

38765/H/10



GS



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

RSSP

623.812 32

Rak

$\frac{t-1}{2009}$

TUGAS AKHIR LS 1336

TINJAUAN TEKNIS PERENCANAAN POWER PADA HARBOUR TUG UNTUK KT ANGGADA VIII DAN KT ANGGADA XV

NUR RAMLIE RAKHMADHAN
NRP 4205 100 018

Dosen Pembimbing
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2009

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	14-7-2009
Terima Dari	H
No. Agenda Prg.	038

TUGAS AKHIR - LS 1336

**TINJAUAN TEKNIS PERENCANAAN POWER
PADA HARBOUR TUG UNTUK
KT ANGGADA VIII DAN KT ANGGADA XV**

NUR RAMLIE RAKHMADHAN
NRP 4205 100 018

Dosen Pembimbing
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2009



FINAL PROJECT - LS 1336

**TECHNICAL STUDY OF POWER DESIGN AT
HARBOUR TUG FOR TB ANGADA VIII AND
TB ANGGADA XV**

**NUR RAMLIE RAKHMADHAN
NRP 4205 100 018**

**Consulting Lecturer
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc**

**DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2009**

TINJAUAN TEKNIS PERENCANAAN POWER PADA HARBOUR TUG UNTUK KT. ANGGADA VIII DAN ANGGADA XV

Nama Mahasiswa : NUR RAMLIE RAKHMADHAN
NRP : 4205 100 018
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

Abstrak

Di PT. Pelabuhan Indonesia IV Makassar (PELINDO IV Makassar) terdapat KT. Anggada VIII (di pelabuhan Makassar) dan KT. Anggada XV (di pelabuhan Balikpapan) yang membutuhkan penggantian engine dengan daya yang lebih besar atau disebut repowering. Penggantian engine dengan daya yang lebih besar ini dilakukan untuk meningkatkan bollard pull kapal tunda (tug boat) menjadi 22 ton. Selain itu juga dikarenakan engine yang ada sekarang usianya sudah tua sehingga performanya menurun.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis perhitungan pada KT. Anggada VIII dan KT. Anggada XV dengan menggunakan program Maxsurf dan perhitungan manual dengan metode Holtrop untuk menentukan besarnya tahanan pada kecepatan 12 knots. Kemudian setelah ditentukan besar tahanannya, maka dilakukan perhitungan daya engine yang dibutuhkan KT. Anggada VIII dan KT. Anggada XV. Setelah itu ditentukan tipe propeller dan spesifikasi propeller yang digunakan. Untuk KT. Anggada VIII menggunakan ducted propeller sedangkan KT. Anggada XV menggunakan fixed propeller. Kemudian dilakukan perhitungan bollard pull dengan engine dan propeller yang sudah ditentukan.

Berdasarkan hasil analisa, KT Anggada VIII membutuhkan daya 2 x 450 HP (twin screw), propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87. Dengan engine dan propeller tersebut, KT Anggada VIII bisa menghasilkan bollard pull sebesar 21,42 ton (kondisi engine SCR) dan 23,86 ton (untuk kondisi engine MCR). Untuk KT. Anggada VIII, agar menghasilkan bollard pull 22 ton pada kondisi SCR maka daya engine diperbesar menjadi 2 x 468,44 HP (pada MCR) dengan menggunakan propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87. KT Anggada XV membutuhkan daya 2 x 800 HP (twin screw), propeller B4-100, diameter propeller 1,657 meter dan P/D ratio 0,8. Dengan engine dan propeller tersebut, KT Anggada XV bisa menghasilkan bollard pull sebesar 15,04 ton (kondisi engine SCR) dan 16,76 ton (untuk kondisi engine MCR). Untuk KT. Anggada XV, agar menghasilkan bollard pull 22 ton pada kondisi SCR maka daya engine diperbesar menjadi 2 x 1415,67 HP (pada MCR) dengan menggunakan propeller B4-100, diameter propeller 1,657 meter dan P/D ratio 0,8.

Kata kunci : repowering, bollard pull

TECHNICAL STUDY OF POWER DESIGN AT HARBOUR TUG FOR TB ANGGADA VIII AND TB ANGGADA XV

Name : NUR RAMLIE RAKHMADHAN
Register Number : 4205 100 018
Departement : Departement of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology ITS
Supervisor : Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

Abstract

TB Anggada VIII (at Makassar port) and TB Anggada XV (at Balikpapan port), which belong to PT. Pelabuhan Indonesia IV Makassar (Pelindo IV Makassar), need engine repair that have bigger power also known as repowering. It is done in order to increase the bollard pull of the tug boat into 22 ton. Another reason because the present engine in an old one which its performance has decreased.

The calculation analysis in this final project used Maxsurf program and manual calculation using Holtrop method in order to determine the resistance at 12 knot. After the resistance value had been determined, a calculation towards the needed engine power was done. Next, the propeller type and spesification were decided. TB Anggada VIII used ducted propeller, while TB Anggada XV used fixed propeller. Then, bollard pull calculation was done using the chosen engine and propeller.

Based on the result, TB Anggada VIII needs power of 2 x 450 HP (twin screw), propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, propeller diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87. Using the engine and propeller, TB Anggada VIII can produce bollard pull of 21,42 ton (SCR engine condition) and 23,86 ton (MCR engine condition). In order to produce bollard pull of 22 ton in SCR

condition, TB Anggada VIII needs to increase the engine power into 2 x 468,44 ton (at MCR) using propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, propeller diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87. TB Anggada XV needs power of 2 x 800 HP (twin screw), propeller B4-100, propeller diameter 1,657 meter and P/D ratio 0,8. Using the engine and propeller, TB Anggada XV can produce bollard pull of 15,04 ton (SCR engine condition) and 16,76 ton (MCR engine condition). In order to produce bollard pull of 22 ton in SCR condition, TB Anggada XV needs to increase the engine power into 2 x 1415,67 HP (at MCR) using propeller B4-100, propeller diameter 1,657 meter and P/D ratio 0,8.

Key words : repowering, bollard pull

**TINJAUAN TEKNIS PERENCANAAN POWER
PADA HARBOUR TUG UNTUK
KT. ANGGADA VIII DAN KT. ANGGADA XV**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

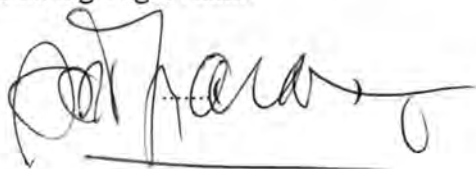
Oleh:

NUR RAMLIE RAKHMADHAN

Nrp. 4205 100 018

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc



**SURABAYA
JULI, 2009**

**TINJAUAN TEKNIS PERENCANAAN POWER
PADA HARBOUR TUG UNTUK
KT. ANGGADA VIII DAN KT. ANGGADA XV**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NUR RAMLIE RAKHMADHAN

Nrp. 4205 100 018

Mengetahui Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
FTK-ITS

Ir. Alam Baheramsyah, M.Sc.



**SURABAYA
JULI, 2009**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam, Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang selalu memberikan petunjuk, rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua. Tak lupa kita ucapkan Sholawat serta salam kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Saya ucapkan terima kasih kepada Bpk. Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc sebagai dosen pembimbing, serta bpk. Taufik Fajar Nugroho ST, M.Sc sebagai koordinator Tugas Akhir, yang telah memberikan semangat, pengetahuan, dan saran dalam mengerjakan tugas ini. Kepada ayah dan ibuku yang telah mendukung dan membantu dengan doa tanpa henti - hentinya, ananda haturkan terima kasih sebesar-besarnya. Kepada Bpk. Pras (Direktur Teknik PT Pelindo IV Makassar), mas Anton (Staf pelabuhan Makassar), mas Bondan (staf pelabuhan Makassar), dan mas Mahendra (Staf pelabuhan Balikpapan) saya ucapkan terimakasih atas bimbingan dan bantuan data di PT Pelindo IV Makassar. Tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu dalam berbagi ilmu pengetahuan dalam pengerjaan Tugas akhir ini.

Dalam laporan ini mungkin masih terdapat beberapa kekurangan yang perlu untuk diperbaiki. Oleh karena itu saya mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga dapat membantu kesempurnaan Tugas Akhir ini. Dengan harapan mempermudah dan membantu pada penulisan-penulisan berikutnya. Semoga dengan penulisan laporan ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, Amin.

Surabaya, Juli 2009

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian dan Fungsi Kapal Tunda.....	5
2.2 Kondisi Operadi Kapal Tunda.....	6
2.3 Tahanan Kapal Tunda.....	7
2.3.1 Perhitungan Tahanan Kapal dengan Metode Holtrop.....	8
2.3.1.1 Perhitungan Tahanan Gesek.....	8
2.3.1.2 Perhitungan Tahanan Tambahan.....	10
2.3.1.3 Perhitungan Tahanan Gelombang.....	11
2.3.1.4 Perhitungan Nilai Koreksi Model Kapal.....	14
2.3.1.5 Perhitungan Tahanan Total Kapal.....	14
2.4 Baling-baling (Propeller).....	15
2.4.1 Karakteristik Open Propeller.....	16
2.4.2 Karakteristik Ducted Propeller.....	17
2.4.2.1 Accelerating Nozzle.....	20
2.4.2.2 Deaccelerating Nozzle.....	22
2.5 Penentuan Daya Kapal Tunda.....	22
2.5.1 Penentuan Daya Kapal.....	22
2.5.2 Daya Motor yang Dipasang.....	23
2.5.3 Penentuan Daya dengan Estimasi.....	24
2.6 Engine Propeller Matching.....	26
2.6.1 Gaya Dorong Kapal.....	26

2.6.2 Interaksi Lambung Kapal dan Propeller.....	27
2.6.3 Karakteristik Beban Propeller.....	28
2.6.4 Karakteristik Main Engine (Diesel).....	29
2.6.5 Kombinasi Karakteristik Main Engine dan Propeller..	30
2.7 Kondisi Menarik.....	31
2.8 Kondisi Tarikan Bollard.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	34
3.1 Umum.....	34
3.2 Studi Literatur dan Data Kapal Tunda.....	35
3.3 Perhitungan Tahanan Kapal Tunda.....	35
3.4 Perhitungan Daya Engine, Pemilihan Engine dan Pemilihan Propeller.....	35
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Penentuan Daya Main Engine dan Sistem Propulsi pada KT. Anggada XV.....	36
4.1.1 Perhitungan Tahanan KT. Anggada XV Pada Keadaan Free Running.....	36
4.1.1.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf... 36	
4.1.1.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop.....	39
4.1.2 Perhitungan Tahanan KT. Anggada XV Pada Keadaan Menarik (Kecepatan 5 knot).....	45
4.1.2.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf... 46	
4.1.2.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop.....	49
4.1.3 Perhitungan Daya dan Pemilihan Main Engine serta Pemilihan Propeller Pada KT Anggada XV.....	63
4.1.3.1 Perhitungan Daya Main Engine.....	63
4.1.3.2 Perhitungan Daya Main Engine dengan Estimasi. 66	
4.1.3.3 Pemilihan Main Engine.....	68
4.1.3.4 Pemilihan Propeller.....	74
4.1.4 Perhitungan Bollard Pull.....	90
4.2 Penentuan Daya Main Engine dan Sistem Propulsi pada KT. Anggada VIII.....	92
4.2.1 Perhitungan Tahanan KT. Anggada VIII Pada Keadaan Free Running.....	92
4.2.1.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf... 92	

4.2.1.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop.....	95
4.2.2 Perhitungan Tahanan KT. Anggada VIII Pada Keadaan Menarik (Kecepatan 5 knot).....	101
4.2.2.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf	101
4.2.2.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop...	102
4.2.3 Perhitungan Daya dan Pemilihan Main Engine serta Pemilihan Propeller Pada KT Anggada VIII.....	110
4.2.3.1 Perhitungan Daya Main Engine.....	110
4.2.3.2 Perhitungan Daya Main Engine dengan Estimasi	113
4.2.3.3 Pemilihan Propeller.....	115
4.2.3.4 Perhitungan Ulang Daya Main Engine.....	120
4.2.3.5 Pemilihan Main Engine.....	124
4.2.3.6 Engine Propeller Matching.....	130
4.2.4 Perhitungan Bollard Pull.....	134
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	137
5.1 Kesimpulan.....	137
5.2 Saran.....	138
DAFTAR PUSTAKA.....	139
Lampiran.....	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Open Water Diagram.....	17
Gambar 2.2. Ducted Propeller.....	18
Gambar 2.3. Perbedaan tekanan pada daun propeller.....	19
Gambar 2.4. Bentuk umum dan perbedaan tipe nozzle.....	20
Gambar 2.5. Bentuk dari profil nozzle no. 19A.....	21
Gambar 2.6. Kurva Estimasi Daya vs Length Over All.....	24
Gambar 2.7. Kurva Estimasi Daya vs Towing Speed.....	25
Gambar 2.8. Kurva Estimasi Daya vs Berat Kapal yang ditarik....	26
Gambar 2.9. Contoh Ploting K_T dan K_{T-SM} pada kurva open water test propeller.....	28
Gambar 2.10. Karakteristik Beban Propeller.....	29
Gambar 2.11. Grafik hubungan engine torque dan engine speed...30	
Gambar 2.12. Grafik hubungan engine power dan engine speed...30	
Gambar 2.13. Matching Point Engine dan Propeller.....	31
Gambar 2.14. Harga efisiensi tarik (η_{tarik}).....	32
Gambar 3.1. Flowchart pengerjaan tugas akhir ini.....	34
Gambar 4.1. Surface KT. Anggada XV.....	36
Gambar 4.2. Grafik Tahanan KT Anggada XV.....	38
Gambar 4.3. Surface KM. Caraka Jaya.....	47
Gambar 4.4. Grafik Tahanan KM Caraka Jaya.....	49
Gambar 4.5. Grafik perbandingan panjang engine untuk KT. Anggada XV.....	70
Gambar 4.6. Grafik perbandingan lebar engine untuk KT. Anggada XV.....	71
Gambar 4.7. Gambar perbandingan tinggi engine untuk KT. Anggada XV.....	71
Gambar 4.8. Gambar perbandingan berat engine untuk KT. Anggada XV.....	72
Gambar 4.9. Gambar perbandingan SFOC engine untuk KT. Anggada XV.....	73
Gambar 4.10. Gambar perbandingan putaran engine untuk KT Anggada XV.....	73
Gambar 4.11. Grafik KT-J Anggada XV.....	83

Gambar 4.12. Kurva open water B4-100 P/D 0,8 KT Anggada XV.....	84
Gambar 4.13. Engine propeller matching KT. Anggada XV.....	89
Gambar 4.14. Linesplan KT. Anggada VIII.....	92
Gambar 4.15. Grafik Tahanan KT. Anggada VIII.....	94
Gambar 4.16. Grafik KT-J pada KT Anggada VIII.....	118
Gambar 4.17. Kurva open water propeller KT Anggada VIII.....	119
Gambar 4.18. Grafik perbandingan panjang engine untuk KT. Anggada VIII.....	126
Gambar 4.19. Grafik perbandingan lebar engine untuk KT. Anggada VIII.....	126
Gambar 4.20. Gambar perbandingan tinggi engine untuk KT. Anggada VIII.....	127
Gambar 4.21. Gambar perbandingan berat engine untuk KT. Anggada VIII.....	128
Gambar 4.22. Gambar perbandingan SFOC engine untuk KT. Anggada VIII.....	129
Gambar 4.23. Gambar perbandingan putaran engine untuk KT. Anggada VIII.....	129
Gambar 4.24. Engine propeller matching KT. Anggada VIII.....	133

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai c_{stem} dari beberapa bentuk buritan.....	9
Tabel 2.2 Nilai $(1+k_2)$ untuk beberapa tipe bagian tambahan.....	10
Tabel 2.3. harga $\frac{0,01107.K_T}{K_e^{2/3}}$	33
Tabel 4.1. Tahanan KT Anggada XV saat free running.....	37
Tabel 4.2. Tahanan KM Caraka Jaya saat ditarik.....	47
Tabel 4.3. Perbandingan engine (KT Anggada XV).....	69
Tabel 4.4. Perhitungan kavitasi propeller KT. Anggada XV.....	80
Tabel 4.5. Perhitungan KT pada KT Anggada XV.....	82
Tabel 4.6. Nilai J, KT, KQ dan η pada KT Anggada XV.....	84
Tabel 4.7. Daya Propeller KT Anggada XV saat Clean Hull.....	88
Tabel 4.8. Daya Propeller KT Anggada XV saat Rough Hull.....	88
Tabel 4.9. Daya engine pada KT Anggada XV.....	89
Tabel 4.10. Tahanan KT Anggada VIII saat Free Running.....	93
Tabel 4.11. Perhitungan K_T pada KT. Anggada VIII	117
Tabel 4.12. Nilai J, KT, KQ dan η pada KT Anggada VIII.....	119
Tabel 4.13. Perbandingan engine (KT Anggada VIII).....	125
Tabel 4.14. Daya Propeller KT Anggada VIII saat Clean Hull. 132	
Tabel 4.15. Daya Propeller KT Anggada VIII saat Rough Hull..132	
Tabel 4.16. Daya engine pada KT Anggada VIII.....	133

BAB I PENDAHULUAN

flexiPrint
Gelang Ier 107

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal tunda adalah kapal yang dapat digunakan untuk melakukan manuver atau pergerakan, utamanya menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai atau terusan. Kapal tunda digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak, dan peralatan lainnya. Kapal tunda mempunyai fungsi yang sangat penting di pelabuhan, yaitu membantu kapal-kapal dengan ukuran besar untuk bersandar dipelabuhan. Hal ini dikarenakan kapal dengan ukuran besar sulit untuk bermanuver di wilayah pelabuhan.

Seiring dengan semakin tingginya pertumbuhan ekonomi maka arus lalu lintas pelayaran yang masuk pelabuhan juga semakin tinggi sehingga kapal tunda akan beroperasi dengan frekuensi yang lebih tinggi. Dalam hal ini kapal tunda harus dapat melayani semua kapal yang masuk ke pelabuhan. Selain itu ukuran dimensi kapal yang ditarik juga semakin besar seiring dengan majunya teknologi. Sehingga dibutuhkan perubahan desain kapal tunda terutama desain daya main engine dan sistem propulsi kapal, untuk memenuhi kebutuhan daya tarik yang semakin besar.

Di pelabuhan Indonesia IV Makassar terdapat KT Anggada VIII buatan tahun 1985 dan di cabang Balikpapan terdapat KT Anggada XV buatan tahun 1985. Kedua kapal tunda tersebut memerlukan perencanaan ulang daya tarik kapal atau merencanakan ulang bollard pull guna mengikuti perkembangan ukuran dimensi kapal yang semakin besar. Sehingga bollard pullnya harus ditambah menjadi 22 ton. Hal ini dilakukan karena gaya tarik kapal tunda tersebut saat ini sudah tidak mampu menarik kapal secara maksimal, yang saat ini umumnya ukuran dimensinya sudah semakin besar. Sehingga perlu dilakukan

penggantian main engine (repowering) dan perencanaan ulang sistem propulsi. Repowering juga dilakukan pada kapal tunda tersebut karena kinerja dari main engine yang sekarang sudah menurun dibanding pada awal kapal tunda dibuat atau karena faktor usia engine yang semakin tua. Akibatnya, kinerja dari kapal tunda berkurang dan transportasi di dalam pelabuhan sedikit terganggu.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perencanaan ulang daya main engine kapal tunda (tug boat). Untuk melakukan perencanaan ulang daya main engine juga perlu dilakukan *Engine Propeller Matching* terhadap sistem propulsi dengan main engine pada kapal tunda. Dengan matching yang tepat antara motor penggerak utama, propeller dan badan kapal itu sendiri maka akan dihasilkan sebuah sistem penggerak kapal yang dapat bekerja dengan optimal pada saat beroperasi. Sistem propulsi pada KT Anggada VIII dan KT Anggada XV menggunakan fixed propeller, tetapi pada KT Anggada VIII menggunakan ducted propeller (kort nozzle).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang ingin diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah menghitung daya main engine pada KT Anggada VIII dan KT Anggada XV yang baru, sesuai kebutuhan saat ini sehingga dapat ditentukan daya main engine yang baru agar dapat dilakukan repowering atau penggantian main engine. Detail permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung daya main engine KT Anggada VIII dan KT Anggada XV yang baru.
2. Menganalisa engine propeller matching pada kapal tunda dan sekaligus memilih tipe propeller dengan diameter dan pitch tertentu pada KT Anggada VIII dan KT Anggada XV

1.3 Batasan Masalah

Untuk menegaskan permasalahan yang diteliti maka diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak melakukan perhitungan terhadap sistem transmisi.
2. Data spesifikasi motor yang lama, data kapal dan data sistem propulsi merupakan data yang diperoleh dari data kapal tunda tersebut.
3. Tidak merancang perubahan badan kapal.
4. Hanya menentukan daya main engine dan menentukan spesifikasi main engine dan hanya menentukan tipe propeller, diameter dan pitch-nya tanpa menggambar propeller.
5. Penentuan daya dilakukan pada kondisi free running, kondisi menarik dan Bollard Pull (Kondisi menarik tiang bollard dengan kecepatan nol). Di mana yang dijadikan acuan adalah kondisi dengan tahanan terbesar.
6. Study kasus pada KT Anggada VIII dan KT Anggada XV.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung daya main engine KT Anggada VIII dan KT Anggada XV yang baru.
2. Mengaplikasikan metode engine propeller matching pada kapal tunda. Sehingga dapat diketahui apakah main engine yang dipilih sudah memenuhi kebutuhan atau tidak.



1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diperoleh dengan terselesaikannya tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat diketahuinya daya main engine dan spesifikasi propeller yang baru pada kapal tunda sehingga dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi PT Pelabuhan Indonesia IV dalam melakukan repowering.
2. Sebagai referensi mahasiswa khususnya dan masyarakat pada umumnya dalam menyelesaikan permasalahan yang sama

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

flax!Print
Debang Lor 107

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan Fungsi Kapal Tunda

Kapal tunda adalah kapal yang dapat digunakan untuk bermanuver atau melakukan gerakan, utamanya untuk menarik atau mendorong kapal lainnya di pelabuhan, laut lepas, sungai atau terusan. Kapal tunda juga digunakan untuk menarik tongkang, kapal rusak atau peralatan lainnya.

Kapal tunda memiliki tenaga yang besar jika dibandingkan dengan ukurannya. Biasanya daya *main engine* kapal tunda berkisar antara 750 sampai 3000 HP (500 sampai 2000 kW), tetapi kapal yang digunakan di laut lepas, daya *main engine*-nya bisa mencapai 25000 HP (20000 kW).

Kapal tunda memiliki kemampuan manuver yang tinggi, tergantung dari unit penggerak. Kapal Tunda dengan penggerak konvensional memiliki baling-baling di belakang, efisien untuk menarik kapal dari pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Jenis penggerak lainnya sering disebut Schottel propulsion system (*azimuth thruster/Z-peller*) di mana baling-baling di bawah kapal dapat bergerak 360° atau sistem propulsi Voith-Schneider yang menggunakan semacam pisau di bawah kapal yang dapat membuat kapal berputar 360°. Jenis-jenis kapal tunda antara lain sebagai berikut :

- Kapal tunda konvensional (*Towing/Pusher Tug*)
Kapal tunda konvensional adalah kapal tunda yang digunakan sesuai dengan fungsi pada umumnya, yaitu untuk menarik atau mendorong kapal lain

- Kapal tunda serbaguna (*Utility Tug*)
Kapal tunda serbaguna adalah kapal tunda yang dapat digunakan untuk berbagai fungsi, seperti menarik tongkang, kapal rusak, dan lain-lain
- Kapal tunda pelabuhan (*Harbour Tug*)
Kapal tunda pelabuhan adalah kapal tunda yang berfungsi untuk membantu kapal lain dengan ukuran besar yang akan bersandar ke pelabuhan atau keluar dari pelabuhan. Hal ini dikarenakan kapal dengan ukuran besar. Kesulitan untuk bermanuver di pelabuhan.

Faktor-faktor yang menentukan performa dari kapal tunda antara lain sebagai berikut :

1. Stabilitas kapal tunda
2. Berat kapal tunda
3. Daya main engine (bollard pull)
4. Tipe propulsi
5. Letak propeller, menentukan besarnya gaya tarik
6. Metode untuk membantu kapal yang lebih besar

2.2 Kondisi Operasi Kapal Tunda

Kapal tunda merupakan kapal yang kondisi operasinya paling variatif. Kondisi operasinya berganti-ganti, mulai dari menarik tanker, menarik kapal pengangkut kereta api, sampai berlayar bebas tanpa pekerjaan. Keadaan operasi inilah yang menyebabkan kesulitan dalam menentukan fixed propeller yang dipakai, karena fixed propeller hanya maksimum pada satu keadaan operasi.

Penentuan daya efektif pada kapal tunda ditentukan oleh 3 keadaan :

1. Keadaan free running yaitu kecepatan bebas saat tidak menarik (10-14 knots)
2. Kecepatan pada waktu menarik (4-6 knots)

3. Keadaan pada waktu menarik tiang bollard dengan kecepatan nol

(Diktat Teori Tahanan Kapal II. Digul Siswanto M.Sc)

2.3 Tahanan Kapal Tunda

Tahanan kapal merupakan gaya yang berlawanan dengan arah gerak kapal sehingga menghambat gerakan kapal. Sebelum menghitung tahanan kapal tunda, terlebih dahulu ditentukan koefisien tahanan kapal tunda. Untuk ukuran standart, misal 100 x 25 x 10 ft, maka koefisien tahanan totalnya sebagai berikut.

$$c = \frac{C_p \cdot V_k}{L_{pp}} \quad (2.1)$$

di mana :

c	= koefisien tahanan total kapal tunda
C_p	= koefisien prismatic
V_k	= kecepatan kapal tunda
L_{pp}	= Length of Perpendicular

Fungsi di atas dapat digunakan untuk kapal-kapal tunda dengan ketelitian yang cukup. Untuk koreksi appendage adalah penambahan 15% dan 20%., masing-masing untuk koreksi tahanan untuk baling-baling tunggal dan baling-baling ganda. Setelah ditentukan koefisien tahanan total kapal tunda, maka selanjutnya ditentukan nilai tahanan total kapal tunda.

$$R_T = C_T \left(\frac{1}{2} \rho V^2 S \right) \quad (2.2)$$

di mana :

R_T	= Tahanan total kapal (N)
C_T	= Koefisien tahanan kapal total
V	= Kecepatan dinas kapal (m/s)
S	= Luas permukaan basah badan kapal (m ²)

Tahanan kapal tunda juga dapat ditentukan dengan cara lain seperti dengan menggunakan program maxsurf dan perhitungan dengan cara holtrop.

2.3.1 Perhitungan Tahanan Kapal dengan Metode Holtrop

2.3.1.1 Perhitungan Tahanan Gesek

Tahanan gesek adalah tahanan yang disebabkan viskositas fluida. Adapun rumus *viscous resistance* (R_v) adalah sebagai berikut :

$$R_v = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} (1 + k_1) S \quad (2.3)$$

Di mana :

- R_v = *Viscous Resistance* (N)
- ρ = Densitas air laut (1025 kg/m³)
- V = Kecepatan dinas kapal (m/s)
- C_{FO} = Koefisien gesekan
- k_1 = faktor bentuk lambung
- S = Luas permukaan lambung yang terkena air (m²)

Menurut ITTC-1957 besar koefisien gesekan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_{FO} = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} \quad (\text{ITTC } 1957) \quad (2.4)$$

Di mana :

- Rn = Reynold Number
- $= \frac{V \times L}{u}$, u = viskositas kinematik (1,188.10⁻⁶)

Nilai (1+k₁) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871c(B/L)^{1,0681}(T/L)^{0,4611}(L/L_R)^{0,1216} \\ (L^3/\nabla)^{0,3649}(1 - C_p)^{-0,6042} \quad (2.5)$$

Koefisien c pada persamaan (2.5) adalah koefisien perhitungan untuk bentuk khusus buritan kapal. Nilai c dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$c = 1 + 0,011c_{stern} \quad (2.6)$$

Tabel 2.1 Nilai c_{stern} dari beberapa bentuk buritan

Afterbody form	Cstern
<i>pram with gondola</i>	-25,00
<i>V-shaped section</i>	-10,00
<i>normal shaped</i>	0,00
<i>U-shaped section with Hogner stern</i>	+10

Koefisien L_R pada persamaan (2.5) adalah *Length of Run*, yang nilainya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$L_R = L \cdot [1 - C_p + (0,06C_p \cdot LCB / (4C_p - 1))] \quad (2.7)$$

Jika luas permukaan lambung yang terkena air tidak diketahui, maka dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$S = L(2T + B)C_M^{0,5} (0,4530 + 0,4425C_B - 0,2862C_M \\ - 0,003467B/T + 0,3696C_{WP}) + 2,38A_{BT} / C_B \quad (2.8)$$

Di mana :

- T = Sarat rata-rata (m)
- L = Panjang garis air (m)

- B = Lebar pada midship (m)
 LCB = Longitudinal center of bouyancy
 A_{BT} = Cross sectional area bulb dalam vertikal

2.3.1.2 Perhitungan Tahanan Tambahan

Tahanan tambahan merupakan tambahan pada tahanan viskositas sehingga dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{TOT} (1+k) \quad (2.9)$$

Nilai (1+k) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$(1+k) = (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}} \quad (2.10)$$

Dimana :

- k₂ = Faktor bentuk efektif dari bagian tambahan
 S_{app} = Luas permukaan basah bagian tambahan
 S_{tot} = Luas permukaan yang basah dari lambung dan bagian tambahan.

Tabel 2.2 Nilai (1+k₂) untuk beberapa tipe bagian tambahan

Type Appendage (bagian tambahan)	Nilai (1+k₂)
Rudder of single screw ship	1,3-1,5
Spade-type rudders of twin-screw ship	2,8
Skeg-rudders of twin-screw ship	1,5-2,0
Shaft bracket	3,0
Bossings	2,0
Bilge keels	1,4
Stabilizer fins	2,8
Shafts	2,0
Sonar dome	2,7

Jika bagian tambahan lebih dari satu, maka nilai $(1+k_2)$ dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut.

$$(1+k_2)_{effective} = \frac{\sum S_i (1+k_2)_i}{\sum S_i} \quad (2.11)$$

2.3.1.3 Perhitungan Tahanan Gelombang

Untuk menentukan besarnya tahanan gelombang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{R_V}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{(m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2}))} \quad (2.12)$$

Di mana :

- R_V = Tahanan gelombang (N)
- W = Berat displacement kapal (N)
- F_n = Froude Number

$$= F_n = \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}}$$

Untuk range dengan kecepatan rendah ($F_n \leq 0,4$), berikut perhitungan koefisien-koefisien yang diperlukan.

$$C_1 = 2223105 \cdot C_4^{3,7861} \cdot (T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757} \quad (2.13)$$

dengan :

$C_4 = 0,2296 (B/L)^{0,3333}$	untuk $B/L \leq 0,11$
$C_4 = B/L$	untuk $0,11 \leq B/L \leq 0,25$
$C_4 = 0,5 - 0,0625 L/B$	untuk $B/L \geq 0,25$

selanjutnya :

$$d = -0,9$$

$$m_1 = 0,01404 L/T - 1,7525 \nabla^{1/3}/L - 4,7932 B/L - C_5$$

dengan :

$$C_5 = 8,0798C_p - 13,8673C_p^2 + 6,9844C_p^3 \quad \text{untuk } C_p \leq 0,8$$

$$C_5 = 1,7301 - 0,7067 C_p \quad \text{untuk } C_p \geq 0,8$$

dan :

$$m_2 = C_6 \cdot 0,4 \cdot e^{-0,034 \cdot Fn^{-3,29}}$$

yang mana :

$$C_6 = -1,69385 \quad \text{untuk } L^3/\nabla \leq 512$$

$$C_6 = 1,69385 + (L/\nabla^{1/3} - 8,0)/2,36 \quad \text{untuk } 512 \leq L^3/\nabla \leq 1727$$

$$C_6 = 0,0 \quad \text{untuk } L^3/\nabla \geq 1727$$

Terakhir :

$$\lambda = 1,446C_p - 0,03 L/B \quad \text{untuk } L/B \leq 12$$

$$\lambda = 1,446C_p - 0,36 \quad \text{untuk } L/B \geq 12$$

Di mana i_E adalah setengah sudut masuk garis muat air dalam derajat. Koefisien C_2 dihitung untuk menentukan pengaruh dari bulb bow. Jika tidak ada bulb bow maka nilai $C_2 = 1$. Nilai C_2 dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$C_2 = e^{-1,89} \frac{A_{BT} r_B}{BT(r_B + i)} \quad (2.14)$$

Di mana r_B adalah radius bulb efektif, yang ekuivalen dengan :

$$r_B = 0,56 A_{BT}^{0,5} \quad (2.15)$$

i merepresentasikan bagian yang efektif tercelup air dari bulb yang ditentukan oleh :

$$i = T_f - h_B - 0,4464r_B \quad (2.16)$$

Di mana :

- T_f = sarat pada forward perpendicular
 h_B = tinggi centroid area A_{BT} di atas baseline.

Koefisien terakhir adalah C_3 . Persamaan untuk menentukan nilai C_3 adalah sebagai berikut.

$$C_3 = 1 - 0,8A_T / (BTC_M) \quad (2.17)$$

A_T adalah area yang terbenam dari transom saat kecepatan nol. Jika nilai i_E tidak diketahui, maka besar i_E dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$i_E = 125,67B/L - 162,25C_p^2 + 234,32C_p^3 + 0,1551 \left(LCB + \frac{6,8(T_a - T_f)}{T} \right)^3 \quad (2.18)$$

Di mana :

- T_a = Sarat pada after perpendicular

Untuk range kecepatan tinggi ($Fn \geq 0,55$) beberapa koefisien di atas memiliki hubungan yang berbeda.

$$C_1 = 6919,3C_M^{-1,3346} (\nabla / L^3)^{2,0098} (L/B - 2)^{1,4069} \quad (2.19)$$

$$m_1 = -7,2035(B/L)^{0,3269} (T/B)^{0,6064} \quad (2.20)$$

Untuk kecepatan sedang ($0,4 \leq Fn \leq 0,55$) dapat menggunakan persamaan interpolasi berikut.

$$\frac{R_w}{W} = \frac{1}{W} \{ R_w (Fn = 0,4) + (10Fn - 4) (R_w (Fn = 0,55) - R_w (Fn = 0,4)) / 1,5 \} \quad (2.21)$$

2.3.1.4 Perhitungan Nilai Koreksi Model Kapal

Persamaan yang diperoleh untuk kelonggaran koreksi model-kapal C_A adalah sebagai berikut.

$$C_A = 0,006(L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 \quad (2.22)$$

Persamaan untuk menentukan C_A di atas valid untuk $T_f / L_{WL} > 0,04$. Jika $T_f / L_{WL} < 0,04$, maka C_A dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_A = 0,006(L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003(L_{WL} / 7,5)^{0,5} C_B^4 \cdot C_2 (0,04 - T_f / L_{WL}) \quad (2.23)$$

2.3.1.5 Perhitungan Tahanan Total Kapal

Tahanan total kapal dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh jenis-jenis tahanan di atas atau dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{tot} [C_F (1 + k) + C_A] + \frac{R_w}{W} W \quad (2.24)$$

2.4 Baling-baling (Propeller)

Mulai pertama kali digunakan sampai sekarang, propeller mengalami perubahan secara perlahan. Propeller merupakan alat propulsi yang paling banyak digunakan sampai saat ini.

Pada awalnya teori kerja propeller sederhana, yaitu berdasarkan prinsip kerja mur dan baut. Pada perkembangannya teori propeller selanjutnya yaitu :

- Teori Momentum
- Teori Elemen Daun
- Teori Sirkulasi

a. Teori Momentum

Teori ini menjelaskan bahwa gaya dorong yang dihasilkan propeller karena perbedaan momentum yang terjadi pada waktu daun propeller bergerak dalam air. Perbedaan tekanan antara bagian muka (face) dan belakang (back) propeller merupakan tambahan tekanan.

$$\Delta P = P_1' - P_1 \quad (2.25)$$

Berputarnya propeller di air, menimbulkan gaya reaksi yang merupakan gaya dorong (*thrust*)

$$T = \Delta P \times A_o \quad (2.26)$$

b. Teori Elemen Daun

Teori ini menjelaskan bahwa gaya dorong propeller merupakan integral dari gaya dorong yang dihasilkan oleh setiap elemen daun. Gaya-gaya yang ditimbulkan akibat bekerjanya propeller pada setiap elemen daun dihitung, di mana gaya tersebut besarnya bergantung pada kecepatan relatif (v) yaitu kecepatan dari partikel air dari aliran air yang bergerak melewati elemen

daun dengan sudut masuk α terhadap elemen daun dan luas elemen daun yang bersangkutan.

c. Teori Sirkulasi

Sirkulasi diberi tanda (Γ) adalah integral garis yang menunjukkan integrasi hasil perkalian antara elemen jarak yang ditempuh dengan komponen kecepatan pada arah jalan yang dilaluinya pada daerah aliran sepanjang garis lengkung yang tertutup pada suatu saat tertentu.

2.4.1 Karakteristik Open Propeller

Propeller memiliki beberapa karakteristik. Pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa karakteristik dari propeller. Propeller memiliki tiga koefisien yang menggambarkan karakteristik propeller yaitu koefisien maju baling-baling (advance coefficient/ J), K_T (thrust coefficient) dan K_Q (torsi coefficient). Adapun persamaan-persamaan untuk menentukan koefisien-koefisien tersebut di atas.

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (2.27)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (2.28)$$

$$J = \frac{V_A}{nD} \quad (2.29)$$

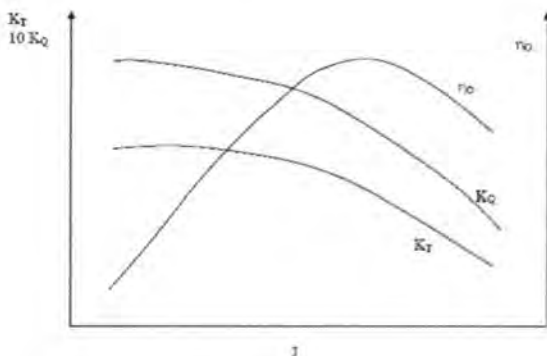
$$\eta_0 = \frac{K_T \cdot J}{2\pi \cdot K_Q} \quad (2.30)$$

di mana :

ρ = densitas air laut

- D = diameter propeller
- Q = torsi propeller
- T = trush propeller
- V_A = speed of advance (kecepatan maju)
- N = kecepatan putaran propeller
- η = efisiensi baling-baling pada kondisi open water

Secara umum karakteristik dari baling-baling kapal pada kondisi *open water test* adalah seperti yang direpresentasikan pada diagram K_T - K_Q - J (lihat gambar 2.1). Adapun contoh open water diagram dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

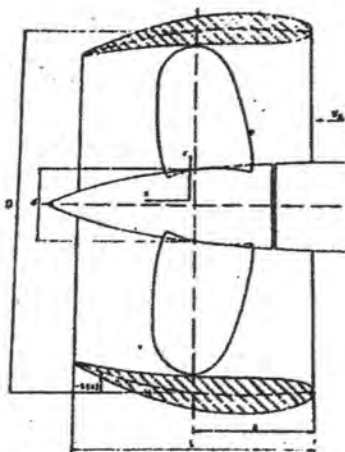


Gambar 2.1 Open Water Diagram

2.4.2 Karakteristik Ducted Propeller

Ducted propeller merupakan pengembangan dari open propeller di mana propeller berada di dalam nozzle agar menghasilkan efisiensi yang lebih baik. Penggunaan nozzle ini, berdasarkan teori momentum. Nozzle biasanya digunakan pada kapal dengan sarat yang rendah atau kapal yang beroperasi pada perairan dangkal. Pada kapal dengan sarat rendah, maka diameter propeller

dibatasi, sehingga nozzle digunakan untuk meningkatkan efisiensi propeller.



Gambar 2.2 Ducted Propeller

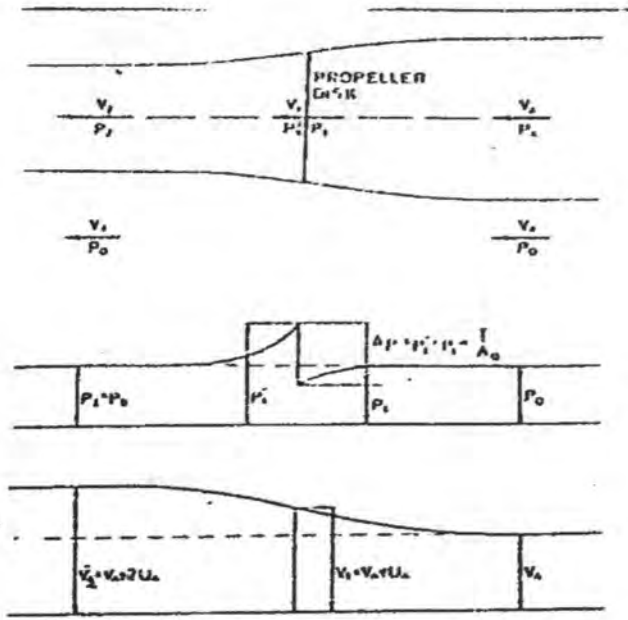
Ducted propeller merupakan kombinasi *amular airfoil* dan *impeller* yang bekerja bersama-sama membentuk unit propulsi.

Persamaan teori momentum total thrust yang bekerja pada fluida karena impeller dan nozzle, sebagai berikut :

$$T = \rho(V_p) \frac{\pi}{4} D^2 U_2 \quad (2.31)$$

Sedangkan thrust propeller dapat ditentukan dengan menghitung perbedaan tekanan pada impeller disk dengan menggunakan persamaan bernoulli :

$$T_p = \rho \left(V_a + \frac{U_2}{2} \right) \frac{\pi}{4} D^2 U_2 \quad (2.32)$$



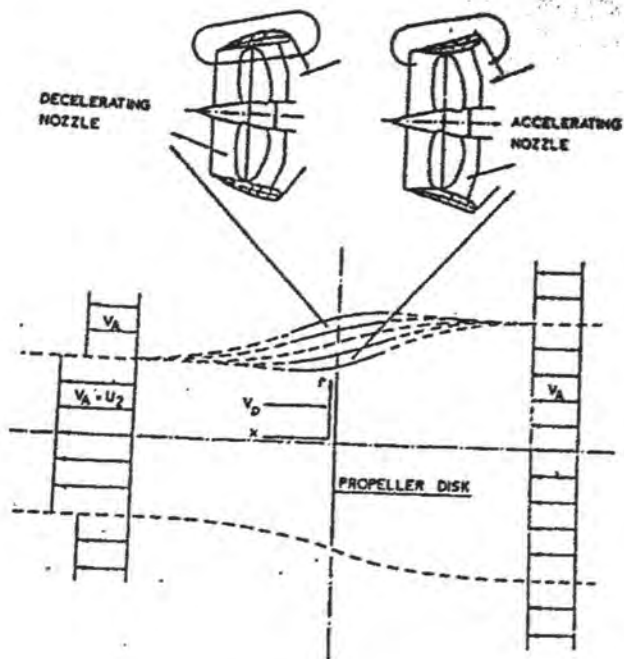
Gambar 2.3 Perbedaan tekanan pada daun propeller

Sehingga dengan adanya nozzle, kecepatan aliran masuk pada ducted propeller bisa lebih besar atau lebih kecil dibandingkan open propeller dengan kondisi dan diameter yang sama.

Dengan menentukan bentuk profil nozzle maka ditentukan bentuk aliran yang masuk ke dalam nozzle. Ada 2 tipe aliran yang masuk ke dalam nozzle, yaitu :

- Accelerating Nozzle
- Decelerating Nozzle

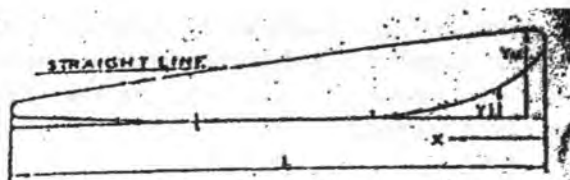




Gambar 2.4 Bentuk umum dan perbedaan tipe nozzle

2.4.2.1 Accelerating Nozzle

Dengan accelerating nozzle akan meningkatkan efisiensi pada beban berat, karena nozzle-nya menghasilkan thrust positif. Pada gambar di bawah ini adalah bentuk standar nozzle tipe No. 19A.



PERCENTAGES OF LENGTH		
100 X/L	100 Y/L	100 YII/L
0	18.25	18.25
1.25	14.66	20.72
2.5	12.80	21.07
5	10.07	20.80
7.5	8.00	 STRAIGHT LINE
10	6.34	
15	3.87	
20	2.17	
25	1.10	
30	0.48	
40		
50	STRAIGHT	
60	LINE	
70		
80	0.82	
90	1.43	
95	1.86	
100	2.36	28.56

Gambar 2.5 Bentuk dari profil nozzle no. 19A

Accelerating nozzle ini mempunyai bentuk struktur yang sederhana di mana bagian dalam dari nozzle yang menghadap propeller berbentuk *axial cylindrical*, sedang bagian luar dari profil nozzle lurus dan trailing edgenya relatif tebal.

Pada tugas akhir ini menggunakan bentuk optimum nozzle dan efisiensi yang selanjutnya dikenal dengan *-ka screw series*. Design dari series ini, memiliki bentuk pitch yang uniform dengan section/potongan berbentuk *flat face*.

Ducted propeller juga memiliki karakteristik yang berbeda dengan open propeller (fixed propeller). Jadi ducted propeller memiliki open water diagram yang berbeda dengan open propeller (fixed propeller).

2.4.2.2 Deaccelerating Nozzle

Deaccelerating nozzle merupakan nozzle yang berfungsi untuk memperlambat aliran yang melewati nozzle, atau disebut dengan pumpjet.

Dengan pemakaian nozzle ini akan mengurangi kavitasi namun efisiensi ducted propeller akan berkurang. Hal ini disebabkan ductednya sendiri menghasilkan thrust yang negatif, sehingga thrust rasionya akan lebih dari 1,0 . Untuk tipe deaccelerating nozzle, biasanya menggunakan Kd-screw series.

2.5 Penentuan Daya Kapal Tunda

2.5.1 Penentuan Daya Kapal

Faktor-faktor yang mempengaruhi daya kapal :

- Efisiensi Lambung , η_{hull}
- Efisiensi Baling-baling (Propeller Efficiency), η_{prop}
- Efisiensi Transmisi Poros, η_s

Sehingga efisiensi keseluruhan kapal (Overall Efficiency), η_p adalah :

$$\eta_p = \frac{P_E}{P_T} \times \frac{P_T}{P_D} \times \frac{P_D}{P_S} = \eta_{hull} \times \eta_{prop} \times \eta_s \quad (2.33)$$

Jadi daya pada poros adalah :

$$P_S = \frac{P_E}{\eta_P} \quad (2.34)$$

Keterangan :

- P_E = Effective Power
- P_T = Thrust Power
- P_D = Delivered Power
- P_S = Shaft Power

2.5.2 Daya Motor yang Dipasang

Daya motor penggerak kapal (P_B) yang dimaksud adalah daya rem (Brake Power) atau daya yang diterima oleh poros transmisi sistem penggerak kapal (P_S), yang selanjutnya untuk dioperasikan secara kontinyu untuk menggerakkan kapal pada kecepatan servisnya (V_S). Jika besarnya efisiensi mekanis pada gear box yang berfungsi untuk mengurangi putaran adalah 98 %, maka daya motor penggerak adalah sebagai berikut :

$$P_{B-CSR} = \frac{P_S}{0,98} \quad (2.35)$$

P_{B-CSR} adalah daya output dari motor penggerak pada kondisi *Continues Service Rating* (CSR), yaitu daya motor pada kondisi 80 -85% dari *Maximum Continues Rating* (MCR). Artinya, daya yang dibutuhkan oleh kapal agar mampu beroperasi pada kecepatan servis V_S adalah cukup diatasi oleh 80-85% daya motor (*engine rated power*) dan pada kisaran 100% putaran motor (*engine rated speed*).

$$P_{B-MCR} = \frac{P_{B-CSR}}{0,85} \quad (2.36)$$

P_{B-MCR} digunakan untuk memilih motor penggerak.

2.5.3 Penentuan Daya dengan Estimasi

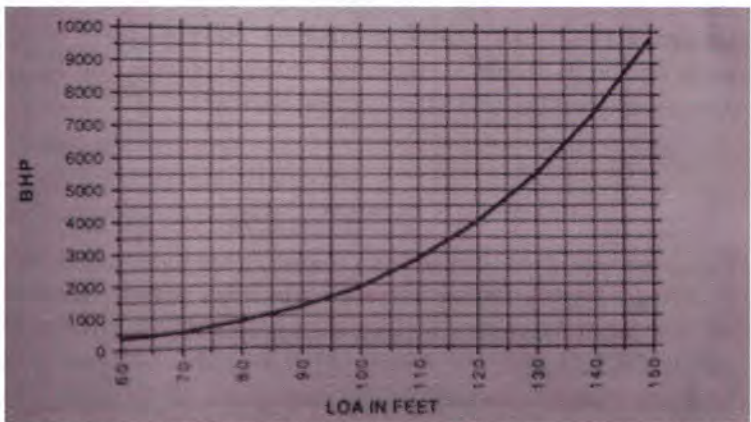
Penentuan daya pada kapal tunda (tug boat) ukuran standart, yaitu dengan panjang Length Over All 60 sampai 150 feet (18,3 sampai 45,7 meter) dapat menggunakan grafik estimasi pada gambar 2.6 . Kurva pada gambar 2.6 diperoleh melalui rumus estimasi sebagai berikut.

$$BHP = 100 + (LOA^{4,15} / 111000) \quad (2.37)$$

di mana :

BHP : daya main engine tug boat (HP)

LOA : length over all (feet)



Gambar 2.6 Kurva Estimasi Daya vs Length Over All

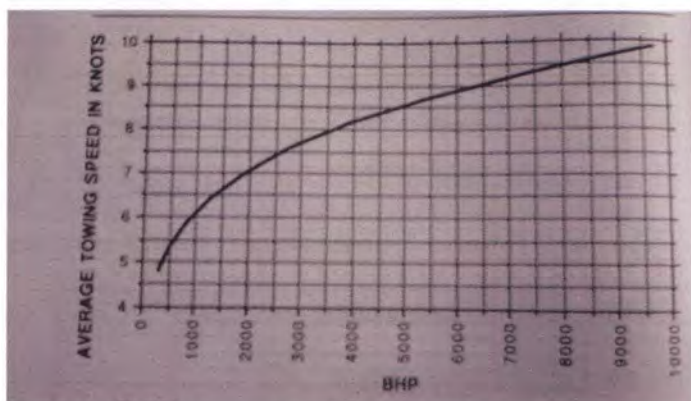
Selain itu daya kapal tunda dapat ditentukan dengan estimasi grafik yang berhubungan dengan Towing Speed dan Berat Kapal yang ditarik. Dua grafik ini, bisa dilihat pada gambar 2.7 dan gambar 2.8 .

Kurva pada gambar 2.7 diperoleh melalui rumus estimasi sebagai berikut.

$$K_{TS} = 1,43 \times BHP^{0,21} \quad (2.38)$$

Di mana :

K_{TS} = Average Towing Speed



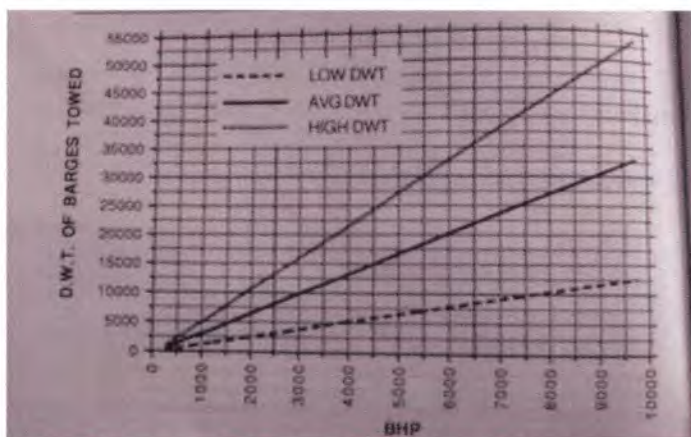
Gambar 2.7 Kurva Estimasi Daya vs Towing Speed

Kurva pada gambar 2.8 diperoleh melalui rumus estimasi sebagai berikut.

$$LowDWT = (1,32 \times BHP) - 255,25 \quad (2.39)$$

$$AvgDWT = (3,43 \times BHP) - 599,18 \quad (2.40)$$

$$HighDWT = (5,57 \times BHP) - 943,1 \quad (2.41)$$



Gambar 2.8 Kurva Estimasi Daya vs Berat Kapal yang ditarik

2.6 Engine Propeller Matching

2.6.1 Gaya Dorong Kapal

Gaya dorong (Thrust) kapal merupakan komponen yang sangat penting, yang mana digunakan untuk mengatasi Tahanan (Resistance) atau Gaya Hambat Kapal. Pada kondisi ideal, besarnya gaya dorong yang dibutuhkan mungkin sama dengan gaya hambat kapal. Namun kondisi tersebut tidak realistis, karena faktanya di badan kapal terjadi fenomena hidrodinamis yang menimbulkan *degradasi* terhadap nilai besaran gaya dorong kapal. (Engine-Propeller Matching. Ir. Surjo W. Adji, M.Sc Ceng.FIMarEST.2005)

Sehingga gaya dorong kapal dapat ditulis dengan persamaan, sebagai berikut :

$$T_{SHIP} = \frac{\alpha \cdot V_A^2}{(1-t)(1-w)^2} \quad (2.42)$$

di mana :

$$\alpha = R_T / V_S^2 = 0,5 \cdot \rho \cdot c \cdot S$$

V_A = Speed of Advance

t = thrust deduction factor

w = wake fractional

2.6.2 Interaksi Lambung Kapal dan Propeller

Interaksi lambung kapal dan propeller merupakan upaya pendekatan di atas kertas untuk mendapatkan karakteristik kinerja baling-baling saat beroperasi pada kondisi *behind the ship*. Metodenya, dengan mengolah persamaan (2.5) dan (2.16).

$$T_{SHIP} = \frac{\alpha \cdot V_A^2}{(1-t)(1-w)^2} \quad \text{dan} \quad T_{PROPELLER} = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4$$

$$T_{SHIP} = T_{PROPELLER}$$

$$K_T = \frac{\alpha \cdot V_A^2}{(1-t)(1-w)^2 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad (2.43)$$

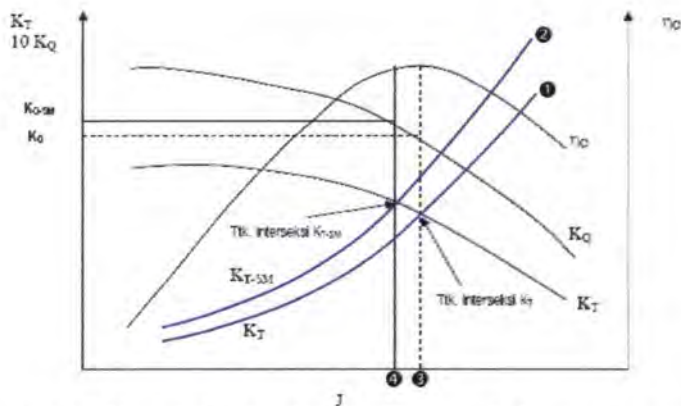
$$\text{Jika } \beta = \frac{\alpha}{(1-t)(1-w)^2 \cdot \rho \cdot D^2}$$

Maka :

$$K_T = \beta \times \frac{V_A^2}{n^2 \cdot D^2} \quad (2.44)$$

$$K_T = \beta \times J^2 \quad (2.45)$$

$$K_{T-SM} = 120\% \times \beta \times J^2 \quad (2.46)$$



Gambar 2.9 Contoh Ploting K_T dan K_{T-SM} pada kurva open water test propeller

2.6.3 Karakteristik Beban Propeller

Variabel yang terlibat pada penentuan karakteristik beban propeller adalah torsi propeller dan kecepatan putar propeller. Torsi propeller ditentukan dengan pengolahan grafis interaksi lambung dan propeller, yaitu K_Q dan K_{Q-SM} . Sehingga persamaan torsi propeller adalah sebagai berikut.

$$Q_{PROPELLER} = K_Q \times \rho \times n^2 \times D^5 \quad (2.47)$$

Dan

$$Q_{PROPELLER-SM} = K_{Q-SM} \times \rho \times n^2 \times D^5 \quad (2.48)$$

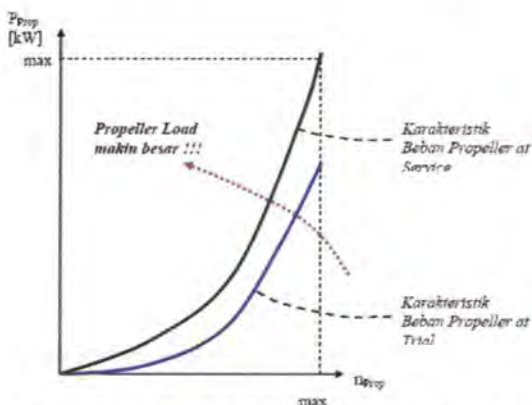
Dari dua persamaan (2.21) dan (2.22) di atas didapat persamaan propeller power.

$$\text{(Power)} = \text{(Torsi)} \times \text{(Kecepatan)}$$

Sehingga,

$$P_{PROPELLER} = Q_{PROP} \times n \quad (2.49)$$

$$P_{PROPELLER-MS} = Q_{PROP-SM} \times n \quad (2.50)$$



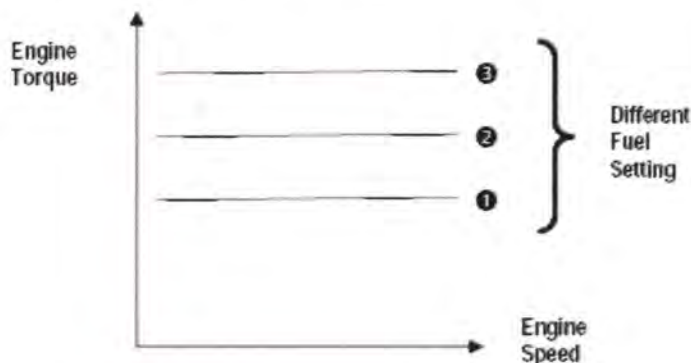
Gambar 2.10 Karakteristik Beban Propeller

2.6.4 Karakteristik Main Engine (Diesel)

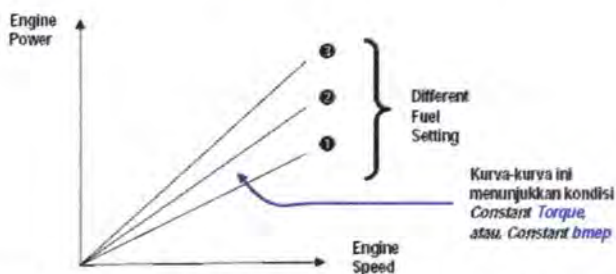
Motor diesel merupakan motor yang paling banyak yang dipakai saat ini sebagai motor penggerak utama di kapal, tak terkecuali kapal tunda (tug boat). Motor diesel digunakan karena pengoperasiannya yang relatif mudah dan efisiensinya tinggi dibanding tipe-tipe motor yang lain.

Secara garis besar power yang dihasilkan oleh main engine dipengaruhi oleh *mass fuel rate* (m_{fuel}), BMEP (Break Mean Effective Pressure) dan Q_{eng} (Torsi). Hubungan dari ketiga faktor di atas adalah nilai engine torque (Q_{eng}) akan berubah secara drastis jika terjadi perubahan BMEP dan BMEP tergantung dari m_{fuel} .

Hubungan antara *engine torque* dan *engine speed* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.11 Grafik hubungan *engine torque* dan *engine speed*

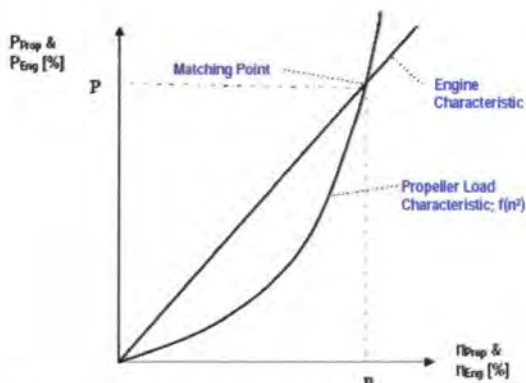


Gambar 2.12 Grafik hubungan *engine power* dan *engine speed*

2.6.5 Kombinasi Karakteristik Main Engine dan Propeller

Matching point merupakan titik pertemuan antara karakteristik engine dan karakteristik beban propeller. Dengan melihat matching point tersebut kita dapat melihat berapa besar energi yang dikeluarkan engine untuk menghasilkan gaya dorong yang paling optimal. Singkatnya, berapa energi yang dikeluarkan oleh

engine dan berapa energi yang diserap oleh propeller untuk menghasilkan daya dorong. Contoh matching point dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.13 Matching Point Engine dan Propeller

2.7 Kondisi Manarik

Kita dapatkan rumus efisiensi tarikan yang merupakan fungsi terhadap DHP (Delivery Horse Power).

$$\eta_{tarik} = \frac{6,87 \cdot \text{Gaya}_{tarik} \cdot V_k}{DHP} \quad (2.51)$$

Harga η_{tarik} yang merupakan fungsi dari V_k/L_{pp} dapat digambarkan dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 2.14 harga efisiensi tarik (η_{tarik})

2.8 Kondisi Tarikan Bollard

Dua faktor yang mempengaruhi tarikan bollard pada sebuah kapal tunda adalah harga DHP dan diameter baling-baling. Rumus untuk tarikan dalam Ton oleh Barnaby adalah sebagai berikut :

$$\text{Tarikan(Ton)} = 0,01107 \cdot \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \cdot (\text{SHP} \cdot D_{\text{baling-baling}})^{2/3} \quad (2.52)$$

di mana : K_T = Konstanta Gaya Dorong
 K_Q = Konstanta Puntiran

Nilai K_T dan K_Q pada persamaan (2.52) diambil pada kondisi $J = 0$ atau pada kondisi kecepatan kapal tunda 0 knots. Harga $\frac{0,01107 \cdot K_T}{K_Q^{2/3}}$ untuk baling-baling dari Troost Wageningen adalah sebagai berikut

Tabel 2.3 harga $\frac{0,01107.K_T}{K_Q^{2/3}}$

H/D	Baling-baling daun 3		Baling-baling daun 4	
	Fa/F			
	0,35	0,5	0,4	0,55
0,5	0,033	0,0327	0,0335	0,033
0,6	0,0332	0,0336	0,0346	0,0323
0,8	0,0317	0,0324	0,0326	0,0310
1,0	0,0301	0,0306	0,0303	0,0303
1,2	0,0279	0,0285	0,0288	0,0288
1,4	0,0257	0,0267	0,0266	0,0272

Ket : H/D = Pitch Ratio, H = Pitch, D = Diameter Baling-baling
 Fa/F = Blade Area Ratio

Untuk baling-baling Kort Nozzle pengaruh dari H/D dan Fa/F tidak terlalu besar dan dapat diambil harga 0,0416.

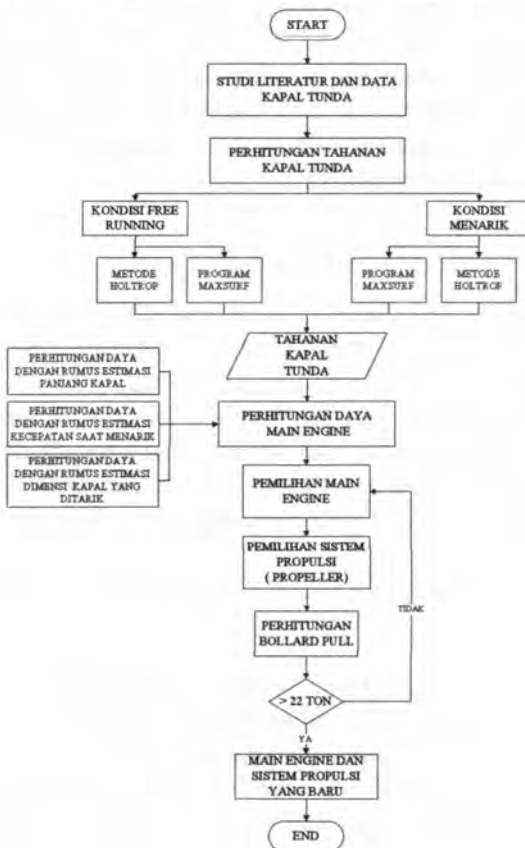
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

flexiPrint
Gebang Ler 107

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metodologi tugas akhir merupakan urutan sistematis tahapan pengerjaan tugas akhir. Metodologi tugas akhir ini dapat digambarkan sebagai flowchart pada Gambar 3.1 .



Gambar 3.1 Flowchart pengerjaan tugas akhir ini

3.2 Studi Literatur dan Data Kapal Tunda

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori dasar permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Tujuannya untuk mendapatkan pengetahuan dasar dan penelitian-penelitian sebelumnya yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian selanjutnya. Pada tahap ini dilakukan studi terhadap referensi-referensi yang terdapat pada tugas akhir yang telah lalu, jurnal, internet, buku dan wawancara. Metodologi penelitian dimulai dari studi literatur mengenai hal-hal yang berhubungan dengan kapal tunda dan juga memperoleh data kapal tunda dengan mengambil data kapal ke Makassar untuk KT. Anggada VIII dan ke Balikpapan untuk Anggada XV.

3.3 Perhitungan Tahanan Kapal Tunda

Setelah studi literatur selesai, kemudian dilakukan perhitungan tahanan kapal dengan menggunakan software *maxsurf* dan menggunakan perhitungan manual dengan metode holtrop sebagai perbandingan. Ada dua kondisi yang diperhitungkan saat menghitung tahanan yaitu saat kondisi free running dan kondisi menarik pada kecepatan tertentu. Dari kedua metode tersebut diperoleh nilai tahanan kapal yang paling sesuai (ideal).

3.4 Perhitungan Daya Engine, Pemilihan Engine dan Pemilihan Propeller

Setelah tahanan ditentukan, kemudian dilakukan perhitungan daya main engine yang dibutuhkan. Setelah itu dilakukan pemilihan engine yang baru. Kemudian memilih sistem propulsi dan ditentukan daya tariknya apakah sesuai keinginan atau tidak. Jika sudah memenuhi, maka main engine sudah dapat ditentukan.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

flexPrint
Gebang Lor 107

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Daya Main Engine dan Sistem Propulsi pada KT. Anggada XV

4.1.1 Perhitungan Tahanan KT. Anggada XV Pada Keadaan Free Running

4.1.1.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf

Setelah dilakukan penggambaran ulang (*redrawing*) dari gambar rencana garis (Lines plan) KT. Anggada XV pada program *Maxsurf Professional* maka dihasilkan bentuk surface dari KT. Anggada XV pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1 Surface KT. Anggada XV

Setelah proses menggambar pada program *Maxsurf Professional* selesai, maka gambar tersebut selanjutnya dianalisis dengan menggunakan program *Hullspeed*.

Pada program *Hullspeed* dilakukan analisa dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

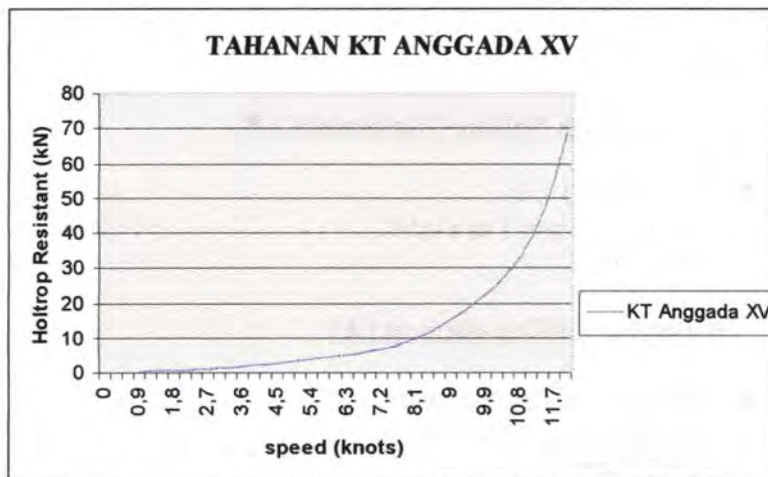
1. Metode yang digunakan adalah metode Holtrop
2. Kecepatan kapal mulai 0 knots sampai 12 knots
3. Efisiensi diasumsikan = 50%

Dengan menggunakan program *Hullspeed* dan dengan ketentuan-ketentuan di atas, maka dihasilkan data sebagai berikut.

Tabel 4.1 Tahanan KT Anggada XV saat free running

Speed (Knots)	Holtrop Resistant (kN)	Holtrop Power (kW)
0	--	--
0,3	0,02	0,01
0,6	0,06	0,05
0,9	0,13	0,16
1,2	0,22	0,36
1,5	0,33	0,68
1,8	0,46	1,14
2,1	0,61	1,77
2,4	0,78	2,6
2,7	0,98	3,64
3	1,19	4,93
3,3	1,42	6,48
3,6	1,67	8,31
3,9	1,94	10,46
4,2	2,23	12,95
4,5	2,54	15,79
4,8	2,87	19,02
5,1	3,22	22,67
5,4	3,59	26,78
5,7	3,99	31,41
6	4,43	36,65
6,3	4,9	42,6
6,6	5,43	49,45

6,9	6,03	57,41
7,2	6,72	66,73
7,5	7,52	77,78
7,8	8,48	91,28
8,1	9,7	108,39
8,4	11,24	130,26
8,7	13,11	157,41
9	15,24	189,24
9,3	17,51	224,63
9,6	19,87	263,13
9,9	22,39	305,84
10,2	25,26	355,51
10,5	28,74	416,3
10,8	33,13	493,7
11,1	38,82	594,59
11,4	46,24	727,37
11,7	55,88	902
12	68,23	1129,71



Gambar 4.2 Grafik Tahanan KT Anggada XV

Dengan menggunakan program *Maxsurf/Hullspeed* (Metode Holtrop) tahanan pada KT. Anggada XV dengan kecepatan 12 knots adalah sebesar **68,23 kN**.

4.1.1.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop

Data KT. ANGGADA XV adalah sebagai berikut :

1) Length between perpendicular (L_{pp})	= 22,1 m
2) Length of waterline (L_{WL})	= 25 m
3) Length of displacement (L_{disp})	= 23,55 m
4) Breadth moulded (B_{mld})	= 8,5 m
5) Depth moulded (H)	= 5,2 m
6) Draft (T)	= 3 m
7) Block coefficient (C_b)	= 0,52
8) Perismatic coefficient (C_p)	= 0,586
9) Midship section coefficient (C_m)	= 0,886
10) Waterplan area coefficient (C_{wp})	= 0,833
11) Length of center bouyancy (LCB)	= -0,464
12) Kecepatan kapal	= 12 knots
	= 6,17 m/s

a. Perhitungan Volume Displacement (▼)

$$\begin{aligned} \nabla &= L_{WL} \times B \times T \times C_b \\ &= 25 \text{ m} \times 8,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,52 \\ &= 331,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Dispalcement (▲)

$$\begin{aligned} \blacktriangle &= \nabla \times \rho, \quad \rho = 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 331,5 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 339,79 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Froude Number dan Reynold Number

$$\begin{aligned}Fn &= \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}} \\ &= \frac{6,17}{\sqrt{9,81 \times 25}} = 0,39\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{V \times L}{u}, \quad u = \text{viskositas kinematik} = 0,000001188 \\ &= \frac{6,17 \times 25}{0,000001188} = 129898989,90\end{aligned}$$

d. Perhitungan Tahanan Gesek (R_V)

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} (1 + k_1) S$$

Berdasarkan ITTC-1957

$$\begin{aligned}C_{FO} &= \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log 129898989,90 - 2)^2} \\ &= 0,0020066258\end{aligned}$$

Length of Run (L_R)

$$\begin{aligned}L_R &= L [1 - C_p + (0,06 C_p \cdot LCB / (4 C_p - 1))] \\ &= 25 [1 - 0,586 + (0,06 \cdot 0,586 \cdot (-0,464) / (4 \times 0,586 - 1))] \\ &= 10,05 \text{ m}\end{aligned}$$

Form factor of bare hull

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871c(B/L)^{1,0681} (T/L)^{0,4611} (L/L_R)^{0,1216} \\ (L^3 / \nabla)^{0,3649} (1 - C_p)^{-0,6042}$$

c adalah koefisien untuk bentuk khusus untuk buritan kapal. Karena bentuk buritan KT. Anggada XV normal maka nilai $c_{stern} = 0$ sesuai dengan tabel (2.1). Sehingga nilai c KT. Anggada XV adalah

$$c = 1 + 0,011c_{stern} = 1 + 0 = 1$$

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (8,5/25)^{1,0681} (3/25)^{0,4611} (25/10,05)^{0,1216} \\ (25^3 / 331,5)^{0,3649} (1 - 0,586)^{-0,6042} \\ = 1,38$$

Luas permukaan basah (S)

$$S = L(2T + B)C_M^{0,5} (0,4530 + 0,4425C_B - 0,2862C_M \\ - 0,003467B/T + 0,3696C_{WP}) + 2,38A_{BT} / C_B \\ = 25(2,3 + 8,5)0,886^{0,5} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot 0,52 - 0,2862 \cdot 0,886 \\ - 0,003467 \cdot 8,5/3 + 0,3696 \cdot 0,833) + 2,38 \cdot 0/0,52 \\ = 248,26 \text{ m}^2$$

Sehingga tahanan gesek (viscous resistance) dari KT. Anggada XV adalah

$$R_v = 0,5 \cdot 1,025 \text{ ton/m}^3 \cdot (6,17 \text{ m/s})^2 \cdot 0,0020066258 \cdot 1,38 \cdot 248,26 \text{ m}^2 \\ = 13,42 \text{ kN}$$

e. Perhitungan Tahanan Tambahan

Karena bagian tambahan pada KT. Anggada XV adalah Skeg-rudders of twin-screw ship, maka berdasarkan tabel 2.2 nilai $(1+k_2)$ adalah 2. Luas bagian appendage (tambahan) dalam hal ini bagian tambahan tersebut adalah kemudi, maka luas kemudi KT. Anggada XV adalah

$$S_{app} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 (1,75 \cdot L \cdot T / 100)$$

(BKI vol. II, rules for hull construction 2004, sec 14-1)

$c_1 = 1,7$ untuk tug dan trawler

$c_2 = 0,8$ untuk double rudder

$c_3 = 1,0$ untuk NACA profil dan plat rudder

$c_4 = 1,0$ untuk rudder in the propeller jet

$$S_{app} = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot (1,75 \cdot 25 \cdot 3 / 100) \\ = 1,79 \text{ m}^2$$

$$(1+k) = (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}} \\ = (1,38) + (2 - 1,38) (1,79 / (248,26 + 1,79)) \\ = 1,3839$$

Tahanan tambahan mempengaruhi viskositas, sehingga tahanan tambahannya adalah

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{app} (1+k) = 0,5 \times 1,025 \times (6,17^2) \times \\ 0,0020066258 \times 1,79 \times 1,3839 \\ = 0,1 \text{ kN}$$



f. Perhitungan Tahanan Gelombang

Untuk menghitung tahanan gelombang, menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\frac{R_V}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{(m_1 F n^d + m_2 \cos(\lambda F n^{-2}))}$$

Karena Froude Number dari KT. Anggada XV adalah 0,39 maka untuk range dengan kecepatan rendah ($Fn \leq 0,4$), berikut perhitungan koefisien-koefisien yang diperlukan.

$$C_1 = 2223105.C_4^{3,7861}.(T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$$

Berikut perhitungan-perhitungan koefisien untuk menentukan nilai C_1

$$C_4 = 0,5 - 0,0625L/B \quad \text{untuk } B/L \geq 0,25 \\ = 0,32$$

$$i_E = 125,67B/L - 162,25C_P^2 + 234,32C_P^3 \\ + 0,1551 \left(LCB + \frac{6,8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

Karena $T_a = T_f = T$, maka

$$i_E = 125,67 B/L - 162,25C_P^2 + 234,32C_P^3 + 0,1551(Lcb)^3 \\ = 125,67.8,5/25 - 162,25.(0,586)^2 + 234,32.(0,586)^3 + 0,1551. \\ (-0,464)^3 \\ = 34,15$$

Sehingga besar C_1 adalah

$$C_1 = 2223105.(0,32)^{3,7861} (3/8,5)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757} \\ = 36,47$$

$$C_2 = 1,0 \text{ karena tanpa bulbusbow}$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 1 - 0,8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M), \text{ karena } A_T = 0, \text{ maka} \\ &= 1 - 0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,446 C_P - 0,03 L/B \text{ untuk } L/B \leq 12, L/B = 2,94 \\ &= 1,446 \cdot 0,586 - 0,03 \cdot 2,94 \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

$$d = -0,9$$

$$\begin{aligned} C_5 &= 8,0798 C_P - 13,8673 C_P^2 + 6,9844 C_P^3 \text{ untuk } C_P \leq 0,8 \\ &= 8,0798 \cdot 0,586 - 13,8673 \cdot (0,586)^2 + 6,9844 \cdot (0,586)^2 \\ &= 1,378259 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,01404 L/T - 1,7525 \nabla^{1/3} / L - 4,7932 B/L - C_5 \\ &= 0,01404 \cdot 25/3 - 1,7525 (331,5)^{1/3} / L - 4,7932 \cdot 8,5/25 - 1,3783 \\ &= -3,38 \end{aligned}$$

$$C_6 = -1,69385 \text{ untuk } L^3 / \nabla \leq 512, L^3 / \nabla = 47,13$$

$$\begin{aligned} m_2 &= C_6 \cdot 0,4 \cdot e^{-0,034 \cdot Fn^{-3,29}} \\ &= -0,327 \end{aligned}$$

Maka Besar Tahanan Gelombang adalah :

$$W = 339,79 \times 9,8 = 3333,32 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_W &= 36,47 \times 1 \times 1 \times e^{(-3,38 \cdot (0,39)^{(-0,9)} + (-0,327) \cos(0,76 \cdot (0,39^{-2})))} \\ &\quad \times 3333,32 \text{ kN} \\ &= 46,89 \text{ kN} \end{aligned}$$

g. Perhitungan Nilai Korelasi Model Kapal

Karena $T_f / L_{WL} = 0,12$. Untuk $T_f / L_{WL} > 0,04$, maka :

$$\begin{aligned}C_A &= 0,006 (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,006 (25 + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,0007211\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_A &= 0,5 \rho V^2 C_A S_{tot} \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (6,17)^2 \cdot 0,0007211 \cdot (248,26 + 1,79) \\ &= 3,52 \text{ kN}\end{aligned}$$

h. Perhitungan Tahanan Total

Tahanan total dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh jenis tahanan yang ada.

$$\begin{aligned}R_{TOT} &= R_V + R_V (\text{Appendage}) + R_W + R_A \\ &= 13,42 + 0,1 + 46,89 + 3,52 \\ &= 63,93 \text{ kN}\end{aligned}$$

Untuk penambahan sea margin, diambil penambahan 10% dari tahanan total, karena kondisi perairan di pelabuhan yang tenang. Sehingga tahanan totalnya menjadi.

$$\begin{aligned}R_{TOT} &= (0,10 + 1) 63,93 \\ &= 70,33 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan Tahanan KT. Anggada XV Pada Keadaan Menarik (Kecepatan 5 knot)

Tahanan KT. Anggada XV saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knot adalah penjumlahan dari tahanan KT. Anggada XV saat kecepatan 5 knots dan tahanan KM. Caraka jaya saat kecepatan 5 knots.

Sehingga akan dilakukan perhitungan tahanan masing-masing pada KT. Anggada XV dengan kecepatan 5 knots dan KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots.

4.1.2.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf

Tahanan pada KT Anggada XV saat menarik kapal pada kecepatan 5 knots dapat ditentukan dengan melihat grafik tahanan KT. Anggada XV pada gambar 4.2 . Dari grafik dapat ditentukan nilai tahanan KT Anggada XV saat kecepatan 5 knots sebesar 3,1 kN. Dengan menggunakan program *Maxsurf/Hullspeed* (Metode Holtrop) tahanan pada KT. Anggada XV dengan kecepatan 5 knots adalah sebesar 3,1 kN.

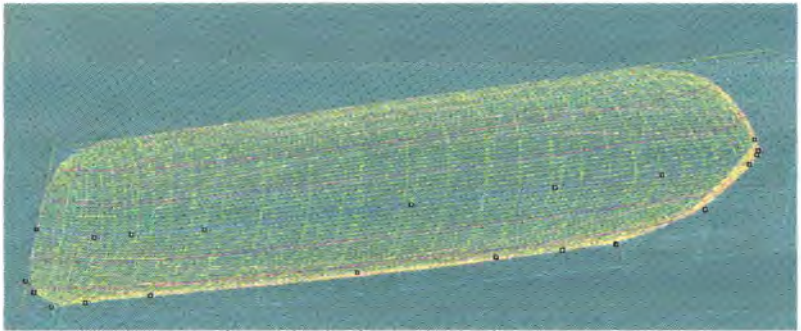
Kapal yang akan ditarik oleh KT. Anggada XV adalah KM. Caraka Jaya. KM Caraka Jaya dalam hal ini hanya dijadikan sebagai contoh kapal yang ditarik oleh KT. Anggada XV, maksudnya KM. Caraka Jaya belum tentu akan ditarik oleh KT. Anggada XV pada keadaan sebenarnya, jadi KM. Caraka Jaya hanya mewakili kapal yang ukuran dimensi utamanya hampir sama dengan KM. Caraka Jaya.

Data KM. CARAKA JAYA adalah sebagai berikut :

- | | |
|-------------------------------------|-----------------|
| 1) Length of waterline (L_{WL}) | = 92 m |
| 2) Breadth moulded (B_{mld}) | = 16,5 m |
| 3) Draft (T) | = 5 m |
| 4) Block coefficient (C_b) | = 0,658 |
| 5) Tipe kapal | = General Cargo |
| 6) Kecepatan kapal | = 5 knots |
| | = 2,57 m/s |

Sebelum dilakukan perhitungan tahanan KM. Caraka Jaya dalam program *maxsurf/hullspeed*, terlebih dahulu menggambar *linesplan* KM. Caraka Jaya dalam program *maxsurf* sesuai dengan

dimensi utama yang tercantum di atas. Adapun hasil gambar *linesplan* dengan *maxsurf* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.3 Surface KM. Caraka Jaya

Kemudian gambar *linesplan* KM. Caraka jaya tersebut dianalisis dengan menggunakan program *Hullspeed* dengan ketentuan sebagai berikut :

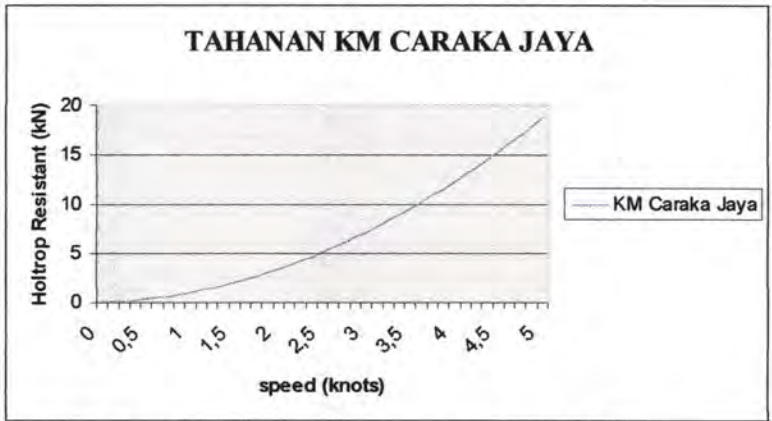
1. Metode yang digunakan adalah metode Holtrop
2. Kecepatan kapal mulai 0 knots sampai 5 knots
3. Efisiensi diasumsikan = 50%

Hasil dari analisis program *Hullspeed* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tahanan KM Caraka Jaya saat ditarik

Speed (Knots)	Holtrop Resistant (kN)	Holtrop Power (kW)
0	0	0
0,13	0,02	0
0,25	0,07	0,02
0,38	0,15	0,08
0,5	0,25	0,17
0,63	0,38	0,33
0,75	0,53	0,55
0,88	0,71	0,86
1	0,91	1,26

1,13	1,14	1,77
1,25	1,39	2,39
1,38	1,66	3,14
1,5	1,95	4,04
1,63	2,27	5,08
1,75	2,6	6,29
1,88	2,96	7,66
2	3,34	9,23
2,13	3,75	10,98
2,25	4,17	12,95
2,38	4,62	15,13
2,5	5,08	17,53
2,63	5,57	20,18
2,75	6,08	23,07
2,88	6,61	26,22
3	7,16	29,64
3,13	7,73	33,34
3,25	8,32	37,32
3,38	8,94	41,61
3,5	9,57	46,21
3,63	10,22	51,13
3,75	10,9	56,38
3,88	11,59	61,97
4	12,3	67,91
4,13	13,04	74,21
4,25	13,79	80,88
4,38	14,57	87,93
4,5	15,36	95,38
4,63	16,18	103,22
4,75	17,01	111,48
4,88	17,86	120,16
5	18,74	129,27



Gambar 4.4 Grafik Tahanan KM Caraka Jaya

Dengan menggunakan program *Maxsurf/Hullspeed* (Metode Holtrop) tahanan pada KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots adalah sebesar **18,74 kN**.

Setelah dilakukan analisis dengan program *maxsurf/hullspeed* pada gambar *linesplan* KT. Anggada XV dan *linesplan* KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knots, maka tahanan total KT. Anggada XV saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots adalah penjumlahan tahanan KT. Anggada XV dan KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knots yaitu **21,84 kN**.

4.1.2.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop

Data KT. ANGGADA XV adalah sebagai berikut :

- | | |
|--|----------|
| 1) Length between perpendicular (L_{pp}) | = 22,1 m |
| 2) Length of waterline (L_{WL}) | = 25 m |

3) Length of displacement (L_{disp})	= 23,55 m
4) Breadth moulded (B_{mld})	= 8,5 m
5) Depth moulded (H)	= 5,2 m
6) Draft (T)	= 3 m
7) Block coefficient (C_b)	= 0,519
8) Prismatic coefficient (C_p)	= 0,586
9) Midship section coefficient (C_m)	= 0,886
10) Waterplan area coefficient (C_{wp})	= 0,833
11) Length of center bouyancy (LCB)	= -0,464
12) Kecepatan kapal	= 5 knots
	= 2,57 m/s

a. Perhitungan Volume Displacement (▼)

$$\begin{aligned}
 \nabla &= L_{WL} \times B \times T \times C_b \\
 &= 25 \text{ m} \times 8,5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,52 \\
 &= 331,5 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Displacement (▲)

$$\begin{aligned}
 \blacktriangle &= \nabla \times \rho, \quad \rho = 1,025 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 331,5 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 339,79 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Froude Number dan Reynold Number

$$\begin{aligned}
 Fn &= \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}} \\
 &= \frac{2,57}{\sqrt{9,81 \times 25}} = 0,16
 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{V \times L}{\nu}, \quad \nu = \text{viskositas kinematik} = 0,000001188$$

$$= \frac{2,57 \times 25}{0,000001188} = 54.124.579,12$$

d. Perhitungan Tahanan Gesek (R_V)

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} (1 + k_1) S$$

Berdasarkan ITTC-1957

$$C_{FO} = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log 54.124.579,12 - 2)^2}$$

$$= 0,00228159$$

Length of Run (L_r)

$$L_R = L \left[1 - C_p + (0,06 C_p \cdot LCB / (4 C_p - 1)) \right]$$

$$= 25 \left[1 - 0,586 + (0,06 \cdot 0,586 \cdot (-0,464) / (4 \times 0,586 - 1)) \right]$$

$$= 10,05 \text{ m}$$

Form factor of bare hull

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871 c (B/L)^{1,0681} (T/L)^{0,4611} (L/L_R)^{0,1216}$$

$$\left(L^3 / \nabla \right)^{0,3649} (1 - C_p)^{-0,6042}$$

c adalah koefisien untuk bentuk khusus untuk buritan kapal. Karena bentuk buritan KT. Anggada XV normal maka nilai $c_{stern} = 0$ sesuai dengan tabel (2.1). Sehingga nilai c KT. Anggada XV adalah

$$c = 1 + 0,01 c_{stern} = 1 + 0 = 1$$

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (8,5/25)^{1,0681} (3/25)^{0,4611} (25/10,05)^{0,1216}$$

$$\left(25^3 / 331,5 \right)^{0,3649} (1 - 0,586)^{-0,6042}$$

$$= 1,38$$

Luas permukaan basah (S)

$$\begin{aligned} S &= L(2T + B)C_M^{0,5} (0,4530 + 0,4425C_B - 0,2862C_M \\ &\quad - 0,003467B/T + 0,3696C_{WP}) + 2,38A_{BT} / C_B \\ &= 25(2.3 + 8,5)0,886^{0,5} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot 0,52 - 0,2862 \cdot 0,886 \\ &\quad - 0,003467 \cdot 8,5/3 + 0,3696 \cdot 0,833) + 2,38 \cdot 0/0,52 \\ &= 248,26 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga tahanan gesek (viscous resistance) dari KT. Anggada XV adalah

$$\begin{aligned} R_V &= 0,5 \cdot 1,025 \text{ ton/m}^3 \cdot (2,57 \text{ m/s})^2 \cdot 0,00228159 \cdot 1,38 \cdot 248,26 \text{ m}^2 \\ &= 2,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Tahanan Tambahan

Karena bagian tambahan pada KT. Anggada XV adalah Skeg-rudders of twin-screw ship, maka berdasarkan tabel 2.2 nilai $(1+k_2)$ adalah 2. Luas bagian appendage (tambahan) dalam hal ini bagian tambahan tersebut adalah kemudi, maka luas kemudi KT. Anggada XV adalah

$$S_{app} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 (1,75 \cdot L \cdot T / 100)$$

(BKI vol. II, rules for hull construction 2004, sec 14-1)

$$c_1 = 1,7 \text{ untuk tug dan trawler}$$

$$c_2 = 0,8 \text{ untuk double rudder}$$

$$c_3 = 1,0 \text{ untuk NACA profil dan plat rudder}$$

$$c_4 = 1,0 \text{ untuk rudder in the propeller jet}$$

$$\begin{aligned} S_{app} &= 1,7 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot (1,75 \cdot 25 \cdot 3 / 100) \\ &= 1,79 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (1+k) &= (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}} \\
 &= (1,38) + (2 - 1,38) (1,79 / (248,26+1,79)) \\
 &= 1,3839
 \end{aligned}$$

Tahanan tambahan mempengaruhi viskositas, sehingga tahanan tambahannya adalah

$$\begin{aligned}
 R_V &= \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{app} (1+k) = 0,5 \times 1,025 \times (2,57^2) \times \\
 &\quad 0,00228159 \times 1,79 \times 1,3839 \\
 &= \mathbf{0,02 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

f. Perhitungan Tahanan Gelombang

Untuk menghitung tahanan gelombang, menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\frac{R_V}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{(m_1 F n^d + m_2 \cos(\lambda F n^{-2}))}$$

Karena Froude Number dari KT. Anggada XV adalah 0,16 maka untuk range dengan kecepatan rendah ($Fn \leq 0,4$), berikut perhitungan koefisien-koefisien yang diperlukan.

$$C_1 = 2223105 \cdot C_4^{3,7861} \cdot (T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$$

Berikut perhitungan-perhitungan koefisien untuk menentukan nilai C_1

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 0,5 - 0,0625L/B \quad \text{untuk } B/L \geq 0,25 \\
 &= 0,32
 \end{aligned}$$

$$i_E = 125,67B/L - 162,25C_P^2 + 234,32C_P^3$$

$$+ 0,1551 \left(LCB + \frac{6,8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

Karena $T_a = T_f = T$, maka

$$\begin{aligned} i_E &= 125,67 \text{ B/L} - 162,25 C_p^2 + 234,32 C_p^3 + 0,1551 (Lcb)^3 \\ &= 125,67 \cdot 8,5/25 - 162,25 \cdot (0,586)^2 + 234,32 \cdot (0,586)^3 + 0,1551 \cdot \\ &\quad (-0,464)^3 \\ &= 34,15 \end{aligned}$$

Sehingga besar C_1 adalah

$$\begin{aligned} C_1 &= 2223105 \cdot (0,32)^{3,7861} (3/8,5)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757} \\ &= 36,47 \end{aligned}$$

$C_2 = 1,0$ karena tanpa bulbusbow

$$\begin{aligned} C_3 &= 1 - 0,8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M), \text{ karena } A_T = 0, \text{ maka} \\ &= 1 - 0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,446 C_p - 0,03 L/B \quad \text{untuk } L/B \leq 12, L/B = 2,94 \\ &= 1,446 \cdot 0,586 - 0,03 \cdot 2,94 \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

$$d = -0,9$$

$$\begin{aligned} C_5 &= 8,0798 C_p - 13,8673 C_p^2 + 6,9844 C_p^3 \quad \text{untuk } C_p \leq 0,8 \\ &= 8,0798 \cdot 0,586 - 13,8673 \cdot (0,586)^2 + 6,9844 \cdot (0,586)^3 \\ &= 1,378259 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,01404 L/T - 1,7525 \nabla^{1/3} / L - 4,7932 \text{ B/L} - C_5 \\ &= 0,01404 \cdot 25/3 - 1,7525 (331,5)^{1/3} / L - 4,7932 \cdot 8,5/25 - 1,3783 \\ &= -3,38 \end{aligned}$$

$$C_6 = -1,69385 \text{ untuk } L^3/\nabla \leq 512, L^3/\nabla = 47,13$$

$$\begin{aligned} m_2 &= C_6 \cdot 0,4 \cdot e^{-0,034 \cdot Fn^{-3,29}} \\ &= -0,00000159 \end{aligned}$$

Maka Besar Tahanan Gelombang adalah :

$$\begin{aligned} W &= 339,79 \times 9,8 = 3333,32 \text{ kN} \\ R_W &= 36,47 \times 1 \times 1 \times e^{(-3,38 \cdot (0,16)^{(-0,9)} + (-0,00000159) \cos(0,76 \cdot (0,16^{-2})))} \\ &\quad \times 3333,32 \text{ kN} \\ &= \mathbf{0,00429249 \text{ kN}} \end{aligned}$$

g. Perhitungan Nilai Korelasi Model Kapal

Karena $T_f / L_{WL} = 0,12$. Untuk $T_f / L_{WL} > 0,04$, maka :

$$\begin{aligned} C_A &= 0,006 (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,006 (25 + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,0007211 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_A &= 0,5 \rho V^2 C_A S_{tot} \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (2,57)^2 \cdot 0,0007211 \cdot (248,26 + 1,79) \\ &= \mathbf{0,61 \text{ kN}} \end{aligned}$$

h. Perhitungan Tahanan Total

Tahanan total dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh jenis tahanan yang ada.

$$\begin{aligned} R_{TOT} &= R_V + R_V (\text{Appendage}) + R_W + R_A \\ &= 2,65 + 0,02 + 0,00429 + 0,61 \\ &= \mathbf{3,28 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Untuk penambahan sea margin, diambil penambahan 10% dari tahanan total, karena kondisi perairan di pelabuhan yang tenang. Sehingga tahanan totalnya menjadi.

$$R_{TOT} = (0,10 + 1) 3,28 \\ = 3,61 \text{ kN}$$

Data KM. CARAKA JAYA adalah sebagai berikut :

1) Length of waterline (L_{WL})	= 92 m
2) Breadth moulded (B_{mld})	= 16,5 m
3) Draft (T)	= 5 m
4) Block coefficient (C_b)	= 0,658
5) Perismatic coefficient (C_p)	= 0,811
6) Midship section coefficient (C_m)	= 0,817
7) Waterplan area coefficient (C_{wp})	= 0,927
8) Length of center bouyancy (LCB)	= -0,44
9) Kecepatan kapal	= 5 knots
	= 2,57 m/s

a. Perhitungan Volume Displacement (▼)

$$\begin{aligned} \nabla &= L_{WL} \times B \times T \times C_b \\ &= 92 \text{ m} \times 16,5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,658 \\ &= 4994,22 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Displcement (▲)

$$\begin{aligned} \blacktriangle &= \nabla \times \rho, \quad \rho = 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 4994,22 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 5119,08 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Froude Number dan Reynold Number

$$\begin{aligned}Fn &= \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}} \\ &= \frac{2,57}{\sqrt{9,81 \times 92}} = 0,09\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{V \times L}{u}, \quad u = \text{viskositas kinematik} = 0,000001188 \\ &= \frac{2,57 \times 92}{0,000001188} = 199.178.451,18\end{aligned}$$

d. Perhitungan Tahanan Gesek (R_V)

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} (1 + k_1) S$$

Berdasarkan ITTC-1957

$$\begin{aligned}C_{FO} &= \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log 199178451,18 - 2)^2} \\ &= 0,0018900993\end{aligned}$$

Length of Run (L_r)

$$\begin{aligned}L_R &= L [1 - C_p + (0,06 C_p \cdot LCB / (4 C_p - 1))] \\ &= 92 [1 - 0,811 + (0,06 \cdot 0,811 \cdot (-0,44) / (4 \times 0,811 - 1))] \\ &= 16,51 \text{ m}\end{aligned}$$

Form factor of bare hull

$$1+k_1 = 0,93 + 0,4871c(B/L)^{1,0681}(T/L)^{0,4611}(L/L_R)^{0,1216} \\ (L^3/\nabla)^{0,3649}(1-C_p)^{-0,6042}$$

c adalah koefisien untuk bentuk khusus untuk buritan kapal. Karena bentuk buritan KM. Caraka Jaya normal maka nilai $c_{stern} = 0$ sesuai dengan tabel (2.1). Sehingga nilai c KM. Caraka Jaya adalah

$$c = 1 + 0,011c_{stern} = 1 + 0 = 1$$

$$1+k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (16,5/92)^{1,0681} (5/92)^{0,4611} (92/16,51)^{0,1216} \\ (92^3/4994,22)^{0,3649} (1 - 0,811)^{-0,6042} \\ = 1,36$$

Luas permukaan basah (S)

$$S = L(2T + B)C_M^{0,5} (0,4530 + 0,4425C_B - 0,2862C_M \\ - 0,003467B/T + 0,3696C_{WP}) + 2,38A_{BT}/C_B \\ = 92(2,5 + 16,5) \cdot 0,817^{0,5} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot 0,658 - 0,2862 \cdot 0,817 \\ - 0,003467 \cdot 16,5/5 + 0,3696 \cdot 0,927) + 2,38 \cdot 0/0,658 \\ = 1854,42 \text{ m}^2$$

Sehingga tahanan gesek (viscous resistance) dari KM. Caraka Jaya adalah

$$R_v = 0,5 \cdot 1,025 \text{ ton/m}^3 \cdot (2,57 \text{ m/s})^2 \cdot 0,0018900993 \cdot 1,36 \cdot \\ 1854,42 \text{ m}^2 \\ = 16,18 \text{ kN}$$

e. Perhitungan Tahanan Tambahan

Karena bagian tambahan pada KM. Caraka Jaya adalah rudder single-screw ship, maka berdasarkan tabel 2.2 nilai $(1+k_2)$ adalah 1,5 . Luas bagian appendage (tambahan) dalam hal ini bagian tambahan tersebut adalah kemudi , maka luas kemudi KM. Caraka Jaya adalah

$$S_{app} = c_1.c_2.c_3.c_4(1,75.L.T/100)$$

(BKI vol. II, rules for hull construction 2004, sec 14-1)

$$c_1 = 1 \text{ untuk kapal umum}$$

$$c_2 = 1 \text{ untuk kapal umum}$$

$$c_3 = 1,0 \text{ untuk NACA profil dan plat rudder}$$

$$c_4 = 1,0 \text{ untuk rudder in the propeller jet}$$

$$S_{app} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (1,75 \cdot 92 \cdot 5 / 100) \\ = 8,05 \text{ m}^2$$

$$(1+k) = (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \frac{S_{app}}{S_{tot}} \\ = (1,36) + (1,5 - 1,36) (8,05 / (1854,42+8,05)) \\ = 1,3625$$

Tahanan tambahan mempengaruhi viskositas, sehingga tahanan tambahannya adalah

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{app} (1+k) = 0,5 \times 1,025 \times (2,57^2) \times \\ 0,0018900993 \times 8,05 \times 1,3625 \\ = \mathbf{0,07 \text{ kN}}$$

f. Perhitungan Tahanan Gelombang

Untuk menghitung tahanan gelombang, menggunakan persamaan di bawah ini.

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

Karena Froude Number dari KT. Anggada XV adalah 0,16 maka untuk range dengan kecepatan rendah ($F_n \leq 0,4$), berikut perhitungan koefisien-koefisien yang diperlukan.

$$C_1 = 2223105.C_4^{3,7861} .(T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$$

Berikut perhitungan-perhitungan koefisien untuk menentukan nilai C_1

$$C_4 = B/L \quad \text{untuk } 0,11 \leq B/L \leq 0,25 \\ = 0,18$$

$$i_E = 125,67B/L - 162,25C_p^2 + 234,32C_p^3 \\ + 0,1551 \left(LCB + \frac{6,8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

Karena $T_a = T_f = T$, maka

$$i_E = 125,67 B/L - 162,25C_p^2 + 234,32C_p^3 + 0,1551(Lcb)^3 \\ = 125,67.16,5/92 - 162,25.(0,811)^2 + 234,32.(0,811)^3 + 0,1551. \\ (-0,44)^3 \\ = 40,8$$

Sehingga besar C_1 adalah

$$C_1 = 2223105.(0,18)^{3,7861} (5/16,5)^{1,0796} (90-40,8)^{-1,3757} \\ = 4,3$$

$C_2 = 1,0$ karena tanpa bulbusbow

$$\begin{aligned} C_3 &= 1 - 0,8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M), \text{ karena } A_T = 0, \text{ maka} \\ &= 1 - 0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= 1,446 C_P - 0,03 L/B \text{ untuk } L/B \leq 12, L/B = 5,58 \\ &= 1,446 \cdot 0,811 - 0,03 \cdot 5,58 \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

$$d = -0,9$$

$$\begin{aligned} C_5 &= 1,7301 - 0,7067 C_P \text{ untuk } C_P \geq 0,8 \\ &= 1,7301 - (0,7067 \cdot 0,811) \\ &= 1,156966 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,01404 L/T - 1,7525 \nabla^{1/3} / L - 4,7932 B/L - C_5 \\ &= 0,01404 \cdot 92/5 - 1,7525 (4994,22)^{1/3} / 92 - 4,7932 \cdot 16,5/92 - 1,157 \\ &= -2,08 \end{aligned}$$

$$C_6 = -1,69385 \text{ untuk } L^3 / \nabla \leq 512, L^3 / \nabla = 155,92$$

$$\begin{aligned} m_2 &= C_6 \cdot 0,4 \cdot e^{-0,034 \cdot F n^{-3,29}} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Maka Besar Tahanan Gelombang adalah :

$$\begin{aligned} W &= 5119,08 \times 9,8 = 50.218,13 \text{ kN} \\ R_W &= 4,3 \times 1 \times 1 \times e^{(-2,08 \cdot (0,09)^{(-0,9)} + (0) \cos(1,01 \cdot (0,09^{\wedge} - 2)))} \\ &\quad \times 50218,13 \text{ kN} \\ &= \mathbf{0,0011679 \text{ kN}} \end{aligned}$$

g. Perhitungan Nilai Korelasi Model Kapal

Karena $T_f / L_{WL} = 0,05$. Untuk $T_f / L_{WL} > 0,04$, maka :

$$\begin{aligned}C_A &= 0,006 (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,006 (92 + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,000537158605\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_A &= 0,5 \rho V^2 C_A S_{tot} \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (2,57)^2 \cdot 0,000537158605 \cdot (1854,42 + 8,05) \\ &= 3,39 \text{ kN}\end{aligned}$$

h. Perhitungan Tahanan Total

Tahanan total dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh jenis tahanan yang ada.

$$\begin{aligned}R_{TOT} &= R_V + R_V (\text{Appendage}) + R_W + R_A \\ &= 16,18 + 0,07 + 0,0011679 + 3,39 \\ &= 19,65 \text{ kN}\end{aligned}$$

Untuk penambahan sea margin, diambil penambahan 10% dari tahanan total, karena kondisi perairan di pelabuhan yang tenang. Sehingga tahanan totalnya menjadi.

$$\begin{aligned}R_{TOT} &= (0,10 + 1) 19,65 \\ &= 21,61 \text{ kN}\end{aligned}$$

Setelah tahanan KT. Anggada XV dan KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knot, maka tahanan total KT. Anggada XV saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knot adalah penjumlahan tahanan KT. Anggada XV dan KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knots.

Tahanan total KT. Anggada XV saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots :

$$\begin{aligned}
 R_T &= \text{Tahanan KT. Anggada XV} + \text{Tahanan KM. Caraka Jaya} \\
 &= 3,61 \text{ kN} + 21,61 \text{ kN} \\
 &= 25,22 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan tahanan KT. Anggada XV saat keadaan free running maupun saat kondisi menarik, maka tahanan terbesar yang dialami KT. Anggada XV adalah tahanan yang timbul saat free running dengan kecepatan 12 knots yaitu **70,33 kN**.

Sebagai perbandingan, hasil towing test di Laboratorium Hidrodinamika ITS, tahanan pada model KT Anggada XV sebesar **64 kN**.

4.1.3 Perhitungan Daya dan Pemilihan Main Engine serta Pemilihan Propeller Pada KT Anggada XV

4.1.3.1 Perhitungan Daya Main Engine

a. Perhitungan Daya Efektif (EHP)

$$EHP = R_{T_{dinas}} \times V_S$$

$R_{T_{dinas}}$ yang digunakan adalah tahanan total (R_T) hasil perhitungan dengan metode hotrop pada keadaan free running yaitu sebesar 70,33 kN (tahanan total dinas).

$$\begin{aligned}
 EHP &= 70,33 \text{ kN} \times 6,17 \text{ m/s} \\
 &= 434,10 \text{ kW} \\
 &= 590,22 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Wake Fraction (W)

Pada perencanaan sistem propulsi yang baru menggunakan tipe twin screw sehingga nilai wake fractionnya adalah

$$W = 1 - W_f$$

Nilai W_f adalah sebagai berikut:

$$W_f = 1,06 - (0,4C_b) \quad (\text{Propeller Hand Book, Dave Gerr})$$

Sehingga

$$\begin{aligned} W &= 1 - (1,06 - 0,4C_b) \\ &= 1 - (1,06 - (0,4 \times 0,52)) \\ &= 0,148 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Thrust Deduction Factor (t)

Nilai thrust deduction factor bisa ditentukan dengan nilai wake friction (W), yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} t &= k \times W, \text{ nilai } k = 0,7 - 0,9. \text{ Diambil nilai } k = 0,7 \\ t &= 0,7 \times 0,148 \\ &= 0,104 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Speed of Advance (V_a)

Nilai speed of advance (V_a) dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned} V_a &= (1-W) \times V_s \\ &= (1-0,148) \times 6,17 \text{ m/s} \\ &= 5,26 \text{ m/s} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Efisiensi Propulsif

- Efisiensi Relatif Rotatif (η_{rr})

Harga η_{rr} untuk kapal pada umumnya berkisar satu. Pada perencanaan ini diambil harga η_{rr} sebesar 1,02 .

- Efisiensi Propulsi (η_p)

Harga η_p nilainya berkisar antara 40% - 70%. Karena propellernya belum ditentukan maka diambil asumsi besarnya η_p sebesar 0,423.

- Efisiensi Lambung (η_H)

Nilai efisiensi lambung dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\eta_H &= (1-t) / (1-W) \\ &= (1-0,105) / (1-0,15) \\ &= 1,05\end{aligned}$$

- Coefficient Propulsif (P_C)

$$\begin{aligned}P_C &= \eta_r \times \eta_p \times \eta_H \\ &= 1,02 \times 0,42 \times 1,05 \\ &= 0,454\end{aligned}$$

f. Perhitungan Daya pada Tabung Poros Buritan Propeller (DHP)

Daya pada tabung poros propeller dihitung dari perbandingan antara daya efektif dengan koefisien propulsif, yaitu :

$$\begin{aligned}DHP &= EHP/P_C \\ &= 590,22 \text{ HP} / 0,454 \\ &= 1299,48 \text{ HP}\end{aligned}$$

g. Perhitungan Daya pada Poros (SHP)

Pada perencanaan ini kamar mesin berada di bagian belakang kapal sehingga losses yang dialami sebesar 2% atau efisiensi porosnya sebesar 0,98.

$$\begin{aligned}
 \text{SHP} &= \text{DHP} / \eta_s \\
 &= 1299,48 \text{ HP} / 0,98 \\
 &= 1326 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

h. Perhitungan Daya Penggerak Utama yang Diperlukan

- BHP_{SCR}

Penggunaan reduction gear menyebabkan terjadinya losses sebesar 2% sehingga efisiensi pada reduction gear sebesar 0,98.

$$\begin{aligned}
 \text{BHP}_{\text{SCR}} &= \text{SHP} / \eta_G \\
 &= 1326 / 0,98 \\
 &= 1353,06 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

- BHP_{MCR}

BHP_{MCR} adalah daya maksimum yang dapat dihasilkan engine. BHP_{SCR} nilainya sama dengan $0,85\text{BHP}_{\text{MCR}}$.

$$\begin{aligned}
 \text{BHP}_{\text{MCR}} &= \text{BHP}_{\text{SCR}} / 0,85 \\
 &= 1353,06 / 0,85 \\
 &= 1591,84 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, daya yang dibutuhkan oleh KT, Anggada XV adalah **1591,84 HP**

4.1.3.2 Perhitungan Daya Main Engine dengan Estimasi

a. Estimasi Besar BHP Berdasarkan Length Over All (L_{OA})

Besarnya BHP kapal tunda dengan estimasi panjang keseluruhan kapal dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{BHP} = 100 + (\text{LOA}^{4,15} / 111000)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\text{LOA} & : 26 \text{ meter} = 85,32 \text{ ft} \\ \text{BHP} & = 100 + (85,32^{4,15}/111000) \\ & = 1029,3 \text{ HP}\end{aligned}$$

Berdasarkan estimasi LOA, besarnya BHP engine KT. Anggada XV adalah **1029,3 HP**.

b. Estimasi Besar BHP Berdasarkan Average Towing Speed

Besarnya BHP kapal tunda dengan estimasi kecepatan tarik rata-rata dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$K_{TS} = 1,43 \times \text{BHP}^{0,21}$$

Di mana :

$$\begin{aligned}K_{TS} & : \text{Kecepatan tarik rata-rata (knots)} \\ & : 5 \text{ knots}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BHP} & = (K_{TS}/1,43)^{1/0,21} \\ & = (5/1,43)^{1/0,21} \\ & = 387,9 \text{ HP}\end{aligned}$$

Berdasarkan estimasi average towing speed, besarnya BHP engine KT. Anggada XV adalah **387,9 HP**.

c. Estimasi Besar BHP Berdasarkan DWT Kapal yang Ditarik

Besarnya BHP kapal tunda dengan estimasi DWT kapal yang ditarik dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Avg DWT} = (3,43 \times \text{BHP}) - 599,18$$

Dimana :

DWT : 3500 ton (Berdasarkan hasil survey)

BHP = $(\text{Avg DWT} + 599,18) / 3,43$
= 1195,09 HP

Dari keempat cara perhitungan daya main engine KT. Anggada XV di atas, daya terbesar yang diperoleh adalah **1591,84 HP**.

4.1.3.3 Pemilihan Main Engine

Daya yang dibutuhkan KT. Anggada XV adalah 1591,4 HP. Karena KT. Anggada XV menggunakan propeller twin screw maka jumlah engine yang digunakan ada 2. Sehingga daya masing-masing engine sebesar 800 HP atau daya KT. Anggada XV sebesar 2×800 HP.

Penulis menemukan 3 merk atau tipe engine yang ada di pasaran. Ketiga engine tersebut adalah CUMMINS KTA38-MO, CUMMINS QSK19-M T2, dan MAN D 2842 LE 412 yang semuanya mempunyai daya maksimum 800 HP. Untuk memilih engine yang akan dipasang dalam KT. Anggada XV ditentukan kriteria-kriteria sebagai berikut :

a. Dimensi engine (panjang, lebar dan tinggi engine)

Dimensi engine berpengaruh pada ruang yang akan ditempati engine dalam engine room. Semakin besar dimensi engine, semakin besar pula ruang yang dibutuhkan dalam engine room dan sebaliknya. Jadi engine yang dipilih adalah engine dengan dimensi paling kecil.

- b. Berat engine
Berat engine berpengaruh pada letak titik berat kapal. Jika berat engine berlebih, maka dikhawatirkan letak titik berat kapal akan berubah dan dapat mengakibatkan kestabilan kapal terganggu. Jadi engine yang dipilih adalah engine dengan berat paling ringan.
- c. Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)
Specific fuel oil consumption berpengaruh pada jumlah bahan bakar yang dikonsumsi per satuan waktu. Jika SFOC semakin besar, maka konsumsi bahan bakar akan semakin besar juga, sehingga efisiensinya buruk atau dari segi ekonomis kurang menguntungkan. Jadi engine yang dipilih adalah engine dengan SFOC paling kecil.
- d. Putaran engine (RPM)
Putaran engine berpengaruh pada pemilihan gearbox. Semakin tinggi putaran engine maka semakin besar pula rasio gearbox.

Berikut ini adalah tabel perbandingan tiga merk engine di atas.

Tabel 4.3 Perbandingan engine (KT Anggada XV)

ENGINE	CUMMINS KTA38-MO	CUMMINS QSK19-M T2	MAN D 2842 LE 412
Panjang (mm)	2152	2007	1751
Lebar Tinggi (mm)	1462	963	1230
Tinggi (mm)	2083	1880	1215
Berat (kg)	4218	2189	1790
SFOC at rat pwr(l/hr)	155,6	158,8	148
RPM engine	1800	2100	1800
Power (HP)	800	800	800

Agar lebih jelas berikut penjelasan dengan grafik untuk membandingkan masing-masing engine.

a. Perbandingan Dimensi Engine

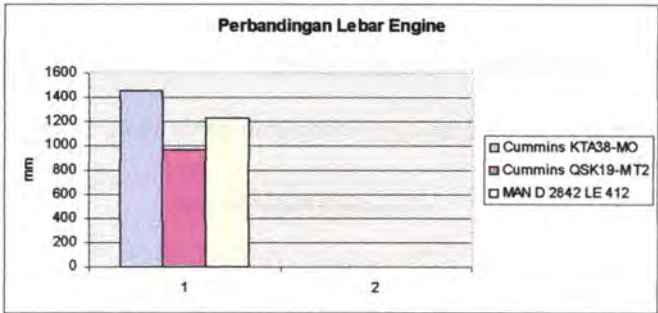
Berikut ini adalah grafik perbandingan panjang dari ketiga engine tersebut.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan panjang engine untuk KT. Anggada XV

Dari gambar 4.5 di atas terlihat bahwa engine MAN D 2842 LE 412 memiliki panjang yang paling pendek yaitu 1751 mm.

Berikut ini adalah grafik perbandingan lebar dari ketiga engine tersebut.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan lebar engine untuk KT. Anggada XV

Dari gambar 4.6 di atas terlihat bahwa engine CUMMINS QSK19-M T2 memiliki lebar yang paling kecil yaitu 963 mm.

Berikut ini adalah grafik perbandingan tinggi dari ketiga engine tersebut



Gambar 4.7 Gambar perbandingan tinggi engine untuk KT. Anggada XV

Dari gambar 4.7 di atas terlihat bahwa engine MAN D 2842 LE 412 memiliki tinggi yang paling rendah yaitu 1215 mm.

Berdasarkan kriteria dimensinya, engine yang dipilih adalah MAN D 2842 LE 412 karena engine ini yang memiliki ukuran dimensi yang paling kecil. Sehingga kebutuhan ruang atau space dalam engine room (kamar mesin) tidak terlalu besar.

b. Perbandingan Berat Engine

Berikut ini adalah grafik perbandingan berat dari ketiga engine tersebut di atas.

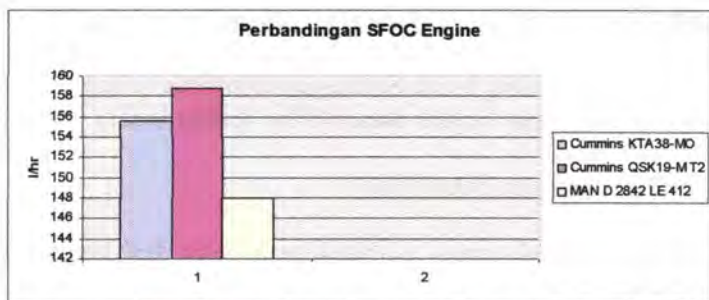


Gambar 4.8 Gambar perbandingan berat engine untuk KT. Anggada XV

Berdasarkan kriteria berat engine, dipilih engine dengan berat yang paling ringan yaitu MAN D 2842 LE 412 yaitu 1790 kg. Dengan dipilih engine yang paling ringan, maka pergeseran titik berat kapal tidak terlalu jauh. Dengan terjaganya letak titik berat kapal, maka kestabilan kapal dapat terjaga.

c. Perbandingan Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) engine

Berikut ini adalah grafik perbandingan SFOC dari ketiga engine tersebut di atas.

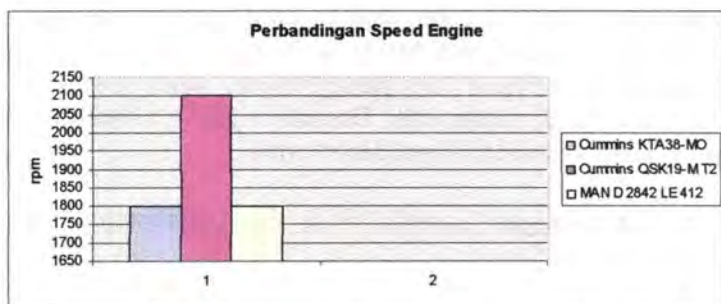


Gambar 4.9 Gambar perbandingan SFOC engine untuk KT. Anggada XV

Berdasarkan kriteria SFOC engine, dipilih engine dengan SFOC paling kecil yaitu MAN D 2842 LE 412 yaitu 148 liter/hour. Dengan dipilih engine dengan SFOC paling kecil maka konsumsi bahan bakar akan semakin kecil, sehingga lebih efisien dari segi ekonomi.

d. Perbandingan Putaran Engine

Berikut ini adalah grafik perbandingan putaran engine dari ketiga engine tersebut di atas.



Gambar 4.10 Gambar perbandingan putaran engine untuk KT. Anggada XV

Berdasarkan kriteria putaran engine, dipilih engine MAN D 2842 LE 412 dan CUMMINS KTA38-MO dengan putaran engine 1800 rpm.

Dari keempat kriteria pemilihan engine di atas, yaitu dimensi engine, berat engine, SFOC engine, dan putaran engine maka dipilih engine MAN D 2842 LE 412 karena dimensinya paling kecil, beratnya paling ringan, SFOC-nya paling kecil dan kecepatan engine-nya paling rendah.

4.1.3.4 Pemilihan Propeller

a. Penentuan Propeller (Tipe, Diameter dan PitchRatio) dengan Grafik Bp Diagram

Sebagai penjelasan awal pada sub bab ini, tipe propeller yang digunakan B3-65 dan ratio gearbox 1: 4,577. Berikut adalah data KT Anggada XV yang diperoleh dari hasil perhitungan sub bab sebelumnya.

Wake fraction (w)	: 0,15
Thrust deduction factor (t)	: 0,105
SHP	: $BHP_{MCR} \times \eta_s$
	: 800 x 0,98
	: 784 HP
Speed of Advance (V_A)	: $(1-w)V_s$
	: $(1-0,15) \times 12$ knots
	: 10,224 knots
Putaran engine	: 1800 rpm
Ratio gearbox	: 4,577
Putaran propeller (N)	: 393,2707 rpm

- Menentukan nilai $\sqrt{Bp_1}$

Penentuan tipe dan karakteristik propeller dengan menggunakan grafik Bp-delta diagram, diawali dengan menentukan nilai Bp_1

(power coefficient). Adapun rumus untuk mencari Bp_1 adalah berikut ini.

$$Bp_1 = N \cdot P^{1/2} \cdot V_A^{-5/2}$$

Di mana :

- Bp_1 = Power coefficient
- N = Putaran propeller (RPM)
- P = Shaft horse power (SHP)
- V_A = $V_s (1-w)$
- V_s = Kecepatan kapal (knots)
- W = Wake fraction

$$\begin{aligned} Bp_1 &= 393,2707 \times 784^{1/2} \times 10,2^{-5/2} \\ &= 32,9456 \end{aligned}$$

Kemudian dicari nilai dari $0,1739 \sqrt{Bp_1}$, setelah itu nilai $0,1739 \sqrt{Bp_1}$ diplotkan ke grafik Bp_1 diagram.

$$\begin{aligned} 0,1739 \sqrt{Bp_1} &= 0,1739 \cdot (32,9456)^{1/2} \\ &= 0,9982 \end{aligned}$$

- Menentukan Pitch-diameter ratio (P/D_0) dan Advance coefficient dari pembacaan Bp -delta diagram

Dari nilai $0,1739 \sqrt{Bp_1}$ ditarik garis lurus ke atas hingga memotong garis maksimum efisiensi, sehingga nilai P/D_0 dan $1/J_0$ dapat diketahui dari grafik. Selanjutnya nilai δ_0 dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$\delta_0 = 1/(J \times 0,009875)$$

Dari pembacaan grafik Bp -delta diagram untuk B3-65 diperoleh hasil berikut ini.

$$P/D_0 = 0,73$$

$$1/J_0 = 2,22$$

Kemudian ditentukan nilai δ_0

$$\delta_0 = 2,22/0,009875$$

$$= 224,8101$$

- Menentukan nilai D_0 , D_b , δ_b , P/D_b dan η

Diameter propeller kondisi open water

$$\begin{aligned} D_0 &= \frac{V_A \times \delta_0}{N} \\ &= \frac{10,224 \times 224,8101}{393,2707} \\ &= 5,8445 \text{ ft} \end{aligned}$$

Diameter propeller behind the ship

$$\begin{aligned} D_b &= 0,95 \times D_0 \\ &= 0,95 \times 5,8445 \\ &= 5,5522 \text{ ft} \\ &= 1,6923 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada perencanaan propeller KT Anggada XV, diameter propeller direncanakan maksimum 1,7 meter dan minimum 1,5 meter. Sehingga diameter behind the ship di atas sudah memenuhi persyaratan. Kemudian ditentukan nilai δ_b .

$$\delta_b = \frac{D_b \times N}{V_A}$$

$$= \frac{5,5522 \times 393,2707}{10,224}$$

$$= 213,57$$

Kemudian menentukan nilai $1/J_b$ dengan menggunakan δ_b .

$$\delta_b = 1/(J \times 0,009875)$$

$$1/J_b = \delta_b \times 0,009875$$

$$= 2,11$$

Kemudian nilai $1/J_b$ diplotkan kembali ke grafik Bp-delta diagram untuk menentukan nilai P/D_b dan η .

$$P/D_b = 0,75$$

$$\eta = 0,56$$

Jadi diameter (D_b), Pitch-diameter ration (P/D_b) dan efisiensi (η) propeller tipe B3-65 adalah sebagai berikut.

$$D_b = 5,5522 \text{ ft} = 1,6923 \text{ m}$$

$$P/D_b = 0,75$$

$$\eta = 0,56$$

b. Perhitungan Kavitasasi

Setelah diketahui diameter propeller, pitch-diameter ratio dan efisiensi propeller, maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan apakah propeller mengalami kavitasasi atau tidak. Berikut perhitungan kavitasasi untuk propeller tersebut.

- Angka kavitasasi

$$\sigma_{0,7R} = \frac{188,2 + 19,62h}{V_A^2 + 4,836n^2 D^2}$$

Di mana :

- h = jarak sarat air ke center line propeller
 $= T - (0,04T) - (0,35T)$
 $= 3 - (0,04 \cdot 3) - (0,35 \cdot 3)$
 $= 1,83 \text{ m}$
- V_A = Speed of Advance
 $= 5,259 \text{ m/s}$
- n = putaran propeller per detik (rps)
 $= 6,5545 \text{ rps}$
- D = diameter propeller (m)
 $= 1,6923 \text{ m}$

$$\sigma_{0,7R} = \frac{188,2 + 19,62 \cdot 1,83}{5,259^2 + 4,836 \cdot 6,5545^2 \cdot 1,6923^2}$$

$$= 0,3599$$

Kemudian nilai $\sigma_{0,7R}$ diplotkan ke diagram burill untuk mengetahui nilai kavitasi. Didapatkan angka kavitasi **0,13**.

- Thrust Coefficient

$$T_C = \frac{T / A_p}{\frac{1}{2} \rho V_R^2}$$

Di mana :

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

$$= 434104,12 / ((1-0,105)6,17)$$

$$= 78453,05 \text{ N}$$

$$A_p = \text{projected area propeller}$$

$$= \left(1,067 - 0,229 \frac{P}{D} \right) A_D$$

$$A_D = 0,65(\text{developed area dari B3-65}) \times (0,25 \cdot \pi \cdot D^2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,65 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 1,6923^2) \\
 &= 1,4626 \text{ m}^2 \\
 &= (1,067 - 0,229 \cdot 0,75) \times 1,4626 \text{ m}^2 \\
 &= 1,3094 \text{ m}^2 \\
 V_R^2 &= V_A^2 + (0,7\pi mD)^2 \\
 &= 5,259^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot 6,5545 \cdot 1,6923)^2 \\
 &= 623,1899
 \end{aligned}$$

$$T_c = \frac{78453,05 / 1,3094}{0,5 \times 1025 \times 623,1899} = 0,18759$$

Karena angka kavitasi yang dibaca dari diagram burill lebih kecil daripada thrust coefficient hasil perhitungan maka terjadi kavitasi.

Cara perhitungan dan penentuan spesifikasi propeller B3-65 seperti diatas, diterapkan pada beberapa tipe propeller dan variasi gear box (putaran) yang lain, sehingga perhitungannya terlihat pada tabel pada lampiran 1.

Dari hasil perhitungan dengan Bp-delta diagram dan perhitungan kavitasi pada tabel pada lampiran1, didapatkan bahwa kavitasi terjadi pada semua variasi putaran (gear box) dan spesifikasi propeller yang diperoleh melalui Bp-diagram, sehingga propeller yang dipilih adalah propeller dengan developed area yang paling besar untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kavitasi. Propeller yang dipilih adalah tipe B4-100. Adapun spesifikasi propeller yang dipilih, adalah sebagai berikut :

Tipe propeller : B4-100
P/D : 0,8
Putaran propeller : 6,5545 rps (ratio gearbox = 4,577)

Berikut tabel perhitungan diameter dan kavitasi nya.

Tabel 4.4 Perhitungan kavitasi propeller KT. Anggada XV

No	Db(m)	P/Db	Ae/Ao	Ao	Ae	Ad
1	1,66	0,8	1	2,165114	2,165114286	2,165114286
2	1,659	0,8	1	2,162507	2,1625065	2,1625065
3	1,658	0,8	1	2,1599	2,159900286	2,159900286
4	1,657	0,8	1	2,157296	2,157295643	2,157295643
5	1,656	0,8	1	2,154693	2,154692571	2,154692571
6	1,655	0,8	1	2,152091	2,152091071	2,152091071

Ap (m ²)	Va (m/s)	N (rps)	Vr ²	T	Tc itungan
1,913528	5,26	6,5545	600,6431	78.453,05	0,133188
1,911223	5,26	6,5545	599,953	78.453,05	0,133502
1,90892	5,26	6,5545	599,2632	78.453,05	0,133817
1,906618	5,26	6,5545	598,5739	78.453,05	0,134133
1,904317	5,26	6,5545	597,8851	78.453,05	0,134449
1,902018	5,26	6,5545	597,1966	78.453,05	0,134767

σ 0.7R	τ_C	Kavitasi ?
0,373402	0,140	tidak
0,373832	0,140	tidak
0,374262	0,140	tidak
0,374693	0,140	tidak
0,375125	0,140	tidak
0,375557	0,140	tidak

Seharusnya diameter propeller diambil yang paling besar, namun untuk propeller B4-100, P/D 0,8 dan putaran 6,5545 rps, diameter propelernya maksimum 1,657 meter karena jika

diameternya melebihi 1,657 meter, akan terjadi kelebihan beban pada engine. Hal ini bisa dilihat pada penjelasan selanjutnya.

c. Penentuan Karakteristik Propeller B4-100 P/D 0,8

Dari perhitungan sebelumnya, didapatkan data tentang KT Anggada XV sebagai berikut :

- t : 0,104
- w : 0,148
- V_s : 12 knots = 6,17 m/s
- ρ air laut : 1025 kg/m³

Karena KT Anggada XV menggunakan twin-screw maka tiap satu propeller dan satu engine menanggung setengah dari tahanan total.

Tahanan kapal saat clean hull = 63,93/2 kN = 31,97 kN

Tahanan kapal saat rough hull = 70,33/2 kN = 35,16 kN

• Menghitung koefisien α

$$R_T = 0,5 \times \rho \times C_T \times S \times V_s^2$$

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

$$\begin{aligned} \alpha \text{ clean hull} &= R_T \text{ clean hull} / V_s^2 \\ &= 31,97 \text{ kN} / (6,17^2) = 31970 \text{ N} / (6,17^2) \\ &= 838,93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha \text{ rough hull} &= R_T \text{ rough hull} / V_s^2 \\ &= 35,16 \text{ kN} / (6,17^2) = 35160 \text{ N} / (6,17^2) \\ &= 922,82 \end{aligned}$$

• Menghitung koefisien β

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

$$\beta_{\text{clean hull}} = \frac{\alpha_{\text{CLEANHULL}}}{(1 - 0,104) \times (1 - 0,148)^2 \times 1025 \times 1,657^2} = 0,458$$

$$\beta_{\text{rough hull}} = \frac{\alpha_{\text{ROUGHULL}}}{(1 - 0,104) \times (1 - 0,148)^2 \times 1025 \times 1,657^2} = 0,504$$

- Membuat kurva KT-J

Sebelum membuat kurva, nilai KT diperoleh dengan menggunakan rumusan berikut.

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

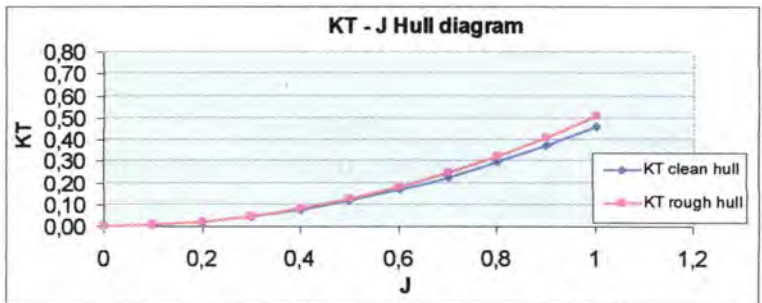
di mana nilai J berkisar antara 0-1. Kemudian dibuat tabel berikut ini

Tabel 4.5 Perhitungan KT pada KT Anggada XV

J	J ²	KT clean hull	KT rough houl
0	0,00	0	0
0,1	0,01	0,00	0,01
0,2	0,04	0,02	0,02
0,3	0,09	0,04	0,05
0,4	0,16	0,07	0,08
0,5	0,25	0,11	0,13
0,6	0,36	0,16	0,18
0,7	0,49	0,22	0,25
0,8	0,64	0,29	0,32
0,9	0,81	0,37	0,41
1	1,00	0,46	0,50



Kemudian dibuat grafik KT-J yang mempresentasikan interaksi antara lambung kapal dan propeller.



Gambar 4.11 Grafik KT-J Anggada XV

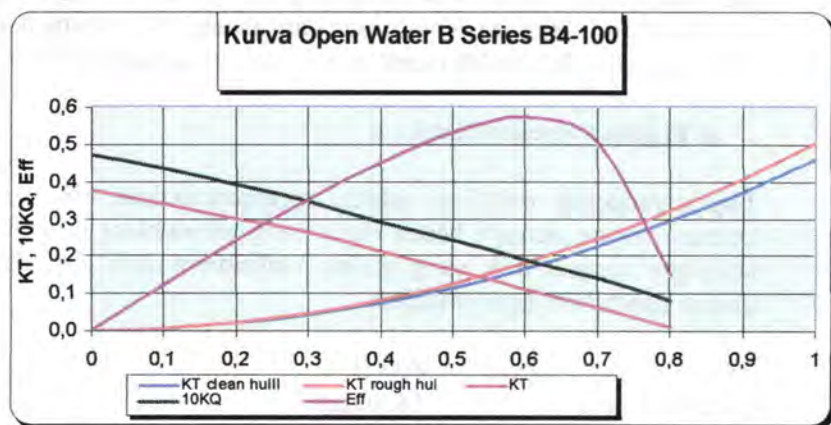
Kemudian grafik KT-J diplotkan ke kurva open water propeller untuk mendapatkan titik operasi propeller.

Pada langkah ini, dibutuhkan grafik open water test untuk propeller yang telah dipilih, yaitu B4-100. Setelah itu dicari nilai masing-masing dari KT , $10KQ$, dan η behind the ship. Tentu saja dengan berpatokan pada nilai P/Db yang telah didapat pada waktu pemilihan propeller. Nilai KT , $10KQ$, dan η pada P/Db 0,8. Dari kurva open water B4-100 didapatkan data berikut ini,

Tabel 4.6 Nilai J, KT, KQ dan η pada KT Anggada XV

J	KT	10 KQ	η
0	0,375	0,47	0
0,1	0,34	0,435	0,12
0,2	0,3	0,39	0,24
0,3	0,26	0,345	0,35
0,4	0,21	0,29	0,45
0,5	0,16	0,24	0,53
0,6	0,11	0,19	0,57
0,7	0,06	0,14	0,5
0,8	0,01	0,08	0,15
0,9			
1			

Kemudian data di atas, diplotkan pada grafik KT-J yang sudah didapat di atas.



Gambar 4.12 Kurva open water B4-100 P/D 0,8 KT Anggada XV

Berdasarkan pembacaan kurva open water B4-100 yang diplotkan dengan grafik KT-J, diperoleh hasil berikut ini.

Titik operasi pada keadaan clean hull :

$$J = 0,553$$

$$K_T = 0,14$$

$$10K_Q = 0,21$$

$$\eta = 0,575$$

Titik operasi pada keadaan rough hull :

$$J = 0,54$$

$$K_T = 0,145$$

$$10K_Q = 0,22$$

$$\eta = 0,565$$

di mana :

J = Koefisien Advance

K_T = Koefisien gaya dorong

$10K_Q$ = Koefisien torsi

η = Efisiensi propeller behind the ship

Karena efisiensi pada titik operasi pada keadaan rough hull sebesar 0,565 sehingga lebih besar dari asumsi awal yaitu 0,42. Maka engine yang dipilih sudah memenuhi kebutuhan propeller.

d. Engine-Propeller Matching

Engine-propeller matching adalah mempertemukan titik daya operasi engine dengan beban daya yang dibutuhkan propeller, sehingga dicapai titik yang paling maksimum dari daya engine dan beban daya propeller.

Maximum daya engine	: 800 HP
Putaran engine	: 1800 rpm
Ratio gearbox	: 4,577
Putaran propeller	: 393,27 rpm

Berikut ini adalah langkah-langkah untuk menghitung daya yang dibutuhkan propeller yang sudah dipilih. Sebagai contoh, putaran propeller sebesar 4,01 rps dan pada kondisi clean hull.

- Torsi propeller (Q)

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

Di mana :

$$K_Q = 10K_Q/10 = 0,21/10 = 0,021$$

$$\rho = 1025 \text{ kg}$$

$$n = 4,01 \text{ rps}$$

$$D = 1,657 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q &= 0,021 \times 1025 \times 4,01^2 \times 1,657^5 \\ &= 4314 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- DHP

$$\begin{aligned} P_D &= 2\pi \times Q \times n \\ &= 2\pi \times 4314 \times 4,01 \\ &= 108737 \text{ Watt} \\ &= 108,737 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{DHP} = 145,5 \text{ HP}$$

- SHP

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= \text{DHP}/0,98 \\ &= 145,5 / 0,98 \\ &= 148,5 \end{aligned}$$

- BHP

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= (\text{SHP}/0,98) \times 1,15 \\ &= (148,5/0,98) \times 1,15 \end{aligned}$$

$$= 174,3 \text{ HP}$$

- Daya (% MCR)

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \text{BHP}/\text{BHP}_{\text{MCR}} \times 100 \% \\ &= 174,3/800 \times 100 \% \\ &= 21,78 \% \end{aligned}$$

Letak titik interaksi antara lambung kapal saat kondisi clean hull dengan propeller ($J = 0,553$)

$$\begin{aligned} J &= V_A/(n.D) \\ n &= V_A/(J.D) \\ &= 5,259/(0,553 \cdot 1,657) \\ &= 5,739 \text{ rps} \\ &= 344,377 \text{ rpm} \\ N_{\text{eng}} &= 344,37 \times 4,577 \\ &= 1576 \text{ rpm} \end{aligned}$$

daya yang dihasilkan pada titik interaksi $J = 0,553$ dapat dilihat pada tabel 4.7

Letak titik interaksi antara lambung kapal saat kondisi rough hull dengan propeller ($J = 0,54$)

$$\begin{aligned} J &= V_A/(n.D) \\ n &= V_A/(J.D) \\ &= 5,259/(0,54 \cdot 1,657) \\ &= 5,877 \text{ rps} \\ &= 352,66 \text{ rpm} \\ N_{\text{eng}} &= 352,66 \times 4,577 \\ &= 1614 \text{ rpm} \end{aligned}$$

daya yang dihasilkan pada titik interaksi $J = 0,54$ dapat dilihat pada tabel 4.8

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan daya yang dibutuhkan propeller.

Tabel 4.7 Daya Propeller KT Anggada XV saat Clean Hull

Neng (rpm)	Nprop (rps)	Q (Nm)	DHP (HP)	SHP (HP)	BHP (Hp)	Rpm (%)	Daya (% mcr)
1100	4,01	4314,0	145,5	148,5	174,3	61	21,78
1200	4,37	5134,0	188,9	192,8	226,2	67	28,28
1300	4,73	6025,3	240,2	245,1	287,6	72	35,95
1400	5,10	6987,9	300,0	306,1	359,2	78	44,90
1500	5,46	8021,8	369,0	376,5	441,8	83	55,23
1576	5,74	8857,4	428,1	436,9	512,6	88	64,08
1600	5,83	9127,1	447,8	457,0	536,2	89	67,03
1700	6,19	10303,6	537,2	548,1	643,2	94	80,40
1800	6,55	11551,4	637,6	650,6	763,5	100	95,44

Tabel 4.8 Daya Propeller KT Anggada XV saat Rough Hull

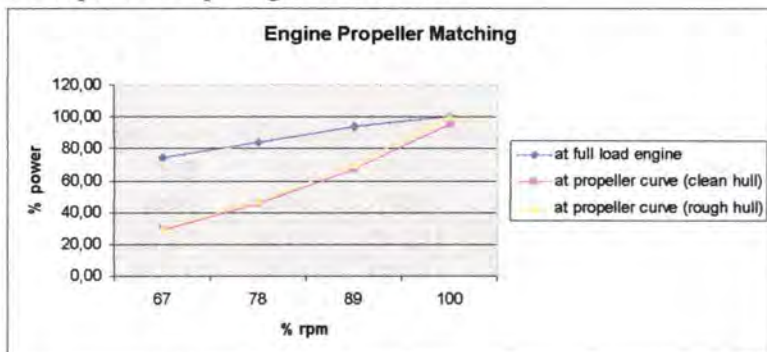
Neng (rpm)	Nprop (rps)	Q (Nm)	DHP (HP)	SHP (HP)	BHP (Hp)	Rpm (%)	Daya (% mcr)
1100	4,01	4519	152,45	155,56	182,55	61	22,82
1200	4,37	5378	197,93	201,96	237,00	67	29,62
1300	4,73	6312	251,64	256,78	301,32	72	37,67
1400	5,10	7321	314,30	320,71	376,35	78	47,04
1500	5,46	8404	386,57	394,46	462,89	83	57,86
1600	5,83	9562	469,16	478,73	561,78	89	70,22
1614	5,88	9731	481,69	491,52	576,79	90	72,10
1700	6,19	10794	562,74	574,22	673,83	94	84,23
1800	6,55	12102	668,00	681,63	799,87	100	99,98

Dari tabel di atas terlihat, dengan diameter propeller 1,657 meter daya yang dibutuhkan propeller dibanding daya MCR engine sebesar 99,98%. Sehingga jika diameter propeller lebih dari 1,657 maka akan terjadi kelebihan beban pada engine.

Tabel 4.9 Daya engine pada KT Anggada XV

No	RPM	% RPM	Power (kW)	Power (HP)	% Daya
1	800,00	44	190,00	258,50	32,31
2	1000,00	56	350,00	476,19	59,52
3	1200,00	67	435,00	591,84	73,98
4	1400,00	78	490,00	666,67	83,33
5	1600,00	89	550,00	748,30	93,54
6	1800,00	100	588,00	800,00	100,00

Kemudian daya engine di-matching-kan dengan daya propeller dan dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.13 Engine propeller matching KT. Anggada XV

Hasilnya daya engine dan propeller sudah match pada titik yang paling maksimum yaitu daya maksimum propeller pada 99,98 % daya engine.

4.1.4 Perhitungan Bollard Pull

Perhitungan bollard pull ada 2 macam persamaan, antara lain :

a. Tarikan Dalam Ton (Kondisi MCR)

Tarikan untuk satu propeller. K_T dan K_Q yang digunakan adalah saat $J = 0$ atau saat kecepatan 0.

$$\begin{aligned}\text{Tarikan (ton)} &= 0,01107 \cdot \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \cdot (SHP_{MCR} \cdot D_{\text{baling-baling}})^{2/3} \\ &= 0,01107 \cdot \frac{0,375}{0,047^{2/3}} (784HP \times 5,4364)^{2/3} \\ &= 8,38 \text{ ton}\end{aligned}$$

Tarikan untuk dua propeller.

$$\begin{aligned}\text{Tarikan (ton)} &= 2 \times \text{tarikan 1 propeller} \\ &= 2 \times 8,38 \text{ ton} \\ &= 16,76 \text{ ton}\end{aligned}$$

b. Tarikan Dalam Ton (Kondisi SCR)

Tarikan untuk satu propeller. K_T dan K_Q yang digunakan adalah saat $J = 0$ atau saat kecepatan 0.

$$\begin{aligned}\text{Tarikan (ton)} &= 0,01107 \cdot \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \cdot (SHP_{SCR} \cdot D_{\text{baling-baling}})^{2/3} \\ &= 0,01107 \cdot \frac{0,375}{0,047^{2/3}} (666,4HP \times 5,4364)^{2/3} \\ &= 7,52 \text{ ton}\end{aligned}$$

Tarikan untuk dua propeller.

$$\begin{aligned}\text{Tarikan (ton)} &= 2 \times \text{tarikan 1 propeller} \\ &= 2 \times 7,52 \text{ ton} \\ &= 15,04 \text{ ton}\end{aligned}$$

Tarikan yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria yaitu sampai 22 ton. Maka untuk memenuhi kriteria tersebut harus ada penambahan daya engine dengan spesifikasi propeller tetap B4-100, diameter 1,657 meter dan P/D ratio 0,8.

Berikut perhitungan untuk menentukan daya engine

a. Perhitungan Daya Engine

$$\text{Tarikan (ton)} = 0,01107 \cdot \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \cdot (\text{SHP}_{\text{SCR}} \cdot D_{\text{baling-baling}})^{2/3}$$

$$11 \text{ ton} = 0,01107 \cdot \frac{0,375}{0,047^{2/3}} \cdot (\text{SHP}_{\text{SCR}} \cdot 5,4364)^{2/3}$$

$$\text{SHP}_{\text{SCR}} = \left[\frac{11 \times 0,047^{2/3}}{0,01107 \times 0,375} \right]^{3/2} \div 5,4364$$

$$\text{SHP}_{\text{SCR}} = 1179,253 \text{ HP}$$

$$\text{BHP}_{\text{SCR}} = \text{SHP}_{\text{SCR}} / 0,98$$

$$= 1179,253 / 0,98$$

$$= 1203,32 \text{ HP}$$

$$\text{BHP}_{\text{MCR}} = \text{BHP}_{\text{SCR}} / 0,85$$

$$= 1203,32 / 0,85$$

$$= 1415,67 \text{ HP}$$

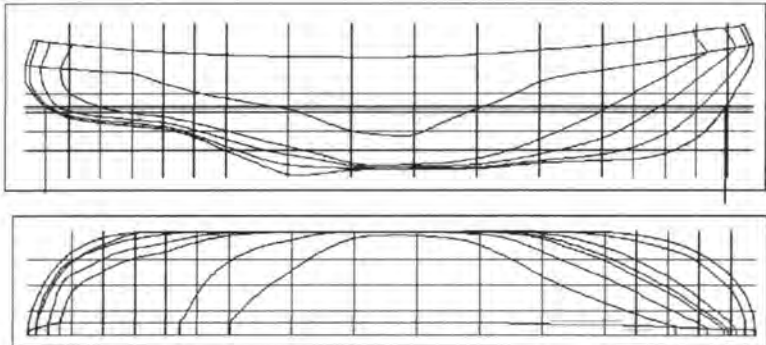
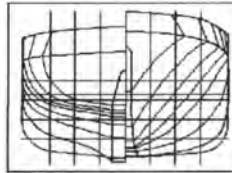
Untuk menghasilkan bollard pull 22 ton dengan propeller B4-100, diameter propeller 1,657 meter dan P/D ratio 0,8. Maka daya engine yang terpasang sebesar **2 x 1415,67 HP**,

4.2 Penentuan Daya Main Engine dan Sistem Propulsi pada KT. Anggada VIII

4.2.1 Perhitungan Tahanan KT. Anggada VIII Pada Keadaan Free Running

4.2.1.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf

Setelah dilakukan penggambaran ulang (*redrawing*) dari gambar rencana garis (Lines plan) KT. Anggada VIII pada program *Maxsurf Professional* maka dihasilkan linesplan dari KT. Anggada VIII pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.14 Linesplan KT. Anggada VIII

Setelah proses menggambar pada program *Maxsurf Professional* selesai, maka gambar tersebut selanjutnya dianalisis dengan menggunakan program *Hullspeed*.

Pada program *Hullspeed* dilakukan analisa dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

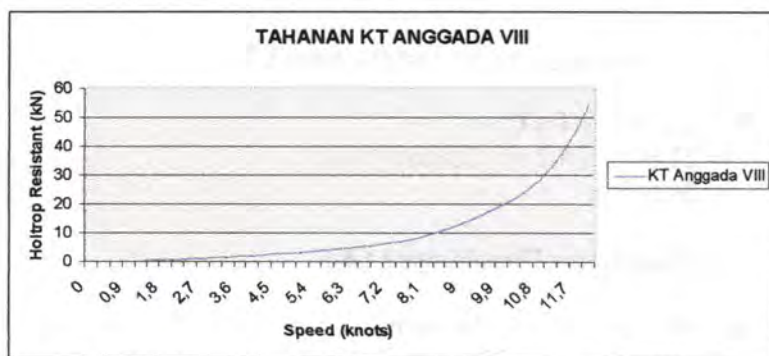
4. Metode yang digunakan adalah metode Holtrop
5. Kecepatan kapal mulai 0 knots sampai 12 knots
6. Efisiensi diasumsikan = 45%

Dengan menggunakan program *Hullspeed* dan dengan ketentuan-ketentuan di atas, maka dihasilkan data sebagai berikut.

Tabel 4.10 Tahanan KT Anggada VIII saat Free Running

Speed (Knots)	Holtrop Resistant (kN)	Holtrop Power (kW)
0	--	--
0,3	0,02	0,01
0,6	0,06	0,04
0,9	0,12	0,12
1,2	0,2	0,28
1,5	0,31	0,53
1,8	0,44	0,9
2,1	0,58	1,39
2,4	0,74	2,04
2,7	0,93	2,86
3	1,13	3,88
3,3	1,35	5,1
3,6	1,59	6,54
3,9	1,85	8,24
4,2	2,12	10,2
4,5	2,42	12,44
4,8	2,73	14,99
5,1	3,06	17,87
5,4	3,42	21,11
5,7	3,8	24,76
6	4,21	28,87
6,3	4,66	33,54

6,6	5,15	38,87
6,9	5,71	45,03
7,2	6,34	52,18
7,5	7,06	60,57
7,8	7,92	70,62
8,1	8,96	82,93
8,4	10,22	98,15
8,7	11,73	116,66
9	13,45	138,36
9,3	15,32	162,85
9,6	17,31	189,96
9,9	19,46	220,23
10,2	21,88	255,1
10,5	24,73	296,83
10,8	28,23	348,5
11,1	32,62	413,94
11,4	38,19	497,76
11,7	45,26	605,34
12	54,14	742,65



Gambar 4.15 Grafik Tahanan KT. Anggada VIII

Dengan menggunakan program *Maxsurf/Hullspeed* (Metode Holtrop) tahanan pada KT. Anggada VIII dengan kecepatan 12 knots adalah sebesar **54,14 kN**.

4.2.1.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop

Data KT. ANGGADA VIII adalah sebagai berikut :

1) Length between perpendicular (L_{OA})	= 29 m
2) Length of waterline (L_{WL})	= 27,67 m
3) Length of displacement (L_{PP})	= 26,87 m
4) Breadth moulded (B_{mld})	= 8,2 m
5) Depth moulded (H)	= 6,4 m
6) Draft (T)	= 2,5 m
7) Block coefficient (C_b)	= 0,462
8) Prismatic coefficient (C_p)	= 0,534
9) Midship section coefficient (C_m)	= 0,865
10) Waterplan area coefficient (C_{wp})	= 0,837
11) Length of center bouyancy (LCB)	= 0,148
12) Kecepatan kapal	= 12 knots
	= 6,17 m/s

a. Perhitungan Volume Displacement (▼)

$$\begin{aligned} \nabla &= L_{WL} \times B \times T \times C_b \\ &= 27,67 \text{ m} \times 8,2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 0,462 \\ &= 262,05 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Dispalcement (▲)

$$\begin{aligned} \blacktriangle &= \nabla \times \rho, \quad \rho = 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 262,05 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 268,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Froude Number dan Reynold Number

$$\begin{aligned}Fn &= \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}} \\ &= \frac{6,17}{\sqrt{9,81 \times 27,67}} = 0,375\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{V \times L}{u}, \quad u = \text{viskositas kinematik} = 0,000001188 \\ &= \frac{6,17 \times 27,67}{0,000001188} = 143729500,8878\end{aligned}$$

d. Perhitungan Tahanan Gesek (R_V)

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} (1 + k_1) S$$

Berdasarkan ITTC-1957

$$\begin{aligned}C_{FO} &= \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log 143729500,8878 - 2)^2} \\ &= 0,001978\end{aligned}$$

Length of Run (L_R)

$$\begin{aligned}L_R &= L [1 - C_p + (0,06 C_p LCB / (4 C_p - 1))] \\ &= 27,67 [1 - 0,534 + (0,06 \cdot 0,534 \cdot (0,148) / (4 \times 0,534 - 1))] \\ &= 11,459 \text{ m}\end{aligned}$$

Form factor of bare hull

$$1+k_1 = 0,93 + 0,4871c(B/L)^{1,0681} (T/L)^{0,4611} (L/L_R)^{0,1216} \\ (L^3/\nabla)^{0,3649} (1-C_p)^{-0,6042}$$

c adalah koefisien untuk bentuk khusus untuk buritan kapal. Karena bentuk buritan KT. Anggada VIII normal maka nilai $c_{stern} = 0$ sesuai dengan tabel (2.1). Sehingga nilai c KT. Anggada VIII adalah

$$c = 1 + 0,011c_{stern} = 1 + 0 = 1$$

$$1+k_1 = 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (8,2/27,67)^{1,0681} (2,5/27,67)^{0,4611} \\ (27,67/11,459)^{0,1216} (27,67^3/262,05)^{0,3649} (1-0,534)^{-0,6042} \\ = 1,315$$

Luas permukaan basah (S)

$$S = L(2T + B)C_M^{0,5} (0,4530 + 0,4425C_B - 0,2862C_M \\ - 0,003467B/T + 0,3696C_{WP}) + 2,38A_{BT} / C_B \\ = 27,67(2 \cdot 2,5 + 8,2)0,865^{0,5} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot 0,462 - \\ 0,2862 \cdot 0,865 - 0,003467 \cdot 8,2/2,5 + 0,3696 \cdot 0,837) \\ + 2,38 \cdot 0/0,462 \\ = 240,447 \text{ m}^2$$

Sehingga tahanan gesek (viscous resistance) dari KT. Anggada VIII adalah

$$R_V = 0,5 \cdot 1,025 \text{ ton/m}^3 \cdot (6,17 \text{ m/s})^2 \cdot 0,001978 \cdot 1,315 \cdot 240,447 \text{ m}^2 \\ = 12,21143 \text{ kN}$$

e. Perhitungan Tahanan Tambahan

Bagian tambahan dari KT Anggada VIII antara lain :

- Spade-type rudders of twin-screw ships $(1+k_2) = 2,8$

- Skeg-rudders of twin-screw ships $(1+k_2) = 1,5$
- Bilge keels $(1+k_2) = 1,4$
- total = 5,7

$$(1+k_2)_{\text{effective}} = \frac{\sum S_i(1+k_2)_i}{\sum S_i} = \frac{5,7}{3} = 1,9$$

Luas bagian tambahan

$$\begin{aligned} S_{\text{app}} &= (2 \times L_{\text{LWL}} \times T/100) \times (1 + 25(B/L_{\text{WL}})^2) \\ &= (2 \times 27,67 \times 2,5 / 100) \times (1 + 25(8,2/27,67)^2) \\ &= 1,3835 \times 3,1956 \\ &= 4,421 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1+k) &= (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \frac{S_{\text{app}}}{S_{\text{tot}}} \\ &= (1,315) + (1,9 - 1,315) (4,421 / (240,447 + 4,421)) \\ &= 1,3253 \end{aligned}$$

Tahanan tambahan mempengaruhi viskositas, sehingga tahanan tambahannya adalah

$$\begin{aligned} R_V &= \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{\text{app}} (1+k) = 0,5 \times 1,025 \times (6,17^2) \times \\ & 0,001978 \times 4,421 \times 1,3253 \\ &= 0,2263 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Perhitungan Tahanan Gelombang

Untuk menghitung tahanan gelombang, menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\frac{R_V}{W} = C_1 C_2 C_3 e^{(m_1 F n^d + m_2 \cos(\lambda F n^{-2}))}$$

Karena Froude Number dari KT. Anggada VIII adalah 0,375 maka untuk range dengan kecepatan rendah ($Fn \leq 0,4$), berikut perhitungan koefisien-koefisien yang diperlukan.

$$C_1 = 2223105.C_4^{3,7861}.(T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$$

Berikut perhitungan-perhitungan koefisien untuk menentukan nilai C_1

$$C_4 = 0,5 - 0,0625L/B \quad \text{untuk } B/L \geq 0,25 \\ = 0,2891$$

$$i_E = 125,67B/L - 162,25C_P^2 + 234,32C_P^3 \\ + 0,1551 \left(LCB + \frac{6,8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

Karena $T_a = T_f = T$, maka

$$i_E = 125,67 B/L - 162,25C_P^2 + 234,32C_P^3 + 0,1551(Lcb)^3 \\ = 125,67.8,2/27,67 - 162,25.(0,534)^2 + 234,32.(0,534)^3 + \\ 0,1551.(0,148)^3 \\ = 26,661$$

Sehingga besar C_1 adalah

$$C_1 = 2223105.(0,2891)^{3,7861} (2,5/8,2)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757} \\ = 18,666$$

$C_2 = 1,0$ karena tanpa bulbusbow

$$C_3 = 1 - 0,8 A_T/(B.T.C_M), \text{ karena } A_T = 0, \text{ maka} \\ = 1 - 0 \\ = 1$$

$$\lambda = 1,446C_P - 0,03 L/B \quad \text{untuk } L/B \leq 12, L/B = 3,37$$

$$= 1,446.0,534 - 0,03.3,37$$

$$= 0,671$$

$$d = -0,9$$

$$C_5 = 8,0798C_P - 13,8673C_P^2 + 6,9844C_P^3 \quad \text{untuk } C_P \leq 0,8$$

$$= 8,0798.0,534 - 13,8673.(0,534)^2 + 6,9844.(0,534)^3$$

$$= 1,4237$$

$$m_1 = 0,01404 L/T - 1,7525 \nabla^{1/3}/L - 4,7932 B/L - C_5$$

$$= 0,01404.27,67/2,5 - 1,7525 (262,05)^{1/3}/27,67 -$$

$$4,7932.8,2/27,67 - 1,4237$$

$$= -3,0942$$

$$C_6 = -1,69385 \quad \text{untuk } L^3/\nabla \leq 512, L^3/\nabla = 80,84$$

$$m_2 = C_6 \cdot 0,4 \cdot e^{-0,034 \cdot Fr^{-3,29}}$$

$$= -0,2873$$

Maka Besar Tahanan Gelombang adalah :

$$W = 268,6 \times 9,8 = 2632,28 \text{ kN}$$

$$R_W = 18,666 \times 1 \times 1 \times e^{(-3,0942(0,375)^{-(-0,9)} + (-0,2873)\cos(0,671.(0,375^{-2})))}$$

$$\times 2632,28 \text{ kN}$$

$$= 27,15 \text{ kN}$$

g. Perhitungan Nilai Korelasi Model Kapal

Karena $T_f / L_{WL} = 0,09$. Untuk $T_f / L_{WL} > 0,04$, maka :

$$C_A = 0,006 (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205$$

$$= 0,006 (27,67 + 100)^{-0,16} - 0,00205$$

$$= 0,000711707$$

$$R_A = 0,5 \rho V^2 C_A S_{tot}$$

$$= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (6,17)^2 \cdot 0,000711707 \cdot (240,447 + 4,421)$$

$$= 3,4032 \text{ kN}$$

h. Perhitungan Tahanan Total

Tahanan total dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh jenis tahanan yang ada.

$$\begin{aligned}R_{TOT} &= R_V + R_V (\text{Appendage}) + R_W + R_A \\ &= 12,21143 + 0,2263 + 27,15 + 3,4032 \\ &= \mathbf{42,992 \text{ kN}}\end{aligned}$$

Untuk penambahan sea margin, diambil penambahan 10% dari tahanan total, karena kondisi perairan di pelabuhan yang tenang. Sehingga tahanan totalnya menjadi.

$$\begin{aligned}R_{TOT} &= (0,10 + 1) 42,992 \\ &= \mathbf{47,29 \text{ kN}}\end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Tahanan KT. Anggada VIII Pada Keadaan Menarik (Kecepatan 5 knot)

Tahanan KT. Anggada VIII saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knot adalah penjumlahan dari tahanan KT. Anggada VIII saat kecepatan 5 knots dan tahanan KM. Caraka jaya saat kecepatan 5 knots.

Sehingga akan dilakukan perhitungan tahanan masing-masing pada KT. Anggada VIII dengan kecepatan 5 knots dan KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots.

4.2.2.1 Perhitungan Tahanan dengan Program Maxsurf

Tahanan pada KT Anggada VIII saat menarik kapal pada kecepatan 5 knots dapat ditentukan dengan melihat grafik tahanan KT. Anggada VIII pada gambar 4.15 . Dari grafik dapat ditentukan nilai tahanan KT Anggada XV saat kecepatan 5,1 knots sebesar 3,06 kN. Dengan menggunakan program

Maxsurf/Hullspeed (Metode Holtrop) tahanan pada KT. Anggada XV dengan kecepatan 5 knots adalah sebesar **3,06 kN**.

Kapal yang akan ditarik oleh KT. Anggada VIII adalah KM. Caraka Jaya. KM Caraka Jaya dalam hal ini hanya dijadikan sebagai contoh kapal yang ditarik oleh KT. Anggada VIII, maksudnya KM. Caraka Jaya belum tentu akan ditarik oleh KT. Anggada VIII pada keadaan sebenarnya, jadi KM. Caraka Jaya hanya mewakili kapal yang ukuran dimensi utamanya hampir sama dengan KM. Caraka Jaya.

Sama dengan perhitungan pada sub bab 4.1.2.1 dengan menggunakan program *Maxsurf/Hullspeed* (Metode Holtrop) tahanan pada KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots adalah sebesar **18,74 kN**.

Setelah dilakukan analisis dengan program *maxsurf/hullspeed* pada gambar *linesplan* KT. Anggada VIII dan *linesplan* KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knots, maka tahanan total KT. Anggada VIII saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots adalah penjumlahan tahanan KT. Anggada VIII dan KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knots yaitu **21,8 kN**.

4.2.2.2 Perhitungan Tahanan dengan Metode Holtrop

Data KT. ANGGADA VIII adalah sebagai berikut :

- | | |
|--|-----------|
| 1) Length between perpendicular (L_{OA}) | = 29 m |
| 2) Length of waterline (L_{WL}) | = 27,67 m |
| 3) Length of displacement (L_{PP}) | = 26,87 m |
| 4) Breadth moulded (B_{mld}) | = 8,2 m |
| 5) Depth moulded (H) | = 6,4 m |
| 6) Draft (T) | = 2,5 m |
| 7) Block coefficient (C_b) | = 0,462 |
| 8) Prismatic coefficient (C_p) | = 0,534 |
| 9) Midship section coefficient (C_m) | = 0,865 |

10) Waterplan area coefficient (C_{wp})	= 0,837
11) Length of center bouyancy (LCB)	= 0,148
12) Kecepatan kapal	= 5 knots
	= 2,57 m/s

a. Perhitungan Volume Displacement (▼)

$$\begin{aligned}\nabla &= L_{WL} \times B \times T \times C_b \\ &= 27,67 \text{ m} \times 8,2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 0,462 \\ &= 262,05 \text{ m}^3\end{aligned}$$

b. Perhitungan Displacement (▲)

$$\begin{aligned}\blacktriangle &= \nabla \times \rho, \quad \rho = 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 262,05 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ ton/m}^3 \\ &= 268,6 \text{ ton}\end{aligned}$$

c. Perhitungan Froude Number dan Reynold Number

$$\begin{aligned}Fn &= \frac{V_s}{\sqrt{g \times L}} \\ &= \frac{2,57}{\sqrt{9,81 \times 27,67}} = 0,156\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{V \times L}{u}, \quad u = \text{viskositas kinematik} = 0,000001188 \\ &= \frac{2,57 \times 27,67}{0,000001188} = 59887292,0366\end{aligned}$$

d. Perhitungan Tahanan Gesek (R_V)

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} (1 + k_1) S$$

Berdasarkan ITTC-1957

$$C_{FO} = \frac{0,075}{(\log Rn - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log 59887292,0366 - 2)^2} = 0,002247$$

Length of Run (L_R)

$$\begin{aligned} L_R &= L[1 - C_p + (0,06C_p \cdot LCB / (4C_p - 1))] \\ &= 27,67[1 - 0,534 + (0,06 \cdot 0,534 \cdot (0,148) / (4 \times 0,534 - 1))] \\ &= 11,459 \text{ m} \end{aligned}$$

Form factor of bare hull

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,4871c(B/L)^{1,0681} (T/L)^{0,4611} (L/L_R)^{0,1216} (L^3 / \nabla)^{0,3649} (1 - C_p)^{-0,6042}$$

c adalah koefisien untuk bentuk khusus untuk buritan kapal. Karena bentuk buritan KT. Anggada VIII normal maka nilai $c_{stern} = 0$ sesuai dengan tabel (2.1). Sehingga nilai c KT. Anggada VIII adalah

$$c = 1 + 0,011c_{stern} = 1 + 0 = 1$$

$$\begin{aligned} 1 + k_1 &= 0,93 + 0,4871 \cdot c \cdot (8,2/27,67)^{1,0681} (2,5/27,67)^{0,4611} \\ &\quad (27,67/11,459)^{0,1216} (27,67^3/262,05)^{0,3649} (1 - 0,534)^{-0,6042} \\ &= 1,315 \end{aligned}$$

Luas permukaan basah (S)

$$\begin{aligned} S &= L(2T + B)C_M^{0,5} (0,4530 + 0,4425C_B - 0,2862C_M \\ &\quad - 0,003467B/T + 0,3696C_{WP}) + 2,38A_{BT} / C_B \\ &= 27,67(2 \cdot 2,5 + 8,2)0,865^{0,5} \cdot (0,453 + 0,4425 \cdot 0,462 - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & 0,2862 \cdot 0,865 - 0,003467 \cdot 8,2/2,5 + 0,3696 \cdot 0,837 \\
 & + 2,38 \cdot 0/0,462 \\
 & = 240,447 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga tahanan gesek (viscous resistance) dari KT. Anggada VIII adalah

$$\begin{aligned}
 R_V &= 0,5 \cdot 1,025 \text{ ton/m}^3 \cdot (2,57 \text{ m/s})^2 \cdot 0,002247 \cdot 1,315 \cdot 240,447 \text{ m}^2 \\
 &= \mathbf{2,41 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Tahanan Tambahan

Bagian tambahan dari KT Anggada VIII antara lain :

- Spade-type rudders of twin-screw ships $(1+k_2) = 2,8$
- Skeg-rudders of twin-screw ships $(1+k_2) = 1,5$
- Bilge keels $\frac{(1+k_2)}{\text{total}} = 1,4$
- $\text{total} = 5,7$

$$(1+k_2)_{\text{effective}} = \frac{\sum S_i(1+k_2)_i}{\sum S_i} = \frac{5,7}{3} = 1,9$$

Luas bagian tambahan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{app}} &= (2 \times L_{LWL} \times T/100) \times (1 + 25(B/L_{LWL})^2) \\
 &= (2 \times 27,67 \times 2,5 / 100) \times (1 + 25(8,2/27,67)^2) \\
 &= 1,3835 \times 3,1956 \\
 &= 4,421 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (1+k) &= (1+k_1) + [(1+k_2) - (1+k_1)] \frac{S_{\text{app}}}{S_{\text{tot}}} \\
 &= (1,315) + (1,9 - 1,315) (4,421 / (240,447 + 4,421)) \\
 &= 1,3253
 \end{aligned}$$

Tahanan tambahan mempengaruhi viskositas, sehingga tahanan tambahannya adalah

$$R_V = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FO} S_{app} (1+k) = 0,5 \times 1,025 \times (2,57^2) \times 0,002247 \times 4,421 \times 1,3253 = 0,0446 \text{ kN}$$

f. Perhitungan Tahanan Gelombang

Untuk menghitung tahanan gelombang, menggunakan persamaan di bawah ini.

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

Karena Froude Number dari KT. Anggada VIII adalah 0,156 maka untuk range dengan kecepatan rendah ($F_n \leq 0,4$), berikut perhitungan koefisien-koefisien yang diperlukan.

$$C_1 = 2223105 \cdot C_4^{3,7861} \cdot (T/B)^{1,0796} (90 - i_E)^{-1,3757}$$

Berikut perhitungan-perhitungan koefisien untuk menentukan nilai C_1

$$C_4 = 0,5 - 0,0625L/B \quad \text{untuk } B/L \geq 0,25 \\ = 0,2891$$

$$i_E = 125,67B/L - 162,25C_p^2 + 234,32C_p^3 + 0,1551 \left(LCB + \frac{6,8(T_a - T_f)}{T} \right)^3$$

Karena $T_a = T_f = T$, maka

$$i_E = 125,67 B/L - 162,25C_p^2 + 234,32C_p^3 + 0,1551(Lcb)^3 \\ = 125,67 \cdot 8,2/27,67 - 162,25 \cdot (0,534)^2 + 234,32 \cdot (0,534)^3 +$$

$$0,1551 \cdot (0,148)^3 \\ = 26,661$$

Sehingga besar C_1 adalah

$$C_1 = 2223105 \cdot (0,2891)^{3,7861} (2,5/8,2)^{1,0796} (90-i_E)^{-1,3757} \\ = 18,666$$

$C_2 = 1,0$ karena tanpa bulbusbow

$$C_3 = 1 - 0,8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M), \text{ karena } A_T = 0, \text{ maka} \\ = 1 - 0 \\ = 1$$

$$\lambda = 1,446 C_P - 0,03 L/B \quad \text{untuk } L/B \leq 12, L/B = 3,37 \\ = 1,446 \cdot 0,534 - 0,03 \cdot 3,37 \\ = 0,671$$

$$d = -0,9$$

$$C_5 = 8,0798 C_P - 13,8673 C_P^2 + 6,9844 C_P^3 \quad \text{untuk } C_P \leq 0,8 \\ = 8,0798 \cdot 0,534 - 13,8673 \cdot (0,534)^2 + 6,9844 \cdot (0,534)^3 \\ = 1,4237$$

$$m_1 = 0,01404 L/T - 1,7525 \nabla^{1/3} / L - 4,7932 B/L - C_5 \\ = 0,01404 \cdot 27,67/2,5 - 1,7525 (262,05)^{1/3} / 27,67 - \\ 4,7932 \cdot 8,2/27,67 - 1,4237 \\ = -3,0942$$

$$C_6 = -1,69385 \quad \text{untuk } L^3/\nabla \leq 512, L^3/\nabla = 80,84$$

$$m_2 = C_6 \cdot 0,4 \cdot e^{-0,034 \cdot F n^{-3,29}} \\ = -0,0000001555$$

Maka Besar Tahanan Gelombang adalah :

$$W = 268,6 \times 9,8 = 2632,28 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} R_W &= 18,666 \times 1 \times 1 \times e^{(-3,0942(0,156)^{-0,9} + (-0,0000001555)\cos(0,671.(0,156^{-2}))} \\ &\quad \times 2632,28 \text{ kN} \\ &= \mathbf{0,003514 \text{ kN}} \end{aligned}$$

g. Perhitungan Nilai Korelasi Model Kapal

Karena $T_f / L_{WL} = 0,09$. Untuk $T_f / L_{WL} > 0,04$, maka :

$$\begin{aligned} C_A &= 0,006 (L_{WL} + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,006 (27,67 + 100)^{-0,16} - 0,00205 \\ &= 0,000711707 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_A &= 0,5 \rho V^2 C_A S_{tot} \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (2,57)^2 \cdot 0,000711707 \cdot (240,447 + 4,421) \\ &= \mathbf{0,59 \text{ kN}} \end{aligned}$$

h. Perhitungan Tahanan Total

Tahanan total dapat ditentukan dengan menjumlahkan seluruh jenis tahanan yang ada.

$$\begin{aligned} R_{TOT} &= R_V + R_V (\text{Appendage}) + R_W + R_A \\ &= 2,41 + 0,0446 + 0,003514 + 0,59 \\ &= \mathbf{3,048 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Untuk penambahan sea margin, diambil penambahan 10% dari tahanan total, karena kondisi perairan di pelabuhan yang tenang. Sehingga tahanan totalnya menjadi.

$$\begin{aligned} R_{TOT} &= (0,10 + 1) 3,048 \\ &= \mathbf{3,35 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Tahanan KM. Caraka Jaya sama dengan hasil perhitungan pada sub 4.1.2.2, yaitu sebesar **21,61 kN**.

Setelah tahanan KT. Anggada VIII dan KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knot, maka tahanan total KT. Anggada VIII saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knot adalah penjumlahan tahanan KT. Anggada VIII dan KM. Caraka Jaya saat kecepatan 5 knots.

Tahanan total KT. Anggada VIII saat menarik KM. Caraka Jaya dengan kecepatan 5 knots :

$$\begin{aligned} R_T &= \text{Tahanan KT. Anggada VIII} + \text{Tahanan KM. Caraka Jaya} \\ &= 3,35 \text{ kN} + 21,61 \text{ kN} \\ &= 24,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan tahanan KT. Anggada VIII saat keadaan free running maupun saat kondisi menarik, maka tahanan yang digunakan untuk menghitung power KT. Anggada VIII adalah tahanan yang timbul saat free running dengan kecepatan 12 knots yaitu **47,29 kN**.

Sebagai perbandingan, hasil towing test di Laboratorium PT Sucofindo Makassar, tahanan pada model KT Anggada VIII sebesar **51,6 kN**.

4.2.3 Perhitungan Daya dan Pemilihan Main Engine serta Pemilihan Propeller Pada KT Anggada VIII

4.2.3.1 Perhitungan Daya Main Engine

a. Perhitungan Daya Efektif (EHP)

$$EHP = R_{T_{dinas}} \times V_S$$

$R_{T_{dinas}}$ yang digunakan adalah tahanan total (R_T) hasil perhitungan dengan metode hotrop pada keadaan free running yaitu sebesar 47,29 kN (tahanan total dinas).

$$\begin{aligned} EHP &= 47,29 \text{ kN} \times 6,17 \text{ m/s} \\ &= 291,92 \text{ kW} \\ &= 391,47 \text{ HP} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Wake Fraction (W)

Pada perencanaan sistem propulsi yang baru menggunakan tipe twin screw sehingga nilai wake fractionnya adalah

$$W = 1 - W_f$$

Nilai W_f adalah sebagai berikut:

$$W_f = 1,06 - (0,4C_b) \quad (\text{Propeller Hand Book, Dave Gerr})$$

Sehingga

$$\begin{aligned} W &= 1 - (1,06 - 0,4C_b) \\ &= 1 - (1,06 - (0,4 \times 0,462)) \\ &= 0,1248 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Thrust Deduction Factor (t)

Nilai thrust deduction factor bisa ditentukan dengan nilai wake friction (W), yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}t &= k \times W, \text{ nilai } k = 0,7 - 0,9. \text{ Diambil nilai } k = 0,7 \\t &= 0,7 \times 0,1248 \\&= 0,08736\end{aligned}$$

d. Perhitungan Speed of Advance (Va)

Nilai speed of advance (Va) dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}V_a &= (1-W) \times V_s \\&= (1-0,1248) \times 6,17 \text{ m/s} \\&= 5,402 \text{ m/s}\end{aligned}$$

e. Perhitungan Efisiensi Propulsif

- Efisiensi Relatif Rotatif (η_r)

Harga η_r untuk kapal pada umumnya berkisar satu. Pada perencanaan ini diambil harga η_r sebesar 1,02 .

- Efisiensi Propulsi (η_p)

Harga η_p nilainya berkisar antara 40% - 70%. Karena propellernya belum ditentukan maka diambil asumsi besarnya η_p sebesar 0,42.

- Efisiensi Lambung (η_H)

Nilai efisiensi lambung dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\eta_H &= (1-t) / (1-W) \\ &= (1-0,08736) / (1-0,1248) \\ &= 1,043\end{aligned}$$

- Coeffisien Propulsif (P_C)

$$\begin{aligned}P_C &= \eta_r \times \eta_p \times \eta_H \\ &= 1,02 \times 0,42 \times 1,043 \\ &= 0,45\end{aligned}$$

f. Perhitungan daya pada tabung poros buritan propeller (DHP)

Daya pada tabung poros propeller dihitung dari perbandingan antara daya efektif dengan koefisien propulsif, yaitu :

$$\begin{aligned}DHP &= EHP/P_C \\ &= 391,47 \text{ HP} / 0,45 \\ &= 869,93 \text{ HP}\end{aligned}$$

g. Perhitungan daya pada poros (SHP)

Pada perencanaan ini kamar mesin berada di bagian belakang kapal sehingga losses yang dialami sebesar 2% atau efisiensi porosnya sebesar 0,98.

$$\begin{aligned}SHP &= DHP/\eta_s \\ &= 869,93 \text{ HP}/0,98 \\ &= 887,68 \text{ HP}\end{aligned}$$

h. Perhitungan daya penggerak utama yang diperlukan

- BHP_{SCR}

Penggunaan reduction gear menyebabkan terjadinya losses sebesar 2% sehingga efisiensi pada reduction gear sebesar 0,98.

$$\begin{aligned} BHP_{SCR} &= SHP/\eta_G \\ &= 887,68/0,98 \\ &= 905,805 \text{ HP} \end{aligned}$$

- BHP_{MCR}

BHP_{MCR} adalah daya maksimum yang dapat dihasilkan engine. BHP_{SCR} nilainya sama dengan $0,85BHP_{MCR}$.

$$\begin{aligned} BHP_{MCR} &= BHP_{SCR} / 0,85 \\ &= 905,805/0,85 \\ &= 1065,65 \text{ HP} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, daya yang dibutuhkan oleh KT, Anggada VIII adalah **1065,65 HP**

4.2.3.2 Perhitungan Daya Main Engine dengan Estimasi

a. Estimasi Besar BHP Berdasarkan Length Over All (L_{OA})

Besarnya BHP kapal tunda dengan estimasi panjang keseluruhan kapal dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$BHP = 100 + (LOA^{4,15}/111000)$$

Dimana :

$$LOA : 29 \text{ meter} = 95,14 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= 100 + (95,14^{4,15}/111000) \\ &= 1562,1 \text{ HP} \end{aligned}$$

Berdasarkan estimasi LOA, besarnya BHP engine KT. Anggada VIII adalah **1562,1 HP**.

b. Estimasi Besar BHP Berdasarkan Average Towing Speed

Besarnya BHP kapal tunda dengan estimasi kecepatan tarik rata-rata dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$K_{TS} = 1,43 \times \text{BHP}^{0,21}$$

Di mana :

K_{TS} : Kecepatan tarik rata-rata (knots)
: 5 knots

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= (K_{TS}/1,43)^{1/0,21} \\ &= (5/1,43)^{1/0,21} \\ &= 387,9 \text{ HP} \end{aligned}$$

Berdasarkan estimasi average towing speed, besarnya BHP engine KT. Anggada VIII adalah **387,9 HP**.

c. Estimasi Besar BHP Berdasarkan DWT Kapal yang Ditarik

Besarnya BHP kapal tunda dengan estimasi DWT kapal yang ditarik dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Avg DWT} = (3,43 \times \text{BHP}) - 599,18$$

Dimana :

DWT : 3500 ton (Berdasarkan hasil survey)

$$\text{BHP} = (\text{Avg DWT} + 599,18) / 3,43$$

$$= 1195,09 \text{ HP}$$

Dari keempat cara perhitungan daya main engine KT. Anggada VIII di atas, daya yang digunakan adalah **1065,65 HP**.

4.2.3.3 Pemilihan Propeller

a. Penentuan propeller (tipe, diameter dan pitch ratio) dengan grafik Bp diagram

Penentuan tipe propeller (tipe, diameter dan pitch ratio) dengan grafik Bp diagram pada KT Anggada VIII sama dengan pada KT Anggada XV.

b. Perhitungan kavitasi

Penentuan kavitasi atau tidaknya propeller pada KT Anggada VIII sama dengan pada KT Anggada XV. Cara perhitungan dan penentuan spesifikasi propeller diterapkan pada beberapa tipe propeller dan variasi gear box (putaran) yang lain, sehingga perhitungannya terlihat pada tabel pada lampiran 2.

Berdasarkan tabel pada lampiran 2, tipe propeller yang dipilih adalah

Tipe propeller	: Ka. 4-55
Tipe ducted	: Marin 19A
Diameter	: 1,477 meter
P/D ratio	: 0,87
Putaran	: 6,0976 rps (ratio gear box 1 : 4,92)

c. Penentuan karakteristik propeller Ka. 4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter dan P/D 0,87

Dari perhitungan sebelumnya, didapatkan data tentang KT Anggada VIII sebagai berikut :

- t : 0,08736
- w : 0,1248
- V_s : 12 knots = 6,17 m/s
- ρ air laut : 1025 kg/m³

Karena KT Anggada VIII menggunakan twin-screw maka tiap satu propeller dan satu engine menanggung setengah dari tahanan total.

Tahanan kapal saat clean hull = 42,99/2 = 21,5 kN

Tahanan kapal saat rough hull = 47,29/2 = 23,65 kN

- Menghitung koefisien α

$$R_T = 0,5 \times \rho \times C_T \times S \times V_s^2$$

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

$$\begin{aligned}\alpha \text{ clean hull} &= R_T \text{ clean hull} / V_s^2 \\ &= 21,5 \text{ kN} / (6,17^2) = 21500 \text{ N} / (6,17^2) \\ &= 564\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha \text{ rough hull} &= R_T \text{ rough hull} / V_s^2 \\ &= 23,65 \text{ kN} / (6,17^2) = 23650 \text{ N} / (6,17^2) \\ &= 620,4\end{aligned}$$

- Menghitung koefisien β

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

$$\beta_{\text{clean hull}} = \frac{\alpha_{\text{CLEANHULL}}}{(1 - 0,0876) \times (1 - 0,1248)^2 \times 1025 \times 1,477^2} = 0,36$$

$$\beta_{\text{rough hull}} = \frac{\alpha_{\text{ROUGHULL}}}{(1 - 0,0876) \times (1 - 0,1248)^2 \times 1025 \times 1,477^2} = 0,42$$

- Membuat kurva KT-J

Sebelum membuat kurva, nilai KT diperoleh dengan menggunakan rumusan berikut.

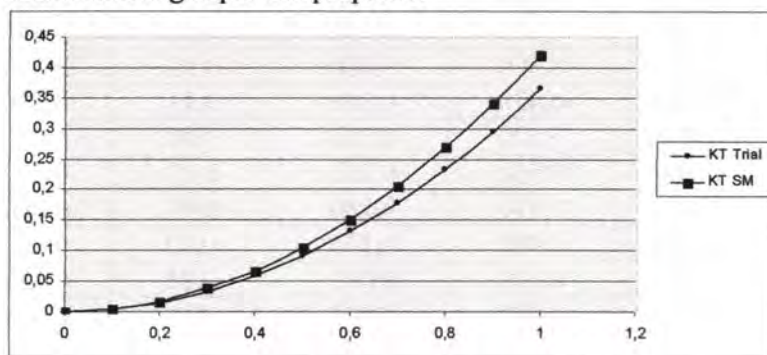
$$KT = \beta \times J^2$$

di mana nilai J berkisar antara 0-1. Kemudian dibuat tabel berikut ini

Tabel 4.11 Perhitungan K_T pada KT. Anggada VIII

J	J ²	KT clean hull	KT rough hull
0	0	0	0
0,1	0,01	0,003651188	0,004198866
0,2	0,04	0,014604751	0,016795463
0,3	0,09	0,032860689	0,037789793
0,4	0,16	0,058419003	0,067181853
0,5	0,25	0,091279692	0,104971646
0,6	0,36	0,131442757	0,15115917
0,7	0,49	0,178908197	0,205744426
0,8	0,64	0,233676012	0,268727414
0,9	0,81	0,295746203	0,340108133
1	1	0,365118769	0,419886584

Kemudian dibuat grafik KT-J yang mempresentasikan interaksi antara lambung kapal dan propeller.



Gambar 4.16 Grafik KT-J pada KT Anggada VIII

Kemudian grafik KT-J diplotkan ke kurva open water propeller untuk mendapatkan titik operasi propeller.

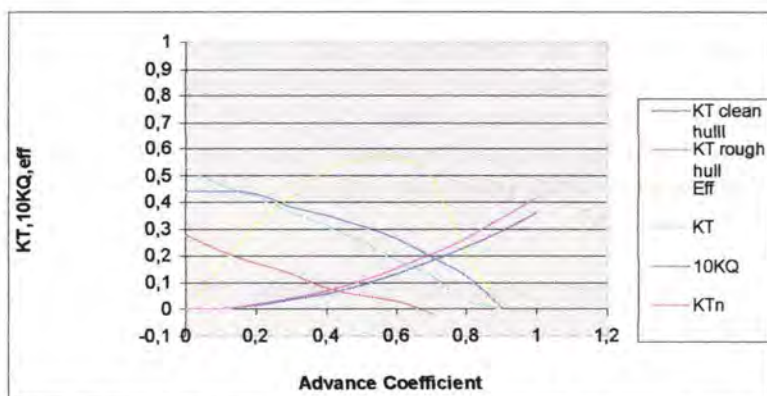
Pada langkah ini, dibutuhkan grafik open water test untuk propeller yang telah dipilih, yaitu Ka.4-55 ducted 19A. Setelah itu dicari nilai masing-masing dari KT, 10KQ, dan η behind the ship. Tentu saja dengan berpatokan pada nilai P/Db yang telah didapat pada waktu pemilihan propeller. Nilai KT, 10KQ, dan η pada P/Db 1,15.

Dari kurva open water Ka.4-55 ducted 19A didapatkan data berikut ini,

Tabel 4.12 Nilai J, KT, KQ dan η pada KT Anggada VIII

J	η_P	KT	KTn	10KQ
0,000	0,000	0,530	0,28	0,440
0,100	0,160	0,460	0,22	0,440
0,200	0,320	0,420	0,17	0,430
0,300	0,420	0,360	0,13	0,380
0,400	0,520	0,310	0,08	0,350
0,500	0,560	0,250	0,05	0,310
0,600	0,570	0,180	0,03	0,260
0,700	0,490	0,120	-0,02	0,190
0,800	0,200	0,030	-0,05	0,120
0,900	0,000	0,000	-0,1	0,000

Kemudian data di atas, diplotkan pada grafik KT-J yang sudah didapat di atas.



Gambar 4.17 Kurva open water propeller KT Anggada VIII

Berdasarkan pembacaan kurva open water Ka.4-55 ducted 19A yang diplotkan dengan grafik KT-J, diperoleh hasil berikut ini.

Titik operasi pada keadaan clean hull :

$$\begin{aligned} J &= 0,646 \\ K_T &= 0,152 \\ K_{TN} &= 0,0068 \\ 10K_Q &= 0,227 \\ \eta &= 0,526 \end{aligned}$$

Titik operasi pada keadaan rough hull :

$$\begin{aligned} J &= 0,63 \\ K_T &= 0,165 \\ K_{TN} &= 0,015 \\ 10K_Q &= 0,24 \\ \eta &= 0,542 \end{aligned}$$

Karena efisiensi pada titik operasi pada keadaan rough hull sebesar 0,542 sehingga lebih besar dari asumsi awal yaitu 0,42. Maka engine yang dipilih sudah memenuhi kebutuhan propeller. Namun perhitungan daya engine perlu dikoreksi kembali karena daya dorong dari ducted propeller lebih besar dari pada fixed propeller (open propeller).

4.2.3.4 Perhitungan Ulang Daya Main Engine

a. Perhitungan Daya Efektif (EHP)

$$EHP = R_{T_{dinas}} \times V_s$$

$R_{T_{dinas}}$ yang digunakan adalah tahanan total (R_T) hasil perhitungan dengan metode hotrop pada keadaan free running yaitu sebesar 47,29 kN (tahanan total dinas).

$$\begin{aligned} EHP &= 47,29 \text{ kN} \times 6,17 \text{ m/s} \\ &= 291,92 \text{ kW} \\ &= 391,47 \text{ HP} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Wake Fraction (W)

Pada perencanaan sistem propulsi yang baru menggunakan tipe twin screw sehingga nilai wake fractionnya adalah

$$W = 1 - W_f$$

Nilai W_f adalah sebagai berikut:

$$W_f = 1,06 - (0,4C_b) \quad (\text{Propeller Hand Book, Dave Gerr})$$

Sehingga

$$\begin{aligned} W &= 1 - (1,06 - 0,4C_b) \\ &= 1 - (1,06 - (0,4 \times 0,462)) \\ &= 0,1248 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Thrust Deduction Factor (t)

Nilai thrust deduction factor bisa ditentukan dengan nilai wake friction (W), yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} t &= k \times W, \text{ nilai } k = 0,7 - 0,9. \text{ Diambil nilai } k = 0,7 \\ t &= 0,7 \times 0,1248 \\ &= 0,08736 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Speed of Advance (Va)

Nilai speed of advance (V_a) dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned} V_a &= (1-W) \times V_s \\ &= (1-0,1248) \times 6,17 \text{ m/s} \\ &= 5,402 \text{ m/s} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Efisiensi Propulsif

- Efisiensi Relatif Rotatif (η_r)

Harga η_r untuk kapal pada umumnya berkisar satu. Pada perencanaan ini diambil harga η_r sebesar 1,02 .

- Efisiensi Propulsi (η_p)

Harga η_p nilainya berkisar antara 40% - 70%. Karena propellernya sudah ditentukan yaitu Ka.4-55 maka η_p sebesar 0,542.

- Efisiensi Lambung (η_H)

Nilai efisiensi lambung dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\eta_H &= (1-t) / (1-W) \\ &= (1-0,08736) / (1-0,1248) \\ &= 1,043\end{aligned}$$

- Coeffisien Propulsif (P_C)

$$\begin{aligned}P_C &= \eta_r \times \eta_p \times \eta_H \\ &= 1,02 \times 0,542 \times 1,043 \\ &= 0,576\end{aligned}$$

f. Perhitungan daya pada tabung poros buritan propeller (DHP)

Daya pada tabung poros propeller dihitung dari perbandingan antara daya efektif dengan koefisien propulsif, yaitu :

$$\begin{aligned}DHP &= EHP/P_C \\ &= 391,47 \text{ HP} / 0,576\end{aligned}$$

$$= 679,69 \text{ HP}$$

g. Perhitungan daya pada poros (SHP)

Pada perencanaan ini kamar mesin berada di bagian belakang kapal sehingga losses yang dialami sebesar 2% atau efisiensi porosnya sebesar 0,98.

$$\begin{aligned} \text{SHP} &= \text{DHP}/\eta_s \\ &= 679,69 \text{ HP}/0,98 \\ &= 693,56 \text{ HP} \end{aligned}$$

h. Perhitungan daya penggerak utama yang diperlukan

- BHP_{SCR}

Penggunaan reduction gear menyebabkan terjadinya losses sebesar 2% sehingga efisiensi pada reduction gear sebesar 0,98.

$$\begin{aligned} \text{BHP}_{\text{SCR}} &= \text{SHP}/\eta_g \\ &= 693,56/0,98 \\ &= 707,71 \text{ HP} \end{aligned}$$

- BHP_{MCR}

BHP_{MCR} adalah daya maksimum yang dapat dihasilkan engine. BHP_{SCR} nilainya sama dengan $0,85\text{BHP}_{\text{MCR}}$.

$$\begin{aligned} \text{BHP}_{\text{MCR}} &= \text{BHP}_{\text{SCR}} / 0,85 \\ &= 707,71/0,85 \\ &= 832,6 \text{ HP} \end{aligned}$$

4.2.3.5 Pemilihan Main Engine

Daya yang dibutuhkan KT. Anggada VIII adalah 832,6 HP. Karena KT. Anggada VIII menggunakan propeller twin screw maka jumlah engine yang digunakan ada 2. Sehingga daya masing-masing engine pada kisaran sebesar 425 HP atau daya KT. Anggada VIII pada kisaran sebesar 2×425 HP.

Penulis menemukan 3 merk atau tipe engine yang ada di pasaran. Ketiga engine tersebut adalah CATERPILLAR 3406E, MAN D 2840 LE, dan MTU Series 60. Untuk memilih engine yang akan dipasang dalam KT. Anggada VIII ditentukan kriteria-kriteria sebagai berikut :

- a. Dimensi engine (panjang, lebar dan tinggi engine)
Dimensi engine berpengaruh pada ruang yang akan ditempati engine dalam engine room. Semakin besar dimensi engine, semakin besar pula ruang yang dibutuhkan dalam engine room dan sebaliknya. Jadi engine yang dipilih adalah engine dengan dimensi paling kecil.
- b. Berat engine
Berat engine berpengaruh pada letak titik berat kapal. Jika berat engine berlebih, maka dikhawatirkan letak titik berat kapal akan berubah dan dapat mengakibatkan kestabilan kapal terganggu. Jadi engine yang dipilih adalah engine dengan berat paling ringan.
- c. Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)
Specific fuel oil consumption berpengaruh pada jumlah bahan bakar yang dikonsumsi per satuan waktu. Jika SFOC semakin besar, maka konsumsi bahan bakar akan

semakin besar juga, sehingga efisiensinya buruk atau dari segi ekonomis kurang menguntungkan. Jadi engine yang dipilih adalah engine dengan SFOC paling kecil.

d. Putaran engine (RPM)

Putaran engine berpengaruh pada pemilihan gearbox. Semakin tinggi putaran engine maka semakin besar pula rasio gearbox.

Berikut ini adalah tabel perbandingan tiga merk engine di atas.

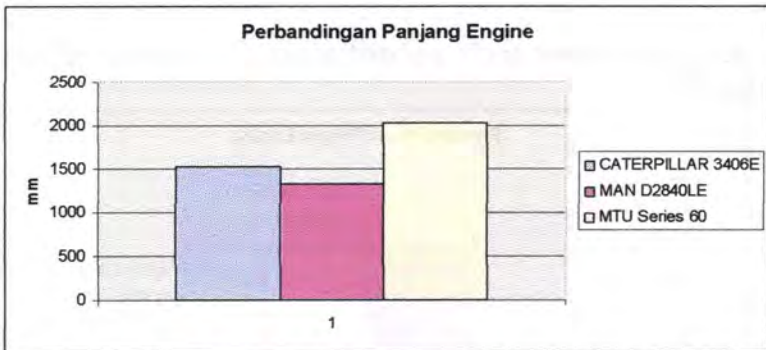
Tabel 4.13 Perbandingan engine (KT Anggada VIII)

ENGINE	CATERPILLAR 3406E	MAN D2840LE	MTU Seri 60
Panjang (mm)	1534,16	1333,5	2032
Lebar Tinggi (mm)	995,68	1211,6	965,2
Tinggi (mm)	1229,36	1013,5	990,6
Berat (kg)	1748,5	1642,5	2267,5
SFOC (g/kWh)	200	200	200
Speed (rpm)	1800	1800	1800
Power (HP)	450	500	425

Agar lebih jelas berikut penjelasan dengan grafik untuk membandingkan masing-masing engine.

a. Perbandingan Dimensi Engine

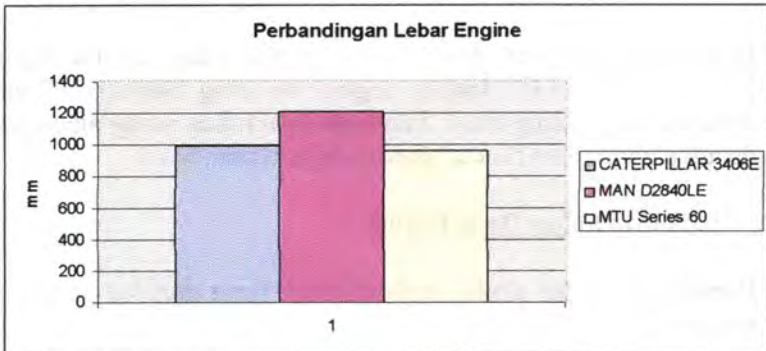
Berikut ini adalah grafik perbandingan panjang dari ketiga engine tersebut.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan panjang engine untuk KT. Anggada VIII

Dari gambar 4.18 di atas terlihat bahwa engine MAN D 2840 LE memiliki panjang yang paling pendek yaitu 1333,5 mm.

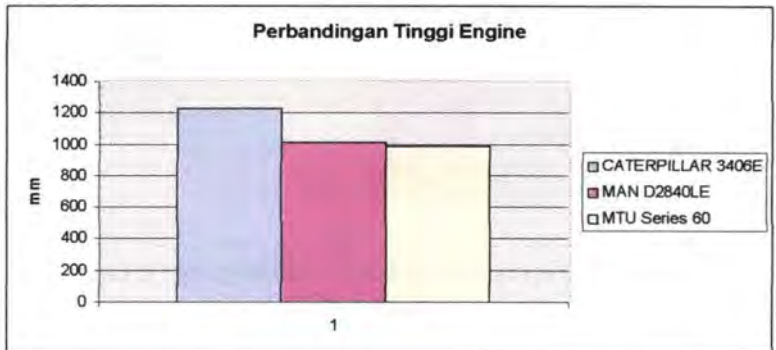
Berikut ini adalah grafik perbandingan lebar dari ketiga engine tersebut.



Gambar 4.19 Grafik perbandingan lebar engine untuk KT. Anggada VIII

Dari gambar 4.19 di atas terlihat bahwa engine MTU Series 60 memiliki lebar yang paling kecil yaitu 965,2 mm.

Berikut ini adalah grafik perbandingan tinggi dari ketiga engine tersebut



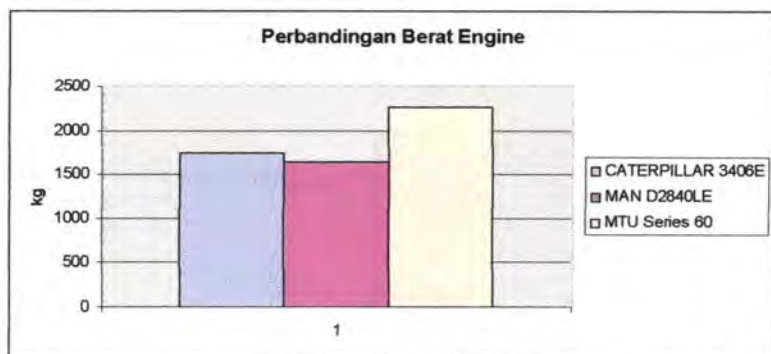
Gambar 4.20 Gambar perbandingan tinggi engine untuk KT. Anggada VIII

Dari gambar 4.20 di atas terlihat bahwa engine MTU Series 60 memiliki tinggi yang paling rendah yaitu 990,6 mm.

Berdasarkan kriteria dimensinya, engine yang dipilih adalah MAN D 2840 LE karena engine ini yang memiliki ukuran dimensi yang paling kecil. Sehingga kebutuhan ruang atau space dalam engine room (kamar mesin) tidak terlalu besar.

b. Perbandingan Berat Engine

Berikut ini adalah grafik perbandingan berat dari ketiga engine tersebut di atas.

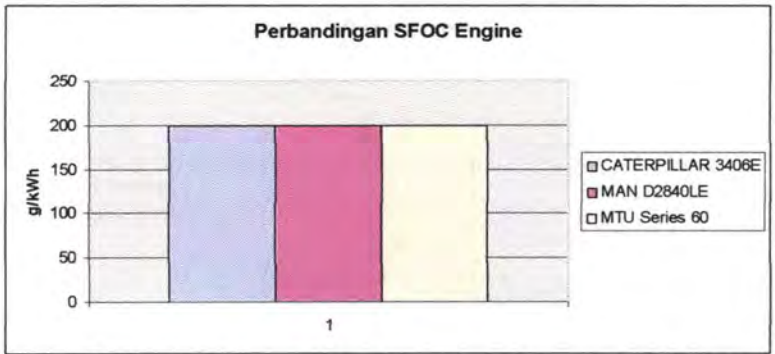


Gambar 4.21 Gambar perbandingan berat engine untuk KT. Anggada VIII

Berdasarkan kriteria berat engine, dipilih engine dengan berat yang paling ringan yaitu MAN D 2840 LE yaitu 1642,5 kg. Dengan dipilih engine yang paling ringan, maka pergeseran titik berat kapal tidak terlalu jauh. Dengan terjaganya letak titik berat kapal, maka kestabilan kapal dapat terjaga.

c. Perbandingan Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) engine

Berikut ini adalah grafik perbandingan SFOC dari ketiga engine tersebut di atas.



Gambar 4.22 Gambar perbandingan SFOC engine untuk KT. Anggada VIII

Ketiga engine tersebut memiliki SFOC yang sama.

d. Perbandingan Putaran Engine

Berikut ini adalah grafik perbandingan putaran engine dari ketiga engine tersebut di atas.



Gambar 4.23 Gambar perbandingan putaran engine untuk KT Anggada VIII

Ketiga engine tersebut memiliki kecepatan putaran yang sama.

Dari keempat kriteria pemilihan engine di atas, yaitu dimensi engine, berat engine, SFOC engine, dan putaran engine maka dipilih engine Caterpillar, tepatnya CATERPILLAR 3406E.

4.2.3.6 Engine-propeller matching

Engine-propeller matching adalah mempertemukan titik daya operasi engine dengan beban daya yang dibutuhkan propeller, sehingga dicapai titik yang paling maksimum dari daya engine dan beban daya propeller.

Maximum daya engine	: 450 HP
Putaran engine	: 1800 rpm
Ratio gearbox	: 4,92
Putaran propeller	: 365,85 rpm

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan daya yang dibutuhkan propeller.

Titik operasi pada keadaan clean hull :

J	= 0,646
K_T	= 0,152
K_{TN}	= 0,0068
$10K_Q$	= 0,227
η	= 0,526

Titik operasi pada keadaan rough hull :

J	= 0,63
K_T	= 0,165
K_{TN}	= 0,015
$10K_Q$	= 0,24
η	= 0,542

Letak titik interaksi antara lambung kapal saat kondisi clean hull dengan propeller ($J = 0,646$)

$$\begin{aligned}
 J &= V_A / (n \cdot D) \\
 n &= V_A / (J \cdot D) \\
 &= 5,403 / (0,646 \cdot 1,477) \\
 &= 5,663 \text{ rps} \\
 &= 339,76 \text{ rpm} \\
 N_{\text{eng}} &= 339,76 \times 4,92 \\
 &= 1671 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

daya yang dihasilkan pada titik interaksi $J = 0,646$ dapat dilihat pada tabel 4.14

Letak titik interaksi antara lambung kapal saat kondisi clean hull dengan propeller ($J = 0,63$)

$$\begin{aligned}
 J &= V_A / (n \cdot D) \\
 n &= V_A / (J \cdot D) \\
 &= 5,403 / (0,63 \cdot 1,477) \\
 &= 5,806 \text{ rps} \\
 &= 348,38 \text{ rpm} \\
 N_{\text{eng}} &= 348,38 \times 4,92 \\
 &= 1714 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

daya yang dihasilkan pada titik interaksi $J = 0,63$ dapat dilihat pada tabel 4.15

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan daya yang dibutuhkan propeller.

Tabel 4.14 Daya Propeller KT Anggada VIII saat Clean Hull

Neng (rpm)	Nprop (rps)	Q Nm	DHP (HP)	SHP (HP)	BHP (Hp)	Rpm (%)	Daya (% mcr)
1100	3,726	2272,2	71,3	72,8	85,4	61	18,97
1200	4,065	2704,1	92,6	94,5	110,8	67	24,63
1300	4,404	3173,6	117,7	120,1	140,9	72	31,32
1400	4,743	3680,6	147,0	150,0	176,0	78	39,12
1500	5,081	4225,2	180,8	184,5	216,5	83	48,11
1600	5,420	4807,3	219,4	223,9	262,8	89	58,39
1671	5,661	5243,4	250,0	255,1	299,3	93	66,51
1700	5,759	5427,0	263,2	268,6	315,2	94	70,04
1800	6,098	6084,3	312,4	318,8	374,1	100	83,14

Tabel 4.15 Daya Propeller KT Anggada VIII saat Rough Hull

Neng (rpm)	Nprop (rps)	Q Nm	DHP (HP)	SHP (HP)	BHP (Hp)	Rpm (%)	Daya (% mcr)
1100	3,726	2402	75,39	76,93	90,27	61	20,06
1200	4,065	2859	97,87	99,87	117,20	67	26,04
1300	4,404	3355	124,44	126,98	149,01	72	33,11
1400	4,743	3891	155,42	158,59	186,10	78	41,36
1500	5,081	4467	191,16	195,06	228,90	83	50,87
1600	5,420	5083	232,00	236,73	277,80	89	61,73
1700	5,759	5738	278,28	283,95	333,21	94	74,05
1714	5,806	5833	285,21	291,03	341,51	95	75,89
1800	6,098	6433	330,33	337,07	395,54	100	87,90

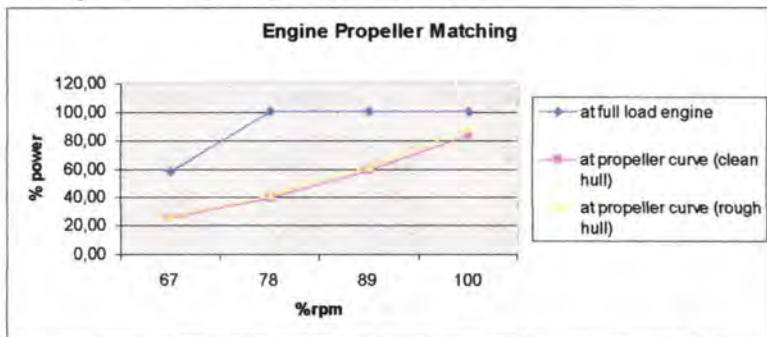


Dari tabel di atas terlihat, dengan diameter propeller 1,477 meter daya yang dibutuhkan propeller dibanding daya MCR engine sebesar 87,9 %.

Tabel 4.16 Daya engine pada KT Anggada VIII

No	RPM	% RPM	Power (kW)	Power (HP)	% Daya
1	1000,00	56	190,00	258,50	57,45
2	1200,00	67	330,75	450,00	100,00
3	1400,00	78	330,75	450,00	100,00
4	1600,00	89	330,75	450,00	100,00
5	1800,00	100	330,75	450,00	100,00

Kemudian daya engine di-matching-kan dengan daya propeller dan dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.24 Engine propeller matching KT. Anggada VIII

Hasilnya daya engine dan propeller sudah match pada titik yang paling maksimum yaitu daya maksimum propeller pada 99,98 % daya engine.

4.2.4 Perhitungan Bollard Pull

Perhitungan bollard pull ada 2 macam persamaan, antara lain :

a. Tarikan dalam ton (Kondisi MCR)

Tarikan untuk satu propeller. K_{TT} dan K_Q yang digunakan adalah saat $J = 0$ atau saat kecepatan 0.

$$K_{TT} = K_T + K_{Tn} = 0,53 + 0,28 = 0,81$$

$$\begin{aligned} \text{Tarikan (ton)} &= 0,01107 \cdot \frac{K_{TT}}{K_Q^{2/3}} \cdot (SHP \cdot D_{\text{baling-baling}})^{2/3} \\ &= 0,01107 \cdot \frac{0,81}{0,044^{2/3}} (441HP \times 4,845)^{2/3} \\ &= 11,93 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tarikan untuk dua propeller.

$$\begin{aligned} \text{Tarikan (ton)} &= 2 \times \text{tarikan 1 propeller} \\ &= 2 \times 11,93 \text{ ton} \\ &= 23,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Tarikan dalam ton (Kondisi SCR)

Tarikan untuk satu propeller. K_{TT} dan K_Q yang digunakan adalah saat $J = 0$ atau saat kecepatan 0.

$$K_{TT} = K_T + K_{Tn} = 0,648 + 0,335 = 0,983$$

$$\begin{aligned} \text{Tarikan (ton)} &= 0,01107 \cdot \frac{K_{TT}}{K_Q^{2/3}} \cdot (SHP_{SCR} \cdot D_{\text{baling-baling}})^{2/3} \\ &= 0,01107 \cdot \frac{0,81}{0,044^{2/3}} (374,85HP \times 4,845)^{2/3} \end{aligned}$$

$$= 10,7 \text{ ton}$$

Tarikan untuk dua propeller.

$$\begin{aligned} \text{Tarikan (ton)} &= 2 \times \text{tarikan 1 propeller} \\ &= 2 \times 10,7 \text{ ton} \\ &= 21,4188 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tarikan yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria yaitu sebesar 21,4188 ton untuk kondisi SCR. Dengan propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87.

Tarikan yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria yaitu sampai 22 ton. Maka untuk memenuhi kriteria tersebut harus ada penambahan daya engine dengan spesifikasi propeller tetap Ka.4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87.

Berikut perhitungan untuk menentukan daya engine

a. Perhitungan Daya Engine

$$\text{Tarikan (ton)} = 0,01107 \cdot \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \cdot (\text{SHP}_{SCR} \cdot D_{\text{baling-baling}})^{2/3}$$

$$11 \text{ ton} = 0,01107 \cdot \frac{0,81}{0,044^{2/3}} \cdot (\text{SHP}_{SCR} \cdot 4,845)^{2/3}$$

$$\text{SHP}_{SCR} = \left[\frac{11 \times 0,044^{2/3}}{0,01107 \times 0,81} \right]^{3/2} \div 4,845$$

$$\text{SHP}_{SCR} = 390,211 \text{ HP}$$

$$\text{BHP}_{SCR} = \text{SHP}_{SCR} / 0,98$$

$$= 390,211 / 0,98$$

$$= 398,174 \text{ HP}$$

$$\text{BHP}_{MCR} = \text{BHP}_{SCR} / 0,85$$

$$= 398,174 / 0,85$$

$$= 468,44 \text{ HP}$$

Untuk menghasilkan bollard pull 22 ton dengan propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87 . Maka daya engine yang terpasang sebesar **2 x 468,44 HP**.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

flexiPrint
Gebang Lor 107

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada KT. Anggada XV diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Tahanan terbesar yang dialami KT. Anggada XV adalah saat keadaan free running di mana tahanannya sebesar 70,33 kN pada kecepatan 12 knots.
2. Daya yang diperlukan untuk mencapai kecepatan 12 knots sebesar 2 x 800 HP, menggunakan MAN D 2842 LE 412 800 HP
3. Dengan daya engine KT Anggada XV sebesar 2 x 800 HP dihasilkan bollard pull sebesar 15,04 ton pada SCR dan 16,76 ton pada MCR. Bollard pull tersebut diperoleh dengan menggunakan propeller B4-100, diameter propeller 1,657 meter dan P/D ratio 0,8.
4. Untuk menghasilkan bollard pull 22 ton pada kondisi SCR maka daya engine diperbesar menjadi 2 x 1415,67 HP (pada MCR) dengan menggunakan propeller B4-100, diameter propeller 1,657 meter dan P/D ratio 0,8.

Pada KT. Anggada VIII diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Tahanan terbesar yang dialami KT. Anggada VIII adalah saat keadaan free running di mana tahanannya sebesar 47,29 kN pada kecepatan 12 knots.
2. Daya yang dipasang untuk mencapai kecepatan 12 knots sebesar 2 x 450 HP, menggunakan CATERPILLAR 3406E 450 HP
3. Dengan daya engine KT Anggada VIII sebesar 2 x 450 HP dihasilkan bollard pull sebesar 21,4188 ton pada SCR dan 23,86 ton pada MCR. Bollard pull tersebut diperoleh dengan

menggunakan propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87.

4. Untuk menghasilkan bollard pull 22 ton pada kondisi SCR maka daya engine diperbesar menjadi 2 x 468,44 HP (pada MCR) dengan menggunakan propeller Ka.4-55, ducted Marin 19A, diameter 1,477 meter, P/D ratio 0,87.

5.2 Saran

Pada tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dan keterbatasan. Diharapkan tugas akhir ini dapat lebih dikembangkan detail lagi, antara lain :

- Metode perhitungan tahanan perlu ditambah dengan metode yang lain.
- Variasi tipe propeller untuk ducted propeller sangat sedikit sehingga bisa dikembangkan ke variasi ducted propeller yang lain.
- KT. Anggada XV sebaiknya juga menggunakan ducted propeller agar bollard pull semakin besar dengan daya engine tetap.

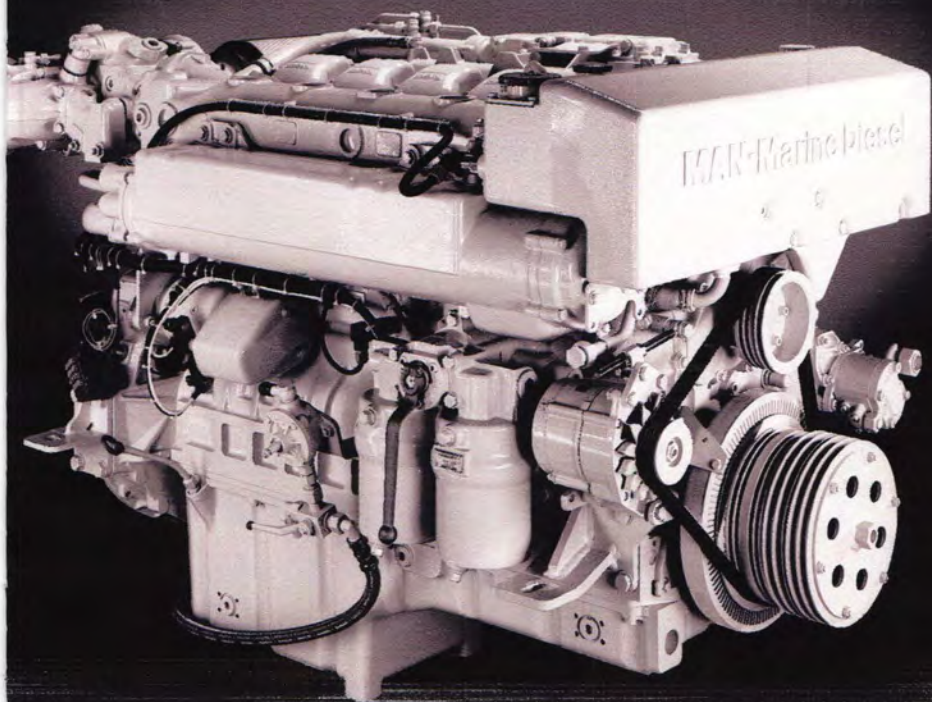
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, Ir. Suryo Widodo, M.Sc, Ceng.FIMarEST. 2005. ENGINE PROPELLER MATCHING. Surabaya : JTSP-FTK-ITS
- Anonim. Tug Boat . <http://en.wikipedia.org/wiki/Tugboat>.
Dikunjungi pada 13 Februari 2009.
- Geer, Dave. 1989. PROPELLER HANDBOOK. Maine:
International Marine
- Mertes, Dr. Paul. ASPECT OF THE DESIGN PROCEDURE FOR PROPELLERS PROVIDING MAXIMUM BOLLARD PULL . Singapore : ABR Company Ltd
- Siswanto M.Sc, Digul. DIKTAT TEORI TAHANAN KAPAL II. Surabaya : JTP-FTK-ITS
- Sunarnjoto, Djoko. 1990. STUDY PERBANDINGAN PEMAKAIAN OPEN PROPELLER, DUCTED PROPELLER DAN COUNTERROTATING-PROPELLER. Tugas Akhir. Surabaya : FTK-ITS
- Principles of Naval Architecture, Volume II

LAMPIRAN

FlexiPrint
Gebang Lor 107



MAN MARINE DIESEL ENGINES

heavy-duty operation (MCR)

0 – 662 kW (258 – 900 hp)



2842 engines

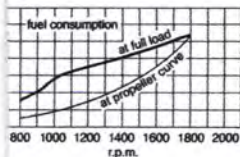
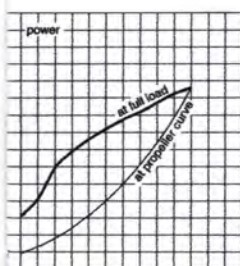


Technical data and installation dimensions*

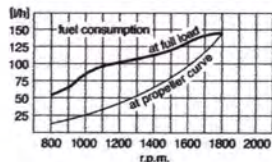
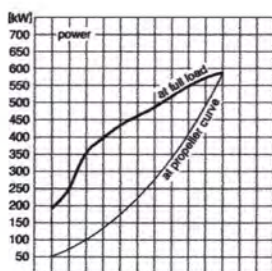
engine model		D 2842 LE ¹	D 2842 LE 403	D 2842 LE 412	D 2842 LE 405
stroke	mm	128	128	128	128
crankshaft diameter	mm	142	142	142	142
number of cylinders		12	12	12	12
crankshaft placement	l	21,93	21,93	21,93	21,93
compression ratio		15,5:1	15,5:1	15,5:1	15,5:1
crankshaft locking on flywheel	links	links	links	links	links
cooling housing	SAE 1	SAE 1	SAE 1	SAE 1	SAE 1
weight, with cooling system	kg	1720	1700	1790	1790
rated power according to DIN ISO 3046/1	kW (hp)	441 (600)	529 (720)	588 (800)	662 (900)
rated speed	rpm	1800	1800	1800	2100
torque at rated speed	Nm	2340	2806	3120	3070
mean effective pressure	bar	13,4	15,8	17,9	17,3
torque	Nm	2520	3018	3320	3440
speed	rpm	1300	1200	1200	1500
specific fuel consumption at rated power	g/kWh	206	216	212	218
consumption at rated power	l/h	108	136	148	172
width of engine	mm	1203	1230	1230	1230
overall length of engine	mm	2020	1751	1751	1751
overall height of engine (deep oil pan)	mm	1280	1215	1215	1215
top edge of engine to crankshaft centre	mm	769	685	685	685
length of engine from front edge to end of flywheel flange	mm	1638	1491	1491	1491

Output wastegate

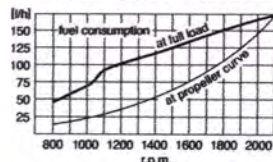
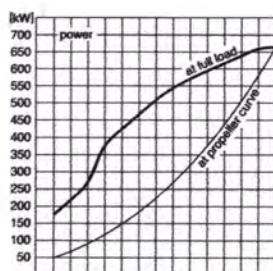
* detailed examinations of installation dimensions, also order drawings from our factory.



D 2842 LE403, 529 kW (720 hp)



D 2842 LE412, 588 kW (800 hp)



D 2842 LE405, 662 kW (900 hp)

propeller curve is based on an exponent value of 3.0

The propeller curve is based on an exponent value of 2.7

LOW SPEED

The outstanding performance of Caterpillar® engines is the result of fifty years experience in diesel power, plus a multi-million dollar research and development program. For the user this means continual improvement and refinement in engine performance.

The diesel engines and attachments described here are offered by Caterpillar for use as prime power on mechanical drilling rigs.

The typical package contains the attachments normally specified on engines powering mechanical rigs. These Cat® engines, when equipped with the user's choice of torque converter or clutch, result in a unit that specifically meets the application requirements of the drilling contractor.

CATERPILLAR® ENGINE SPECIFICATIONS

Cat 3406C

Bore	5.4 in. (137 mm)
Stroke	6.5 in. (165 mm)
Displacement	893 cu. in. (14.6 L)
Weight	2990 lb. (1356 kg)
Low idle	600 rpm

Cat 3408C

Bore	5.4 in. (137 mm)
Stroke	6.0 in. (152 mm)
Displacement	1099 cu. in. (18.0 L)
Weight	3300 lb. (1497 kg)
Low idle	500 rpm

Cat 3412C

Bore	5.4 in. (137 mm)
Stroke	6.0 in. (152 mm)
Displacement	1649 cu. in. (27.0 L)
Weight	4420 lb. (2205 kg)
Low idle	500 rpm



Cat 3406C



Cat 3408C



Cat 3412C

STANDARD EQUIPMENT

Air and Exhaust System

- Air cleaner service indicator
- Single stage dry air cleaner

Cooling System

- Jacket water pump
- Water connections
- Thermostat and housing

Fuel System

- Flexible fuel lines
- Fuel filter
- Priming and transfer pumps

Instrumentation

- Fuel pressure
- Lubricating oil pressure
- Water temperature gauges

Lubrication System

- Oil cooler
- Filter
- Oil level gauge

Protection System

- Mechanical shutoffs
 - Oil pressure
 - Water temperature

Starting and Control System

- Air starting motor
- Manual shutoff control
- Hydra mechanical governor and air throttle

Miscellaneous

- Service hour meter
- SAE #1 flywheel housing (3406C)
- SAE #0 flywheel housing (3408C, 3412C)
- Flywheel housing
- SAE standard rotation
- Vibration damper
- Industrial engine supports

ACCESSORY EQUIPMENT

Air and Exhaust System

- Two-stage air cleaner
- Air cleaner adapters
- Precleaner
- Flexible exhaust fitting
- Muffler
- Elbow

Cooling System

- Corrosion-resistant aftercooler core
- Radiators
- Torque converter oil cooler

Transmission/torque converter adaptation

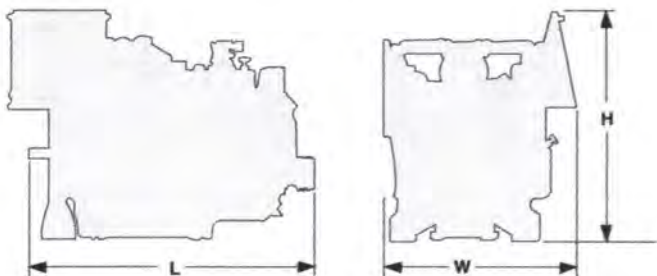
RATINGS (without fan)**Hoisting**

Model	bkW	bhp	rpm
3406C - TA	199	267	1300
3408C - TA	261	350	1200
3412C - TA	354	475	1200
	399	535	1300

Pumping and Drilling

Model	bkW	bhp	rpm
3406C - TA	199	267	1300
	239	320	1500
3408C - TA	238	319	1200
3412C - TA	317	425	1200

DIMENSIONS



DIMENSIONS			
	3406C	3408C	3412C
Length — mm (in)	1861 (65)	1590 (63)	2092 (82)
Width — mm (in)	901 (36)	1231 (49)	1302 (51)
Height — mm (in)	1336 (53)	1376 (54)	1447 (57)

CATERPILLAR PARTS AND SERVICE

You will find Caterpillar parts and service outlets in major oil producing areas worldwide. With the most comprehensive parts distribution system in the industry, most engine parts orders can be filled immediately over a dealer's counter. As a backup, dealers can quickly convey their parts needs to the nearest location in a network of Caterpillar parts facilities around the world. The dealer places an order with the Caterpillar parts depot and a computerized inventory control system helps fill that order, printing shipping instructions for any part in the system — wherever it might be.

While many oilfield contractors maintain a service department adept at handling repairs, they have the assurance that Caterpillar engine dependability is backed by a force of factory qualified dealer servicemen worldwide — men who are specially trained to keep Cat engines operating at peak efficiency. For all engine repairs, from minor work to a major overhaul or rebuild, expert attention is as near as your phone or radio. Work is fast and accurate. Downtime is minimized.

Ask about installation and start-up procedures offered by Caterpillar.

RATING CONDITIONS AND DEFINITIONS

Ratings are based on SAE J1349 standard conditions of 29.61 in Hg (100 kPa) and 77° F (25° C). These ratings also apply at ISO3046/1, DIN6271, and BS5514 standard conditions of 29.61 in Hg (100 kPa), 81° F (27° C) and 60% relative humidity.

Fuel rates are based on fuel oil having an LHV of 19,590 Btu/lb (45,570 kJ/kg) and weighing 7.076 lb/U.S. gal. (848 g/liter).

Hoisting: The power and speed capability of the engine which can be used to power the drawworks only of a drilling or workover rig through a mechanical drive.

Pumping and drilling: The power and speed capability of the engine which can be used to power the mud pumps, rotary table, and drawworks through a mechanical drive.

Materials and specifications are subject to change without notice. The International System of Units (SI) is used in this publication. CAT, CATERPILLAR, their respective logos, "Caterpillar Yellow" and the POWER EDGE trade dress, as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.



RIWAYAT PENULIS

Nur Ramlie Rakhmadhan lahir di kota Lumajang pada tanggal 23 Mei 1987. Penulis biasa dipanggil dengan nama panggilan Ramli atau Li saja. Setelah menempuh pendidikan di SMAN 2 Lumajang, penulis memulai studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2005 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas

Teknologi Kelautan dengan melalui jalur Program Penelusuran Minat dan Kemampuan (PMDK) Reguler. Selama perkuliahan, penulis aktif di kegiatan Himasiskal periode 2007-2008 sebagai ketua divisi riset dan teknologi. Pada periode 2008-2009, penulis pernah menjadi KKM di Laboratorium Mesin Kapal Jurusan Teknik Sistem Perkapalan selama satu semester. Selama perkuliahan, penulis pernah melakukan kerja praktek di Galangan PT. BEN SANTOSA Surabaya pada bulan Juli s.d Agustus 2007 dan di Galangan Pelni Surya Surabaya pada bulan Juli s.d Agustus 2008.

LAMPIRAN 2

No	SHP (Hp)	N (Rpm)	Ratio G/B	N (Rpm)	w	Vs (knot)	Va (knot)	Bp1	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp1}$	Jenis Ducted	Jenis Prop	1/J0	δ_0	Do (Feet)	Db (Feet)
1	450,920	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	23,45	0,842	Marin 19 A	Ka. 3-65	1,91	193,417722	5,146087372	4,99170472
2	450,920	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	23,45	0,842	Marin 19 A	Ka. 4-55	1,89	191,049341	5,083074057	4,93058184
3	450,920	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	23,45	0,842	Marin 19 A	Ka. 4-70	1,86	187,891501	4,999056304	4,84908462
4	450,920	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	23,45	0,842	Marin 19 A	Ka. 5-75	1,82	183,9442	4,894034113	4,74721305
5	323,3462447	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	19,86	0,775	Marin 19 A	Ka. 3-65	1,78	180,253165	4,795830116	4,65195521
6	323,3462447	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	19,86	0,775	Marin 19 A	Ka. 4-55	1,76	178,045983	4,737105666	4,5949925
7	323,3462447	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	19,86	0,775	Marin 19 A	Ka. 4-70	1,73	175,103074	4,658806399	4,51904221
8	323,3462447	1800	4,56	394,737	0,1248	12	10,5024	19,86	0,775	Marin 19 A	Ka. 5-75	1,69	171,424438	4,560932315	4,42410435
9	323,3462447	1800	4,92	365,854	0,1248	12	10,5024	18,40	0,746	Marin 19 A	Ka. 3-65	1,74	176,202532	5,058168547	4,90642349
10	323,3462447	1800	4,92	365,854	0,1248	12	10,5024	18,40	0,746	Marin 19 A	Ka. 4-55	1,72	174,04495	4,996231789	4,84634484
11	323,3462447	1800	4,92	365,854	0,1248	12	10,5024	18,40	0,746	Marin 19 A	Ka. 4-70	1,69	171,168174	4,913649445	4,76623996
12	323,3462447	1800	4,92	365,854	0,1248	12	10,5024	18,40	0,746	Marin 19 A	Ka. 5-75	1,65	167,572204	4,810421516	4,66610887

Db (m)	Dmax	Db < Dmax	P/Do	δb	1/Jb	P/Db	η
1,521490109	4,8555988	tidak terpenuhi	0,64	187,6	1,853	0,78	0,523
1,502859618	4,8555988	tidak terpenuhi	-	185,3	1,83	0,75	-
1,478018963	4,8555988	terpenuhi	-	182,3	1,8	0,87	0,59
1,446968145	4,8555988	terpenuhi	-	178,4	1,762	0,76	-
1,417933191	4,8555988	terpenuhi	-	174,8	1,727	-	-
1,400570744	4,8555988	terpenuhi	-	172,7	1,705	-	-
1,377420814	4,8555988	terpenuhi	-	169,8	1,677	-	-
1,348483402	4,8555988	terpenuhi	-	166,3	1,642	-	-
1,495496065	4,8555988	tidak terpenuhi	-	170,9	1,688	-	-
1,477183868	4,8555988	terpenuhi	-	168,8	1,667	0,87	0,623
1,452767606	4,8555988	terpenuhi	-	166	1,64	1	0,612
1,422247278	4,8555988	terpenuhi	-	162,5	1,605	1,4	-

No	Ae/Ao	Ao	Ae	Ad	Ap (ft^2)
1	0,65	19,57773425	12,72552726	12,72552726	11,3051039
2	0,55	19,10121497	10,50566824	10,50566824	9,40519949
3	0,7	18,4749884	12,93249188	12,93249188	11,2224285
4	0,75	17,70688238	13,28016178	13,28016178	11,8586533
5	0,65	17,00339717	11,05220816	11,05220816	#VALUE!
6	0,55	16,58953689	9,124245288	9,124245288	#VALUE!
7	0,7	16,0456548	11,23195836	11,23195836	#VALUE!
8	0,75	15,37854942	11,53391206	11,53391206	#VALUE!
9	0,65	18,9144933	12,29442064	12,29442064	#VALUE!
10	0,55	18,45411721	10,14976446	10,14976446	8,80766111
11	0,7	17,84910551	12,49437386	12,49437386	10,4702853
12	0,75	17,10702085	12,83026564	12,83026564	9,57651027

Ap (m ²)	Va (m/s)	N (rps)	Vr ²	T	Tc itungan	σ 0.7R	τ C	Kavitasi ?
1,050304064	5,40243456	6,578947368	514,1357287	26,32211055	0,095111714	0,436618	0,14	aman
0,873792875	5,40243456	6,578947368	502,3321283	26,32211055	0,117011187	0,446877	1,14	aman
1,042623079	5,40243456	6,578947368	486,8202099	26,32211055	0,101188441	0,4611155	0,153	aman
1,101731733	5,40243456	6,578947368	467,7938724	26,32211055	0,099654394	0,4798692	3,14	aman
#VALUE!	5,40243456	6,578947368	450,368222	26,32211055	#VALUE!	0,4984353	4,14	#VALUE!
#VALUE!	5,40243456	6,578947368	440,1167136	26,32211055	#VALUE!	0,5100445	5,14	#VALUE!
#VALUE!	5,40243456	6,578947368	426,6445055	26,32211055	#VALUE!	0,5261493	6,14	#VALUE!
#VALUE!	5,40243456	6,578947368	410,1200003	26,32211055	#VALUE!	0,5473476	7,14	#VALUE!
#VALUE!	5,40243456	6,097560976	431,6513887	26,32211055	#VALUE!	0,5200467	8,14	#VALUE!
0,818278393	5,40243456	6,097560976	421,8554454	26,32211055	0,14878601	0,532122	0,165	aman
0,97274499	5,40243456	6,097560976	408,9819265	26,32211055	0,12909925	0,5488706	0,166	aman
0,889708554	5,40243456	6,097560976	393,191751	26,32211055	0,146816435	0,5709113	11,14	aman

No	Ae/Ao	Ao	Ae	Ad	Ap (ft ²)	Ap (m ²)	Va (m/s)	N (rpm)	Vr ²	T	Tc itungan	σ 0.7R	τC	Kavitasi ?	η
1	0,35	25,43659	8,902808	8,902808	#VALUE!	#VALUE!	5,26	6,5545	853,0837	78,453,05	#VALUE!	0,343439	-	#VALUE!	-
2	0,5	25,54853	12,77426	12,77426	#VALUE!	#VALUE!	5,26	6,5545	855,8158	78,453,05	#VALUE!	0,341998	-	#VALUE!	-
3	0,65	24,22156	15,74401	15,74401	14,09483	1,309484	5,26	6,5545	623,1899	78,453,05	0,187584	0,359901	0,130	kavitasi	0,56
4	0,8	22,08858	17,67087	17,67087	15,55681	1,44531	5,26	6,5545	570,7469	78,453,05	0,185572	0,39297	0,145	kavitasi	0,538
5	0,4	23,24956	9,299823	9,299823	8,30437	0,77152	5,26	6,5545	599,2915	78,453,05	0,231728	0,374253	0,135	kavitasi	0,575
6	0,55	23,6791	13,02351	13,02351	11,65929	1,08321	5,26	6,5545	609,8526	78,453,05	0,196898	0,367772	0,132	kavitasi	0,571
7	0,7	22,82394	15,97676	15,97676	14,21173	1,320345	5,26	6,5545	588,827	78,453,05	0,184883	0,380904	0,140	kavitasi	0,565
8	0,85	21,46786	18,24768	18,24768	16,04372	1,490547	5,26	6,5545	555,4852	78,453,05	0,184883	0,403766	0,145	kavitasi	0,55
9	1	19,75718	19,75718	19,75718	17,07682	1,586527	5,26	6,5545	513,4251	78,453,05	0,187028	0,436841	0,152	kavitasi	0,538

No	Ae/Ao	Ao	Ae	Ad	Ap (ft ²)	Ap (m ²)	Va (m/s)	N (rpm)	Vr ²	T	Tc itungan	σ 0.7R	τC	Kavitasi ?	η
1	1	22,21542	22,21542	22,21542	19,12526	1,776838	5,26	5,9500	477,7632	78,453,05	0,180325	0,469447	0,155	kavitasi	0,545
3	1,05	21,75739	22,84526	22,84526	19,64132	1,824783	5,26	5,9500	468,483	78,453,05	0,179065	0,478746	0,155	kavitasi	0,555
5	0,95	21,75739	20,66952	20,66952	17,81805	1,655392	5,26	5,9500	468,483	78,453,05	0,197388	0,478746	0,155	kavitasi	0,56

No	Ae/Ao	Ao	Ae	Ad	Ap (ft ²)	Ap (m ²)	Va (m/s)	N (rpm)	Vr ²	T	Tc itungan	σ 0.7R	τC	Kavitasi ?	η
1	1	24,10411	24,10411	24,10411	20,69603	1,922771	5,26	5,5198	447,9559	78,453,05	0,177727	0,500682	0,165	kavitasi	0,555
3	1,05	23,46222	24,63533	24,63533	21,09572	1,959905	5,26	5,5198	436,7634	78,453,05	0,178828	0,513512	0,165	kavitasi	0,555
5	0,95	23,46222	22,28911	22,28911	19,13765	1,777989	5,26	5,5198	436,7634	78,453,05	0,197125	0,513512	0,165	kavitasi	0,57

No	Ae/Ao	Ao	Ae	Ad	Ap (ft ²)	Ap (m ²)	Va (m/s)	N (rpm)	Vr ²	T	Tc itungan	σ 0.7R	τC	Kavitasi ?	η
1	1	26,50447	26,50447	26,50447	22,63561	2,102968	5,26	5,0804	419,1696	78,453,05	0,173657	0,535065	0,165	kavitasi	0,565
3	1,05	25,91875	27,21469	27,21469	22,89939	2,127475	5,26	5,0804	410,5177	78,453,05	0,175275	0,546341	0,170	kavitasi	0,572
5	0,95	25,33958	24,0726	24,0726	20,42091	1,897211	5,26	5,0804	401,9625	78,453,05	0,200731	0,557968	0,170	kavitasi	0,59

LAMPIRAN I

No	DHP	SHP (Hp)	N (Rpm)	Ratio G/B	N (Rpm)	w	Vs (knot)	Va (knot)	Bp	Bp1	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp}$	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp1}$	Jenis Prop	P/Do
1	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B3-35	0,895
2	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B3-50	0,895
3	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B3-65	0,73
4	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B3-80	0,79
5	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B4-40	0,74
6	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B4-55	0,73
7	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B4-70	0,755
8	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B4-85	0,8
9	768,32	784,00	1800	4,577	393,2707	0,1480	12	10,2240	32,61449	32,9456	0,9931	0,9982	B4-100	0,865

No	DHP	SHP (Hp)	N (Rpm)	Ratio G/B	N (Rpm)	w	Vs (knot)	Va (knot)	Bp	Bp1	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp}$	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp1}$	Jenis Prop	P/Do
1	768,32	784,00	1800	5,042	357,0012	0,1480	12	10,2240	29,60661	29,9072	0,9462	0,9510	B4-100	0,875
2	768,32	784,00	1800	5,042	357,0012	0,1480	12	10,2240	29,60661	29,9072	0,9462	0,9510	B5-105	0,88
3	768,32	784,00	1800	5,042	357,0012	0,1480	12	10,2240	29,60661	29,9072	0,9462	0,9510	B6-95	0,87

No	DHP	SHP (Hp)	N (Rpm)	Ratio G/B	N (Rpm)	w	Vs (knot)	Va (knot)	Bp	Bp1	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp}$	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp1}$	Jenis Prop	P/Do
1	768,32	784,00	1800	5,435	331,1868	0,1480	12	10,2240	27,46578	27,7446	0,9114	0,9160	B4-100	0,895
2	768,32	784,00	1800	5,435	331,1868	0,1480	12	10,2240	27,46578	27,7446	0,9114	0,9160	B5-105	0,895
3	768,32	784,00	1800	5,435	331,1868	0,1480	12	10,2240	27,46578	27,7446	0,9114	0,9160	B6-95	0,885

No	DHP	SHP (Hp)	N (Rpm)	Ratio G/B	N (Rpm)	w	Vs (knot)	Va (knot)	Bp	Bp1	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp}$	$0,1739 \cdot \sqrt{Bp1}$	Jenis Prop	P/Do
1	768,32	784,00	1800	5,905	304,8264	0,1480	12	10,2240	25,27968	25,5363	0,8744	0,8788	B4-100	0,905
2	768,32	784,00	1800	5,905	304,8264	0,1480	12	10,2240	25,27968	25,5363	0,8744	0,8788	B5-105	0,91
3	768,32	784,00	1800	5,905	304,8264	0,1480	12	10,2240	25,27968	25,5363	0,8744	0,8788	B6-95	0,91

1/J0	δ0	D0(ft)	Db(ft)	Db(m)	Dmax(ft)	Dmin(ft)	Db < Dmax	Db > Dmin	δb	1/Jb	P/Db	η
2,275	230,3797	5,9893	5,6898	1,7343	5,5774	4,9213	tidak terpenuhi	terpenuhi	218,8608	2,16	-	-
2,28	230,8861	6,0024	5,7023	1,7381	5,5774	4,9213	tidak terpenuhi	terpenuhi	219,3418	2,17	-	-
2,22	224,8101	5,8445	5,5522	1,6923	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	213,5696	2,11	0,75	0,56
2,12	214,6835	5,5812	5,3021	1,6161	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	203,9494	2,01	0,815	0,538
2,175	220,2532	5,7260	5,4397	1,6580	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	209,2405	2,07	0,76	0,575
2,195	222,2785	5,7787	5,4897	1,6733	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	211,1646	2,09	0,75	0,571
2,155	218,2278	5,6733	5,3897	1,6428	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	207,3165	2,05	0,775	0,565
2,09	211,6456	5,5022	5,2271	1,5932	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	201,0633	1,99	0,82	0,55
2,005	203,0380	5,2785	5,0145	1,5284	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	192,8861	1,90	0,885	0,538

1/J0	δ0	D0(ft)	Db(ft)	Db(m)	Dmax(ft)	Dmin(ft)	Db < Dmax	Db > Dmin	δb	1/Jb	P/Db	η
1,93	195,4430	5,5972	5,3173	1,6207	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	185,6709	1,83	0,9	0,545
1,91	193,4177	5,5392	5,2622	1,6039	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	183,7468	1,81	0,905	0,555
1,91	193,4177	5,5392	5,2622	1,6039	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	183,7468	1,81	0,895	0,56

1/J0	δ0	D0(ft)	Db(ft)	Db(m)	Dmax(ft)	Dmin(ft)	Db < Dmax	Db > Dmin	δb	1/Jb	P/Db	η
1,865	188,8608	5,8303	5,5388	1,6882	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	179,4177	1,77	0,91	0,555
1,84	186,3291	5,7521	5,4645	1,6656	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	177,0127	1,75	0,92	0,555
1,84	186,3291	5,7521	5,4645	1,6656	5,5774	4,9213	terpenuhi	terpenuhi	177,0127	1,75	0,91	0,57

1/J0	δ0	D0(ft)	Db(ft)	Db(m)	Dmax(ft)	Dmin(ft)	Db < Dmax	Db > Dmin	δb	1/Jb	P/Db	η
1,8	182,2785	6,1137	5,8080	1,7703	5,5774	4,9213	tidak terpenuhi	terpenuhi	173,1646	1,71	0,93	0,565
1,78	180,2532	6,0458	5,7435	1,7506	5,5774	4,9213	tidak terpenuhi	terpenuhi	171,2405	1,69	0,985	0,572
1,76	178,2278	5,9778	5,6789	1,7309	5,5774	4,9213	tidak terpenuhi	terpenuhi	169,3165	1,67	0,955	0,59