POWER PLANT
MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:
SURATNO
NRP: 04211850010010

Tanggal Ujian: 16 Januari 2020

Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Dr. I. Made Ariana, S.T., M.T.
   NIP: 197106101995121001

2. Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D
   NIP: 197903192008011008

Penguji:

1. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.
   NIP: 197109151994121001

2. Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
   NIP: 198705272014041001

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan

Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D
NIP: 197903192008011008

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadirat ALLAH SWT karena atas Hidayah dan Rahmat-NYA penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan tesis dalam bidang *Marine Power Plant* dengan judul **"**Optimasi Desain Propeller Melalui Pendekatan Polynomial Untuk Mengoptimalkan Efisiensi Energi Kapal**"**.

Penulisan dan penyusunan tesis ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program master di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penyelesaian tesis ini tidak lepas dari keterlibatan dukungan, doa serta bantuan baik moril maupun materiil berbagai pihak, oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang turut membantu penyelesaian tesis ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. ALLAH SWT karena berkah dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
2. Kedua Orang tua, istri, dan anak yang selalu mendukung dan memberikan dorongan dalam belajar.
3. Bapak Dr. Eng. I Made Ariana, ST., MT. dan Bapak Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing, terima kasih atas kesabaran, waktu, ilmu, pengarahan dan motivasi yang telah diberikan selama penulisan dan penyusunan tesis ini. Penulis mohon maaf atas segala perbuatan maupun ucapan yang kurang berkenan selama proses bimbingan.
4. Bapak R.O Saut Gurning, ST., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Dr. Eddy Setyo K, ST.,M.Sc. selaku Koordinator Jurusan yang telah memberikan arahan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik.
5. Bapak Prof. Dr. I Ketut Budha Artana, ST., M.Sc. dan Bapak Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc. selaku tim penguji.
6. Segenap jajaran dosen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Program Pascasarjana Teknologi Kelautan.
7. Segenap jajaran karyawan dan staff Program Pascasarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan.

8. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., MRINA. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan ijin untuk melanjutkan kuliah Magister di Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
9. Mas Danang, ST., sekretaris Divisi Operasional Kapal PT. Pelni Surabaya yang telah memberikan ijin untuk pengambilan data yang di perlukan dalam pengerjaan penelitian .
10. Teman teman di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya : Bapak Ir Bambang Teguh S, MT, Mas Joyo, Mas Yasir , Mas Reza, Mas Fadly, Mas Joharwadi, Pak Eko Purwanto, dan teman teman di Laboratorium Perancangan PPNS.
11. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS.
12. Serta semua pihak yang mendukung penulis baik moril maupun non-moril.

Penulis menyadari dalam penulisan serta penyusunan tesis ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang membangun, guna menambah kelengkapan serta penyempurnaan untuk masa yang akan datang, semoga laporan tesis ini bisa bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

OPTIMASI DESAIN PROPELLER MELALUI PENDEKATAN POLYNOMIAL UNTUK MENGOPTIMALKAN EFISIENSI ENERGI KAPAL

Nama Mahasiswa : Suratno
NRP : 04211850010010
Pembimbing : Dr. I. Made Ariana,. , S.T., M.T.
Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Dalam dunia industri perkapalan permasalahan yang sering menjadi kendala adalah pengoptimalan energi efisiensi kapal. Beberapa aspek dari pengoptimalan energi efisiensi kapal itu salah satunya perencanaan sistem propulsi yang berkaitan dengan desain propeller. Hal utama yang menjadi pertimbangan dalam perencanaan desain propeller adalah Efisiensi propeller yang merupakan ukuran *performance* propeller terhadap produktivitasnya dalam menghasilkan daya dorong. Perencanaan desain propeller merupakan salah satu aspek yang harus direncanakan dengan matang dari tujuan fungsi kapal dalam mencapai kecepatan yang optimum. Dengan pemilihan type propeller yang kompatible terhadap daya mesin induk maka transmisi tenaga akan lebih maksimum dalam usaha menggerakkan kapal yang tentunya akan menghemat konsumsi bahan bakar daripada mesin induk.

Pemilihan type propeller yang optimal akan mendapatkan daya dorong yang lebih efisien dari daya mesin utama kapal yang digunakan. Pemilihan type propeller ini tentu mengacu pada mesin utama dan gear box yang sudah terinstall dalam upaya mendapatkan energi kapal yang efisien dan semaksimal mungkin dari daya mesin utama yang sudah beroperasi. Penelitian pemilihan type propeller di lakukan pada kapal penumpang perintis KM. Sabuk Nusantara 99, 1200 GT milik Dirjen Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan Indonesia.

Setelah dilakukan analisa dengan pendekatan polynomial pada propeller yang beroperasi (terpasang) type B4.550, diameter 1.450 m ,didapatkan hasil untuk type propeller ini terjadi kavitasi. Type propeller yang optimal dari analisa pendekatan polynomial adalah B3.611 , diameter 1.493 m, dengan efisiensi propeller 0.482 tidak terjadi kavitasi. Mengacu dari hasil analisa tersebut penggunaan type propeller yang optimal diharapkan dapat menekan pemakaian konsumsi bahan bakar kapal yang pada akhirnya menguntungkan dari segi ekonomisnya.

Kata kunci: Efisiensi propeller, Optimum propeller B Series, Polynomial.

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPTIMIZATION OF PROPELLER DESIGN THROUGH POLYNOMIAL APPROACH TO OPTIMIZE THE SHIP ENERGY EFFICIENCY

By : Suratno
Student Identity Number : 04211850010010
Supervisor : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

In the shipping industry, the problem that often becomes an obstacle is the optimization of energy efficiency ships's. Some aspects of optimizing the energy efficiency of the ship are one of them is the propulsion system planning that is related to the propeller design. The main thing that is considered in propeller design planning is the efficiency of the propeller which is a measure of propeller performance on its productivity in generating thrust. Propeller design planning is one aspect that must be planned carefully from the purpose of the ship's function in achieving optimum speed. With the choice of propeller type that is compatible with the main engine power, the power transmission will be more maximum in the effort to move the ship which will certainly save fuel consumption the main engine's.

The selection of the optimal propeller type will get more efficient thrust from the main engine power of the ship being used. The choice of propeller type certainly refers to the main engine and gear box that have been installed in an effort to obtain efficient and maximum ship energy from the main engine power that is already operating. Research on the selection of the optimal propeller type was carried out on the pioneer passenger ship KM. Sabuk Nusantara 99, 1200 GT owned by the Director General of Sea Transportation of the Indonesian Ministry of Transportation.

After analyzing whith the polynomial approach on the propeller that operates (installed) type B4,550, 1,450 m diameter, the results of analysis for this type of propeller occur cavitation. The optimal type of propeller from the analysis of the polynomial approach is B3,611, diameter 1,493 m , with a propeller efficiency of 0.482, cavitation does not occur. Referring to the results of the analysis, the use of an optimal type of propeller is expected to reduce the consumption of ship fuel consumption, which in turn is economically beneficial.

Keywords: Propeller efficiency, Optimum propeller B Series, Polynomial.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ……..….. i
KATA PENGANTAR ……..…… iii-iv
ABSTRAK ……..... v
ABSTRACT ……..…….……. vii
DAFTAR ISI ……...…..…… ix-x
DAFTAR GAMBAR ……..……...…..….. xi
DAFTAR TABEL ……...…..…… xii
DAFTAR SIMBOL …….……...…..… xiii-xiv
BAB I PENDAHULUAN ……...…….…….. 1
1.1. Latar Belakang …….….. 1
1.2. Perumusan Masalah ……..……..... 3
1.3. Tujuan Penelitian…..……..... 3
1.4. Batasan Penelitian …….……. 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI ……....…..…… 5
2.1 KM. Sabuk Nusantara 99……..…….. 5
2.2 Metode Polynomial……....…….…… 9
2.3 Kavitasi……..…..…….....….....…… 12
2.4 Sistem Propulsi……..…….....…… 14
2.4.1 Tahanan Kapal……..…….…….....….…… 15
2.4.2 Propeller……...……..…….…..... 16
2.4.3 Mesin Penggerak / Mesin Induk…….…….. 17
2.5 Performance Kapal…….....…....……..… 18
2.6 Energy Efficiency Design Index……...…….....…....……..… 19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN ……..……...… 23
3.1 Tahap Pengerjaan ……...…….. 23
3.1.1 Tahap 1 …….…… 23
3.1.2 Tahap 2 …….…… 24
3.1.3 Tahap 3 …….…… 25
3.2 Diagram Alir Pengerjaan ……...…….. 26

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN..... 27
4.1 Penurunan Rumus Algoritma K_T Propeller..... 27
4.1.1 Tahanan Total Kapal..... 28
4.1.2 Wake Factor (w)..... 30
4.1.3 Trust deduction Factor (t)..... 32
4.2 Penurunan Rumus Batasan Kavitasi..... 32
4.2.1 Jarak center poros dengan sarat..... 38
4.3 Batasan Reynold Number $K_{Topenwater}$ & $K_{Qopenwater}$..... 40
4.4 Diagram Alir Analisa Propeller..... 43
4.4.1 Analisa Propeller Existing..... 46
4.4.2 Analisa Optimum Propeller..... 52
4.5 Evaluasi dan Analisa Teknis..... 56
4.6 Evaluasi dan Analisa Standard EEDI..... 57
4.6.1 EEDI Propeller Existing..... 58
4.6.2 EEDI Optimum Propeller..... 60
4.6.3 Reference Line 61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 63
DAFTAR PUSTAKA 65
LAMPIRAN 68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Desain gambar KM. Sabuk Nusantara 99..... 5
Gambar 2. 2 Rute KM. Sabuk Nusantara 99..... 5
Gambar 2. 3 Propeller B4.55……..... 8
Gambar 2. 4 Diagram Burril's……..... 13
Gambar 2. 5 Sistem Propulsi……..... 14
Gambar 3. 1 Flow Chart Penyelesaian Tesis……..... 26
Gambar 4. 1 Perspektif Visual Tahanan Kapal……..... 29
Gambar 4. 2 Kurva 2½% & 5% Back Kavitasi…..……..... 33
Gambar 4. 3 Kapal Sarat kosong……...……..... 38
Gambar 4. 4 Grafik K_T, K_Q & Rn……...…...…..... 41
Gambar 4. 5 Flow Chart Analisa Propeller……..... 43
Gambar 4. 6 Grafik titik operasi Propeller Existing, B4.550,P/D 0.579…….... 47
Gambar 4. 7 Grafik titik operasi Optimum Propeller ,B3. 611, P/D 0.569…….. 52
Gambar 4. 8 Reference Line Kapal Penumpang……..…..... 61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rute Pelayaran 17……..... 6
Tabel 2.2 Ukuran Utama Kapal……..... 7
Tabel 2.3 Data mesin Induk & Gear Box……..... 7
Tabel 2.4 Data propeller……..…….…….... 8
Tabel 2.5 Parameter Reference Line…..... 21
Tabel 2.6 Nilai CF Bahan Bakar..... 21
Tabel 2.7 Faktor Pengurangan EEDI..... 22
Tabel 4.1 Besar Tahanan Total pada variasi Kecepatan..... 29
Tabel 4.2 Koefisien Perismatik & Koefisien Block..... 31
Tabel 4.3 Nilai $\pm 0.7R$ dan τc pada 2½% & 5% Back Cavitation..... 33
Tabel 4.4 Tabel Muatan……..... 39
Tabel 4.5 Tabel Data Propeller Existing……..... 46
Tabel 4.6 Data Hasil Analisa Propeller Existing ,B4. 550,P/D 0.579..... 47
Tabel 4.7 Nilai P/D_{max} Propeller Existing,……..... 47
Tabel 4.8 Nilai Lcb Pada Tinggi Draft..... 50
Tabel 4.9 Data Hasil Analisa Optimum Propeller, B3. 611, P/D 0.569..... 52
Tabel 4.10 Nilai P/D_{max} Optimum Propeller……..……..…….... 53
Tabel 4.11 Hasil Analisa Propeller Existing…...……...…….... 57
Tabel 4.12 Hasil Analisa Optimum Propeller……..…..……..... 57
Tabel 4.13 Spesikasi Data Mesin Induk & Mesin Bantu Prop. Existing...….... 58
Tabel 4.14 Spesikasi Data Mesin Induk & Mesin Bantu Optimum Prop....….... 60

DAFTAR SIMBOL

LOA	: Length overall (panjang keseluruhan kapal)
LBP	: Length between perpendecular (Panjang antara garis tega kapal)
B	: Breadth (lebar kapal)
T	: Draught (tinggi sarat air)
H	: Tinggi geladak
Vs	: Kecepatan Service
ABK	: Anak Buah Kapal
DAR	: Developed Area Rasio
D	: Diameter propeller
AE	: Area Expanded (luas bentang daun propeller)
AO	: Luas keseluruhan propeller
P / D	: Rasio pitch-diameter
J	: Koefisien advance
Z	: Jumlah daun propeller
$\frac{Ae}{Ao}$	: Rasio Luasan Daun Propeller
Ap	: Projected area of blade
Ad	: Developed area of blade
ηp	: Effisiensi Propeller
ηo	: Effisiensi *open water* propeller
ηr	: Effisiensi *Relative Rotative*
n	: Putaran propeller
Va	: Kecepatan air masuk ke propleller
T	: Trust
Q	: Torsi
K_T	: Koefisien trust
K_Q	: Koefisien torsi
Re	: Bilangan Reynolds
Σ	: Sigma

h	: Jarak center poros dengan sarat
R_T	: Tahanan Total
EHP	: Efective Horse Power
DHP	: Delivery Horse Power
SHP	: Shaft Horse Power
BHP	: Brake Horse Power
Mcr	: Maximum continous rating
Scr	: Service continous rating
SFOC	: Specific Fuel Oil Consumption
$\sigma_{0,7R}$	: Angka kavitasi lokal pada 0,7R
$V_{0,7R}$	: Kecepatan Relatif air pada radius 0,7R
ρ	: Massa jenis air laut
Cb	: Koefisien block kapal
C_P	: Koefisien prismatik
L_{CB}	: Longitudinal center of bouyancy
t	: Thrust deduction fraction
W	: Wake friction efektif
ABS	: American Bureau of Shipping
EEDI	: Energy Efficiency Design Index
EEOI	: Energy Efficiency Operational Indicator
SEEMP	: Ship Energy Efficiency Management Plan
IMO	: International Maritime Organization
Fn	: Froude Number
GT	: Gross Tonnage
GRK	: Gas Rumah Kaca

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sarana transportasi sangat berperan dalam keberhasilan pembangunan suatu wilayah yang mencakup aspek kehidupan (politik, ekonomi, sodial budaya, pertahanan – keamanan) dari suatu bangsa. Terlebih lagi untuk wilayah-wilayah kepulauan, sarana transportasi laut merupakan kebutuhan vital bagi pertumbuhan wilayah dalam usaha untuk menghubungkan kesenjangan dan mendorong pemerataan hasil-hasil pembangunan antar wilayah. Dirjen Perhubungan Laut – Kementerian Perhubungan mempunyai peranan penting dalam melayani masyarakat dan mendukung konektifitas antar wilayah di Indonesia. Hal ini karena Dirjen Pehubungan Laut memiliki armada kapal perintis yang beroperasi di berbagai wilayah Indonesia sebagai kapal penumpang. Dalam beberapa tahun terakhir ini Dirjen Perhubungan Laut – Kementerian Perhubungan telah memesan pembuatan armada kapal perintis baru dalam usaha membangun dan memperlancar sarana transportasi laut di seluruh penjuru tanah air. Ini bertujuan untuk meningkatkan pemerataan pembangunan nasional yang pada akhirnya berdampak pada tingkat perekonomian masyarakat baik di wilayah barat maupun wilayah timur Indonesia, (Dwi Budi Sutrisno Direktur Lalu Lintas dan Angkutan Laut Ditjen Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan, 2018).

Dalam perencanaan pembuatan kapal baru terdapat beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan karena berpengaruh terhadap olah gerak kapal untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Beberapa aspek tersebut yaitu perencanaan lambung, perencanaan sistem permesinan, perencanaan sistem propulsi dan perencanaan lainnya yang harus diperhatikan dalam perencanaan pembuatan kapal baru agar nantinya sesuai dengan tujuan dan fungsi dalam pembangunan sebuah kapal. Perencanaan sistem propulsi merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam perencanaan pembuatan kapal baru.. Perencanaan sistem propulsi itu salah satunya adalah perencanaan desain propeller. Perencanaan desain propeller merupakan salah satu aspek yang harus

direncanakan dengan matang dari tujuan fungsi kapal dalam mencapai kecepatan yang optimum (Antony E Molland , 2010). Desain propeller yang baik akan berpengaruh pada gaya dorong (*Thrust*) yang diperoleh menjadi optimal sehingga kecepatan kapal yang diinginkan akan tercapai dalam operasionalnya.

Efisiensi energi kapal telah menjadi permasalahan bagi industri Perkapalan, terutama untuk tiga alasan : Pertama biaya bahan bakar kapal yang berkontribusi besar terhadap biaya operasional secara keseluruhan, kedua mesin diesel konvensional yang mengeluarkan emisi gas buang yang berefek pada meningkatnya gas rumah kaca (GRK) dalam jumlah besar yang berkontribusi terhadap Perubahan Iklim dan ketiga karena undang-undang terbaru termasuk Resolusi International Maritime Organization (IMO) yang memberlakukan peraturan ambang batas emisi (economy series, 2016).

Dari jurnal energy efisiensi kapal 2016, bagi dunia industri perkapalan penting untuk menurunkan biaya dan memperkenalkan teknologi baru dan inovasi teknis melalui penerapan Efisiensi Energi Desain Indeks (EEDI) dan Efisiensi Energi Operasional Indeks (EEOI). Ada beberapa kapal perintis milik Dirjen Perhubungan Laut yang masih menggunakan mesin utama dengan teknologi konvensional, maka perlu ada upaya upaya tertentu agar energi yang di keluarkan oleh mesin utama dapat di gunakan seefisien mungkin bagi gerak kapal untuk menekan biaya operasional kapal. Karena biaya operasional kapal terbesar adalah bahan bakar baik saat kapal berlayar maupun di pelabuhan. Biaya operasional untuk bahan bakar sekitar 30 – 45% dari seluruh biaya operasional kapal dalam melakukan tugasnya. Besar biaya ini dapat dikurangi dengan mengoptimalkan energi kapal sehingga menjadi lebih efisien yang pada akhirnya dapat menghemat penggunaan bahan bakar.

Berangkat dari penjelasan penjelasan tersebut maka penelitian inovasi teknis yang dilakukan adalah dengan mengoptimalkan dari penggunaan propeller sehingga mendapatkan daya dorong yang lebih efisien dari daya mesin utama yang dipakai. Pemilihan propeller ini tentu mengacu pada mesin utama dan gear box yang sudah terinstall dengan harapan mendapatkan type propeller yang lebih baik dari propeller yang sudah terpasang. Banyak jenis penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti terhadap propeller B Series untuk mendapatkan type

propeller B Series yang optimal pada kapal yang telah beroperasi. Didasari oleh hal-hal yang telah disebutkan di atas, penelitian ini menganalisa pemilihan propeller B Series pada KM. Sabuk Nusantara 99 dengan tujuan untuk memperoleh type propeller yang optimal sehingga menghasilkan energi kapal yang efisien yang pada akhirnya dapat menekan pemakaian konsumsi bahan bakar mesin induk kapal.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada kapal terkait dalam pemilihan propeller yang optimum dengan metode pendekatan Polynomial guna meningkatkan efisiensi energi Kapal. Fokus dari penelitian ini terletak pada analisa porpeller B Series KM. Sabuk Nusantara 99 dengan maksud mendapatkan *trust* dan efisiensi propeller yang optimal dari daya mesin utama kapal sehingga menguntungkan dari segi ekonomis pada perusahaan perkapalan.

1.2 Perumusan Masalah

Dari pertimbangan alasan alasan tersebut di atas , terdapat beberapa rumusan permasalahan yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian sistem propulsi kapal sebagai berikut:

a. Bagaimana desain propeller yang optimal.
b. Bagaimana perbandingan dari propeller terpasang dengan desain propeller yang optimal (terpilih).

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian sistem propulsi kapal bertujuan :

a. Untuk mendapatkan desain propeller yang optimal.
b. Mengevaluasi secara teknis dan standard EEDI dari propeller terpasang dengan propeller yang optimal (terpilih) untuk mendorong desain kapal yang lebih efisien.

1.4 Batasan Penelitian

Untuk memperoleh hasil penelitian yang saling berkorelasi dan tidak melebar dalam penulisannya, maka diperlukan adanya batasan-batasan:

a. Penelitian di lakukan pada KM Sabuk Nusantara 99 ,1200 GT

Mesin Utama

Maker	: Yanmar
Type	: 6EY17W
Daya	: 1138 Hp
Revolution	: 1450 rpm

Gear Box

Maker	: Yanmar
Type	: YXH-500
Ratio	: 2.53 : 1

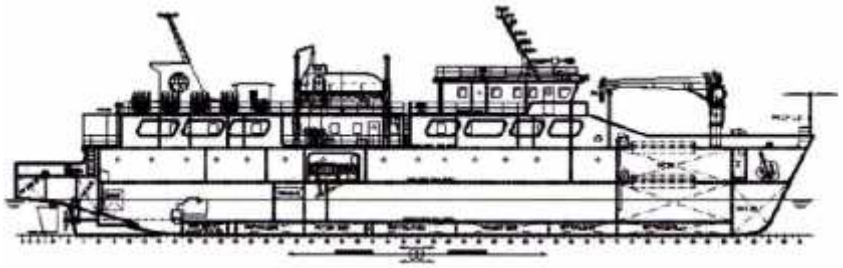
b. Penelitian di lakukan focus untuk type propeller B Series pada KM. Sabuk Nusantara 99.

c. Sudut *rake* (sudut kecondongan), *thickness* (tebal profil daun), *pitch helix* (spiral langkah ulir) disesuaikan dengan karakter mesin induk kapal yang sudah terpasang.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KM. Sabuk Nusantara 99

KM. Sabuk Nusantara 99 adalah kapal baru yang dibangun pada tahun 2015 dalam rangka mendukung upaya Pemerintah untuk terus meningkatkan dan memaksimalkan pelayanan angkutan laut. Gambaran secara global desain KM Sabuk Nusantara 99 seperti pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Desain gambar KM. Sabuk Nusantara 99
(Sumber : Dok SN 99,2017)

KM. Sabuk Nusantara 99 merupakan kapal perintis milik Dirjen Perhubungan Laut yang dalam kasus ini sebagai obyek penelitian. Adapun kapal ini berfungsi sebagai kapal penumpang untuk rute 17 yaitu mulai dari dermaga Perak Surabaya (Jawa Timur) sampai Kota Baru (Kalimantan Selatan) dan sebaliknya. Penjelasan mengenai gambaran rute operasional KM. Sabuk Nusantara 99 dapat di lihat seperti gambar 2.2 di bawah.

Gambar 2.2 Rute KM. Sabuk Nusantara 99
(Sumber : Dok SN 99,2017)

Dalam rangka ikut mendorong pembangunan nasional melalui konektifitas antar wilayah guna mengurangi kesenjangan dan mendorong pemerataan hasil-hasil pembangunan antar wilayah Indonesia KM Sabuk Nusantara 99 mempunyai rute yang menghungkan antar pulau di Indonesia . Adapun trayek rute yang di lalui KM. Sabuk Nusantara 99, 1200 GT dalam fungsinya mengantar penumpang seperti table 2.1.

Tabel 2.1 Rute Pelayaran 17

No	Provinsi/ Pangkalan	Kode Trayek	Jaringan Trayek dan Jarak mil	Jumlah Jarak mil	Type Kapal	Pelayaran 1 Round Voyage
1	Surabaya, Jawa Timur	R- 17	Surabaya-150-Masalembo-40-Keramaian-72-Matasiri-20-Maradapan-22-Marabatuan-62-Batulicin-22-Kotabaru-22-Batulicin-62-Marabatuan-22-Maradapan-20-Matasiri-72-Keramaian-40-Masalembo-150-Surabaya	776	KM.Sabuk Nusantara 99, 1200 DWT	14

(Sumber : Dok SN 99,2017)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa jarak terpanjang adalah ruas Tanjung Perak – Masalembu dengan jarak 150 Nm (nautical mile). Sedangkan jarak terpendek adalah ruas Matasiri – Maradapan dengan jarak 20 Nm (nautical mile). Sedangkan jumlah keseluruhan rute yang di lalui adalah 776 Nm dalam 1 voyage dan waktu tempuh 14 hari. Dengan adanya pembagian rute diharapkan dapat meningkatkan mobilitas masyarakat local khusunya dan masyarakat Indonesia pada umunya, dengan maksud untuk meningkatkan jumlah kunjungan/ frekuensi layanan kapal untuk setiap pelabuhan.

Sebagai kapal penumpang KM Sabuk Nusantara 99 mampu menampung penumpang sebanyak 400 jiwa. Secara lebih detail mengenai perihal dan ukuran utama kapal dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Ukuran Utama Kapal

KM. SABUK NUSANTARA 99, 1200 GT.	
Panjang seluruh kapal (LOA)	62.8 m
Panjang antara Garis Tega (LBP)	57.36 m
Lebar (B)	12 m
Tinggi Geladak (H)	4 m
Tinggi Sarat (T)	2.7 m
Kecepatan Service (Vs)	12 knot
Jumlah ABK	36 orang
Kadet	2 orang
Penumpang Ekonomi	376 orang
Penumpang Kelas II	16 orang
Penumpang Kelas I	8 orang

(Dok SN 99,2017)

Dalam operasionalnya KM. Sabuk Nusantara 99 menggunakan mesin induk 2 unit serta propeller twin screw , putaran baling baling 573 rpm, dan dengan kecepatan maksimum kapal 12 knot. untuk mengantar penumpang dari pelabuhan asal hingga ke pelabuhan yang di tuju oleh penumpang . Adapun type Mesin induk dan gear box yang digunakan pada kapal adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Data Mesin Induk dan Gear Box

Merk & Type Mesin Induk	Yanmar, 6EY17W, 4 stroke
Daya	2 x 1138 Hp
Putaran	1450 rpm
Specific Fuel Consumption	212 g/kw-h
Bahan Bakar	MDO (Marine Diesel Oil)
Minyak Pelumasan	SAE # 40
Jumlah silinder	6
Model	In-line
Berat Kosong	3880 kg
Merk & Type Gear Box	Yanmar, YXH-500, Reduction dan Reversing Marine gear.
Rasio gear Box	2.53 : 1
Putaran input	1450 rpm
Putaran output	573 rpm
Reduction rasio Ahead	2.53
Reduction rasio Astern	2.53
Minyak Pelumasan	CD #40
Berat Kosong	700 kg

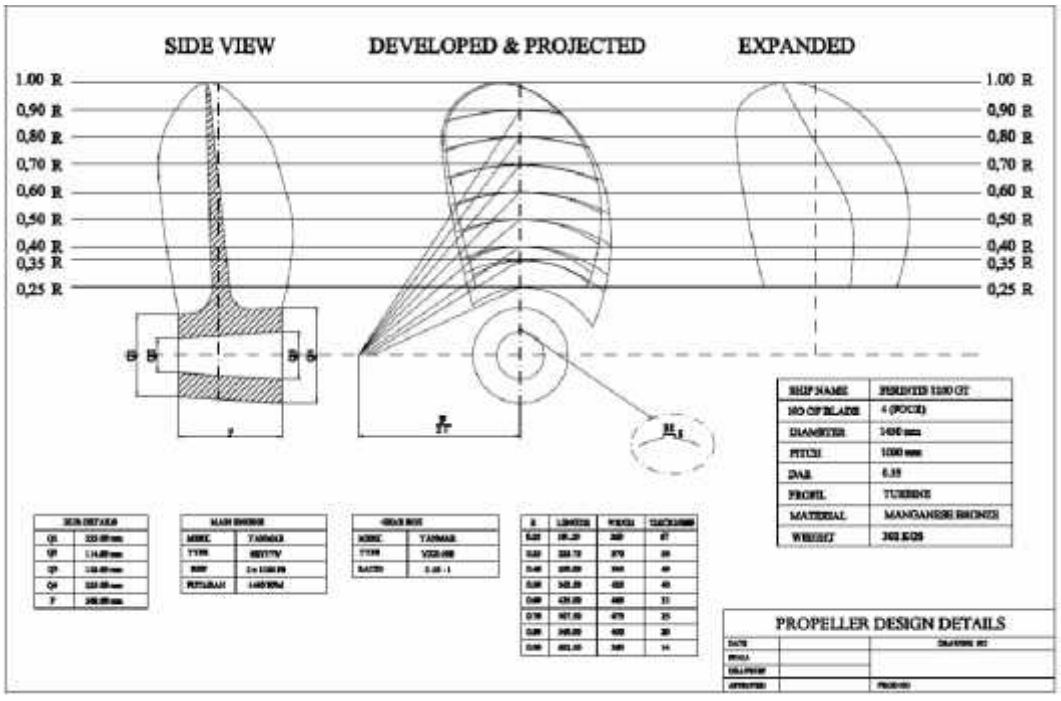
(Dok SN 99,2017)

Propeller yang digunakan untuk menggerakkan dalam operasional kapal adalah propeller twin screw dengan type B Series seperti tabel di bawah..

Tabel 2.4 Data Propeller

Propeller	B- Series
Jumlah daun	4
Pitch	1.000 m
Diameter	1.450 m
DAR	0.55
Material	Manganese Bronze

Adapun desain propeller yang digunakan dalam operasionalnya seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Propeller B 4 .55
(Sumber : Dok SN 99,2017)

2.2 Metode Polynomial

Seperti yang telah dinyatakan oleh Oosterveld dan Oossanen (1975) dalam buku "*Resistance and Propulsion of ships"* , Harvald Sv.Aa (1983) dijelaskan untuk keperluan studi dalam perancangan awal kapal baru desain propeller B series dapat diterapkan dengan menggunakan metode Polynomial. Hal ini dikarenakan penggunaan metode Polynomial dalam mendesain propeller untuk kapal baru sudah dilakukan uji analisa secara baik yang hasilnya cukup meyakinkan terutama untuk kapal yang menggunakan type propeller B Series.

Propeller B Series telah dirancang dan diuji di Netherlands Ship Model Basin (N.S.M.B.) di Wageningen. Karakteristik open water dari 120 model propeller B Series telah diuji di N.S.M.B. dan dianalisis dengan analisis metode polynomial. Metode Polinomial mengekspresikan koefisien dorong dan koefisien torsi dalam hal ini meliputi jumlah daun (Z), rasio luas daun (A_E/A_0), rasio pitch-diameter (P/D), dan koefisien advance (J). (Bernitsas, M. M.,*Wageningen B Series Propeller*,1981).

Batasan dalam menggunakan rumus pendekatan Polynomial Propeller B – Series adalah:

a.)	$2 < Z < 7$	Z	= Jumlah daun propeller
b.)	$0.3 < A_E/A_0 < 1.05$	A_E/A_0	= Rasio luas daun propeller
c.)	$0.5 < P/D < 1.40$	P/D	= Pitch Ratio

d.) Bilangan Reynolds $4000 < Re < 2x10^6$

Re > 4000 syarat untuk aliran turbulen , dimana aliran fluida di sekitar propeller secara umum sudah masuk aliran turbulen.

Re < $2x10^6$ syarat untuk menggunakan rumus pendekatan Polynomial B- Seies K_T open water dan K_Q open water.

Jika Bilangan Reynolds > $2x10^6$

Nilai K_T Polynomial dan K_Q polynomial perlu penambahan dengan nilai Delta K_T dan Delta K_Q

Rumus pendekatan K_T , K_Q open water Polynomial dengan Rn $< 2 \times 10^6$

$$K_T = \sum_{s,t,u,v} C^T_{s,t,u,v} .(J)^s .(P/D)^t .(A_E / A_o)^u .(Z)^v \qquad (2.1)$$

$$K_Q = \sum_{s,t,u,v} C^Q_{s,t,u,v} .(J)^s .(P/D)^t .(A_E / A_o)^u .(Z)^v \qquad (2.2)$$

K_T =	C	s	t	u	v	K_T =	C	s	t	u	v
		J	P/D	A_E/A_O	Z			J	P/D	A_E/A_O	Z
1	0,00880496	0	0	0	0	21	0,010465	1	6	2	0
2	-0,204554	1	0	0	0	22	-0,00648272	2	6	2	0
3	0,166351	0	1	0	0	23	-0,00841728	0	3	0	1
4	0,158114	0	2	0	0	24	0,0168424	1	3	0	1
5	-0,147581	2	0	1	0	25	-0,00102296	3	3	0	1
6	-0,481497	1	1	1	0	26	-0,0317791	0	3	1	1
7	0,415437	0	2	1	0	27	0,018604	1	0	2	1
8	0,0144043	0	0	0	1	28	-0,00410798	0	2	2	1
9	-0,0530054	2	0	0	1	29	-0,000606848	0	0	0	2
10	0,0143481	0	1	0	1	30	-0,0049819	1	0	0	2
11	0,0606826	1	1	0	1	31	0,0025983	2	0	0	2
12	-0,0125894	0	0	1	1	32	-0,000560528	3	0	0	2
13	0,0109689	1	0	1	1	33	-0,00163652	1	2	0	2
14	-0,133698	0	3	0	0	34	-0,000328787	1	6	0	2
15	0,00638407	0	6	0	0	35	0,000116502	2	6	0	2
16	-0,00132718	2	6	0	0	36	0,000690904	0	0	1	2
17	0,168496	3	0	1	0	37	0,00421749	0	3	1	2
18	-0,0507214	0	0	2	0	38	0,0000565229	3	6	1	2
19	0,0854559	2	0	2	0	39	-0,00146564	0	3	2	2
20	-0,0504475	3	0	2	0						

K_Q =	C	s	t	u	v	K_Q =	C	s	t	u	v
		J	P/D	A_E/A_O	Z			J	P/D	A_E/A_O	Z
1	0,00379368	0	0	0	0	25	-0,0397722	0	3	2	0
2	0,00886523	2	0	0	0	26	-0,00350024	0	6	2	0
3	-0,032241	1	1	0	0	27	-0,0106854	3	0	0	1
4	0,00344778	0	2	0	0	28	0,00110903	3	3	0	1
5	-0,0408811	0	1	1	0	29	-0,000313912	0	6	0	1
6	-0,108009	1	1	1	0	30	0,0035985	3	0	1	1
7	-0,0885381	2	1	1	0	31	-0,00142121	0	6	1	1
8	0,188561	0	2	1	0	32	-0,00383637	1	0	2	1
9	-0,00370871	1	0	0	1	33	0,0126803	0	2	2	1
10	0,00513696	0	1	0	1	34	-0,00318278	2	3	2	1
11	0,0209449	1	1	0	1	35	0,00334268	0	6	2	1
12	0,00474319	2	1	0	1	36	-0,00183491	1	1	0	2
13	-0,00723408	2	0	1	1	37	0,000112451	3	2	0	2
14	0,00438388	1	1	1	1	38	-0,000029722	3	6	0	2
15	-0,0269403	0	2	1	1	39	0,000269551	1	0	1	2
16	0,0558082	3	0	1	0	40	0,00083265	2	0	1	2
17	0,0161886	0	3	1	0	41	0,00155334	0	2	1	2
18	0,00318086	1	3	1	0	42	0,000302683	0	6	1	2
19	0,015896	0	0	2	0	43	-0,0001843	0	0	2	2
20	0,0471729	1	0	2	0	44	-0,000425399	0	3	2	2
21	0,0196283	3	0	2	0	45	0,0000869243	3	3	2	2
22	-0,0502782	0	1	2	0	46	-0,0004659	0	6	2	2
23	-0,030055	3	1	2	0	47	0,0000554194	1	6	2	2
24	0,0417122	2	2	2	0						

Jika nilai Rn > 2 x 10^6, maka nilai K_T dan K_Q polynomial dilakukan penambahan dengan nilai sebagai beikut:

$DeltaK_T$= ((0.000353485)

+(-0.00333785 x (AE/AO) x (J^2))

-(0.00478125 x (AE/AO) x (P/D) x (J))

+(0.000257792 x ((log10(Rn)-0.301)^2) x AE/AO x (J^2))

+(0.0000643192 x ((log10(Rn)-0.301)) x (P/D^6) x (J^2)))

+(-0.0000110636 x ((log10(Rn)-$(0.301)^2$) x (P/D^6) x (J^2))

+(-0.0000276305 x ((log10(Rn)-0.301)^2) x Z x AE/AO x (J^2))

+(0.0000954 x ((log10(Rn)-0.301)) x Z x AE/AO x P/D x (J))

+(0.0000032049 x ((log10(Rn)-0.301)) x ($Z.^2$) x AE/AO x (P/D^3) x (J))

$DeltaK_Q$= ((-0.000591412)

+(0.00696898 x (P/D))

+(-0.0000666654 x (Z) x (P/D^6))

+(0.0160818 x (AE/AO^2))

+(-0.000938091 x ((log10(Rn)-0.301)) x (P/D))

+(-0.00059593 x ((log10(Rn)-0.301)) x (P/D^2))

+(0.0000782099 x $((log10(Rn)-0.301)^2)$ x (P/D^2))

+(0.0000052199 x ((log10(Rn)-0.301)) x (Z) x (AE/AO) x (J^2))

+(-0.00000088528 x $((log10(Rn)-0.301)^2)$x(Z)x(AE/AO)x(P/D)x(J))

+(0.0000230171 x ((log10(Rn)-0.301)) x (Z) x (P/D^6))

+(-0.00000184341 x $((log10(Rn)-0.301)^2)$ x (Z) x (P/D^6))

+(-0.00400252 x ((log10(Rn)-0.301)) x (AE/AO^2))

+(0.000220915 x $((log10(Rn)-0.301)^2)$ x (AE/AO^2))))

2.3 Kavitasi

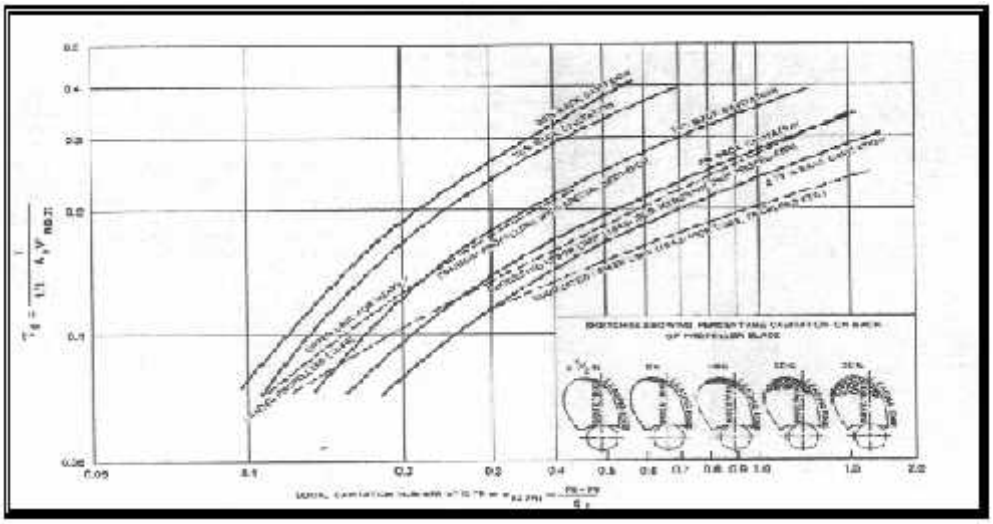
Untuk mencapai kerja propeller yang optimal maka propeller harus dihindarkan dari terjadinya kavitasi . Pada buku "*Resistance and Propulsion of ships"* , Harvald Sv.Aa (1983) telah dijelaskan proses propeller kapal mengalami kavitasi bila pada cairan tersebut terdapat gelembung gelembung udara sebagai akibat dari turunnya tekanan. Karena medan di sekeliling daun propeller terus mengalami perubahan, maka hal ini bisa menimbulkan kemungkinan terjadinya kavitasi. Kavitasi terjadi bila propeller bekerja dengan beban yang relatif tinggi. Jika pada propeller kapal terjadi kavitasi pada kisaran kritis tertentu , akan terjadi pemecahan aliran yang terus meningkat dan hal ini akan mengakibatkan berkurangnya gaya dorong . Kavitasi dapat menyebabkan kapal tidak dapat mencapai kecepatan yang diinginkan.

Kavitasi pada propeller kapal mempunyai beberapa pengaruh yang merusak . Pertama, efisiensi propeller akan berkurang. Dengan adanya kavitasi maka propeller tidak akan bekerja di dalam air yang homogen tetapi di dalam cairan yang bercampur dengan uap dan gas, dan ini menurunkan daya propulsi. Kedua , kavitasi dapat menyebabkan erosi pada bahan. Ketiga, kavitasi dapat

menyebabkan getaran dan bunyi, dan ini sering merupakan sumber masalah yang besar, (International Towing Tank Conferences ,1953).

Perhitungan kavitasi perlu dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa propeller yang di pakai tidak mengalami kavitasi yang menyebabkan menurunnya efisiensi propeller dan kerusakan pada propeller

Perhitungan kavitasi ini di hitung dengan menggunakan Diagram Burril's.



Gambar 2.4 Diagram Burril's
(Sumber : *Principles of Naval Architecture second Revision* Vol II, 1988)

Burril's diagram mendefinisikan untuk sumbu Y adalah skala rasio antara propeller trust per sq.in dan dynamic pressure. Sumbu X adalah skala angka kavitasi.

Sumbu Y ,

$$Tc = \frac{T}{Ap \times 0{,}5 \times ^{\circ} \times (Vr)^2} \tag{2.3}$$

Sumbu X,

$$\pm 0.7R = \frac{188.2 + 19.62h}{V_a^{\,2} + (4.836 n^2 D^2)} \tag{2.4}$$

$$V_r^{\,2} = V_a^{\,2} + (0.7®nD)^2 \tag{2.5}$$

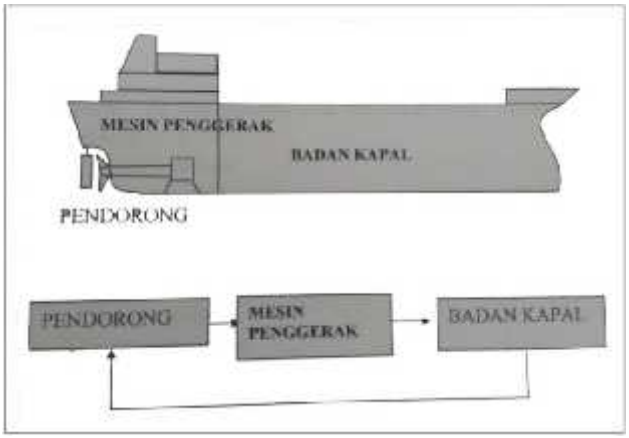
$$Ap = (1.067 - 0.229x\frac{P}{Db})xAd \tag{2.6}$$

Keterangan

Ap	= Projected area of blade	T	= Trust
ρ	= Massa jenis air laut	Ad	= Developed area of blade
n	= Putaran propeller	Vr	= Relative velocity
Va	= Kecepatan air masuk ke propleller		
D	= Diameter propeller		
h	= Jarak center poros dengan sarat		

2.4 Sistem Propulsi

Seperti diketahui pada gambar 2.5, sistem propulsi di kapal mencakup tiga hal, yakni motor penggerak utama, badan kapal, dan propulsor s Tiga hal tersebut menjadi sangat krusial untuk direnacanakan karena menyangkut dengan kemampuan kapal untuk mencapai kecepatan dinas yang telah dirancang sebelumnya. Dalam mendesain kapal baru tiga hal tersebut harus di rancang yang paling efisien sehingga energi yang diperlukan untuk propulsi (pendorongan) kapal dapat sekecil mungkin.



Gambar 2.5 Sistem Propulsi
(Sumber :Harvald Sv. Aa, *Resistance and Propulsion of ships*,1983).

Sistem propulsi kapal adalah suatu sistem yang digunakan untuk menggerakkan kapal pada suatu kecepatan tertentu dan dalam perancangan kapal, sistem propulsi adalah salah satu faktor penentu keberhasilan pengoperasian kapal. Hal ini berkaitan dengan kinerja serta nilai ekonomis kapal, khususnya efek

kecepatan dinas yang harus dicapai. Pada perancangan ketiga bagian ini sangat tergantung dari tipe kapal, ukuran utama, kecepatan yang direncanakan, karakteristik badan dan rencana umum kapal. Karena itu badan kapal, mesin penggerak, dan propeller menjadi suatu system yang mempunyai keterkaitan perpaduan yang paling baik.

2.4.1 Tahanan Kapal

Tahanan total (R_T) pada kapal terdiri dari komponen – komponen bagian kapal yang mempunyai kemungkinan menimbulkan gaya hambat atau resistance. Tahanan total digunakan untuk menentukan besar gaya dorong yang didefinisikan sebagai daya yang diperlukan suatu kapal untuk bergerak dengan kecepatan sebesar Vs dan mampu mengatasi gaya hambat atau tahanan sebesar tahanan kapal (R_T). Hal yang lebih penting untuk mengetahui seberapa besar daya dari mesin utama agar kapal yang akan dibuat tidak mengalami kelebihan daya yang besar atau justru tidak bisa memenuhi kecepatan karena daya yang diprediksikan tidak bisa mengatasi besar tahanan kapal. Tahanan kapal tergantung pada ukuran kapal, bentuk badan kapal, dan kecepatan yang diinginkan. Tahanan total (R_T) yang dialami kapal terdiri dari sejumlah komponen tahanan yang berbeda yang diakibatkan oleh berbagai macam penyebab dan saling berinteraksi . Tahanan kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal demikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Ketepatan perhitungan tahanan kapal ini sangatlah penting sekali karena mempengaruhi aspek – aspek dari segi biaya investasi, efisiensi, biaya perawatan, biaya operasional, ekonomis dan lain .

Pada saat berlayar kapal akan mengalami berbagai macam gangguan yang disebabkan oleh adanya berbedaan kondisi perairan untuk masing-masing zona, hal ini secara langsung akan mempengaruhi operasional kapal . Oleh sebab itu karena adanya peningkatan dan penurunan beban kapal yang pada akhirnya mempengaruhi dari kerja system proplusi secara keseluruhan. Untuk menghindari kejadian tersebut maka perlu penambahan besar tahanan berdasar pada karakteristik daerah pelayaran dimana kapal direncanakan untuk beroperasi. Karena kapal dirancang untuk berlayar di wilayah perairan Asia Timur maka perlu penambahan tahanan dengan sea margine antara 15 – 20% .

2.4.2 Propeller

Propeller merupakan jenis propulsor yang biasa digunakan sebagai bagian dari sistem penggerak kapal. Dari propeller ini menghasilkan suatu daya dorong yang disebut sebagai *Trust*. Daya dorong tersebut dihasilkan oleh engine yang ditransmisikan melalui poros kemudian disalurkan ke propeller untuk menggerakkan kapal. Trust yang dihasilkan oleh propeller sangat dipengaruhi oleh desain atau pemilihan propeller itu sendiri. Pemilihan type propeller menentukan karakteristik propeller yang sesuai dengan karakteristik badan kapal dan besarnya daya yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan misi kapal. Daya dorong yang dihasilkan oleh propeller merupakan ukuran performance dari efisiensi propeller.

Propeller umumnya diletakan pada kedudukan yang serendah mungkin di bagian belakang kapal. Propeller harus mempunyai diameter sedemikian rupa sehingga bila kapal dalam keadaan penuh propeller tersebut terbenam. Propeller optimum berarti propeller yang mempunyai efisiensi yang paling tinggi. Penggunaan propeller ganda akan menaikkan efisiensi baling baling , tetapi kenaikkan efisinesi itu akan diimbangi dengan penurunan efisiensi badan kapal. Dengan pertimbangan tertentu kapal dapat menggunakan lebih dari satu baling baling. Setiap type dari masing-masing propeller kapal memiliki karakteristik kurva kinerja yang berbeda-beda. Sehingga penelitian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak di-*generalized* untuk keseluruhan bentuk dari baling-baling, (Surjo. W. Adji, 2009)

Efisiensi open water propeller yang optimal akan menurun dengan bertambahnya jumlah daun propeller. Semakin sedikit daun baling baling semakin tinggi efisiensi baling baling ,(E.V. Lewis, 1988). Dari teori *Wageningen B Series* di dapat : Karakteristik propeller pada open water secara konvensional dipresentasikan dalam bentuk koefisien trust (K_T) dan koeifisien torsi (K_Q) sebagai berikut :

$$K_T = \frac{T}{\circ n^2 D^4} \qquad (2.7)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\circ n^2 D^5} \quad (2.8)$$

$$\text{¦}_0 = \frac{J}{2®} \frac{K_T}{K_Q} \quad (2.9)$$

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad (2.10)$$

Keterangan:

T	= Gaya dorong (N)	K_T	= koefisien trust
Q	= Torsi propeller (Nm)	K_Q	= koefisien torsi

ρ = Massa jenis air laut (1,025 ton m)

n = Putaran propeller (rpm)

Va = Kecepatan air masuk ke propleller (m/s)

D = Diameter propeller (m)

J = koefisien advance

2.4.3 Mesin Penggerak atau Mesin Induk

Banyak faktor yang harus dipertimbangkan pada pemilihan mesin induk kapal diantaranya adalah *konsumsi spesifik bahan bakar*, type dari bahan bakar yang dibutuhkan, ketersediaan bahan bakar, kebutuhan akan ruang dan berat mesin serta kemampuan adaptasi dari sistem propulsi pada seluruh konfigurasi operasional kapal., juga faktor ekonomi yaitu biaya investasi dan biaya operasional. Pemilihan mesin penggerak atau mesin induk harus mampu untuk menggerakkan kapal dengan biaya yang minimal; yaitu biaya operasi yang berhubungan dengan pemakaian bahan bakar . Kemampuan mesin yang maksimal kapal harus mampu berlayar dengan kecepatan yang maksimal juga. Intinya dalam pemilihan mesin induk factor utama yang mejadi pertimbangan adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menggerakkan kapal dapat sehemat mungkin dengan kecepatan yang di inginkan bagi operasional kapal.. Hal terpenting bagi mesin induk dapat beroperasi pada rating maksimum dan dimensi dari mesin induk sesuai space ruang yang telah dirancang saat di install di kapal untuk pertama kali. Selain itu mesin induk dapat beroperasi pada keluaran maksimum

secara kontinyu *Maximum Continuous Rating* (mcr) untuk memperoleh kecepatan yang diinginkan. Meskipun pabrik pembuat mesin sudah mendesain mesin pada kondisi *service continuous rating* (scr) dan *maximum continuous rating* (mcr) serta *overload rating*, hal yang menjadi permasalahan bagi pemilik kapal adalah daya keluaran mesin yang maksimum untuk dapat beroperasi secara kontinu dengan kecepatan yang diinginkan. Dari sisi pembuat mesin, mesin diesel telah dioptimalkan untuk operasi pada kisaran beban tertentu, yang biasanya 70-100% dari maximum continuous rating (mcr). Dalam kisaran persentase tersebut, konsumsi bahan bakar minyak spesifik (SFOC [g / kWh]) menjadi minimal (Olmer et al., 2015).

Dengan banyaknya penelitian mengenai efisiensi penggunaan bahan bakar, pengoptimalan biaya operasi, berbagai sitem propulsi pada beberapa pola operasional kapal diharapkan untuk lebih dapat mengoptimalkan penggunaan bahan bakar yang pada akhirnya mengurangi emisi gas buang dari kapal guna mengurangi adanya pemanasan global yang berefek terjadinya perubahan iklim yang ekstrem seperti pada saat sekarang ini.

2.5 Performance Kapal

Permasalahan utama yang timbul dalam perancangan kapal adalah tidak mendapatkan kesesuaian (*matching point*) yang lebih optimal.antara badan kapal, propeller, maupun penggerak utama. Karena itu dalam menganalisa sistem propulsi kapal tidak dapat hanya dengan meninjau secara terpisah dari aspek badan kapal, baling-baling maupun penggerak utama, tetapi hubungan ketiganya. (Surjo. W. Adji, 2009). Dengan adanya kesesuain yang optimal antara ketiga maka hal ini tentu akan berpengaruh terhadap performance kapal dari segi kecepatan, biaya operasional , reparasi dan pada akhirnya pada penghematan bahan bakar.

Dalam beberapa tahun ini kecenderungan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar kapal telah meningkat seiring dengan peningkatan teknologi dalam efisiensi energi kapal. Harga bahan bakar yang berfluktuasi, penerapan peraturan lingkungan yang lebih ketat dengan tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) membuat situasi saat ini khususnya dunia perkapalan terus berusaha

untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar kapal, (Francesco ,2016). Oleh karena itu penting untuk terus berusaha melakukan inovasi teknis pada system propulsi kapal dengan maksud untuk meningkatan efisinesi energi dalam hal ini konsumsi bahan bakar. Ini secara tidak langsung berperan dalam upaya mengurangi emisi global di sektor industri perkapalan . Berbagai peraturan diberlakukan pada perkapalan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak kerusakkan pada lingkungan akibat dari gas emisi yang dikeluarkannya, (Jafarzadeh and Schjølberg, 2018) yang sesuai dengan program International Maritime Organization (IMO) untuk mengurangi dan mengendalikan emisi pada industri perkapalan.

2.6 Energy Efficiency Design Index (EEDI)

Energy Efficiensy Design Index (EEDI) adalah standard kinerja untuk kapal baru guna mendorong desain kapal yang lebih efisien. IMO menginisiasi penentuan Indeks EEDI dengan tujuan untuk mengurangi dan mengendalikan emisi CO2 dari industri perkapalan guna menekan peningkatan pemanasan global. Tahun 2013 *The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL) Annex VI telah menetapkan langkah-langkah teknis dan pengoperasian, yang berhubungan dengan penggunaan energi maritim agar dapat lebih efisien guna mengurangi emisi gas buang kapal. Pada regulasi IMO, Annex VI menetapkan dua langkah teknis sebagai standard penghematan bahan bakar kapal yaitu pada tahap desain awal kapal melalui Indeks desain penghematan bahan bakar atau Energy Efficiency Design Index (EEDI) dan pada tahap operasional kapal melalui Manajemen penghematan bahan bakar kapal atau Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP).

Untuk mengendalikan emisi CO2 dari kapal EEDI sebagai indikator yang menunjukkan penghematan bahan bakar kapal dalam CO2/ton-mile, yang dihitung pada kondisi operasional kapal. Dengan adanya penerapan batasan EEDI diharapkan ada upaya upaya penghematan bahan bakar kapal melalui inovasi dan pengembangan pada desain atau dengan inovasi teknologi kapal terkait.. Singkatnya, EEDI menjadi standar teknis untuk desain kapal baru.

Rumusan EEDI telah ditetapkan oleh IMO Marine Enviroment Protection Commite sebagai ukuran emisi CO2 dengan kinerja opeasional kapal. Penerapan peraturan untuk efisiensi energi kapal ini berlaku bagi kapal perdagangan internasional dengan tonase di atas 400 GT dan dibangun per 01 Januari 2013. Perhitungan EEDI menggambarkan efisiensi desain teoritis dari kapal baru yang memberikan perkiraan emisi CO2 per mil kapasitas. Jumlah emisi CO2 yang dihasilkan oleh gas buang kapal umumnya dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar dengan menerapkan faktor konversi massa CO2 dari type bahan bakar yang digunakan oleh kapal. Sehingga rumus rumus untuk menghitung emisi CO2 sangat sederhana yaitu konsumsi bahan bakar dikalikan dengan factor konversi CO2 dibagi kapasitas dan kecepatan kapal.

$$EEDI_{attained} = \frac{CO_2 Emission}{Transportwork}$$

$$= \frac{Power * SpecificFuelConsumption * CO_2 ConversionFactor}{Capacity * Speed}$$

$$EEDI_{attained} = \frac{P_{ME}.C_{FME}.SFC_{ME} + P_{AE}.C_{FAE}.SFC_{AE}}{f_i.DWT.V_{ref}} \quad (2.11)$$

Keterangan

P_{ME} = 75% dari daya maximum continuous rating (MCR) (kW)

C_{FME} = Faktor konversi CO2 bahan bakar mesin induk

SFC_{ME} = Specific fuel oil consumption mesin induk (g/kWh

P_{AE} = Daya mesin bantu (kW)yang dihitung :

P_{AE} = 0.05 x MCR Mesin Induk jika daya mesin induk MCR < 10,000 kW

P_{AE} = 0.025 x MCR Mesin Induk + 250 jika daya mesin induk MCR > 10,000 kW

C_{FAE} = Faktor konversi CO2 bahan bakar mesin bantu

SFC_{AE} = Specific fuel oil consumption mesin bantu (g/kWh)

fi = 1 untuk kapal yang dibangun berdasarkan Common Structural Rules

DWT = Deadweight kapal pada sarat (t)

Vref = Kecepatan kapal.(kn)

Sesuai dengan yang batasan indeks yang sudah diterapkan maka

Attained EEDI ≤ Required EEDI

dimana

Required EEDI = (1 – X/100) x Reference line value

X = adalah factor reduksi untuk EEDI yang dicapai dibandingkan dengan nilai reference line EEDI

Reference line value = $a \times b^{-c}$

Tabel 2.5 Parameter Reference line

Ship type defined in Regulation 2	**a**	**b**	**c**
Bulk Carrier	961.79	DWT	0.477
Gas Carrier	1120.00	DWT	0.456
Tanker	1218.80	DWT	0.488
Container ship	174.22	DWT	0.201
General cargo ship	107.48	DWT	0.216
Refrigerated cargo carrier	227.01	DWT	0.244
Combination carrier	1219.00	DWT	0.488
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)	$(DWT/GT)^{0.7}$x780.36 where DWT/GT <0.3	DWT	0.471
	1812.63 where DWT/ GT ≥ 0.3		
Ro-ro cargo ship	1405.15	DWT	0.498
Ro-ro passenger ship	752.16	DWT	0.381
LNG carrier	2253.7	DWT	0.474
Cruise passenger ship having Non conventional propulsion	170.84	DWT	0.214

(Sumber :IMO,2016).

Sedangkan untuk nilai konversi CO2 pada masing masing jenis bahan bakar dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.6 Nilai CF (t-CO2 / t-Fuel) Jenis bahan bakar

Type of fuel	**Reference**	**Carbon Conten**	**C_F (t-CO_2/ t-Fuel)**
Diesel/Gas oil	ISO 8217 Grades DMX through DMB	0.8744	3.206
Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.8594	3.151
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.8493	3.114
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	0.8182	3.000
	Butane	0.8264	3.030
Liquefied Natural Gas (LNG)		0.7500	2.750
Methanol		0.3750	1.375
Ethanol		0.5217	1.913

(Sumber :IMO,2016).

Tabel 2.7 Faktor Pengurangan EEDI

Ship Type	Size	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas carrier	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 10,000 DWT	n/a	0 10*	0 20*	0 30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo ships	15,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated cargo carrier	5,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 5,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
LNG carrier***	10,000 DWT and above	n/a	10**	20	30
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)***	10,000 DWT and above	n/a	5**	15	30
Ro-ro cargo ship***	2,000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	1,000 – 2,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Ro-ro passenger ship***	1000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	250 1,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Cruise passenger ship*** having non-conventional propulsion	85,000 GT and above	n/a	5**	20	30
	25,000 – 85,000 GT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*

(Sumber :IMO,2016).

Keterangan

* Faktor reduksi harus diinterpolasi secara linier antara dua nilai yang tergantung pada ukuran kapal. Nilai yang lebih rendah dari faktor reduksi harus diterapkan pada ukuran kapal yang lebih kecil.

** Fase 1 diterapkan untuk semua kapal per tanggal 1 September - 2015

*** Faktor reduksi diterapkan ke kapal setelah 1 September – 2019

BAB III
METODOLOGI

3.1 Tahap Pengerjaan

Untuk melaksanakan proses penelitian agar jalannya sistematis dan tepat maka diperlukan suatu kerangka penelitian guna memperoleh alur kegiatan yang cepat dan tepat serta memberikan hasil yang optimal. Kerangka penelitian atau Flow Chart ini sebagai alur untuk menuntun jalannya penelitian sehingga dapat terarah dan terencana proses pengerjaan penelitian. Adapun gambar dari alur penelitian atau Flow Chart penyelesaian Tesis seperti gambar 3.1.

3.1.1 Tahap 1

Tahap proses pengumpulan data primer yang dibutuhkan dalam penelitian. Selain itu juga data pendukung untuk memperkuat dari argumen pada penelitian. Mempelajari dari penelitian sebelumnya yang berkorelasi dengan penelitian yang akan dilakukan. Memetakan literatur dari penelitian terdahulu sebagai bahan pembanding dan rujukan dalam proses pengerjaan penelitian. Penyusunan mengenai teori teori yang berkorelasi dengan pokok bahasan dalam penelitian. Pemilahan Studi literatur pada tahap ini untuk menunjang mengenai teori - teori dasar yang akan dibahas. Studi literatur didapatkan dari pencarian pada sumber referensi yang dapat berupa buku, paper, intemet, dan lain-lain yang mendukung penelitian ini. Tutorial software yang digunakan juga merupakan referensi untuk studi literature. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai kapal terkait yang meliputi dimensi kapal, daya main engine dan propeller. Data yang dimaksud adalah data dari kapal perintis yang sudah beroperasi Pada tahapan ini diharapkan sudah mendapatkan data data inputan dari KM. Sabuk Nusantara 99 seperti : Tahanan total (R_T), D sarat kosong, Va. (speed of advance), w (wake fraction), t (trust deduction factor), h (jarak center poros ke sarat).

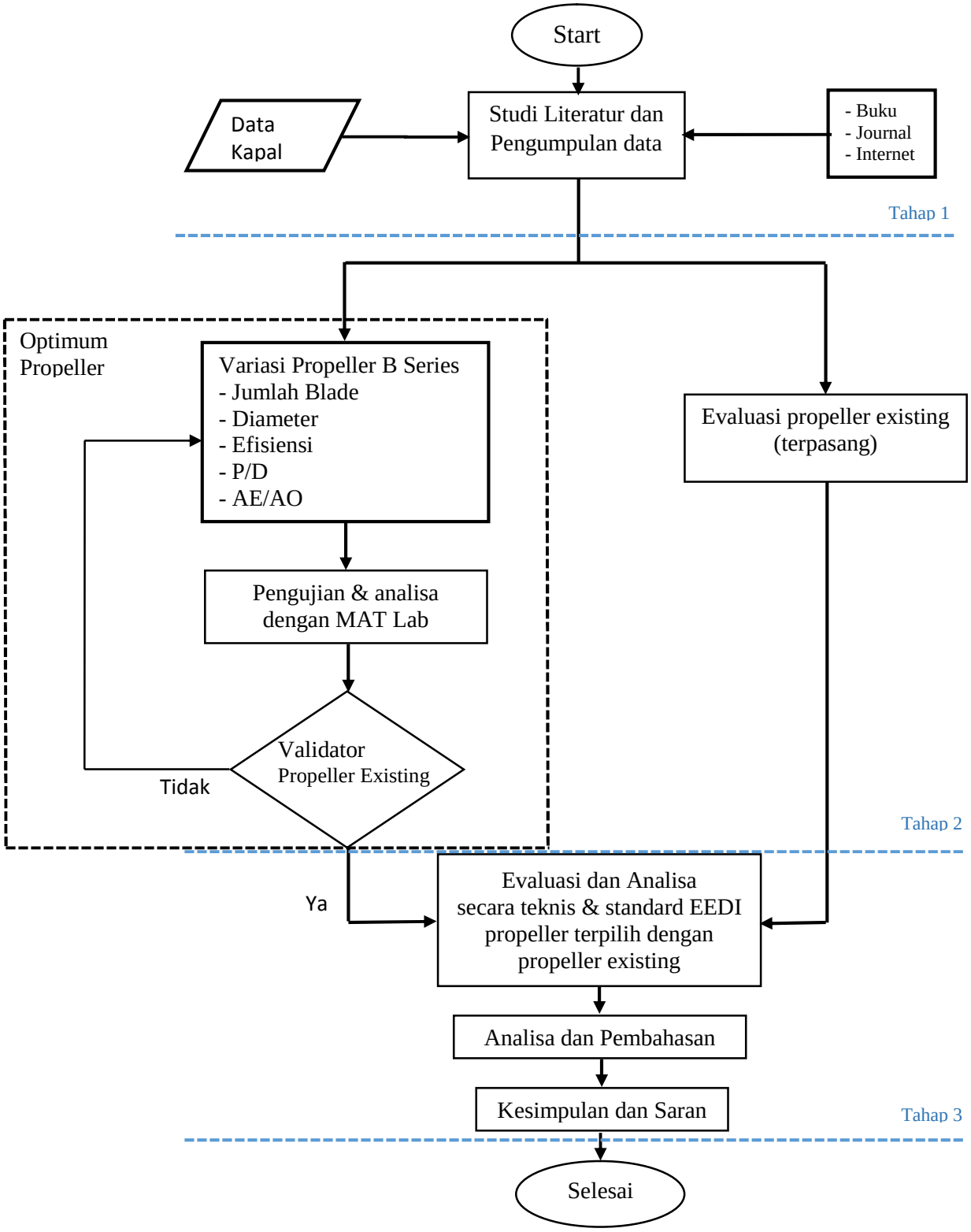
3.1.2 Tahap 2

Pada tahap ini mulai membuat penurunan rumusan algoritma desain optimum propeller B Series untuk dilakukan pengujian di MAT Lab. Penurunan rumusan algoritma tentu mengacu dari rumusan propeller Wageningen B Series, Diagram Burril dan rumusan lain yang berhubungan dengan perhitungan desain optimum propeller. Selain itu juga mengadopsi rumus tugas mata kuliah desain 1,2,3,4 dari tugas mata kuliah tahap sarjana (S1). Pada tahapan ini sudah mendapatkan penurunan rumus batasan kavitasi, K_{Tload} kapal , batasan angka Reynold number untuk diinputkan ke program analisis MAT Lab . Pembuatan program analisis sudah mulai dilakukan dengan memperhatikan batasan batasan yang disyaratkan, serta memasukkan penurunan rumusan K_{Tload} , $K_{Topenwater}$, $K_{Oopenwater}$, batasan kavitasi, batasan angka Reynold number hingga program analisis optimum propeller dapat dijalankan. Pembuatan desain program analisis optimum propeller diharapkan dapat menghasilkan pemilihan type propeller yang kompatible dengan kapal terkait yang mencakup daya mesin induk dan trust propeller dan kebutuhan trustt kapal. Adapun parameter parameter program yang diperlukan adalah semua variable yang berhubungan dengan program tersebut. Selanjutnya menganalisa type propeller existing dengan program analisis optimum propeller untuk mendapatkan nilai efisiensi yang digunakan sebagai validator dalam pemilihan desain optimum propeller. Hasil analisa tersebut akan menjadi acuan validasi. Validasi dilakukan pada hasil analisa desain optimum propeller dengan membandingkan hasil analisa propeller existing. Validasi perlu dilakukan karena untuk mendapatkan hasil analisa yang nilai efisiensi propeller lebih baik dari propeller existing. Melakukan analisa desain propeller dari blade 2 sampai blade 7 dengan menvariasikan P/D serta AE/AO untuk mendapatkan type propeller yang optimal yang hasilnya di validasi dengan propeller existing. Hasil analisa akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Pada tahap ini sudah mendapatkan desain type propeller yang optimal untuk digunakan sebagai data pada analisa selanjutnya.

3.1.3 Tahap 3

Pada tahap ini dilaksanakan pembahasan dan evaluasi data yang diperoleh dari pengujian dengan program analisis optimum propeller yang menngunakan aplikasi MAT Lab . Pengolahan hasil analisa dari program analisis optimum propeller berorientasi pada analisa secara teknis dan standard Energy Efficiency Design Index (EEDI). Analisa secara teknis mengevaluasi hasil analisa propeller existing dengan hasil analisa optimum propeller dengan mempertimbangkan dari sisi ekonomisnya. Selain itu juga mempertimbangkan pengaruhnya terhadap kelangsungan operasional kapal terkait . Adapun analisa secara standard EEDI berkorelasi dengan penghematan bahan bakar kapal dalam hubungan emisi CO_2 / ton-mile jika propeller menggunakan desain yang baru. Hal ini di harapkan dapat menurunkan standard EEDI emisi CO_2 kapal terkait. Singkatnya Energy Efisiensi Desain Index menjadi standard teknis untuk kapal baru. Adapun hasil analisa akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik . Akhirnya hasil analisa dan evaluasi dari penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan atau bahan pertimbangan pada pemilik kapal untuk menggunakan desain propeller hasil analisa bagi KM. Sabuk Nusantara 99. Selanjutnya adalah membuat kesimpulan dan laporan serta evaluasi juga saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian lebih lanjut.

3.2 Diagram Alir Pengerjaan



Gambar 3.1 Flow Chart penyelesaian Tesis

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penurunan Rumus Algoritma K_T Propeller

Di dalam buku "Wageningen B-Series Propeller" (Bernitsas,1981) Rumusan propeller pada open water secara konvensional dipresentasikan dalam bentuk Koefisien Trust (K_T) dan Koeifisien Torsi (K_Q) . Hubungan tahanan dan gaya dorong terhadap kecepatan dalam menentukan daya yang diperlukan, mengunakan diagram open water test propeller dalam bentuk nondimensi. Koefisien-koefisien non-dimensi propeler yang dimaksud adalah *koefisient thrust* (K_T), *koefisient torque* (K_Q) dan *koefisient advance* (J). (G Kuiper, The Wageningen Propeller Series, Marin, Netherlands 1992).

Dari rumus

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

dan

$$J = \frac{V_a}{nD} \qquad \text{di rotasi menjadi} \quad D = \frac{V_a}{n\ J}$$

Karena dalam kasus ini Mesin Utama dan Gear box sudah terinstal maka *putaran propeller (n)* sudah di *dapatkan* yaitu 573 rpm, sehingga dari rumusan di atas dapat diturunkan sebagai berikut.

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \qquad \text{kemudian } D^4 \text{ di pindah ke sisi kiri menjadi}$$

$$K_T D^4 = \frac{T}{\rho n^2} \qquad \text{dimana} \qquad D^4 = \frac{V_a{}^4}{n^4 J^4}$$

Dari persamaan tersebut selanjutnya disubtitusikan menjadi rumusan berikut

$$\frac{K_T x V_a{}^4}{n^4 J^4} = \frac{T}{\rho n^2} \qquad \text{karena} \quad T = \frac{R_T}{(1-t)}, \text{ dan } V_a = V_s(1\text{-}w)$$

Maka T dan V_a disubtitusikan, sehingga didapatkan rumusan akhir adalah

$$K_T = \frac{R_T n^2}{\circ (1-t) Vs^4 (1-w)^4} J^4$$

Dari persamaan rumus ini dapat di artikan hubungan tahanan kapal dan kecepatan kapal bisa diimplementasikan ke dalam bentuk hubungan pangkat 4 antara K_T dan J. Karena persamaan ini yang digunakan untuk analisa dengan memasukkan besar Tahanan Total kapal yang sudah beroperasi maka disebut K_{Tload}

$$K_{Tload} = \frac{R_T n^2}{\circ (1-t) Vs^4 (1-w)^4} J^4 \qquad (4.1)$$

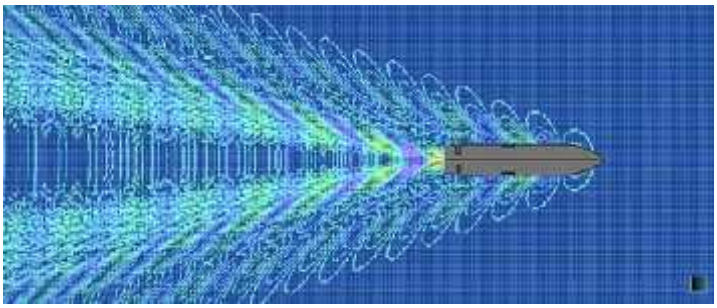
Dari turunan persamaan (4.1) maka selanjutnya mencari nilai nilai dari Tahanan Total (R_T), wake fraction atau arus ikut (w) , trust deduction factor (t) , Vs sudah didapatkan 12 knot, putaran propeller sudah didapatkan 573 rpm.

Pemilihan propeller pada penelitian sistem propulsi diorientasikan pada tipe propeller Waganigen B – series dengan diameter dan jumlah daun propeller berdasarkan perhitungan dan analisis program optimum propeller .

4.1.1 Tahanan Total Kapal

Untuk menghitung tahanan kapal dalam hal ini metode yang digunakan adalah metode Holtrop dengan memvariasikan kecepatan kapal dari 0 knots sampai 15 knots. Perhitungan tahanan pada metode Holtrop merupakan perhitungan tahanan yang memformulasikan pendekatan secara matematis. Dengan menggunakan metode Holtrop dalam menghitung tahanan maka software yang di pakai software perkapalan maxsuft dengan versi akademik. Dari data desain kapal yang telah di rancang selanjutnya dilakukan proses perhitungan untuk mendapatkan Tahanan total kapal dengan menggunakan aplikasi software maxsurf. Hasil analisa dari aplikasi software maxsurt tersebut dapat memberikan argumen sebagai bahan untuk dilakukan analisa selanjutnya.

Penggunaan software aplikasi maxsurf dapat memberikan gambaran mengenai distribusi fluida yang terjadi pada kapal dengan kondisi serta pada variasi kecepatan yang diinginkan seperti yang tampak pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Perspektif Visual Tahanan Kapal

Setelah di lakukan analisa dengan software maxsurf dengan gambaran perspektif seperti pada gambar di atas dari desain KM Sabuk Nusantara 99 diperoleh tahanan kapal sebagai berikut :

Tabel 4.1 Besar Tahanan Total Kapal pada Variasi Kecepatan

Speed (Knots)	Froud Number (LWL)	Froud Number (Vol.)	Holtrop Resist. (kN)
6	0.127	0.287	14.6
6.375	0.135	0.305	16.3
6.75	0.143	0.323	18.2
7.125	0.151	0.341	20.2
7.5	0.158	0.359	22.3
7.875	0.166	0.377	24.6
8.25	0.174	0.395	27
8.625	0.182	0.413	29.8
9	0.19	0.431	32.8
9.375	0.198	0.449	36.1
9.75	0.206	0.467	39.9
10.125	0.214	0.485	44
10.5	0.222	0.503	48.7
10.875	0.23	0.521	54
11.25	0.238	0.539	60.1
11.625	0.246	0.557	66.9
12	**0.253**	**0.575**	**74.1**
12.375	0.261	0.592	81.5
12.75	0.269	0.61	89.8
13.125	0.277	0.628	99.7
13.5	0.285	0.646	112.5
13.875	0.293	0.664	128.4
14.25	0.301	0.682	147.1
14.625	0.309	0.7	167.2
15	0.317	0.718	186.8

Dari hasil analisa dengan aplikasi software Maxsurf didapatkan Tahanan Total KM Sabuk Nusantara 99 pada kecepatan 12 knot adalah :

R_T = 74.1 kN.

Besar Tahanan Total ini masih pada nilai tahanan kapal di kondisi ideal. Dengan alasan kapal beroperasi pada daerah Asia maka perlu ada penambahan besar tahanan dengan sea margin sekitar 15 % - 20 % untuk daerah pelayaran kapal di Asia Timur . Wilayah operasi kapal dalam kasus ini adalah dari Jawa Timur (Surabaya) sampai Kalimantan Selatan (Kota Baru).

R_T = 15% 74.1 + 74.1 kN

= 11.115 + 74.1 kN

= 85.215 kN

Besar tahanan inilah yang selanjutnya digunakan umtuk melakukan penelitian propeller B – Series melalui pendekatan metode Polynomial dengan program analisis optimum propeller pada aplikasi MATLab .

4.1.2 Wake Factor (w)

Arus ikut (wake fraction) adalah perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan aliran air yang menuju ke propeller. Menurut rumus Heckscher dari buku “Ship Design fo Efficiency and Economy” (H. Schneekluth dan V. Bertram, 1987) untuk kapal yang menggunakan baling baling ganda atau twin screw adalah

W = 0.70 Cp - 0.30

Cp = koefisien perismatik

Rumusan ini di gunakan untuk kapal cargo atau penumpang dengan koefisien block (Cb) $0.54 \leq Cb \leq 0.84$

Dari hasil Hydrostatics Preliminary Stability kapal KM Sabuk Nusantara 99 didapatkan data seperti tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Koefisien Perismatik & Koefisien Blok

Draft Amidshis m	Displacement t	Wetted Area m^2	Waterpl. Area m^2	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	KG m	Immersion (TPc) tonne/cm
1,200	493,6	560,026	506,904	0,707	0,607	4,000	5,196
1,250	519,7	567,333	510,127	0,710	0,613	4,000	5,229
1,300	545,9	574,462	513,070	0,712	0,619	4,000	5,259
1,350	572,3	581,446	515,801	0,714	0,624	4,000	5,287
1,400	598,8	588,844	518,927	0,716	0,629	4,000	5,319
1,450	625,5	596,110	521,897	0,719	0,634	4,000	5,349
1,500	652,3	603,210	524,653	0,721	0,639	4,000	5,378
1,550	679,2	610,174	527,227	0,723	0,643	4,000	5,404
1,600	706,3	616,985	529,607	0,725	0,648	4,000	5,428
1,650	733,6	624,324	532,716	0,727	0,652	4,000	5,460
1,700	760,9	631,497	535,466	0,729	0,656	4,000	5,489
1,750	788,4	638,450	537,952	0,731	0,660	4,000	5,514
1,800	816,1	645,276	540,282	0,733	0,663	4,000	5,538
1,850	843,8	652,660	543,166	0,734	0,667	4,000	5,567
1,900	871,7	660,024	545,916	0,736	0,670	4,000	5,596
1,950	899,8	667,084	548,432	0,738	0,674	4,000	5,621
2,000	928,0	674,037	550,771	0,740	0,677	4,000	5,645
2,050	956,3	681,267	553,531	0,742	0,680	4,000	5,674
2,100	984,7	688,563	556,308	0,744	0,683	4,000	5,702
2,150	1013	695,696	558,866	0,745	0,686	4,000	5,728
2,200	1042	702,812	561,383	0,747	0,689	4,000	5,754
2,250	1071	710,348	564,355	0,749	0,692	4,000	5,785
2,300	1100	717,705	567,129	0,749	0,694	4,000	5,813
2,350	1129	724,885	569,752	0,748	0,694	4,000	5,840
2,400	1158	732,608	572,891	0,747	0,694	4,000	5,872
2,450	1188	740,306	575,959	0,746	0,694	4,000	5,904
2,500	1217	748,351	579,331	0,744	0,694	4,000	5,938
2,550	1247	756,339	582,674	0,743	0,693	4,000	5,972
2,600	1277	764,605	586,277	0,740	0,692	4,000	6,009
2,650	1307	773,024	589,956	0,738	0,690	4,000	6,047
2,700	**1338**	**781,728**	**593,963**	**0,734**	**0,688**	**4,000**	**6,088**
2,750	1368	791,438	598,579	0,728	0,683	4,000	6,135
2,800	1399	801,532	603,936	0,718	0,675	4,000	6,190

(Sumber : Preliminary Stability, SN 99)

Dari pembacaan tabel di atas di dapatkan koefisien perismatik (Cp) adalah 0.734 dan koefisien block (Cb) adalah 0.688. Dengan koefisien block 0.688 sudah memenuhi persyaratan dari rumus Heckscher $0.54 \leq Cb \leq 0.84$.

Maka wake factor dapat di rumuskan :

$w = 0.70\ Cp - 0.30$

$= 0.70x(0.734) - 0.30$

$=$ **0.214**

4.1.3 Trust deduction Factor (t)

Deduksi gaya dorong (*thrust deduction*) adalah merupakan bagian akibat adanya perbedaan tekanan antara haluan dengan buritan kapal. Menurut rumus dari Heckscher dari buku "Ship Design fo Efficiency and Economy" (H. Schneekluth dan V. Bertram, 1987) untuk kapal yang menggunakan baling baling ganda atau twin screw :

t = 0.5 Cp - 0.18

= 0.5x (0.734) – 0.18

= **0.187**

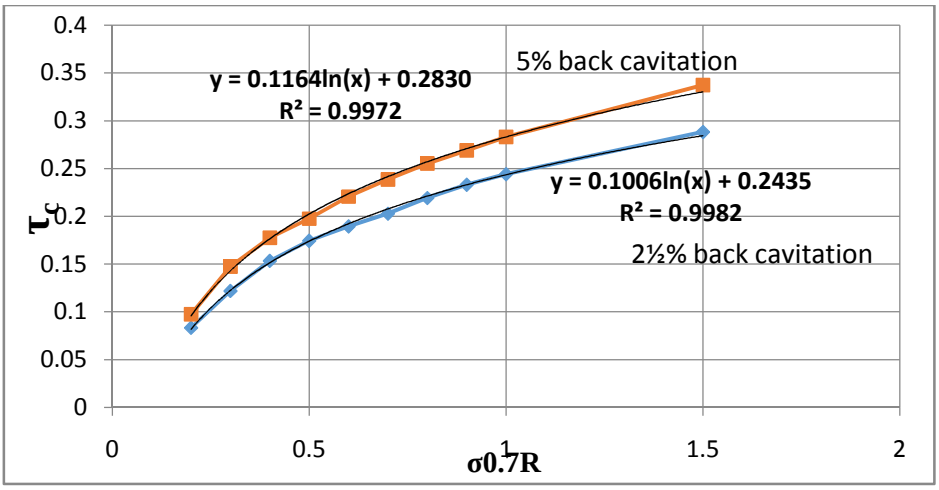
4.2 Penurunan Rumus Batasan Kavitasi

Di dalam buku "Prinpciples of Naval Architecture" (E. V. Lewis, 1988) pada Burril diagram terdapat garis grafik batasan kavitasi (suggested upper limit for merchant ship propeller). Garis grafik (suggested upper limit for merchant ship propeller) inilah yang di gunakan sebagai batasan analisa pemilihan optimum propeller B Series agar tidak terjadi kavitasi. Langkah pertama untuk dapat menurunkan rumus batasan kavitasi adalah dengan melakukan penurunan persamaan pada Burril diagram di batasan 2.5 % dan 5 % kavitasi daun propeller bagian belakang. Hal ini dilakukan dengan mencari nilai nilai pada sumbu X (0.7R) pada grafik tersebut. Nilai 0,7R ini selanjutnya digunakan untuk pembacaan pada diagram Burril's pada sumbu Y guna mencari besar nilai τc pada garis grafik yang dimaksud. Cara untuk membaca diagram Burril adalah dengan menentukan nilai dari 0,7R pada sumbu X lalu ditarik garis vertikal ke atas sampai memotong garis *2½% back cavitation* dan *5% back cavitaion*. Dari perpotongan tersebut, ditarik garis horizontal ke kiri untuk mendapatkan nilai τc pada sumbu Y. Langkah tersebut di ulang ulang dengan menentukan nilai 0,7R terlebih dahulu hingga mendapatkan data seperti pada table 4.3 di bawah .

Tabel 4.3 Nilai $\pm 0.7R$ dan τc pada 2½% & 5% Back Cavitation

$\pm 0.7R$	2½% back cavitation	5% back cavitaion
	τc	τc
0.2	0.0835	0.0975
0.3	0.122	0.1475
0.4	0.1535	0.1775
0.5	0.1745	0.1975
0.6	0.1895	0.2206
0.7	0.2028	0.2385
0.8	0.2193	0.2553
0.9	0.2332	0.2689
1	0.2442	0.2830
1.5	0.2883	0.3373

Selanjutnya dari nilai 0,7R dan τc pada tabel tersebut di aplikasikan pada kurva yang hasilnya seperti pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Kurva 2½% & 5% Back Cavitation

Berdasar pada hasil pembacaan kurva pada gambar 4.2 maka di dapatkan persamaan rumus pada

a) Kondisi batasan 2½ % kavitasi daun propeller bagian belakang

$$^{2}_{c} = 0.1006x \ln(\pm 0.7R) + 0.2435$$

R² = 0.9982 dengan tingkat keakuratannya 99,82%

b) Kondisi batasan 5% kavitasi daun propeller bagian belakang

$^{2}_{c} = 0.1164x\ln(\pm 0.7R) + 0.2830$

$R^2 = 0.9972$ dengan tingkat keakuratannya 99,72%

Dengan menggunakan langkah dan proses yang sama selanjutnya mencari penurunan persamaan untuk garis putus putus batasan kavitasi (suggested upper limit for merchant ship propeller) pada diagram Burril yang akhirnya di dapatkan persamaan seperti pada sub c

c) Batasan kavitasi (suggested upper limit for merchant ship propeller)

$^{2}_{c} = 0.1079x\log(\pm 0.7R) + 0.2708$ (4.2)

Persamaan rumusan inilah yang selanjutnya digunakan untuk batasan kavitasi dalam analisa pemilihan optimum propeller B Series dengan MATLab.

Dari diagram Burril (Prinpciples of Naval Architecture .,E.V.Lewis, 1988) di dapatkan rumus sebagai berikut :

$$Tc = \frac{T}{Ap \times 0{,}5 \times \rho \times (Vr)^2}$$

dan rumus hasil penurunan pendekatan batasan kavitasi

$^{2}_{c} = 0.1079x\log(\pm 0.7R) + 0.2708$

Dari kedua rumus Tc dan τc ini langkah selanjutnya adalah melakukan perbandingan antara Tc dengan. τ_C. Apabila Tc < τc, maka dapat dikatakan propeller tersebut tidak terjadi kavitasi.

Adapun langkah langkah penurunan persamaan batasan untuk tidak terjadi kavitasi sebagai berikut :

$Tc \leq {}^{2}_{c}$

$$\frac{T}{Apx0.5x\rho x(V_r^{\,2})} \leq {}^{2}_{c}$$

dimana

$$Ap = (1.067 - 0.229x\frac{P}{D})xAd$$

Selanjutnya Ap disubtitusikan sehingga menjadi

$$\frac{T}{(1.067-0.229\frac{P}{D})xAdx0.5x°xV_r^2} \leq {}^2{}_c$$

Kemudian dirotasikan menjadi

$$(1.067-0.229\frac{P}{D})xAd \leq \frac{T}{{}^2{}_c x0.5x°xV_r^2}$$

Dari rumus

$$Tc=\frac{T}{Ap\times 0{,}5\times °\times (Vr)^2}$$

maka didapat

$$Ap=\frac{T}{\mathrm{T}_c x0.5x°xV_r{}^2}$$

Sehingga diperoleh persamaan menjadi

$$(1.067-0.229\frac{P}{D})xAd \leq \text{ Ap}$$

$$\frac{1.067-(\frac{Ap}{Ad.})}{0.229} \leq \frac{P}{D}$$

$$\frac{P}{D_{\max}}=\frac{1.067-(\frac{Ap}{Ad.})}{0.229} \qquad (4.3))$$

Persaman P/D_{max} inilah yang selanjutnya digunakan sebagai batasan kavitasi pada masing masing nilai koefisien maju / *advance koefisien* (J) program analisis optimum propeller pada aplikasi MATLab.

Dari persamaan (4.3) kemudian menformulasikan rumus Ap dan Ad ke dalam fungsi J (koefisien maju). Dari diagram Burril (Prinpciples of Naval Architecture .,Lewis, 1988) di dapatkan rumus sebagai berikut :

$$Ap = \frac{T}{\mathrm{T}cx0.5x°xV_r^{\,2}}$$

Dimana

$$V_r^{\,2} = V_a^{\,2} + (0.7®nD)^2$$
$$V_r^{\,2} = V_a^{\,2} + 4.84n^2D^2$$

karena ,

$$nD = \frac{V_a}{J}$$

maka

$$n^2D^2 = \frac{V_a^{\,2}}{J^2}$$

Persamaan selanjutnya diformulasikan ke fungsi J ,

$$V_r^{\,2} = V_a^{\,2} + \frac{4.84xV_a^{\,2}}{J^2}$$

Sehingga,

$$Ap = \frac{T}{²_c x0.5x°x(V_a^{\,2} + \frac{4.84xV_a^{\,2}}{J^2})} \qquad (4.4)$$

τc adalah hasil persamaan penurunan pendekatan batasan kavitasi

$$²_c = 0.1079x\log(\pm 0.7R) + 0.2708$$

Langkah berikutnya adalah menformulasikan $\pm 0.7R$ ke dalam fungsi J (koefisien maju). Dari diagram Burril (Prinpciples of Naval Architecture .,Lewis, 1988) di dapatkan rumus sebagai berikut

$$\pm 0.7R = \frac{188.2 + 19.62h}{V_a^{\,2} + (4.836n^2D^2)}$$

Dimana

$$n^2 D^2 = \frac{V_a{}^2}{J^2}$$

Persamaan selanjutnya diformulasikan ke fungsi J :

$$\pm 0.7R = \frac{188.2 + 19.62h}{V_a{}^2 + (\frac{4.836 x V_a{}^2}{J^2})} \qquad (4.5)$$

Kemudian berikutnya adalah menformulasikan rumus Ad ke dalam fungsi J (koefisien maju).

$$Ad = \frac{A_E}{A_0} A_o \qquad (4.6)$$

$$A_o = 0.25 x ® x D^2$$

$$D = \frac{V_a}{n\ J}$$

$$D^2 = \frac{V_a{}^2}{n^2 J^2}$$

Persamaan selanjutnya diformulasikan ke fungsi J :

$$Ad = \frac{A_E}{A_0} 0.25 x ® x \frac{V_a^2}{n^2 J^2} \qquad (4.7)$$

Ketrangan:

Ap = Projected area of blade

ρ = Massa jenis air laut (1.025 kg/m^3)

n = Putaran propeller (573 rpm)

Va = Kecepatan air masuk ke propleller (4.84 m/s)

D = Diameter propeller

A_0 = Luasan optimum dari propeller

h = Jarak center poros dengan sarat

A_E/A_0 = Rasio luas daun propeller

P/D = Pitch Ratio

T = Gaya Dorong/Trust

Ad = Developed area of blade

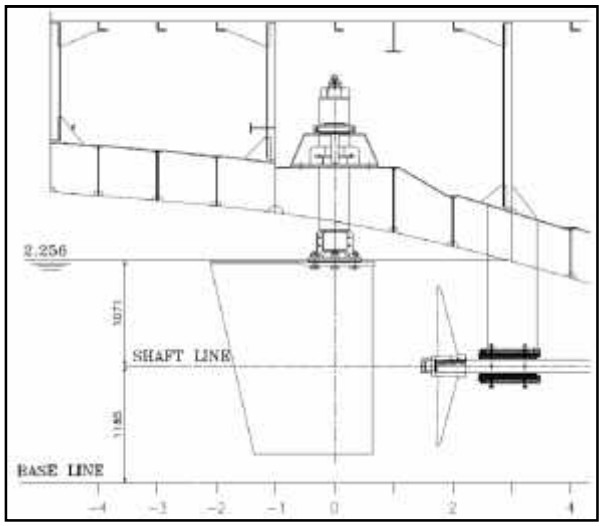
Vr = Relative velocity

J = Advance koefisien

4.2.1 Jarak center poros dengan sarat. (h)

Jarak yang dimaksud adalah jarak antara center poros dengan titik sarat pada kondisi kapal kosong tidak bermuatan. Berdasarkan dokumen Preliminary Stability pada tabel 4.4 di dapatkan sarat saat kapal tidak bermuatan atau kosong adalah 2.256 m.

Dari gambar desain KM Sabuk Nusantara 99 di peroleh jarak antara base line dengan center poros proppeller adalah 1.185 m sehingga di peroleh jarak center poros ke sarat (h) saat kapal bermuatan kosong adalah 1.071 m.



Gambar 4.3 Kapal pada sarat kosong
(Sumber : Desain gambar, SN 99)

Dari penjelasan gambar di atas maka dapat diperoleh juga diameter maksimum propeller (Dmax) adalah 1.071 x 2 = 2.14 m

Tabel 4.4 Tabel Muatan

Condition	Value	Units	Muatan penuh penumpang & barang siap berangkat	Muatan penuh penumpang & barang tiba ditempat	Muatan penuh penumpang tanpa barang siap berangkat	Muatan penuh penumpang tanpa barang tiba ditempat	Ballast conditin siap berangkat	Ballast conditin tiba ditempat	Lightships
Fresh Water		ton	181.465	18.517	181.465	18.517	185.169	18.517	0
Fuel Oil		ton	133	13.668	133.95	13.668	133.95	13.668	0
Fuel Oil Daily		ton	3.7	0.384	3.756	0.384	3.756	0.384	0
Lubricating Oil		ton	1.2	0.124	1.206	0.124	1.206	0.124	0
Water Ballast		ton	0	82.295	44.85	44.85	44.851	44.851	0
FPT		ton	0	15.795	28.718	28.718	28.144	28.718	0
Cargo		ton	198.589	198.589	0	0	0	0	0
Passanger (Penumpang)		ton	4	40	40	40	0	0	0
Lightships (LWT)		ton	74	741.2	741.2	741.2	741.2	741.2	741.2
Displacement		ton	1324.06	1138.284	1199	915.174	1162.176	875.174	741.2
LCG		m	28.	28.744	26.114	26.117	25.794	25.676	23.797
VCG/KG		m	4.3	5.847	3.612	5.462	3.599	5.541	4.88
Draft Ap		**m**	**2.6**	**2.256**	**2.982**	**2.551**	**2.995**	**2.571**	**2.646**
Draft Fp		m	2.6	1.71	1.843	1.325	1.690	1.150	0.546
Draft Amidship		m	2.6	2.373	2.413	1.938	2.343	1.861	1.596
Draft LCF		m	2.6	2.366	2.488	1.992	2.431	1.926	1.712
Trim by Stern		m	0.0	-0.233	1.14	1.226	1.306	1.421	2.101
TPC		Ton/cm	6.0	5.816	6.251	5.834	6.245	5.824	5.788
MTC		Ton.m	22.	19.381	24.684	19.851	24.631	19.782	19.671
Kriteria B/D > 2.5 Angle of maximum GZ	15.0	deg	38.	24.5	40.9	24.5	41.8	23.6	25.5

(Sumber: Preliminary Stability, SN 99)

4.3 Batasan Reynold Number $K_{Topenwater}$ & $K_{Qopenwater}$

Dalam buku *" KT, KQ and Efficiency Curves fo The Wageningen B-Series Propeelrs"* (M.M. Bernitsas, 1981), dijelaskan untuk menggunakan rumus polynomial dari K_T dan K_Q ada batasan mengenai nilai dari Reynold Number. Jika nilai Reynold Number kurang dari 2.000.000 maka menggunakan rumus seperti di bawah :

$$K_T = \sum_{s,t,u,v} C^T_{s,t,u,v}.(J)^s.(P/D)^t.(A_E/A_o)^u.(Z)^v$$

$$K_Q = \sum_{s,t,u,v} C^Q_{s,t,u,v}.(J)^s.(P/D)^t.(A_E/A_o)^u.(Z)^v$$

Apabila nilai Reynold Number lebih dari 2.000.000 maka ada penambahan faktor koreksi Delta K_T dan Delta K_Q. Sehingga di diperlukan formula Reynold Number sebagai instrumen verifikasi nilai Reynold Number pada rumus Polynomial dari K_T dan K_Q. Formula Reynold Number ini tentu yang berkaitan dengan parameter parameter program analisis optimum propeller.

Dalam buku Harvald Sv. Aa, "*Resistance and Propulsion of ships*" ,(1983) rumusan untuk Reynold Number (Rn) yang ada keterkaitan dengan program analisis propeller adalah sebagai berikut

$$R_n = 5.3\frac{A_E/A_0}{Z}\frac{nD^2}{3}$$

dimana

$$D = \frac{V_a}{nJ}$$

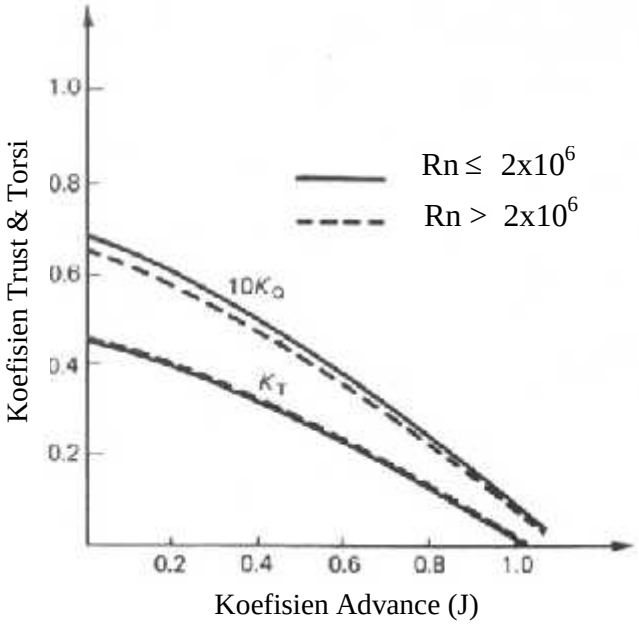
$$D^2 = \frac{V_a{}^2}{n^2J^2}$$

Rumus D^2 selanjutnya disubtitusikan pada rumus Reynold Number dan diformulasikan ke fungsi J menjadi

$$R_n = 5.3 \frac{A_E / A_0}{Z} \frac{nx \frac{Va^2}{n^2 J^2}}{3}$$

$$R_n = 5.3 \frac{A_E / A_0}{Z} \frac{\frac{Va^2}{nJ^2}}{3} \qquad (4.8)$$

Dari American Bureau of Shipping (ABS) Technical Papers (Sing Kwan Lee,2006) gambar 4.4 , dijelaskan *Koefisien Trust* akan bertambah jika Reynold Number di atas 2 x 10^6, sebaliknya Koefisien *Torsi* akan turun jika Reynold Number di atas 2 x 10^6. Dari penjelasan ini maka verifikasi Reynold Number dalam kaitannya dengan analisa propeller harus dikoreksi secara baik. Hal ini karena berhubungan dengan nilai koefisien trust dan koefisien torsi pada type propeller B Series yang dianalisa.



Gambar 4.4 Grafik K_T , K_Q ,& Rn
(Sumber : ABS Technical Papers, 2006)

Keterangan

υ = Viskositas kinematic

= 0.00000118831 m^2/det

n = Putaran propeller (573 rpm)

D = Diameter propeller

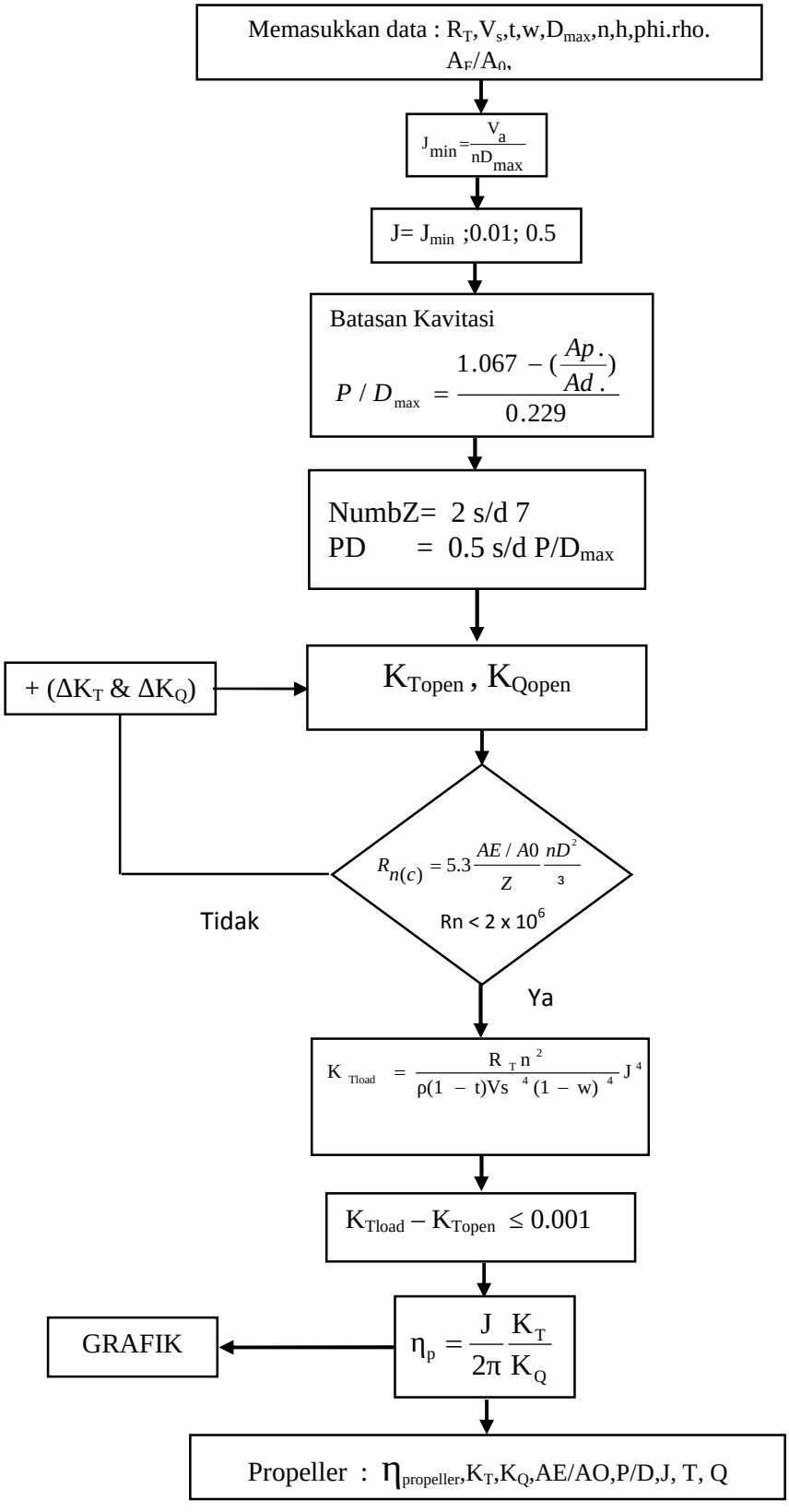
Z = Jumlah daun propeller

A_E/A_O = Rasio luas daun propeller

Va = Kecepatan air masuk ke propleller (4.84 m/s)

J = Koefisien maju/Koefisien Advance

4.4 Diagram Alir Analisa Propeller.



Gambar 4.5 Flow Chart Analisa Propeller

Langkah langkah analisa propeller

a.) Memasukkan data kapal seperti berikut:

- Vs = 12 knot
- w = 0.214 (wake fraction)
- t = 0.187 (thrust deduction factor)
- Dmax = 2.14 m (diameter sarat kosong)
- n = 573 rpm (Putaran Propeller)
- h = 1.071 m (jarak center poros dengan sarat kosong)
- Phi = 22/7
- Rho = 1.025 ton/m^3 (massa jenis air laut)
- R_T = 85.215 kN (tahanan total)

Langkah pertama dalam program analisis optimum propeller dengan menginputkan data tersebut di atas pada program analisis optimum propeller dalam kasus ini menggunakan aplikasi MATLab dimana Jmin = Va/ (n x Dmax). Jmin adalah fungsi dari batasan diameter maksimal propeller pada saat kapal tanpa muatan. Hal tersebut dikarenakan propeller harus tercelup untuk menghindari propeller timbul ke permukaan.

b.) Mencari P/D max

Dalam penentuan P/D maksimal adalah batasan terhadap kavitasi propeller pada masing masing AEAO, dengan mencari nilai P/Dmax pada masing – masing J, sesuai dengan rumusan telah diformulasikan ke fungsi J. Nilai P/D maksimal dipengaruhi oleh nelai Ap. Sedang nilai Ap dipengaruhi oleh Trust. Karena kapal menggunakan baling baling ganda maka nilai Trust di bagi dua.

c.) Mencari nilai K_{Topen} dan K_{Qopen}

Memasukkan Z, AE/AO, dan P/D pada rumus polynomial untuk mencari nilai dari K_{Topen} dan K_{Qopen} pada masing masing J. Adapun nilai K_{Topen} dan K_{Qopen} di koreksi dengan formula Reynold Number (Rn) yang berhubungan dengan parameter parameter terkait. Jika nilai Reynold Number lebih dari 2.000.000 maka ada penambahan Delta K_T dan Delta K_Q pada K_{Topen} dan K_{Qopen}

d.) Mencari nilai K_{Tload}

Nilai K_{Tload} merupakan nilai pada masing masing J setelah parameter yang berkorelasi dengan rumus KT_{load} dimasukkan pada program analisis optimum propeller.

e.) Mencari titik potong K_{Topen} dan K_{Tload}

Untuk menentukan titik potong dari kedua grafik ini dengan cara menghitung selisih K_{Topen} dan K_{Tload} yang nilainya mendekati nol (0).

$$K_{TLoad} - K_{TOpen} < 0.001$$

Dengan selisih 0.001 maka titik tersebut dapat dikatakan berpotongan. Dari titik perpotongan ini dapat di ketahui nilai dari K_T. dan nilai K_Q berdasarkan nilai perpotongan antara K_{TLoad} dengan K_{Topen}

f.) Mencari efisiensi propeller.

Setelah nilai K_T dan K_Q di dapatkan maka bisa menentukan nilai efisiensi propeller berdasar nilai J pada titik perpotongan antara grafik K_{Tload} dengan grafik K_{Topen} sesuai dengan parameter pada rumus efisiensi propeller . Pada titik perpotongan ini dapat diperoleh diameter propeller yang merupakan fungsi J .

g.) Mencari *Trust* dan *Torsi* propeller.

Setelah efisiensi dan diameter propeller didapatkan selanjutnya mencari *trust* dan *torsi* propeller yang juga berpedoman pada titik perpotongan K_{Tload} dan K_{Topen} . Nilai trust dan torsi propeller dapat dihitung setelah K_T dan K_Q dapat diperoleh dari perpotongan kedua grafik tersebut.

4.4.1 Analisa Propeller Existing (terpasang).

Analisa dan evaluasi propeller existing ini perlu dilakukan karena sebagai validator untuk pemilihan desain propeller optimum pada program analisis optimum propeller yang menggunakan aplikasi MATLab. Hasil analisa propeller existing ini sebagai perbandingan atau acuan dalam memilih desain propeller optimum yang tentunya hasil desain optimum propeller harus lebih baik dari propeller existing.

Data propeller yang sudah beroperasi (terpasang) adalah :

Tabel 4.5 Data Propeller Existing

Propeller	B- Series
Jumlah daun (Z)	4
Pitch	1.000 m
Diameter	1.450 m
DAR	0.55

Berpedoman dari data propeller terpasang maka dapat di cari

Developed Area Rasio (DAR) =0.55

$$DAR = \frac{A_D}{A_0}$$

$$0.55 = \frac{A_D}{A_0}$$

$$A_D = 0.55\ A_0$$

dari rumus (4.6)

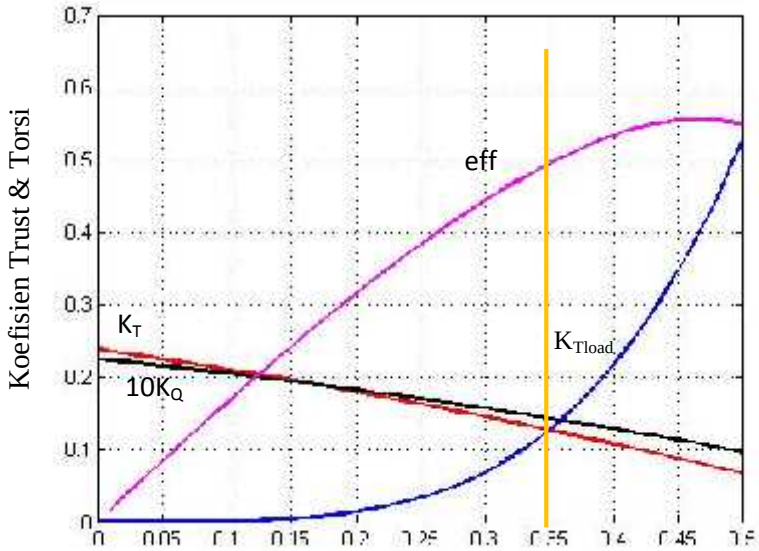
$$A_D = \frac{A_E}{A_0} A_o$$

Sehingga didapatkan

$$\frac{AE}{AO} = 0.55$$

Kemudian dari data propeller existing dengan jumlah daun (Z) = 4, AE/AO = 0.55, dimasukkan pada program analisis optimum propeller dengan software aplikasi MATLab, dimana diameter propeller existing **1.450** m.

Hasil analisa propeller existing dengan program analisis optimum propeller menggunakan aplikasi MATLab seperti pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik titik operasi propeller existing ,Z=4,AE/AO 0.55,P/D 0.579

Tabel 4.6 Data hasil analisa Propeller Existing ,Z=4,AE/AO 0.55,P/D 0.579

J	Z	D(m)	Eff	K_T	$10K_Q$
0.35	4	1.450	0.495	0.1267	0.1429

Setelah mendapatkan hasil analisa propeller existing dari program analisis optimum propeller , kemudian dilakukan verifikasi untuk memastikan bahwa data hasil analisa tersebut memenuhi dengan parameter yang sudah disyaratkan.

a.) P/D_{max} sebagai batasan untuk tidak terjadi kavitasi.

Data dari hasil analisa nilai P/D_{max} pada masing masing nilai J di dapatkan seperti pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Nilai P/D_{max} Propeller Existing.

J	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	**0.35**
D(m)	2.115	2.030	1.952	1.880	1.813	1.750	1.692	1.637	1.586	1.538	1.493	**1.450**
P/D_{max}	0.437	0.890	1.082	1.140	1.115	1.035	0.911	0.754	0.567	0.353	0.115	**0.014**

Berdasar pembacaan tabel 4.7 , pada titik perpotongan KTopen dengan KTload di J 0.35 didapatkan nilai P/D_{max} sebesar 0.014 yang mana nilai P/D propeller existing adalah 0.579 pada diameter 1.450 m. sehingga dapat disimpulkan bahwa propeller ini "**terjadi kavitasi"**.

b.) Daya Mesin Induk

Perhitungan torsi digunakan sebagai langkah untuk menghitung besar daya mesin Induk. Daya mesin induk hasil analisa harus mengacu pada daya mesin yang telah tersedia dengan asumsi daya mesin induk analisa tidak boleh lebih besar dari daya mesin induk yang sudah beroperasi. Sebagaimana yang telah di uraikan di depan daya mesin induk kapal yang sudah terinstall sebesar 1138 Hp atau 837 kW. Dari hasil analisa propeller existing didapat K_Q = 0.01429 , sehingga

$Q = K_Q \times \rho \times n^2 \times D^5$

$= 0.01429 \times 1.025 \times 9.55^2 \times 1.450^5$

$= 8.573$ kN

dimana

Q = Torsi pada propeller kondisi di belakang kapal (k.Nm)

ρ = Massa jenis air laut (1.025 kg/m^3)

K_Q = Koefisien torsi propeller

n = Putaran propeller (573 rpm/9.55 rps)

D = Diameter propeller (1.450 m)

Setelah nilai torsi diperoleh kemudian menghitung daya yang disalurkan atau (Delivered Horse Power/ DHP). Dari buku "Prinpciples of Naval Architecture ".,(E.V. Lewis, 1988) di dapatkan rumus sebagai berikut :

$DHP = 2\pi QN$

$= 2 \times 3.14 \times 8.573 \times 9.55$

$= 514.15$ kW

Nilai harga dari DHP ini adalah nilai daya pada kondisi open water, oleh karena itu nilai daya DHP harus dikondisikan pada kondisi beban operasi kapal. Pada buku " Ship Resistant and Propulsion", (JS. Carlton,2007)

dinyatakan rumus untuk DHP pada kondisi beban operasi kapal adalah sebagai berikut :

$$DHP_b = \frac{2\pi nQ}{\eta_r}$$

Dimana

η_r = Rasio perbandingan efisiensi propeller di belakang kapal dengan efisiensi propeller open water

Sedangkan nilai dari η_r dinyatakan oleh JS Carlton (2007) dengan rumus pendekatan untuk kapal yang menggunakan propeller twin screw sebagai berikut :

$\eta_r = 0.9737 + 0.111(C_p - 0.0225\ lcb) – 0.06325\ P/D.$

$0.95 \leq \eta_r \leq 1.05$

Keterangan

C_p = Koefisien perismatik (0.734).

Lcb = Longitudinal center of buoyancy.

P/D = rasio pitch-diameter (0.579)

Dari tabel 4.8 didapatkan nilai Lcb pada pada sarat 2.7 m adalah 28.078 m, sehingga didapatkan nilai $\eta_r = 0.95$

Dari rumus pendekatan di atas selanjutnya menghitung

$$DHP_b = \frac{2\pi nQ}{\eta_r}$$

= 514.15/0.95

= 541.211 kW

Dikarenakan kapal kamar mesinnya di belakang maka harga efisiensi bantalan dan tabung poros baling baling adalah 0.98, sehingga daya Shaft Horse Power (SHP) adalah

SHP = DHP_b/0.98

= 541.211/0.98

= 552.256 kW

Tabel 4.8 Nilai Lcb Pada Tinggi Draft.

Draft Amidshis m	Mid .Coeff (Cm)	Water pl area coeff (Cwp)	Lcb From zero pt .(+ve. Fwd) m	Lcf From zero pt.(+ve. Fwd) m	Vcf m	KB m
1,400	0,878	0,782	29,060	28,178	1,400	0,795
1,450	0,883	0,786	29,021	28,109	1,450	0,822
1,500	0,886	0,790	28,982	28,047	1,500	0,848
1,550	0,890	0,793	28,944	27,993	1,550	0,875
1,600	0,894	0,796	28,907	27,945	1,600	0,902
1,650	0,897	0,801	28,869	27,858	1,650	0,929
1,700	0,900	0,804	28,832	27,792	1,700	0,956
1,750	0,903	0,807	28,795	27,736	1,750	0,983
1,800	0,905	0,810	28,758	27,686	1,800	1,009
1,850	0,908	0,814	28,722	27,610	1,850	1,036
1,900	0,910	0,818	28,685	27,539	1,900	1,063
1,950	0,913	0,821	28,648	27,478	1,950	1,090
2,000	0,915	0,824	28,611	27,424	2,000	1,117
2,050	0,917	0,827	28,575	27,351	2,050	1,144
2,100	0,919	0,831	28,539	27,277	2,100	1,171
2,150	0,921	0,834	28,502	27,213	2,150	1,198
2,200	0,923	0,837	28,466	27,151	2,200	1,224
2,250	0,924	0,841	28,429	27,067	2,250	1,251
2,300	0,926	0,843	28,392	26,993	2,300	1,278
2,350	0,928	0,844	28,355	26,925	2,350	1,305
2,400	0,929	0,845	28,318	26,834	2,400	1,332
2,450	0,930	0,845	28,280	26,746	2,450	1,360
2,500	0,932	0,846	28,241	26,645	2,500	1,387
2,550	0,933	0,846	28,202	26,545	2,550	1,414
2,600	0,934	0,846	28,161	26,434	2,600	1,441
2,650	0,936	0,846	28,120	26,316	2,650	1,468
2,700	**0,937**	**0,845**	**28,078**	**26,188**	**2,700**	**1,496**
2,750	0,938	0,842	28,034	26,032	2,750	1,523
2,800	0,939	0,836	27,987	25,842	2,800	1,551

(Sumber : Preliminary Stability, SN 99)

Karena putaran mesin induk yang tinggi maka kapal menggunakan gear box dengan rasio 2.53 : 1, maka harga efisiensinya 0.98, Brake Horse Power (BHP) saat kondisi service continuous ratingnya adalah

BHPscr = SHP/0.98

= 552.256 /0.98

= 563.526 kW

Brake Horse Power (BHP) saat kondisi maximum continuous rating,

BHPmcr = BHPscr/0.85

= 563.526/0.85

= 662.972 kW

Dengan nilai BHPmcr sebesar 662.972 kW maka dapat di katakan bahwa daya mesin induk yang sudah terinstall 1138 Hp (837 kW) bisa menopang kebutuhan daya tersebut. Perlu dicatat, bahwa analisa analisa ini diasumsikan kapal pada saat desain awal atau hull kapal masih pada kondisi bersih , belum terdapat adanya fouling atau planton yang menempel pada lambung kapal yang berakibat pada penambahan nilai hambatan kapal.

c.) Trust Match Point

Perhitungan trust propeller digunakan sebagai dasar untuk mengetahui sudah terjadi matching antara trust propeller dengan trust kapal. Dari hasil analisa propeller existing didapat K_T = 0.1267 sehingga

Tpropeller = $K_T \times \rho \times n^2 \times D^4$

= $0.1267 \times 1.025 \times 9.55^2 \times 1.45^4$

= 52.408 kN

Karena kapal dalam kasus ini kapal dalam operasionalnya menggunakan baling baling ganda (twin screw), maka Tpropeller dikalikan 2 (dua) sehingga trust totalnya menjadi 104.816 kN.

dimana

T = Trust / gaya dorong (kN)

K_T = Koefisien trust propeller

ρ = Massa jenis air laut (1.025 kg/m^3)

n = Putaran propeller (573 rpm)

D = Diameter propeller (1.45 m)

Kebutuhan Trust kapal sesuai dengan rumus

$$T = \frac{R_T}{(1-t)}$$

R_T = 85.215 kN (tahanan total kapal)

t = 0.187 (trust deduction factor)

sehingga

$$\text{Tkapal} = \frac{85.215}{(1-0.187)}$$

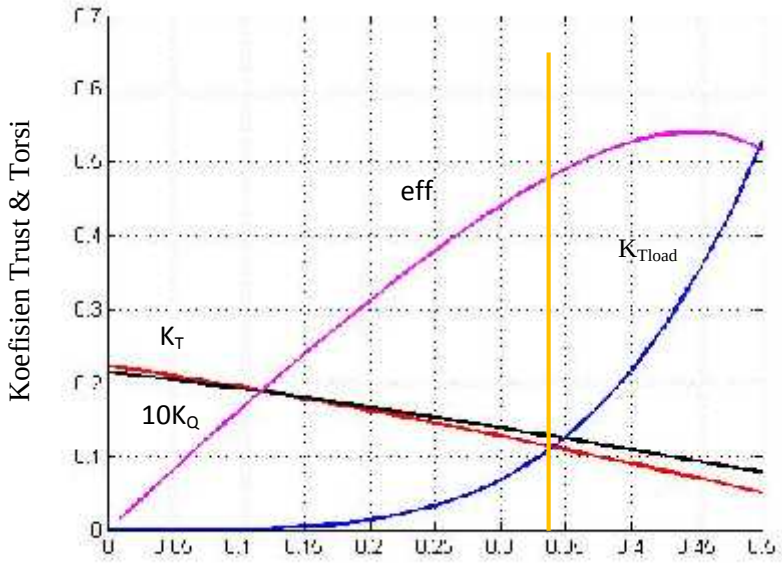
$$= 104.815 \text{ kN}$$

Dengan melihat perhitungan di atas maka dapat di simpulkan bahwa hal ini sudah terjadi matching point antara trust propeller dengan trust kapal.

4.4.2 Analisa Optimum Propeller

Setelah dilakukan berbagai analisa propeller dengan menvariasikan Jumlah daun (Z), AE/AO, dan P/D pada program analisis optimum propeller didapatkan type propeller B Series

1.) B3-.611, P/D = 0.569



Koefisien Advance (J)

Gambar 4.7 Grafik titik operasi optimum propeller ,Z=3,AE/AO 0.611,P/D 0.569

Tabel 4.9 Data hasil analisa Optimum Propeller ,Z=3,AE/AO 0.611 ,P/D 0.569

J	Z	D(m)	Eff	K_T	$10K_Q$
0.34	3	1.493	0.482	0.1128	0.1270

Data dari hasil analisa optimum propeller pada program analisis propeller , selanjutnya dilakukan verifikasi dengan tujuan agar propeller yang terpilih tersebut memenuhi dengan parameter yang sudah disyaratkan.

a.) P/D_{max} sebagai batasan untuk tidak terjadi kavitasi.

Hasil analisa nilai P/D_{max} pada masing masing nilai J di dapatkan seperti pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Nilai P/D_{max} Optimum Propeller .

J	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	**0.34**
D(m)	2.115	2.030	1.952	1.880	1.813	1.750	1.692	1.637	1.586	1.538	**1.493**
P/D_{max}	0.858	1.267	1.440	1.491	1.469	1.396	1.286	1.144	0.975	0.783	**0.569**

Pada titik perpotongan KTopen dengan KTload di J 0.34 didapatkan nilai P/D_{max} sebesar 0.569 yang mana nilai P/D optimum propeller adalah 0.569 pada diameter 1.493 m. sehingga dapat disimpulkan bahwa propeller ini **"tidak kavitasi".**

d.) Daya Mesin Induk

Perhitungan torsi digunakan sebagai langkah untuk menghitung besar daya mesin Induk. Daya mesin induk hasil analisa harus mengacu pada daya mesin yang telah tersedia dengan asumsi daya mesin induk analisa tidak boleh lebih besar dari daya mesin induk yang sudah beroperasi.. Dari hasil program analisis optimum propeller didapat $K_Q = 0.01270$, sehingga

$$Q = K_Q \times \rho \times n^2 \times D^5$$

$$= 0.01270 \times 1.025 \times 9.55^2 \times 1.493^5$$

$$= 8.810 \text{ kN}$$

dimana

Q = Torsi pada propeller kondisi di belakang kapal (k.Nm)

ρ = Massa jenis air laut (1.025 kg/m^3)

K_Q = Koefisien torsi propeller

n = Putaran propeller (573 rpm/9.55 rps)

D = Diameter propeller (1.493 m)

Setelah nilai torsi diperoleh kemudian menghitung daya yang disalurkan atau (Delivered Horse Power/ DHP). Dari buku “Prinpciples of Naval Architecture “.,(E.V. Lewis, 1988) di dapatkan rumus sebagai berikut :

DHP = 2πQN

= 2x3.14x8.810x9.55

= 528.374 kW

Nilai harga dari DHP ini adalah nilai daya pada kondisi open water, oleh karena itu nilai daya DHP harus dikondisikan pada kondisi beban operasi kapal. Pada buku “ Ship Resistant and Propulsion”, (JS. Carlton,2007) dinyatakan rumus untuk DHP pada kondisi beban operasi kapal adalah sebagai berikut :

$$DHP_b = \frac{2®nQ}{\eta_r}$$

Dimana

η_r = Rasio perbandingan efisiensi propeller dibelakang kapal dengan efisiensi propeller open water

Sedangkan nilai dari η_r dinyatakan oleh JS Carlton (2007) dengan rumus pendekatan untuk kapal yang menggunakan propeller twin screw sebagai berikut :

$\eta_r = 0.9737 + 0.111(C_p - 0.0225\ lcb) – 0.06325\ P/D.$

$0.95 \leq \eta_r \leq 1.05$

Keterangan

C_p = Koefisien perismatik (0.734).

Lcb = Longitudinal center of buoyancy.

P/D = rasio pitch-diameter (0.569)

Dari tabel 4.8 didapatkan nilai Lcb pada pada sarat 2.7 m adalah 28.078 m, sehingga didapatkan nilai $\eta_r = 0.95$

Dari rumus pendekatan di ini selanjutnya menghitung

$$DHP_b = \frac{2\pi nQ}{\eta_r}$$

= 528.374/0.95

= 556.184 kW

Dikarenakan kapal kamar mesinnya di belakang maka harga efisiensi bantalan dan tabung baling baling adalah 0.98, sehingga daya Shaft Horse Power (SHP) adalah

SHP = DHP_b/0.98

= 556.184/0.98

= 567.534 kW

Karena putaran mesin induk yang tinggi maka kapal menggunakan gear box dengan rasio 2.53 : 1, maka harga efisiensinya 0.98, Brake Horse Power (BHP) saat kondisi service continuous ratingnya adalah

BHPscr = SHP/0.98

= 567.534 /0.98

= 579.117 kW

Brake Horse Power (BHP) saat kondisi maximum continuous rating,

BHPmcr = BHPscr/0.85

= 579.117/0.85

= 681.314 kW

Dengan nilai BHPmcr sebesar 681.314 kW maka dapat di katakan bahwa daya mesin induk yang sudah terinstall 1138 Hp (837 kW) bisa menopang kebutuhan daya tersebut.

e.) Trust Match Point.

Perhitungan trust propeller digunakan sebagai dasar untuk mengetahui sudah terjadi matching antara trust propeller dengan trust kapal. Dari hasil program analisis optimum propeller didapat K_T = 0.1128 sehingga

Tpropeller = $K_T \times \rho \times n^2 \times D^4$

= $0.1128 \times 1.025 \times 9.55^2 \times 1.493^4$

= 52.407 kN

Karena kapal dalam kasus ini kapal dalam operasionalnya menggunakan baling baling ganda (twin screw), maka Tpropeller dikalikan 2 (dua) sehingga trust totalnya menjadi 104.814 kN.

dimana

T = Trust / gaya dorong (kN)

K_T = Koefisien trust propeller

ρ = Massa jenis air laut (1.025 kg/m^3)

n = Putaran propeller (573 rpm)

D = Diameter propeller (1.493 m)

Kebutuhan Trust kapal sesuai dengan rumus

$$T = \frac{R_T}{(1-t)}$$

R_T = 85.215 kN (tahanan total kapal)

t = 0.187 (trust deduction factor)

sehingga

$$\text{Tkapal} = \frac{85.215}{(1-0.187)}$$

$$= 104.815 \text{ kN}$$

Mengacu dari perhitungan di atas maka dapat di simpulkan sudah terjadi matching point antara trust propeller dengan trust kapal karena gaya dorong yang disalurkan propeller sama dengan gaya dorong yang diperlukan untuk menggerakkan kapal.

4.5 Evaluasi dan Analisa Teknis.

Berdasar dengan kajian serta hasil dari analisa propeller existing dan optimum propeller bisa memberikan argumen untuk merekomendasikan bagi pemilik kapal guna mereplace atau mengganti propeller lama dengan optimum propeller . Hal ini dikarenakan dari hasil analisa dengan program analisis optimum propeller melalui polynomial pada propeller existing terjadi “ kavitasi “.

Adapun mengenai detail data hasil analisis propeller existing dan optimum propeller seperti pada tabel di bawah.

Tabel 4.11 Hasil Analisa Propeller Existing

Propeller	B- Series
Jumlah daun (Z)	4
Diameter (D)	1.450 m
AE/A0	0.55
P/D	0.579
Efisiensi	0.495
Kondisi	Kavitasi

Tabel 4.12 Hasil Analisa Optimum Propeller

Propeller	B- Series
Jumlah daun (Z)	3
Diameter (D)	1.493 m
AE/A0	0.611
P/D	0.569
Efisiensi	0.482
Kondisi	Tidak Kavitasi

Pergantian propeller ini perlu dilakukan mengingat kapal yang menggunakan propeller kavitasi mempunyai efek yang merusak seperti efisiensi propeller akan berkurang yang berakibat menurunnya daya propulsi, menyebabkan erosi pada baling baling, dan menimbulkan getaran serta bunyi pada kapal yang nantinya akan semakin menjadi masalah yang besar. Bertolak dari alasan tersebut diharapkan dengan mengganti propeller dapat menghemat biaya operasional kapal khususnya mengenai konsumsi bahan bakar sehingga menguntungkan dari segi ekonomisnya meskipun saat mengganti propeller perlu biaya yang cukup besar.

4.6 Evaluasi dan Analisa Standard EEDI.

Dalam analisa standard Energy Efficiency Design Index (EEDI) membahas tentang pengurangan emisi CO_2 jika menggunakan optimum propeller. Hal ini sesuai dengan tujuan International Maritime Organization (IMO) untuk mengurangi dan mengendalikan emisi pada kapal guna mengatasi adanya

pemanasan global. Terjadinya perubahan iklim yang ekstrem saat ini di sebabkan meningkatnya kadar CO_2. Ini dikarenakan meningkatnya produksi CO_2 yang ditimbulkan oleh berbagai kegiatan manusia yang antara lain salah satunya sarana transportasi laut.

Sebagai langkah teknis untuk mengendalikan emisi CO_2 dari kapal, International Maritime Organisasi (IMO) telah mengembangkan Energy Efficiency Design Index (EEDI) dengan mempertimbangkan pengembangan teknis semua komponen yang memengaruhi emisi CO_2. Ini diharapkan untuk mencapai tingkat efisiensi energi minimum per mil kapasitas bagi kapal baru dengan tonase di atas 400 GT dan dibangun per 01 Januari 2013.

Untuk mencapai EEDI yang dalam standar, Energy Efficiency Design Index dinyatakan sebagai emisi CO_2 dari kapal dibagi dengan kerja transportasi yang dilakukan. Konsep dasar dari formula EEDI adalah alat pengukur efisiensi energi yang berlaku di bidang transportasi kapal dengan tujuan untuk mengukur dan mengevaluasi pengurangan emisi gas CO_2 dari kegiatan operasional di kapal (Tien Anh Tran,2016). Berdasar dari formula tersebut maka emisi CO_2 berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar kapal. Jumlah CO_2 yang di hasilkan oleh gas buang mesin induk kapal dihitung berdasarkan pemakaian konsumsi bahan bakar dengan menerapkan factor emisi bahan bakar yang digunakan.

4.6.1 EEDI Propeller Existing

Energy Efficiency Design Index (EEDI) Propeller Existing mengkalkulasikan besar emisi CO_2 dari hasil analisa besar daya Brake Horse Power mcr yang dikorelasikan dengan mesin bantu dengan bahan bakar Marine Diesel Oil.

Tabel 4.13 Spesikasi Data Mesin Induk & Mesin Bantu

Mesin Induk			
Type	=	Yanmar	
Power	=	662.972	kW
Speed	=	1450	rpm
SFOC	=	212	g/kWh
Quantity	=	2	
Fuel	=	MDO	
C_f MDO	=	3.206	gCO_2/gfuel

Mesin Bantu			
Type	=	Perkin	
Power	=	150	kW
Speed	=	1500	rpm
SFOC	=	210	g/kWh
Quantity	=	1	
Fuel	=	MDO	
C_f MDO	=	3.206	gCO_2/gfuel

Dari rumus EEDI (2.11)

$$EEDI_{attained} = \frac{P_{ME}.C_{FME}.SFC_{ME} + P_{AE}.C_{FAE}.SFC_{AE}}{f_i.DWT.V_{ref}}$$

Dimana

P_{ME} = 75% dari daya mcr
= 75 % x 662.972 kW
= 497.25 kW

C_{FME} = Faktor konversi CO2 bahan bakar mesin induk
= 3.206

SFC_{ME} = Specific fuel oil consumption mesin induk (g/kWh
= 212 g/kWh

P_{AE} = Daya mesin bantu (kW) yang dihitung :
P_{AE} = 0.05 x MCR Mesin Induk jika daya mesin induk MCR < 10,000 kW
= 0.05 x 662.972 kW
= 33.15 kW

C_{FAE} = Faktor konversi CO2 bahan bakar mesin bantu
= 3.206

SFC_{AE} = Specific fuel oil consumption mesin bantu (g/kWh)
= 210 g/kWh

fi = 1 untuk kapal yang dibangun berdasarkan Common Structural Rules

DWT = Deadweight kapal pada sarat (t)
= untuk kapal penumpang 0.9 x GT (Stopford, 1982).
= 0.9 x 1200 GT
= 1080 ton

Vref = Kecepatan kapal.(kn)
= 12 kn

Setelah nilai nilai tersebut dimasukkan pada rumus di dapatkan

$EEDI_{attained}$ propeller existing = 53.877 gCO_2/t nm

4.6.2 EEDI Optimum Propeller

Energy Effisiency Design Index (EEDI) Optimum Propeller mengkalkulasikan besar emisi CO_2 dari hasil analisa besar daya Brake Horse Power mcr yang dikorelasikan dengan mesin bantu dengan bahan bakar Marine Diesel Oil .

Tabel 4.14 Spesikasi data mesin Induk & mesin Bantu

Data Mesin Induk			
Type	=	Yanmar	
Power	=	681.314	kW
Speed	=	1450	rpm
SFOC	=	212	g/kWh
Quantity	=	2	
Fuel	=	MDO	
C_f MDO	=	3.206	gCO_2/gfuel

Data Mesin Bantu			
Type	=	Perkin	
Power	=	150	kW
Speed	=	1500	rpm
SFOC	=	210	g/kWh
Quantity	=	1	
Fuel	=	MDO	
C_f MDO	=	3.206	gCO_2/gfuel

Dari rumus EEDI (2.11)

$$EEDI_{attained} = \frac{P_{ME}.C_{FME}.SFC_{ME} + P_{AE}.C_{FAE}.SFC_{AE}}{f_i.DWT.V_{ref}}$$

Dimana

P_{ME} = 75% dari daya mcr

= 75 % x 681.314 kW

= 510.75 kW

C_{FME} = Faktor konversi CO2 bahan bakar mesin induk

= 3.206

SFC_{ME} = Specific fuel oil consumption mesin induk (g/kWh

= 212 g/kWh

P_{AE} = Daya mesin bantu (kW) yang dihitung :

P_{AE} = 0.05 x MCR Mesin Induk jika daya mesin induk MCR < 10,000 kW

= 0.05 x 681.314 kW

= 34.05 kW

C_{FAE} = Faktor konversi CO2 bahan bakar mesin bantu

= 3.206

SFC_{AE} = Specific fuel oil consumption mesin bantu (g/kWh)

= 210 g/kWh

fi = 1 untuk kapal yang dibangun berdasarkan Common Structural Rules

DWT = Deadweight kapal pada sarat (t)

= untuk kapal penumpang 0.9 x GT (Stopford, 1982).

= 0.9 x 1200 GT

= 1080 ton

Vref = Kecepatan kapal.(kn)

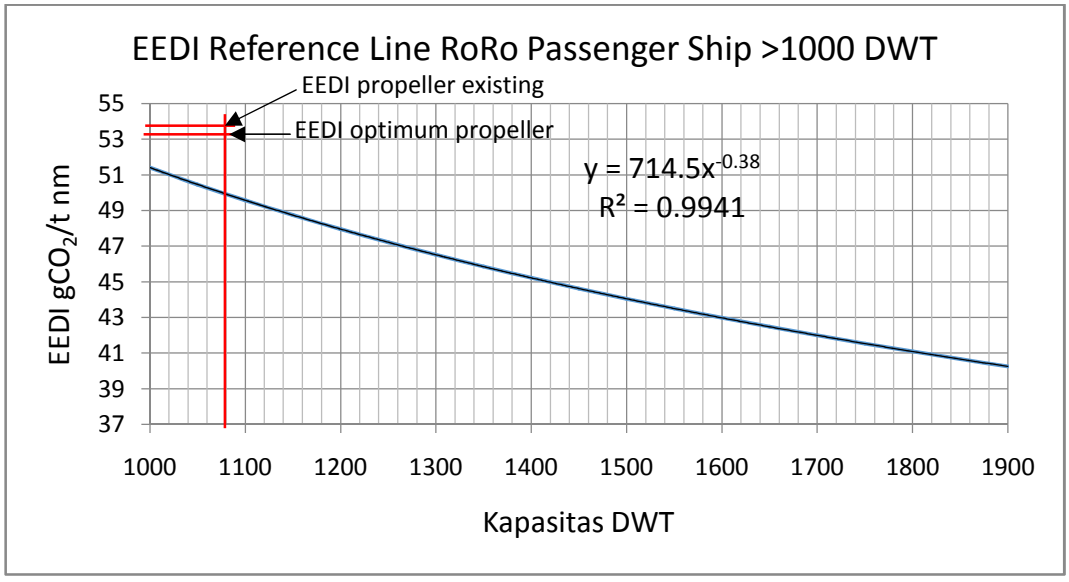
= 12.5 kn

Setelah nilai nilai tersebut dimasukkan pada rumus di dapatkan

$EEDI_{attained}$ optimum propeller = 53.127 gCO_2/t nm

4.6.3 Reference Line

Reference Line merupakan acuan atau standard untuk memproyeksikan hasil hitungan EEDI kapal terkait. Standard IMO untuk kapal penumpang sesuai pada tabel 2.5 reference linenya dapat digambarkan seperti gambar 4.8 berikut :



Gambar 4.8 Grafik Reference Line Kapal Penumpang

Dari gambar reference line kapal penumpang ini ,maka nilai $EEDI_{attained}$ propeller existing dan nilai $EEDI_{attained}$ optimum propeller dapat di proyeksikan

pada grafik reference line tersebut. Sehingga didapatkan titik perpotongan sesuai dengan harga dari EEDI terkait. Setelah nilai $EEDI_{attained}$ propeller existing dan nilai $EEDI_{attained}$ optimum propeller di plotkan pada grafik reference line dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan optimum propeller dapat menurunkan standard nilai $EEDI_{attained}$ propeller existing.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan kajian dan analisa dengan menggunakan program analisis optimum propeller yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisa data propeller existing (terpasang) B4.550 ,diameter 1.450 m dengan pendekatan polynomial didapatkan jika propeller ini terjadi " kavitasi".
2. Hasil analisa dengan memvariasikan jumlah daun (Z), AE/A0, dan P/D propeller didapatkan type propeller yang paling optimum adalah propeller B3 .611 Series dengan diameter 1.493 m, P/D 0.569, dan nilai efisiensi tertinggi 0.482 "tidak kavitasi". Daya yang dibutuhkan sebesar 2 x 681.314 kW sehingga daya yang sudah terinstall sebesar 2 x 837 kW pada propeller twin screw bisa menopang kebutuhan daya dari propeller optimum tersebut, (tidak perlu mengganti mesin induk).
3. Perlu untuk dilakukan pergantian propeller yang sudah terpasang (kavitasi) dengan propeller baru yang optimum (tidak kavitasi) supaya produktivitasnya dalam menghasilkan daya dorong lebih baik.

5.2 Saran

Saran diperlukan untuk perbaikan yang berhubungan dengan penelitian ini dan bisa dijadikan bahan pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Pengaruh kesimetrisan dari bentuk lambung kapal pada center line kapal terhadap efisiensi propeller twin screw.
2. Pengaruh kesimetrisan antar poros propeller secara horizontal pada center line maupun secara vertical pada base line kapal terhadap efisiensi propeller twin screw.

Dua hal ini secara keseluruhan juga berpengaruh pada nilai efisiensi propeller untuk kapal yang menggunakan baling baling ganda (twin screw).

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Adji, S.W.& Orianto, M.(1996) “Pengembangan Sistem Propulsi FPB 28 Versi Baru”, Laporan Penelitian ,Lemlit ITS.

Ancic, I., Šestan, A., (2015),. “Influence of the required EEDI reduction factor on the CO emission from bulk carriers”,. *Energy Policy* 84, 107–116.

Anh Tran, Tien., (2016),. “ Calculation and Assessing the EEDI Index in the Field of Ship Energy Efficiency fo M/V Jules Garnier ”,. *Journal of Marine Science; Research & Development* , Volume 6 Issue. 6, 2016, ISSN 2155-9910.

Anh Tran, Tien., (2017),. “ Optimization of the Energy Efficiency Operational Indicator for M/V NSU JUSTICE 250,000 DWT by Grey Relational Analysis Method in Vietnam ”,. *Journal of Environmental Science and Public Health* , Volume 1 Issue. 1, 2017 : 10.26502/JESPH.001.

Bahatmaka, Aklias., Kim, Dong-Joon.,Chrismiantoro, Deddy., (2016), “Optimization of Ducted Propeller for the ROV (remotely operated vehicle) using CFD”, *Advances in Technology Innovation*, vol 2,no.3,2016,pp 73-84.

Baldi, Francesco., (2016), “Modelling,Analysis and Optimisation of Ship Energy System ”, *Department of Shipping and Marine Technology*, Sweden, ISBN : 978-91-7597-359-3.

Baldauf, M., Baumler, R., Olcer, A.,Nakazawa, T., (2013),. “Energy Efficient Ship Operation – Training Requirements and Challenges ”,. *The International Journal on Marine Navigation and Safty of Sea Transportation* , Vol 7/2013, DOI: 10.12716/1001.07.02.16

Bernitsas, M.M., Ray, D., Kinley, P., (1981), *“Kt, Kq and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers”*, University of Michigan, Michigan.

Biaystocki, Nicolas., Konovessis, Dimitris.,(2016), “On the Estimation of Ship Fuel Consumption and Speed Curve: A Statistical Approach”, *ELSEVIER, Journal of Ocean Engineering and Science*.

Carlton, J.S. [1994], “*Marine Propellers and Propulsion*” Second Edition 2007. Butterworth-Heinemann Ltd, ELSEVIER, ISBN : 978-07506-8150-6

Constatntin, Gabriel., Amoraritei, Mihaela., (2018),. “ Analysis of The Energy Efficeincy Design Index for Two Container Ships and EEDI Influence on Propulsion Performances ”,. *Shipbuildin*g , 2018, ISSN 1221-4620.

Cudina, Predrag., (2015),. " Analysis of The Energy Efficiency Design Index with a Proposal fo Improvement ",. *Brodogradnja/Shipbuilding* , Volume 66 No. 3, 2015, ISSN 0007-215X.

Dragovis, Branislav., Tzannatos,Ernestos., T Selentis, Vassilis., Venera Todotut,Amalia ., (2016),. "Energy Efficiency in the Shipping sector- A Case Study",. *Economy Series*, Vol II/2016, ISSN 2344-3685/ISSN-I,1844-7007

Fredrik Ahlgren, "Reducing Ship Fuel Consumption and emission by Learning From data", *Linnaeus University Dissertations*,ISBN 978-91-88898-22-7,2018,96.

Gaafary,M.M., El-Kilani,H.S., Moustafa, M.M., (2011), "Optimum design of B-series marine propellers", *Alexandria Engineering Journal (AEJ)* ,50, Page 13-18.

Golam Zakaria, N.M., Rahman, Sohanur., (2017),. " Energy Efficiency Gesign Index (EEDI) for Inland Vessel in Bangladesh ",. *ELSEVIER Procedia Engineering*, 194 (2017) 362-369

Harvald, SV. Aa., (1983), "*Resistance and Propulsion of ships*," The Technical University of Denmark, Denmark.

Haryono., (2018),. " Gas Sebagai Energi Alternatif pada Penggerak Kapal ",. Jurnal Saintek Maritim, Vol XVII No.2 , ISSN 1412-6826

Holtop, JA., (1984),. " Statiscal Re-analysis of Re-sistance and Propulsion Data ",. *Journal of International Progres* , 31(363(272-276.

Huda.,Nurul, (2013), "Analisa pengaruh Energy Saving Device pada Propeller dengan Metode CFD", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang

IMO, (2014). "Greenhouse Gas Emission." URL http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/GHG-Emissions.aspx (accessed 5.19.19).

IMO, (2013). "Prevention of Air Pollution from Ships". URL http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx (accessed 5.19.19).

Jafarzadeh, S., Schjølberg, I., (2018). ,"Operational profiles of ships in Norwegian waters: An activity-based approach to assess the benefits of hybrid and electric propulsion.", *Transp. Res. Part Transp. Environ*. 65, 500–523. https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.09.021

Johannes, Standy., Anwar, M Ruslin., Basuki, Eddi., (2012),. " Proyeksi Jumlah Pergerakan dalam Menentukan Kapasitas dan Jumlah Armada Perisits Kabupaten Maluku Barat Daya ",. *Jurnal Ilmu Teknik dan Sains*, Vol 9 No.2 , ISSN 1693-9425

Kuiper, G (1992), "*The Wageningen Propeller Series*", Marin, Netherlands.

Lee, Sing Kwan., (2006),. " Rational Approach to Integrate the Design of Propulsion Power and Propeller Strength fo Ice Ships ",. *Research & Product Development Technology* ,American Bureau of Shipping , Texas USA, 2006.

Lewis, Edward V., (1988), "*Principles of Naval Architecture", 2rd edition,* The Society of Naval Architecture and Marine Angineers, Jersey City

Mirjalili, Seyedali., Lewis, Andrew., Mirjalili, Seyed Ali M., (2015), "Multi-objective Optimisation of Marine Propeller", *ELSEVIER, Procedia Computer Science,* Volume 51,2015, pages 2247-2256.

Molland., Antony E, (2010), "The Maritime Engineering Reference Book", Oxford University, Oxford UK

Olmer, N., Comer, B., Roy, B., Mao, X., Rutherford, D., (2015),. "Greenhouse gas emissions from global shipping", 2013–2015 38.

Schneekluth , H., Bertram ,V ,(1998),"*Ship Design for Efficiency and Economy*", second edition., Butterworth-Heinemann, Oxford, ISBN 0 7506 4133 9

Sugianto, Erik., Winarno, Arif., (2017),. " Computational Model Tahanan Kapal untuk Menentukan Kebutuhan Daya Kapal Bulk Carrier 8664 DWT ",. *Jurnal Kelautan* , Volume 10 , No. 2, 2017: ISSN 1907-9931.

W, Dimas Endro., (2014),. " High Speed Ship Total Resistance Calculation ",. Jurnal Kapal, Vol 11 No.1,2014.

Xie, Guamo., (2011), "Optimal Preliminary Propeller Design Based on Multi-objective Optimization Approach", *ELSEVIER, Procedia Computer Science*, vol 16,2011, pages 278-283.

Lampiran

Lampiran

Program Analisis Optimum Propeller

```
clear
clc
%Data untuk di input
%Vs=input('Kecepatan Desain (knot) = ');
%w=input('wake fraction w = ');
%t=input('thrust deduction fraction t = ');
%Rt=input('Tahanan Desain (KN) = ');
%Dmax=input('Diameter maksimum = ');
%NProp=input('Putaran Propeller (RPM)= ');
%h=input('Propeller Axis to Waterline = ');

Rt=85215/2
Vs=12
t=0.187
w=0.214
Dmax=2.14
n=573/60
h=1.071
rho=1025
%N=NProp/60;
disp('waiting.....');

Va=Vs*(1-w)*0.514;
T=(Rt/(1-t))/1;
Jmin=Va/(n*Dmax);
J=Jmin:0.01:0.5;
D=Va./(n*J);
A0=0.25*pi*D.^2;
Vr2=Va^2+((4.84*Va^2)./J.^2);
sigmaR=(188.2+19.62*h)./(Va^2+((4.836*Va^2)./J.^2));

Tc=(0.1079*log(sigmaR))+0.2708;
AP=T./((Tc*0.5*rho).*(Va^2+((4.84*Va^2)./J.^2)));
for d=2:7
NumbZ=d
for c=0.3:0.05:1.05
AEAo=c
Ad=AEAo'*A0;

PperD=(1.067-AP./Ad)/0.229;

for a=1:length(PperD)
PD1=PperD(a);
for b=0.5:0.05:PD1
   PD=b;
v=0.00000118831;
```

```
for k=1:length(J)
 KTOPEN=((0.00880496)+(-0.204554*(J.^1))+...
    (0.166351*(PD.^1))+(0.158114*(PD.^2))+...
    (-0.147581*(J.^2)*(AEAo.^1))+...
    (-0.481497*(J.^1)*(PD.^1)*(AEAo.^1))+...
    (0.415437*(PD.^2)*(AEAo.^1))+...
    (0.0144043*(NumbZ.^1))+...
    (-0.0530054*(J.^2)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0143481*(PD.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0606826*(J.^1)*(PD.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.0125894*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0109689*(J.^1)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.133698*(PD.^3))+...
    (0.00638407*(PD.^6))+(-0.00132718*(J.^2)*(PD.^6))+...
    (0.168496*(J.^3)*(AEAo.^1))+...
    (-0.0507214*(AEAo.^2))+(0.0854559*(J.^2)*(AEAo.^2))+...
    (-0.0504475*(J.^3)*(AEAo.^2))+...
    (0.010465*(J.^1)*(PD.^6)*(AEAo.^2))+...
    (-0.00648272*(J.^2)*(PD.^6)*(AEAo.^2))+...
    (-0.00841728*(PD.^3)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0168424*(J.^1)*(PD.^3)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.00102296*(J.^3)*(PD.^3)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.0317791*(PD.^3)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.018604*(J.^1)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.00410798*(PD.^2)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.000606848*(NumbZ.^2))+...
    (-0.0049819*(J.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (0.0025983*(J.^2)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.000560528*(J.^3)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.00163652*(J.^1)*(PD.^2)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.000328787*(J.^1)*(PD.^6)*(NumbZ.^2))+...
    (0.000116502*(J.^2)*(PD.^6)*(NumbZ.^2))+...
    (0.000690904*(AEAo.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (0.00421749*(PD.^3)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (0.0000565229*(J.^3)*(PD.^6)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.00146564*(PD.^3)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^2)));
 KQOPEN=((0.00379368)+(0.00886523*(J.^2))+...
    ((-0.032241*(J.^1)*(PD.^1))+...
    (0.00344778*(PD.^2))+...
    (-0.0408811*(PD.^1)*(AEAo.^1))+...
    (-0.108009*(J.^1)*(PD.^1)*(AEAo.^1))+...
    (-0.0885381*(J.^2)*(PD.^1)*(AEAo.^1))+...
    (0.188561*(PD.^2)*(AEAo.^1))+...
    (-0.00370871.*(J.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.00513696*(PD.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0209449*(J.^1)*(PD.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.00474319*(J.^2)*(PD.^1)*(NumbZ.^1))+...
```

```
    (-0.00723408*(J.^2)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.00438388*(J.^1)*(PD.^1)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.0269403*(PD.^2)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0558082*(J.^3)*(AEAo.^1))+...
    (0.0161886*(PD.^3)*(AEAo.^1))+...
    (0.00318086*(J.^1)*(PD.^3)*(AEAo.^1))+...
    (0.015896*(AEAo.^2))+...
    (0.0471729*(J.^1)*(AEAo.^2))+...
    (0.0196283*(J.^3)*(AEAo.^2))+...
    (-0.0502782*(PD.^1)*(AEAo.^2))+...
    (-0.030055*(J.^3)*(PD.^1)*(AEAo.^2))+...
    (0.0417122*(J.^2)*(PD.^2)*(AEAo.^2))+...
    (-0.0397722*(PD.^3)*(AEAo.^2))+...
    (-0.00350024*(PD.^6)*(AEAo.^2))+...
    (-0.0106854*(J.^3)*(NumbZ.^1))+...
    (0.00110903*(J.^3)*(PD.^3)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.000313912*(PD.^6)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0035985*(J.^3)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.00142121*(PD.^6)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.00383637*(J.^1)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^1))+...
    (0.0126803*(PD.^2)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.00318278*(J.^2)*(PD.^3)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^1))+...
    (0.00334268*(PD.^6)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^1))+...
    (-0.00183491*(J.^1)*(PD.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (0.000112451*(J.^3)*(PD.^2)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.0000297228*(J.^3)*(PD.^6)*(NumbZ.^2))+...
    (0.000269551*(J.^1)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (0.00083265*(J.^2)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (0.00155334*(PD.^2)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (0.000302683*(PD.^6)*(AEAo.^1)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.0001843*(AEAo.^2)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.000425399*(PD.^3)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^2))+...
    (0.0000869243*(J.^3)*(PD.^3)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^2))+...
    (-0.0004659*(PD.^6)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^2))+...
    (0.0000554194*(J.^1)*(PD.^6)*(AEAo.^2)*(NumbZ.^2)))) ;
KQOPEN=KQOPEN*10;
Rn(k)=5.3*(AEAo/NumbZ)*(n*D(k).^2/v);
if Rn(k)>=2000000
   DeltaKT=((0.000353485)+...
      (-0.00333758*(AEAo.^1)*(J.^2))+...
      (-0.00478125*(AEAo.^1)*(PD.^1)*(J.^1))+...
      (0.000257792*((log10(Rn(k))-0.301)^2)*AEAo*(J.^2))+...
      (0.0000643192*((log10(Rn(k))-0.301)^1)*(PD.^6)*(J.^2)))+...
      (-0.0000110636*((log10(Rn(k))-0.301)^2)*(PD.^6)*(J.^2))+...
         (-0.0000276305*((log10(Rn(k))-
        0.301)^2)*(NumbZ.^1)*(AEAo.^1)*(J.^2))+...
```

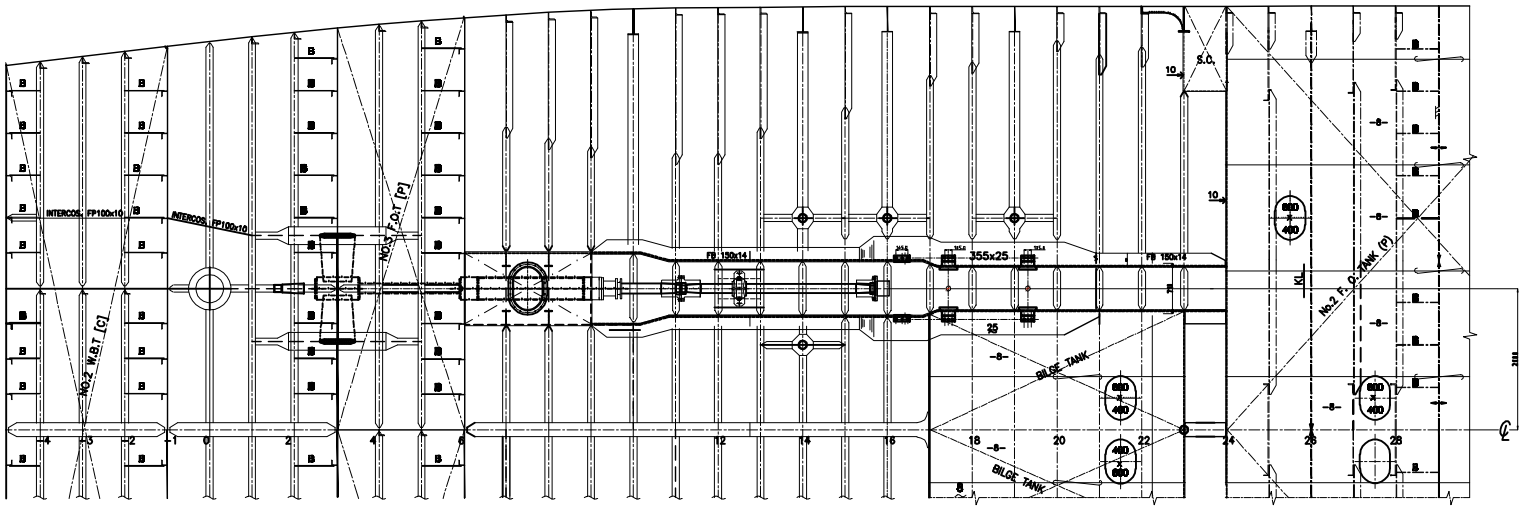
```
        (0.0000954*((log10(Rn(k))-
        0.301)^1)*(NumbZ.^1)*(AEAo.^1)*(PD.^1)*(J.^1))+...
        (0.0000032049*((log10(Rn(k))-
        0.301)^1)*(NumbZ.^2)*(AEAo.^1)*(PD.^3)*(J.^1)) ;
    DeltaKQ=((-0.000591412)+...
        (0.00696898*(PD.^1))+...
        (-0.0000666654*(NumbZ.^1)*(PD.^6))+...
        (0.0160818*(AEAo.^2))+...
        (-0.000938091*((log10(Rn(k))-0.301)^1)*(PD.^1))+...
        (-0.00059593*((log10(Rn(k))-0.301)^1)*(PD.^2))+...
        (0.0000782099*((log10(Rn(k))-0.301)^2)*(PD.^2))+...
            (0.0000052199*((log10(Rn(k))-
          0.301)^1)*(NumbZ.^1)*(AEAo.^1)*(J.^2))+...
        (-0.00000088528*((log10(Rn(k))-
        0.301)^2)*(NumbZ.^1)*(AEAo.^1)*(PD.^1)*(J.^1))+...
        (0.0000230171*((log10(Rn(k))-0.301)^1)*(NumbZ.^1)*(PD.^6))+...
        (-0.00000184341*((log10(Rn(k))-0.301)^2)*(NumbZ.^1)*(PD.^6))+...
        (-0.00400252*((log10(Rn(k))-0.301)^1)*(AEAo.^2))+...
        (0.000220915*((log10(Rn(k))-0.301)^2)*(AEAo.^2)));
    KTOPEN=KTOPEN+DeltaKT;
    KQOPEN=KQOPEN+DeltaKQ;
 end
 eff(k)=(J(k)/(2*pi))*(KTOPEN(k)/KQOPEN(k));
 eff(k)=eff(k)*10;
end

KTOPEN;
KQOPEN;
KTLoad=((Rt*(n^2))/(rho*(1-t)*Va^4))*J.^4;
for i=1:length(J)
   if (KTLoad(i)-KTOPEN(i))<=0.001
      J_Terpilih=J(i);
      KT_Terpilih=KTOPEN(i);
      KQ_Terpilih=KQOPEN(i);
      Efisiensi_Terpilih=eff(i);
      D_Terpilih=D(i);
      PD_Terpilih=PD;
      AEAo_Terpilih=AEAo;
      NumbZ_Terpilih=NumbZ;
   end
end
end
end
end
end
plot(J,KTOPEN,'r',J,KQOPEN,'k',J,KTLoad,'b',J,eff,'m','LineWidth',2),grid
T=KT_Terpilih*rho*n^2*D_Terpilih^4;
```

```
Q=KQ_Terpilih*rho*n^2*D_Terpilih^5;

J_Terpilih
KT_Terpilih
KQ_Terpilih
Efisiensi_Terpilih
D_Terpilih
T
Q
PD_Terpilih
AEAo_Terpilih
NumbZ_Terpilih

%Rn;

%KTLoad=((Rt*(n^2))/(rho*(1-t)*Vs^4*(1-w)))*J^4
%for c=1:length(J)
 %   PperD(c)=(1.067/0.229)-
(T/(0.229*AEperAo*A0*0.5*rho*Vr2*(0.1079*log(sigmaR)+0.2708)))
%end
```

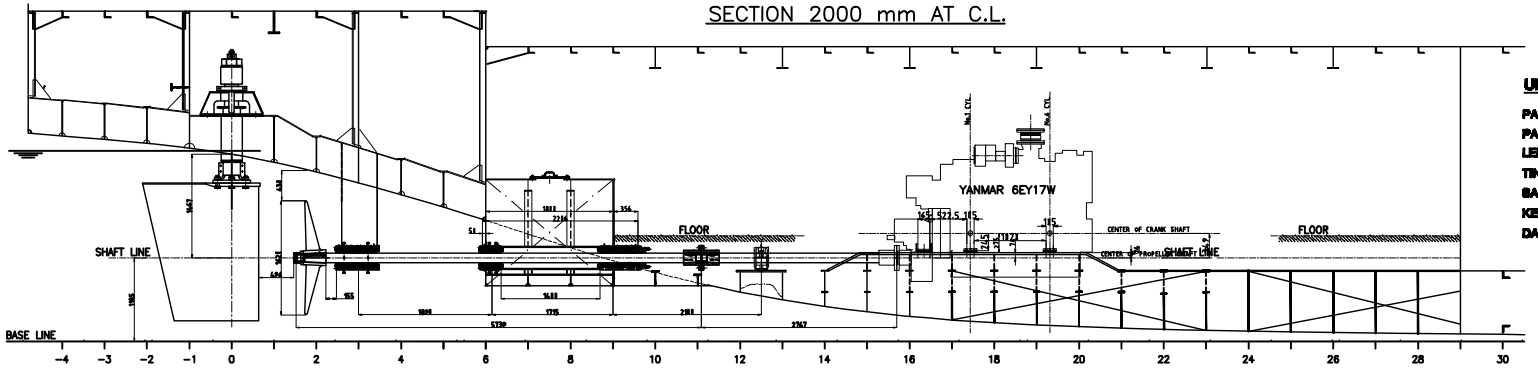
Lampiran

Shafting Propeller

TANK TOP



SECTION 2000 mm AT C.L.



UKURAN UTAMA

PANJANG SELURUH	(L O A)	:	62.60 M
PANJANG A.B.T.	(L P P)	:	57.36 M
LEBAR	(B)	:	12.00 M
TINGGI	(H)	:	4.00 M
SARAT	(T)	:	2.70 M
KECEPATAN	(V)	:	12 KNOT
DAYA MESIN		:	2 x 1138 HP

DATA ENGINE

MAIN ENGINE

MAKER	:	YANMAR
TYPE	:	6EY17W
POWER AT MCR	:	1138 HP
REVOLUTION	:	1450 RPM

GEARBOX

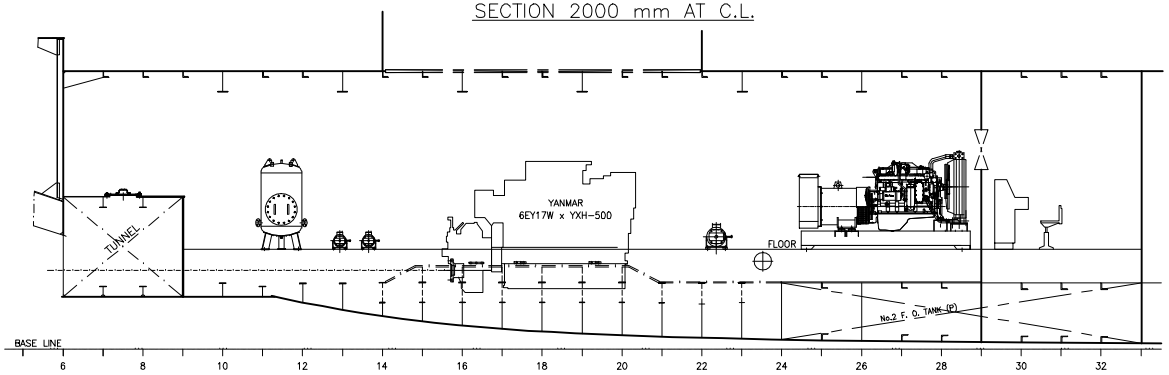
MAKER	:	YANMAR
TYPE	:	YXH-500
RATIO	:	2.53 : 1

OWNER					
SHIP NAME	KM. SABUK NUSANTARA				
DWG. NAME	SHAFTING PROPELLER				
SCALE : 1:50		SIGNATURE	DATE	DRAWING NUMBER	
DRAWN BY :					
CHECKED BY :				SIZE A2	REVISION / SHEET
APPROVED BY :					

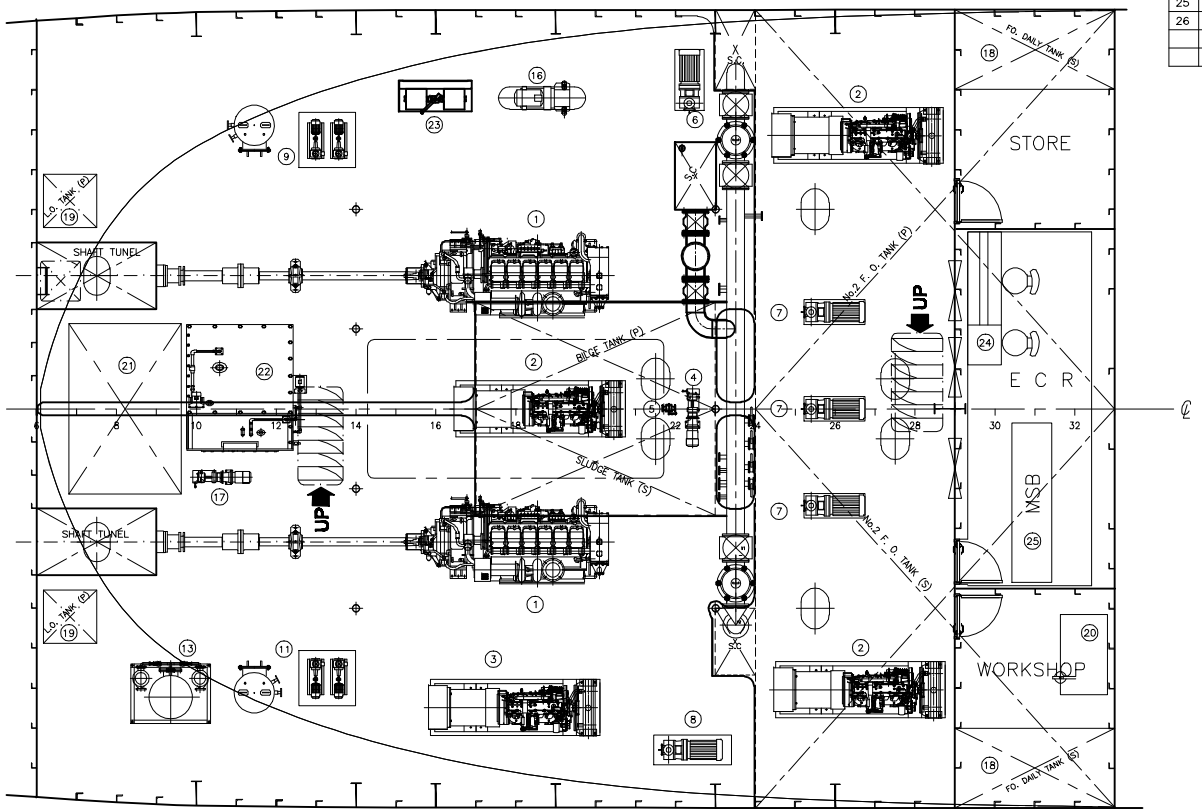
Lampiran

Engine Room Arrangement

SECTION 2000 mm AT C.L.



TANK TOP



No.	DESCRIPTION	QTY	CAPACITY	REMARKS
1	MAIN ENGINE	2	1138 HP. 1450 RPM	
2	DIESEL ENGINE	3	1500 RPM, 3x150KVA AC 380/220V 3 Phase 50Hz	
3	HARBOUR GENERATOR	1	1500 RPM, 1x150KVA AC 380/220V 3 Phase 50Hz	
4	FO. TRANSFER PUMP	1	2.5m³ /h 2.5 m / 1.5 KW	
5	HAND PUMP FOR F.O.	1		
6	BILGE PUMP	1	40 m³/h 30 m	
7	BALLAST PUMP	3	40 m³/h 30 m	
8	FIRE /GS. PUMP	1	45 m³/h 40 m	
9	HYDROPHORE SW. PUMP	2	200L, CENTR. SLELF PRIMING 6 m /h 30m³	
10	HAND PUMP FOR SW.	1		
11	HYDROPHORE FW. PUMP	2	200L, CENTR. SLELF PRIMING 6 m /h 30m³	
12	HAND PUMP FOR FW.	1		
13	OILY WATER SEPARATOR	1	≤15 ppm	
14	BILGE PUMP FOR OWS.	1	CENTR. SELF PRIMING, 0.5 m /h 30m³	
15	HAND PUMP FOR OWS.	1		
16	AIR COMPRESSOR	1	185 Liter/menit 10K 0.75 KW, 100 Liter	
17	SEWAGE PUMP	1	CENT. PUMP TYPE, 10 m /h 20m³ 1.5KW	
18	FO. DAILY TANK	2	3.25 m³	
19	LUB. OIL TANK	2	0.64 m³	
20	WORKING TABLE	1		
21	SEWAGE TANK	1	4.37 m³	
22	SEWAGE TREATMENT PLANT	1	Cap. 20 Persons	
23	FRESH WATER GENERATOR	1	–	
24	ENGINE CONTROL CONSOLE	1	–	
25	MAIN SWITCH BOARD	1	–	
26	EMERGENCY GENERATOR	1	1x50KVA / AC380V/220V,3PHASE,4WIRE,50HZ,1500 RPM	

OWNER				
SHIP NAME	KM. SABUK NUSANTARA			
DWG. NAME	ENGINE ROOM ARRANGEMENT			
SCALE : 1/50	SIGNATURE	DATE	DRAWING NUMBER	
DRAWN BY :				
CHECKED BY :			SIZE A2	REVISION
APPROVED BY :				SHEET

Lampiran

Spesifikasi Mesin Induk & Gear Box

SPECIFICATION

OWNER	SEACOM
DOCK YARD	
SHIP NO.	
A KIND OF SHIP	Tug Boat
NAVICATION AREA	Coasting Area
USE	Propulsion Engine
MODEL	6EY17W
RULE	Maker's Inspection
QUANTITY	2 ENGINE / VESSEL

1. PRINCIPAL DATA OF ENGINE

1	Type		Vertical, Single Acting, 4-Cycle, Direct Injection, Water Cooled, Turbo-Charged Diesel Engine
2	Model		6EY17W
3	Rated Output	kW	837 (At Flywheel End)
4	Rated Revolution	min^{-1}	1450
5	Idling Speed	min^{-1}	600
6	No. Of Cylinders		6
7	Cylinder Arrangement		In-Line
8	Cyl. Bore×Stroke	mm	170 × 230
9	Total Stroke Volume	ℓ	31.30
10	Mean Piston Speed	m/s	11.12
11	Mean Effective Pressure	MPa	2.211
12	Max. Combustion Pressure	MPa	17.65
13	Over Load Capacity		10% Over Load : 60 min. (every 12 hours)
14	Direction of Rotation		Counter-clockwise (as Viewed from the Flywheel Side)
15	Crank Arrangement		1.6 / 2.5 3.4 (as Viewed from the Flywheel Side)
16	Firing Order		1 - 4 - 2 - 6 - 3 - 5 - 1 (Firing Interval : 120°)
17	Specific Fuel Consumption	g/kW·h	212 + 5% At Full Load When Using the Diesel Oil of Low Calorific Value of 42.7MJ/kg with Engine Driven Pumps. Based on the standard reference corditions of ISO 3046/1 and NOx level to meet IMO exhaust gas regulation. In Case of Geared Engine, Gear Loss Power is to be Plus 3.5%.

18	Specific L.O. Consumption	g/kW·h	0.8 (at Full Load)
19	Usage Condition		・Ambient Temperature : 0 ~45℃ ・Relative Humidity : ~85% ・S.W. Temperature : ~32℃ ・Max. Rake Angle : Less Than 5°
20	Kind of Fuel Oil		Marine Diesel Oil Having 37~58 sec. as Measured by Redwood Viscometer No.1 at the Engine Inlet
21	Lubricating Oil		・Engine System Oil : A.P.I. Service Grade CD SAE #40 ・Turbo-Charger Oil : Engine System Oil ・Governor Oil : Engine System Oil
22	Stating & Stopping System		・Marual Starting-Manual & Automatic Stopping & Remote Emergency Stopping ・Cell Motor Starting
23	Lubricating Oil Sump System Lubricating Method		・Wet Sump ・Forced Lubricating by Engine Equipped Pump
24	Cooling System		・Cylinder, Cylinder Head : F.W. ・Air Cooler, F.W. Cooler, L.O. Cooler : S.W. ・Piston : L.O.
25	Turbo-Charger System		By Exhaust Gas Turbo-Charger (with Air Cooler)
26	Turning System		Turning Bar Type
27	Remote Control System		Wire-Electric Type
28	Dry Mass of Engine	kg	3880
29	Condition for the Design of Engine Room (at 100% Load)		
	・Air Consumption (at 25℃)	m^3/h	4640
	・Exhaust Gas Volume (at 0℃)	Nm^3/h	4500
	・Exhaust Gas Temperature (at T/C Output, at 25℃)	℃	470
	・Necessary Fresh Air Volume (at 20℃)	$m^3/min·kW$	0.26~0.30
	・Exhaust Back Pressure (at T/C Output)	kPa	Less Than 3.5
30	Capacity of Lubricating Oil		
	・Engine	ℓ	25
	・Engine Oil Par	ℓ	200
	・Governor	ℓ	0.8

30	Capacity of Cooling Water			
	・Engine (F.W.)		ℓ	85
	・Engine (S.W.)		ℓ	15
31	Quantity of Heat Transmission	to L.O.	MJ/h	335
		to Air	MJ/h	975
		to F.W.	MJ/h	860
		To R/R Gear L.O.	MJ/h	44

【REMARK】
Lub. Oil Change Interval : 250Hr

2. PRINCIPAL DATA OF REDUCTION & REVERSING GEAR BOX

1	Type			Vertical offset Type, Wet, Multi-Disk, Hydraulic-Operation Type Reduction & Reversing Marire Gear
2	Model			YXH-500
3	Reduction Ratio	Ahead		2.53
		Astern		2.53
4	Revolution of Input Shaft	min^{-1}		1450
5	Revolution of Output Shaft	min^{-1}		573
6	Direction of Rotation (View From Stern)			Input Shaft : Counter Clockwise Output Shaft: Clockwise (STBD) Counter Clockwise (PORT)
7	Reduction System			Helical Gear
8	Reversing System			Constantly Intermeshing Gear
9	Clutch			Wet, Multi-Disk Type, Hydraulic-Operation
10	Lubricating Oil			A.P.I. Service Grade CD #40
11	Lubricating Oil Sump System			R/R Gear Lower Case Incorporated (Wet Sump)
	Lubricating Method			Forced Lubricating by L.O. Pump Equipped with R/R Gear
12	Cooling System			Oil Cooler : S.W. Gear & Clutch : L.O.
13	Dry Weight		kg	700
14	Capacity of Oil & Cooling Water (liter)	R/R GEAR	:L.O.	22
		L.O. Cooler	:S.W.	1.4

3. METERIAL OF MAIN PARTS

Oil Pan	Aluminum Alloy Casting
Cylinder Block	Cast Iron
Cylinder Head	Cast Iron
Piston	Special Cast Iron
Cylinder Liner	Special Cast Iron

Flywheel	Cast Iron
Connecting Rod	Forged Steel
Crank Shaft	Forged Steel
Cam Shaft	Forged Steel
Thrust Shaft	Forged Steel

4. PRINCIPAL OF ACCESSORIES

【Remark】
Quantity is Shown for One Engine
Symbol Means Fitting as Followings. E : Engine H : Hull R : R/R Gear

4-1. ENGINE BODY CONCERN

No.	Item	Specification	Fitting	YANMAR Supply	Not YANMAR Supply	Q'ty
1 1	Exhaust Gas Turbo Charger	Type : AT14	E	○		1
1-2	Air Cooler	Type : Finned Multitubular Cooling Area : 15.2m²	E	○		1
1-3	Exhaust Gas Expansion Joint	Type : Bellows, Size : 250A	E	○		1
1-4	Air Cooler By-Pass Valve	For Adjusting Boost Air Temp. Manual Type	E	○		1
1-5	Silencer	250A	H		○	1
2-1	Flywheel		E	○		1
3-1	Lub. Oil Pump	Capacity : 21.7m³/h Safety Valve : 1.0MPa	E	○		1
3-2	Lub. Oil Wing Pump	Nominal Dia. : 15A	E	○		1
3-3	Lub. Oil Cooler	Type : Multitubular Cooling Area : 15.9m²	E	○		1
3-4	Temp. Regulating Valve for Lub. Oil	Type : Wax Direct Acting Automatic Temp Control Valve Setting Temp : 50~65℃	E	○		1
3-5	Press. Regulating Valve for Lub. Oil	Setting Press. : 0.55~0.60MPa	E	○		1
3-6	Lub. Oil Strainer (For Pump Inlet)	Type :Punch Hole Plate	E	○		1
3-7	Lub. Oil Strainer (Oil Pan Incorporated)	Type : Three Throw, Paper Element Effective Filtration : 20μ Change Handle Type	E	○		1
3-8	Lub. Oil By-Pass Filter	Type : Single Throw, Paper Element Effective Filtration : 2μ	E	○		1
3-9	Emergency Inlet & Outlet For Lub. Oil	Inlet:50A, Outlet:65A	E	○		1
4-1	Cooling Fresh Water Pump (Cylinder Side)	Type : Centrifugal Capacity : 25.0m³/h×20m	E	○		1
4-2	Cooling Sea Water Pump (Cooler Side)	Type : Centrifugal Capacity : 32.5m³/h×14m	E	○		1
4-3	Fresh Water Cooler	Type : Multitubular Cooling Area : 3.84m²	E	○		1

No.	Item	Specification	Fit-ting	YANMAR Supply	Not YANMAR Supply	Q'ty
4-4	Temp. Regulating Valve for Fresh Water (High Temp.)	Type : Wax Direct Acting Automatic Temp. Control Valve Setting Temp. : 75~85℃ (at Eng. Outlet)	E	○		1
4-5	Sea Water Strainer	Double Throw Size : 5k-65A	H		○	1
4-6	Kingston Valve	Size: 65A	H		○	1
4-7	Emergency Inlet & Outlet For Cooling Water	Spectacle Blank Flange For Jacket Cooling Size: 5k-65A	E	○		1
5-1	Fuel Oil Feed Pump	Type : Gear Capacity : 567 ℓ /h	E	○		1
5-2	Fuel Injection Pump	Bosch Type	E	○		6
5-3	F.O. Press. Regulating Valve	Setting Press. : 0.45~0.50MPa	E	○		1
5-4	No.1 Fuel Oil Strainer	Type : Double Throw Wire Net Mesh Effective Filtration: 100Mesh Size : 15A	H	○		1
5-5	No.2 Fuel Oil Strainer	Type : Double Throw Notch Wire Effective Filtration : 42μ Change Handle Type	E	○		1
5-6	Fuel Oil Injection Valve	Multi-hole Type	E	○		6
5-7	F.O. Sedimentation Tank	Automatic Drain Valve Type	H	○		1
6-1	Governor	Type : Hydraulic	E	○		1
7-1	Starting Motor	DC24V, 8kW	E	○		1
7-2	Alternator	DC24V, 950W	E	○		1
7-3	Battery Switch		H	○		1
7-4	Battery	DC24V	H		○	1
8-1	Thermometer	・Cooling Fresh Water -Engine Inlet & Outlet ・Lub. Oil -Engine Inlet ・Exh. Gas -T/C Inlet -Each Cyl. Outlet ・Boost -Air Cooler Outlet	E	○		1set

4-2. REMOTE CONTROL DEVICE

No.	Item	Specification	Fitting	YANMAR Supply	Not YANMAR Supply	Q'ty
1	Source	DC24V-AC110V. 1φ, 50Hz	—		○	-
2	Wheel House Control Panel	Type : Panel	H		○	1set
3	Engine Room Alarm Panel	Type : Wall Hanger	H		○	1set
4	Alarm Bell	Type : Wall Hanger	H		○	1set
5	Electric Tachometer	Senser-1, Indicator-2	E, Panel	○		1set
6	Wire Drive Unit	Type : Wall Hanger	H		○	1set
	Equipment for Automatic Stop	Over Speed :118~120%	H	○		1
		Eng. L.O. Low Press. :0.15MPa F.W. High Temp. :95℃ R/R Gear L.O. Low Press. :0.02MPa	E, R	○		1
9	Equipment for Alarm	Eng. L.O. Low Press. :0.20MPa F.W. High Temp. :90℃ F.O. Leakage of High Press. R/R Gear L.O. Low Press. :0.03MPa	E, R			1
10	Equipment for Controll	Handle Switch	E	○		1set
11	Junction Box		R, H	○		1set
12	Speed Relay		Panel	○		1

4-3. REVERSE & REDUCTION GEAR

No.	Item	Specification	Fitting	YANMAR Supply	Not YANMAR Supply	Q'ty
1	Clutch	Wet Multi-Disk Type	R	○		1set
2	Thrust Bearing	Built-in R/R Gear	R	○		1set
3	Hydraulic Pump	Type: Gear Capacity: 3.3m³/h	R	○		1
4	Lub. Oil Cooler	Type: Multitubular Cooling Area : 1.42m²	R	○		1
5	Lub. Oil Strainer	Paper Filter For Cartridge Type 60μ	R	○		1
6	Press. Regulating Valve for Hydraulic Oil	Setting Press. : 3.4±0.05MPa	R	○		1
7	Press. Regulating Valve for Lub. Oil	Setting Press. : 0.25±0.05MPa	R	○		1
8	Thermometer	L.O. Cooler Inlet & Outlet	R	○		1set

4-4. SETTING & COUPLING PARTS

No.	Item	Specification	Fit-ting	YANMAR Supply	Not YANMAR Supply	Q'ty
1	Installation Bolts & Nuts	for Engine & R/R Gear (Double-End Nut Type)	H	○		1set
2	Chock Liner	for Engine & R/R Gear (35mm Single Side Finish)	H	○		1set
3	Side Adjuster	for Engine & R/R Gear	H	○		1set
4	Jack Bolts	for Engine & R/R Gear	H	○		1set

4-5. SPARE PARTS & TOOLS

No.	Item	Specification	Fit-ting	YANMAR Supply	Not YANMAR Supply	Q'ty
1	Spare Parts	Please Refer to Other Sheets	H	○		1set/ Ship
2	Tools	Please Refer to Other Sheets	H	○		1set Ship

5. OTHERS

No.	Item	Specification
1	Indication	Scale Unit of Name Plate & Gauge : SI Name Plate : English Caution Plate : English & Japanese
2	Painting	Metallic Ecole Silver
3	Shop Test	1) Starting Test 2) Load Test 3) Bearing Temperature 4) Governor Test 5) Protective Device Test Note : For particulars of test, refer to another sheets concerning the working plan for shop test.
4	Submitted Drawing	1) For Approval : 5 Copies 2) For Installation : 5 Copies 3) Final Drawing : 5 Copies

Lampiran

Mesin Bantu

INDEKS

DIESEL GENERATOR GROUPS
TECHNICAL DATA SHEETS

IND JP 150 / DIESEL GENERATOR GROUP

Generator Model	**: IND JP 150**		**StandBy Power (ESP)**	**: 150kVA**	**120kW**
Engine	**: Perkins**		**Prime Power (PRP)**	**: 138kVA**	**110,4kW**
Alternator	**: Stamford**		**Voltage**	**: 380/220 V**	

Ratings And Standard Reference Conditions

Prime Power (PRP) These ratings are applicable for supplying continious electrical power (at variable load) in lieu of commercially purchased power. There is no limitation to the annual hours of operation and this model can supply %10 overload power for 1 hour in 12 hours.

Standby Power (ESP) is defined as the maximum power available during a variable electrical power sequence, under the stated operating, for which a generating set is capable of delivering in the event of a utility power outage or under test conditions for up to 500 hours of operation per year under average of 70% load. No overload is permitted on these ratings.

Standard Reference Conditions air inlet temperature 25°C , barometric pressure 100kPa [110m altitude] and 30% relative humidity.

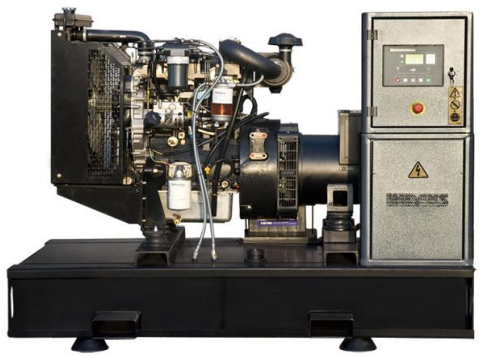
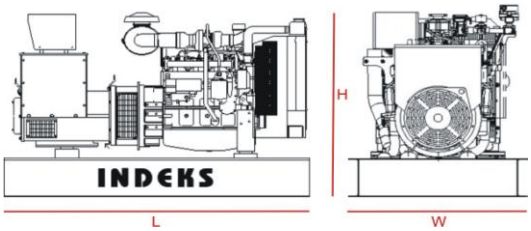


Photo may be demonstration or a different size generator

General Features :

- Heavy duty water cooled engine
- Self excited H class alternator
- Tropcial type radiator with mechanical fan
- Fully guarded engine-driven fan
- Static or spare daily fuel tank
- Fully welded steel baseframe with lifting points
- Linear vibration isolators between base and engine-generator
- Starter batteries and connection cables
- Engine-driven battery charging alternator
- Industrial exhaust muffler
- Primary and secondary fuel filters
- Auto Start control system with digital instrumentation
- Emergency stop pushbutton
- Control panel with digital-automatic main control module
- Indeks Factory load, performance and function tests,
- Operation & Maintenance Manual
- Wide range of optional extra features available
- Block water heater unit



Overall Dimensions & Weights (Without Canopy)

◆ Length (L)	2300	mm
◆ Width (W)	1000	mm
◆ Height (H)	1550	mm
◆ Weight	1350	kg

Factory : A.O.S.B. 10037 Sk. No:11 35580 Cigli / Izmir / Turkey
Tel : +90-232-328 19 80 (Pbx) **Fax :** +90-232-328 19 01 **E-Mail :** info@indeks.com.tr **Web :** www.indeks.com.tr

TECHNICAL SPECIFICATIONS		IND JP 150
	Units	
General		
Brand		INDEKS
Model		IND JP 150
StandBy Power	kVA	150kVA
Prime Power	kVA	138kVA
Engine		
Manufacturer		Perkins
Model		1006TAG
StandBy Power(Net)	kWm	133.5 KWm
Prime Power (Net)	kWm	121 KWm
Speed	Rpm	1500 rpm
Cylinder Number & Arrangement		6 Vertical in-line
Bore & Stroke	mm	100mm x 127mm
Displacement	Lt	5,99
Aspiration & Cooling		Turbo Charged
Compression Ratio		17.0:1
Governor Type		Electronic
Cooling Type		Water Cooled
Oil System Capacity (Including Filters)	Lt	19,00
Fuel System		Direct Injection
Fuel Consumption (%50 of Prime Power)	Lt/h	215 g/KWh / 16.5 L/h
Fuel Consumption (%75 of Prime Power)	Lt/h	210 g/KWh /24.1 L/h
Fuel Consumption (%100 of Prime Power)	Lt/h	206 g/KWh / 31.5 L/h
Exhaust Gas Flow(at Stand-By Power)	m^3/min	25,71
Exhaust Gas Temperature (at StandBy Power)	°C	585
Alternator		
Manufacturer		Stamford
Type		Brushless , Synchronous, Single Bearing
Model		UCI274E
Phase/Poles		3 Phase/4 Poles
Excitation System		Self Exciting
Frequence	Hz	50
Voltage	V	380/220 V
Speed	Rpm	1500
Excessive Loading Capacity		For 1 Hour % 110, For 2 Minutes %150
Protection Class		IP23
Insulation Class		H

Chassis

- Formed steel base with linear vibration isolators between base and engine-generator
- Base frame design incorporates a fuel tank (fuel gauge and drain plug on the fuel tank)
- Military / Civilian type easy lifting systems

Control System

- Control supervision and protection panel is mounted on the genset base frame.
- Indeks micro processed control unit.
- Standart indicators, alarms, buttons, keys.
- Useful design for Automatic / Manuel working

Optional Equipment

- Customer designed sound proof canopy
- Automatic syncronization and power sharing systems
- PMG
- Alternator Heater
- Trailer
- Residental Type Silencer
- Automatic Fuel Refill System
- Automatic load transfer panel
- Digital AVR
- Remote systems
- Oil Drain Pump
- Seismic Sensor
- Tool kits
- Remote Monitoring Systems with SCADA - PLC, Connection to BMS system and extra special solutions in Medium Voltage

Factory : A.O.S.B. 10037 Sk. No:11 35580 Cigli / Izmir / Turkey
Tel : +90-232-328 19 80 (Pbx) **Fax :** +90-232-328 19 01 **E-Mail :** info@indeks.com.tr **Web :** www.indeks.com.tr

CONTROL SYSTEM

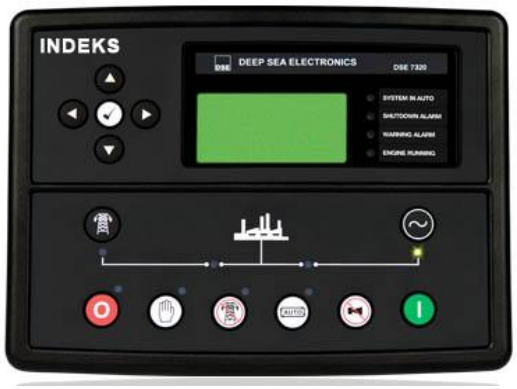


Photo may be demonstration or a different size generator

General Features :

The DSE7320 is an Auto Mains (Utility) Failure Control Module suitable for a wide variety of single, diesel or gas, gen-set applications.

Monitoring an extensive number of engine parameters, the module will display warnings, shutdown and engine status information on the back-lit LCD screen, illuminated LEDs, remote PC and via SMS text alerts (with external modem).

The DSE7320 will monitor the mains (utility) supply and includes USB, RS232 and RS485 ports as well as dedicated DSENet® terminals for system expansion.

Key Features	Key Benefits
◆ 4-Line back-lit LCD text display	◆ 132 x 64 pixel ratio display for
◆ Five key menu navigation	◆ Real-time clock provides accurate event logging
◆ Front panel editing with PIN protection	◆ Multiple date and time scheduler
◆ LED and LCD alarm indication	◆ Set maintenance periods can be configured to maintain optimum engine performance
◆ Customisable status screens	◆ Ethernet communications (via DSE860/865 modules), provides advanced remote monitoring at low cost
◆ 9 configurable inputs	◆ Modules can be integrated into building management systems (BMS)
◆ 8 configurable outputs	◆ Increased input and output expansion capability via DSENet®
◆ 3 configurable maintenance alarms	◆ Licence-free PC software
◆ Configurable event log (250)	◆ IP65 rating (with supplied gasket) offers increased resistance to water ingress
◆ CAN and Magnetic Pick-up/Alt. Sensing	
◆ Power monitoring (kW h, kV Ar, kV A h, kV Ar h)	
◆ Load switching (load shedding and dummy load outputs)	
◆ Backed up real time clock	
◆ Fully configurable via DSE Config. Suite PC software	
◆ User selectable RS232 and RS485 communications	
◆ Power save mode	
◆ Flexible sender inputs	
◆ Fuel usage monitor and low fuel alarms	
◆ Charge alternator failure alarm	
◆ Manual speed control (on compatible CAN engines)	
◆ Manual fuel pump control	
◆ Engine exerciser	
◆ “Protections disabled” feature	
◆ kW overload protection	
◆ Automatic load transfer	
◆ Independent Earth Fault trip	
◆ USB connectivity	
◆ Backed up real time clock	
◆ Configurable display languages	
◆ SMS Messaging (additional external modem required)	
◆ Additional display screens to help with modem diagn.	
◆ DSENet® expansion compatible	

Factory : A.O.S.B. 10037 Sk. No:11 35580 Cigli / Izmir / Turkey
Tel : +90-232-328 19 80 (Pbx) **Fax :** +90-232-328 19 01 **E-Mail :** info@indeks.com.tr **Web :** www.indeks.com.tr

Biodata Penulis

Penulis bernama lengkap Suratno, dilahirkan di Magetan, 31 Oktober 1969 dan bertempat tinggal di Panekan Magetan. Pada tahun 1991 penulis kuliah di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya , setelah lulus dari Politeknik penulis bekerja di Perusahaan Konstruksi Baja dan menjadi PNS di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya tahun 2000. Penulis meneruskan kuliah di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS tahun 2006 dan lulus tahun 2009. Di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya penulis aktif sebagai Laboran di Laboratorium Studio Perencanaan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penelitian yang sudah dilakukan mengenai kapal penangkap ikan di desa Brondong Lamongan Jawa Timur. Melanjutkan pendidikan ke jenjang Magister di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, penulis juga aktif dalam beberapa proyek dan penelitian bersama dengan tim dosen di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Dalam bidang akademik, penulis mengambil bidang *Marine Power Plant* sebagai bidang khusus penelitian selama kuliah magister. Ketertarikan penulis pada bidang energi seuai dengan proyek yang telah dikerjakan tentang uji tarik kapal Tug Boat, sehingga dengan penelitian ini diharapkan dapat pengetahuan praktis untuk diterapkan di lapangan guna menghasilkan penggunaan bakan bakar yang optimal.

Penulis menyadari dalam penelitian ini masih banyak kekurangan serta masing banyak yang perlu dikembangkan, oleh karena itu penulis berharap adanya kritik, saran, serta masukan dari pihak-pihak terkait guna mengembangkan penelitian selanjutnya. Emai timur_ratno@yahoo.com .