



TESIS - ME185401

ANALISA INTERAKSI ANTARA LAMBUNG DAN PROPELLER PADA KAPAL HARBOURTUG PADA MODE MANEUVERING

SEPTAVIOLA DINI UTAMI
NRP. 04211950015001

Dosen Pembimbing
Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. I Putu Sindhu Asmara, S.T., M.T.

Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TESIS - ME185401

**ANALISA INTERAKSI ANTARA LAMBUNG DAN
PROPELLER PADA KAPAL HARBOURTUG
PADA MODE MANEUVERING**

**SEPTAVIOLA DINI UTAMI
NRP. 04211950015001**

**Dosen Pembimbing
Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. I Putu Sindhu Asmara, S.T., M.T.**

**Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SEPTAVIOLA DINI UTAMI

NRP: 04211950015001

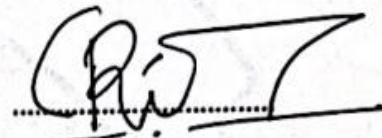
Tanggal Ujian: 18 Januari 2022

Periode Wisuda: Maret 2022

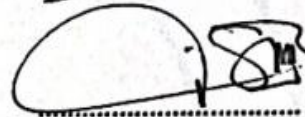
Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
NIP: 1971 0610 1995 12 1001

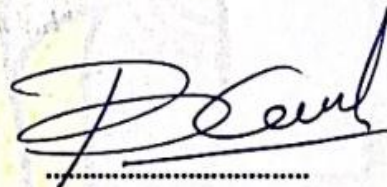


2. Dr. Eng. I Putu Sindhu Asmara, S.T., M.T.
NIP: 197004091995011001



Penguji:

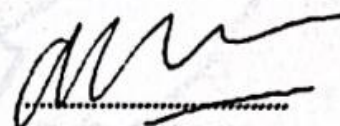
1. Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 197903192008011008



2. Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP: 1980202012010



3. Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T.
NIP: 1980201971033



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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISA INTERAKSI ANTARA LAMBUNG DAN PROPELLER PADA KAPAL HARBOURTUG PADA MODE MANEUVERING

Nama mahasiswa : Septaviola Dini Utami
NRP : 04211950015001
Pembimbing : Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. I Putu Sindhu Asmara, S.T., M.T.

ABSTRAK

Meningkatnya logistik maritim berpengaruh dalam penggunaan transportasi laut di Pelabuhan yang semakin meningkat, maka dibutuhkan sarana bantu pemanduan seperti tugboat yang memiliki performa manuver yang baik. Seperti halnya pada saat kondisi *towing* dan *free running*, tugboat membutuhkan kecepatan yang sesuai. Perubahan kecepatan ini akan menyebabkan perubahan putaran dan daya yang sesuai untuk operasional tersebut. Analisa dimulai dengan memilih tipe propeller yang paling optimum dengan menilai kapal saat kondisi *bollard pull* dan *towing*. Setelah diketahui tipe propeller yang paling optimum adalah Ka3-65 no.19A dan Ka4-70 no.24, dapat melakukan pemodelan hingga solid. Selanjutnya analisis menggunakan software ansys fluent untuk mengetahui nilai torsi pada blade propeller dan rigid dynamics untuk mengetahui gerak manuver kapal. Nilai torsi terbesar dihasilkan propeller tipe Ka4-70 sebesar 24426,7 Nm. Hasil analisis gerak manuver, didapatkan turning diameter sebesar 98 m pada Ka3-65 dan 125 m pada Ka4-70.

Kata Kunci: *Bollard Pull, CFD, Maneuver, Towing, Turning Circle*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HULL PROPELLER INTERACTION ANALYSIS OF HARBOURTUG WITH MANEUVERING MODE

Student Name : Septaviola Dini Utami
NRP : 04211950015001
Supervisor : Dr. I Made Ariana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. I Putu Sindhu Asmara, S.T., M.T.

ABSTRACT

The increase in maritime logistics has an effect on the increasing use of sea transportation in the port, so pilotage facilities such as tugboats are needed that have good maneuvering performance. When towing and free running conditions, tug boats need the appropriate speed. This change in speed will cause a change in rotation and power suitable for the operation. The analysis begins by selecting the most optimum type of propeller by assessing the ship's bollard pull and towing conditions. After knowing the most optimum type of propeller is Ka3-65 no.19A and Ka4-70 no.24, it can perform modeling until solid. Furthermore, the analysis uses ansys fluent software to determine the torque value on the propeller blade and rigid dynamics to determine the ship's maneuvering motion. The largest torque value produced by the Ka4-70 propeller is 24426.7 Nm. The result of maneuvering motion analysis shows that the turning diameter is 98 m on Ka3-65 and 125 m on Ka4-70.

Keywords: Bollard Pull, CFD, Maneuver, Towing, Turning Circle

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tesis dengan judul “*Analisa Interaksi antara Lambung dan Propeller pada Kapal Harbortug pada mode Maneuvering*” disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister untuk program pasca sarjana teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari dalam penulisan tesis ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun ke arah yang lebih baik agar menyempurnakan ilmu yang ada dalam tesis ini. Penulis juga menghaturkan mohon maaf jika selama proses pengerjaan tesis ini terdapat kesalahan yang tidak disengaja.

Selama proses pengerjaan tesis ini penulis mendapatkan banyak dukungan dan bantuan langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS yang telah membimbing penulis selama menjalani beragam kegiatan di Kampus ITS, baik kegiatan akademik maupun non-akademik.
2. Dr. I Made Ariana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama penulis yang senantiasa menuntun dan memberikan solusi dikala penulis mendapati permasalahan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Dr. Eng. I Putu Sindhu Asmara, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua penulis yang selalu membantu, mengajarkan, dan memberikan saran terhadap pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Achmad Baidowi, S.T., M.T., dan Ibu Sunarsih, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku penguji dalam sidang tesis dan telah memberikan saran serta masukan untuk tugas akhir.

5. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST, M.Sc., Ph.D., dan Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono S.T., M.Sc., selaku Ketua dan Sekretaris Program Pascasarjana Teknik Sistem Perkapalan yang telah banyak membantu dan memberikan informasi kepada penulis selama menjadi mahasiswa pasca di Teknik Sistem Perkapalan.
6. Dosen dan staf Fakultas Teknologi Kelautan yang telah banyak membantu penulis selama menjadi mahasiswa pasca.
7. Teman-teman seperjuangan, member lab MPP-ITS dan berbagai pihak yang telah menyemangati, menemani, dan membantu penulis dalam pembuatan tesis ini.
8. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., MRINA, Bapak Dr. Anis Mustaghfirin, ST., M.T., Bapak Mardi Santoso, ST., M.Eng.Sc., Bapak Ir. Arie Indartono, M.M.T., dan jajaran terkait yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan pascasarjana.
9. Ibu, Bapak, Adik dan Suami penulis yang selalu memberikan dukungan baik moril dan materiil kepada penulis.

Penulis menyadari seutuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, kritik dan saran yang dapat membangun selalu penulis harapkan dari para pembaca. Penulis berharap apa yang sudah ditulis dalam tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Januari 2022

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Telaah Pustaka	5
2.2 Propeller.....	5
2.3 Ducted Propeller	9
2.4 <i>Nozzle</i>	10
2.5 <i>Open Water Test</i>	11
2.6 <i>Torque</i>	12
2.7 HydroComp PropCad	13

2.8	CFD.....	13
2.9	Manuver Kapal	17
BAB 3	METODE PENELITIAN.....	23
3.1	Diagram Alir Perencanaan.....	23
3.2	Studi Literatur	24
3.3	Pengumpulan Data Kapal	24
3.4	Perhitungan Kinerja Propeller	24
3.5	Pemilihan Tipe Propeller	24
3.6	Permodelan Propeller pada PropCad	24
3.7	Simulasi CFD.....	25
3.8	Kesimpulan dan Saran	25
BAB 4	ANALISA DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Data Umum.....	27
4.2	Efektivitas Sistem Penggerak	28
4.2.1	Menentukan Putaran Propeller.....	28
4.2.2	Menghitung Efisiensi Lambung (η_H)	28
4.2.3	Menghitung <i>Thrust</i> Propeller	29
4.2.4	Menghitung Koefisien Torsi	30
4.3	Pemilihan Tipe Propeller	30
4.3.1	Menentukan Tipe Propeller saat <i>Towing</i>	30
4.3.2	Menentukan Tipe Propeller saat Kondisi <i>Free Running</i>	35
4.3.3	Tipe Propeller Terpilih.....	36
4.4	Pemodelan.....	37
4.5	Simulasi CFD.....	38
4.5.1	<i>Geometry</i>	38
4.5.2	<i>Meshing</i>	39
4.5.3	<i>Setup</i>	40
4.5.4	<i>Solution Intialization Hybrid</i>	42
4.5.5	<i>Result</i>	42
4.6	Hasil Simulasi CFD	43
4.6.1	Analisis Blade Propeller.....	43

4.6.2 Analisis Manuver Kapal.....	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	53
BIOGRAFI PENULIS	61

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria Manuver Menurut IMO 2002	21
Tabel 4.1	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> dan Perhitungan T dan BPmax pada Tujuh Kaplan Series	32
Tabel 4.2	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> Ka4-70 No.19A dengan Variasi Nilai J	32
Tabel 4.3	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> Ka4-70 No.22 dengan Variasi Nilai J	32
Tabel 4.4	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> Ka4-70 No.24 dengan Variasi Nilai J.....	33
Tabel 4.5	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> Ka4-70 No.37 dengan Variasi Nilai J.....	33
Tabel 4.6	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> Ka5-75 No.19A dengan Variasi Nilai J	33
Tabel 4.7	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> Ka4-55 No.19A dengan Variasi Nilai J.....	34
Tabel 4.8	Hasil Pembacaan Kurva <i>Open Water Test</i> Ka3-65 No.19A dengan Variasi Nilai J	34
Tabel 4.9	Pemilihan Propeller saat <i>Towing</i>	35
Tabel 4.10	Pemilihan Propeller saat <i>Free Running</i>	35
Tabel 4.11	Spesifikasi Propeller.....	37
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Diameter Manuver.....	46

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fixed Pitch Propellers.....	6
Gambar 2.2	Controllable Pitch Propeller.....	7
Gambar 2.3	Integrated Propeller & Rudder	8
Gambar 2.4	Azimuth Thruster	9
Gambar 2.5	Electrical Pod.....	9
Gambar 2.6	(a) Accelerating Duct; (b) Decelerating Duct.....	10
Gambar 2.7	Jenis-Jenis Nozzle yang Digunakan untuk Ducted Propeller.....	11
Gambar 2.8	Zig-zag 10°/10°	18
Gambar 2.9	Stopping Test	19
Gambar 2.10	Simulasi Turning Circle Test.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Perencanaan	23
Gambar 4.1	Plot Nilai 10KQ pada J=0 Kurva Open Water Test pada Ka4-70 No.19A.....	31
Gambar 4.2	Grafik Available Towing Force pada Setiap Tipe Kaplan Series	34
Gambar 4.3	Baling-baling: (a) Ka3-65 No.19A (b) Ka4-70 No.24	37
Gambar 4.4	Lambung: (a) Ka3-65 No.19A (b) Ka4-70 No.24.....	38
Gambar 4.5	Lokasi: (a) Inlet Propeller (b) Outlet Propeller	38
Gambar 4.6	Lokasi: (a) Wall Propeller (b) Rotating Region	39
Gambar 4.7	Hasil Meshing Sekitar Propeller.....	39
Gambar 4.8	Hasil Meshing Tampak Keseluruhan.....	40
Gambar 4.9	Hasil Meshing (a) Propeller Ka3-65 (b) Propeller Ka4-70	40
Gambar 4.10	General Setup	41
Gambar 4.11	Distribusi tekanan (a) Propeller Ka3-65 (b) Propeller Ka4-70.....	42
Gambar 4.12	Pola Velocity Streamline (a) Propeller Ka3-65 (b) Propeller Ka4-70.....	43
Gambar 4.13	Torque Result pada Propeller	43

Gambar 4.14	<i>Force Result</i> pada Propeller	44
Gambar 4.15	Distribusi Kecepatan pada Sekitar Hull	45
Gambar 4.16	<i>Input</i> Gaya Hasil Simulasi Propeller dan Hull.....	45
Gambar 4.17	Trajectory Kapal dengan Propeller Ka3-65	46
Gambar 4.18	Trajectory Kapal dengan Propeller Ka4-70	46

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi laut berperan sebagai penunjang suatu kegiatan ekonomi, sosial, budaya dan politik antar kepulauan, sehingga dapat memperkuat persatuan dan kesatuan bangsa. Perkembangan transportasi dipengaruhi oleh sifat dan tingkat kehidupan manusia, sehingga dikatakan bahwa pengangkutan merupakan sebab dan akibat dari kemajuan peradaban manusia. Moda transportasi laut lebih efisien dan menguntungkan untuk mengangkut barang dalam jumlah besar bagi wilayah kepulauan seperti Indonesia (Jinca, 2019).

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia dengan nomor PM 93 Tahun 2014, kegiatan penundaan kapal adalah pekerjaan mendorong, menarik atau menggandeng kapal yang berolah gerak untuk bertambat atau untuk melepas dari tambatan, jembatan, pelampung, kapal lainnya dengan mempergunakan kapal tunda. Jadi secara mendasar penundaan disediakan sebagai alat bantu pandu. Harbour Tug digunakan untuk memberikan pelayanan kepada kapal yang mempunyai panjang lebih dari 70meter yang melakukan gerakan (olah gerak) di perairan wajib pandu, baik yang akan sandar ataupun meninggalkan pelabuhan, dengan cara mendorong dan menarik dengan pertimbangan keselamatan pelayaran (Maulana, 2019).

Banyak aspek yang mempengaruhi keberhasilan operasi kapal yaitu perencanaan lambung kapal, perencanaan sistem permesinan kapal, perencanaan sistem propulsi, perhitungan kemampuan olah gerak kapal yang baik dan perencanaan lainnya. Kapal dapat beroperasi dengan baik bila mempunyai rancangan sistem penggerak (*propulsion system*) yang dapat mengatasi keseluruhan gaya hambat (*total resistance*) yang terjadi agar dapat mempertahankan kecepatan dinas sesuai dengan yang direncanakan (Hangga, 2016). Salah satu komponen sistem penggerak kapal adalah propeller. Propeller memindahkan tenaga dengan cara merubah gaya putar dari baling-baling menjadi

daya dorong untuk menggerakkan badan kapal dengan perantara massa air dengan memutar bilah-bilah yang bersumbu pada poros. Perkembangan desain dari propeller tentunya ditujukan untuk membuat laju suatu kapal menjadi lebih optimal dan efektif.

Optimalisasi sistem propulsi yang merupakan salah satu bagian terpenting dari kapal karena berhubungan erat dengan kecepatan. Sistem propulsi yang terletak pada bagian buritan kapal akan mendapat dampak yang signifikan terhadap arus dari kapal. Distribusi aliran ke baling-baling yang tidak beraturan dapat membuat pengaruh pada kecepatan propulsi yang ada. Kapal tug boat adalah jenis kapal pemandu yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal besar untuk masuk ke area kolam pelabuhan.

Pada kasus kapal tug boat, dibutuhkan alat penggerak yang mampu memberikan performa dan manuver yang lebih besar dan kuat, sehingga dapat menarik kapal lain sesuai kapasitasnya. Tug boat memiliki fungsi sebagai penarik dan pendorong kapal, umumnya digunakan untuk melayani kapal-kapal besar yang akan bersandar ataupun berlabuh di pelabuhan dan juga melayani kapal-kapal pengangkut hasil tambang salah satu contohnya untuk mengangkut batu bara. Kebutuhan akan jenis kapal tersebut akan terus bertumbuh seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan angkutan batu bara dan mineral di Indonesia. Berdasarkan tempat dan kinerja tug boat, terdapat 3 jenis tug boat yaitu:

1. *Ocean Going* (tug boat untuk pelayaran bebas) berfungsi untuk menarik atau mendorong kapal yang tidak memiliki alat penggerak sendiri seperti *crane* apung, dok apung atau alat apung lainnya yang berada di laut dengan jarak yang jauh.
2. *Harbour Tug* (tug boat untuk pelabuhan) yaitu tug boat untuk pelabuhan yang menarik atau mendorong kapal dari laut untuk disandarkan di pelabuhan dan sebaliknya.
3. *River Tug* (tug boat perairan dangkal dan sungai) yang beroperasi di perairan dangkal sekalipun memasuki sungai yang mendekati hulu. Tidak terlalu membutuhkan tingkat manuver yang baik tetapi memiliki daya dorong yang besar.

Salah satu tantangan dalam teknologi penggerak kapal tug boat pada posisi *towing* atau *pusher* yaitu mendapatkan unjuk kerja tug boat (*vessel performance*) yang paling optimum saat beroperasi *towing* (menarik muatan penuh) dan *free running* (menarik muatan kosong). Tahanan pada barge yang beroperasi pada kondisi beban penuh (*towing*) akan lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi barge yang dioperasikan pada beban kosong (*free running*). Perbedaan tahanan ini akan ditanggung oleh tug boat yang akan menarik barge tersebut. Pada saat kondisi *towing* dan *free running*, tug boat membutuhkan kecepatan yang sesuai.

Pada penelitian ini, penulis merencanakan dan memperhitungkan sistem propulsi yang optimal untuk operasional kapal harbour tug. Oleh karena itu, penulis perlu melakukan analisis terhadap performa dan kemampuan manuver kapal untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan *azimuth thruster* terhadap *maneuverability* dan *bollard pull* yang dihasilkan oleh badan kapal. Dalam penelitian akan dikaji secara teknis dengan mengindahkan faktor keselamatan dan kehandalan sesuai aturan pemerintah terkait jasa pelayanan pemanduan dan penundaan, sehingga dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak terkait sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan modifikasi pada kapal dan penelitian selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang pada penelitian ini, dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana desain propeller yang optimal untuk harbour tug 2x2500HP.
2. Bagaimana interaksi antara *hull* dengan propeller untuk tipe *azimuth thruster*.
3. Bagaimana performa kemampuan manuver kapal harbour tug dengan menggunakan *ducted propeller*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan, peneliti memberikan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Analisa teknis dimulai dari pemilihan propeller kaplan series yang paling optimal.
2. Analisa teknis tidak membahas sistem kontrol *azimuth thruster* (komputerisasi).
3. Analisa kemampuan manuver kapal dengan CFD pada model uji menggunakan sudut 35° .
4. Penelitian yang dilakukan mengabaikan faktor gelombang dan kecepatan angin.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan desain propeller yang optimal untuk pengembangan harbour tug 2X2500HP secara teknis.
2. Menentukan kecepatan kapal supaya didapatkan nilai efisiensi tertinggi pada variasi pengujian model propeller harbour tug 2X2500HP.
3. Mengkaji hubungan interaksi antara *hull* dengan sistem propeller ASD Tug.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai *thrust optimum* dan *torque minimum* untuk propeller TB Pelabuhan 2X2500HP.
2. Menghasilkan nilai efisiensi tertinggi pada variasi pengujian model propeller TB Pelabuhan 2X2500HP.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan propeller tipe Ka 4-70 no.24 dan tipe Ka 3-65 No. 19A pada harbour tug saat *assessment of maneuverability*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Telaah Pustaka

Morgut and Nobile (2012) dan Peng et al., (2013) menyatakan bahwa salah satu tantangan utama *ducted propeller* adalah tingkat keakuratan dari karakteristik hidrodinamika. Batasan utama untuk prediksi eksperimental dan numerik adalah geometri kompleks dan masalah teknis. Faktor penting yang mempengaruhi prediksi tingkat keakuratan kinerja *ducted propeller* adalah *tip clearance*.

Arga B., et-al (2018) melakukan penelitian dengan analisa stabilitas *fire fighter boat* pada kondisi sungai perkotaan dan *seakeeping*. Hal ini bertujuan untuk menganalisa respon gerakan *fire fighter boat* terhadap gelombang. Dimulai dengan menggunakan metode perancangan kapal *spiral design*, kemudian proses pembuatan rencana garis dan rencana umum menggunakan software aplikasi AutoCAD, dilanjut dengan perhitungan analisa hambatan menggunakan simulasi software Maxsurf Resistance, tinjauan stabilitas menggunakan simulasi software Maxsurf Stability dan analisa olah gerak menggunakan simulasi software Maxsurf Motion.

Bertetta D., et-al (2011) juga melakukan penelitian pada propeller jenis CPP. Pengujian model dilakukan dengan metode *open water test*. Variasi yang digunakan adalah beberapa kondisi pitch yang berbeda sehingga didapatkan pengaruh kavitasi dan getaran pada propeller.

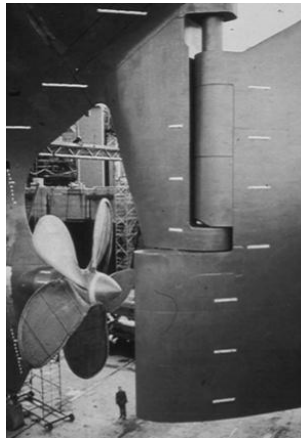
2.2 Propeller

Pengembangan alat penggerak kapal tipe baling-baling sudah dikembangkan sejak manusia mengenal kapal sebagai alat transportasi permukaan air di dunia. Dimulai sejak penggunaan dayung, hingga penggunaan *screw propulsion* oleh Leonardo Da Vinci pada tahun 1500. Sebelumnya, alat yang

menggunakan *screw* digunakan untuk memindahkan air oleh Archimedes pada tahun 250. Kemudian Hooke membuat baling-baling yang bentuknya seperti kincir angin (*windmill*) pada tahun 1683. Pada tahun 1752, Bernoulli mendapatkan penghargaan atas baling-baling hasil desainnya, baling-baling ini dinamakan Bernoulli's Propeller (Carlton, 2007). Hingga kini ada beberapa jenis desain propeller kapal yang digunakan seperti *Wageningen series*, Taylor, dan Griffith.

Propeller merupakan bagian dari sistem propulsi kapal yang paling umum digunakan dalam mengkonversi daya yang dihasilkan *main engine* (berupa gerak rotasi) menjadi gaya dorong atau *thrust* sebagai faktor dari kapal bergerak. Propeller berotasi pada garis sumbu poros propeller. Pada kondisi pengoperasian normal (*forward operation*), propeller akan berotasi searah dengan arah jarum jam dilihat dari buritan atau bagian belakang kapal. Pada penggunaannya, propeller dapat dibagi menjadi beberapa jenis baik tergantung dari cara kerjanya, bentuk bilahnya, maupun kemampuan khusus yang dimiliki propeller. Sejak manusia mengenal propeller, sudah ada beberapa jenis propeller yang dibuat dan digunakan, diantaranya:

1. *Fixed Pitch Propellers* (FPP)



Gambar 2.1 *Fixed Pitch Propellers*

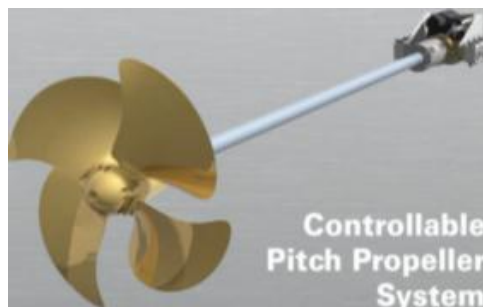
Sumber: (Carlton, J. S. 2019. *Marine Propellers and Propulsion*)

Baling-baling FPP merupakan jenis yang sangat umum digunakan pada wahana permukaan air dari tipe manapun. Baik kapal besar pengangkut kargo hingga kapal sungai yang berdaya motor kecil. Pada FPP seperti

Namanya, *pitch* pada bilah propeller besarannya tidak dapat diubah. Hal ini terjadi karena pada FPP, bilah terpasang tetap dan tidak dapat bergerak dari porosnya.

2. *Controllable Pitch Propeller (CPP)*

Propeller jenis ini merupakan propeller dengan *pitch* yang dapat diubah atau diatur, sering disebut sebagai *Controllable Pitch Propellers (CPP)*. *Controllable Pitch Propeller (CPP)* terdapat langkah daun propeller yang dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan, misal untuk rpm rendah biasa digunakan *pitch* yang besar dan rpm tinggi digunakan *pitch* yang pendek, atau dapat digunakan untuk mendorong ke depan dan menarik kapal mundur ke belakang, sehingga hal ini dapat menciptakan baling-baling kapal dengan pemakaian bahan bakar seefektif mungkin. Propeller jenis ini sering diaplikasikan pada kapal tunda atau tug boat. Prinsip kerja dari *Controllable Pitch Propeller (CPP)* menggunakan sistem hidrolis yaitu dengan mengalirkan fluida minyak menuju suatu rumah yang terletak pada bos baling-baling, pada rumah tersebut terdapat rotor yang dihubungkan dengan daun baling-baling (*blade*), sehingga jika dialirkan fluida dalam arah maju maka minyak akan mendorong sirip pemisah pada rotor dan mendorongnya sehingga memutar daun baling-baling dengan sudut tertentu, jika arah aliran dibalik maka daun baling-baling akan berputar ke arah sebaliknya.



Gambar 2.2. *Controllable Pitch Propeller*

Sumber: (Tarbiat, S., et al. 2014)

3. *Integrated Propeller & Rudder (IPR)*

Integrated Propeller & Rudder merupakan propeller yang berpadu dengan rudder IPR merupakan propeller yang hubnya dihubungkan dengan rudder,

ini adalah pengembangan terbaru dari sistem propulsi kapal. Kondisi ini menyebabkan arus air dari propeller yang melewati rudder akan memberikan peningkatan pengendalian dan pengaturan rudder, sehingga diperoleh penurunan pemakaian bahan bakar.



Gambar 2.3. *Integrated Propeller & Rudder*
Sumber: (Ridwan, M. 2009)

4. *Azimuth Thruster*

Azimuth Thruster adalah konfigurasi baling-baling yang memberikan dorongan tingkat olah-gerak kapal dan efisiensi yang tinggi yang mampu bergerak berputar 360° pada sumbu vertikal, membuat kemudi tidak diperlukan. Hal ini memberikan kapal proses manuver yang lebih baik daripada baling-baling tetap dan sistem kemudi. *Azimuth Thruster*. Tingkat *noise* dan *cavitation* yang rendah yang meningkatkan area penggunaan. Penggerak dari *Azimuth Thruster* berada diatas sehingga memberi tempat yang lebih lapang untuk menempatkan penggerak utamanya, baik berupa motor diesel atau motor listrik.

Umumnya *Azimuth Thruster* digunakan pada kapal tunda yang memerlukan manuver yang tinggi untuk mendorong atau menarik kapal di pelabuhan, laut lepas, atau melalui sungai atau terusan, dan dapat digunakan untuk menarik tongkang, kapal rusak, dan peralatan lainnya. Tergantung dari unit penggerak, kapal tunda dengan penggerak konvensional memiliki baling-baling dibelakang, efisien untuk menarik kapal dari pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Sedangkan penggerak yang umum digunakan kapal tunda adalah dimana baling-baling dibawah kapal dapat bergerak 360° yang disebut *Azimuth Thruster*.

Pada penelitian ini, kapal tunda dengan panjang kapal 34 m direncanakan menggunakan system propulsi *Azimuth Thruster* dengan tipe Underwater

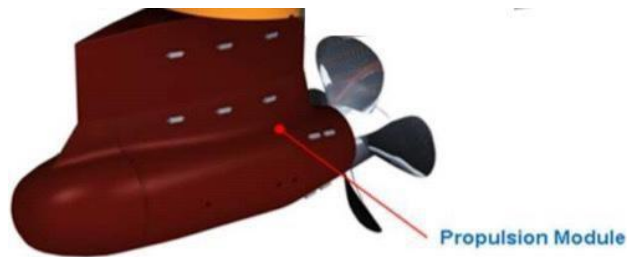
Mount yang memberikan daya dorong presisi yang tepat 360° dengan kemampuan system propulsi yang dapat dikemudikan untuk diganti tanpa mengganggu operasi kapal.



Gambar 2.4 *Azimuth Thruster*
Sumber: (Budashko, V. 2017)

5. *Electrical Pod*

Penggunaan propulsi motor listrik mulai dari 5 sampai dengan 25 Mwatt, menggantikan penggunaan propeller dengan poros dan rudder konvensional. Teknologi Pod memungkinkan untuk menempatkan propeller pada daerah aliran air yang optimal. Pod propeller diadopsi dari Azimuth Propeller, dengan menempatkan electro motor di dalam pod luar badan kapal.



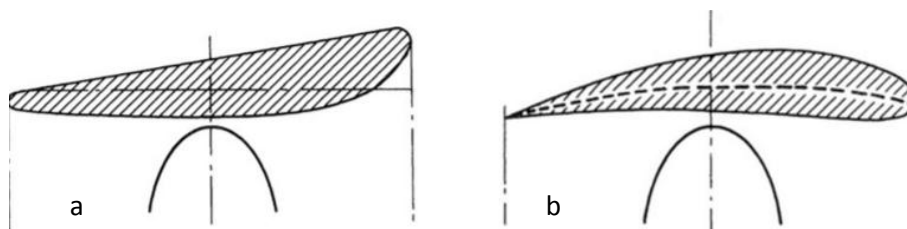
Gambar 2.5 *Electrical Pod*
Sumber: (Hanninen, Samuli. 2012)

2.3 **Ducted Propeller**

Ducted Propeller, yang juga dikenal dengan *kort nozzle* adalah salah satu jenis Propeller tetap dengan *non-rotating nozzle*. Propeller jenis ini dikembangkan untuk memperbaiki dan menaikkan efisiensi dari Propeller. Propeller jenis ini biasanya digunakan untuk beban berat dan diameter dari Propeller terbatas karena

adanya *nozzle* yang mengelilinginya. Pemasangan ini bertujuan untuk meningkatkan gaya dorong (*thrust*). Selain itu, pemasangan selubung (*duct*) juga bertujuan untuk mengarahkan aliran air yang akan melewati propeller. Dengan diameter masuk lebih besar (untuk *accelerating duct*), sehingga laju aliran pada propeller akan naik.

Propeller yang digunakan pada ducted propeller berbeda dengan B-series. Perbedaan utamanya terletak pada kontur dari masing-masing daunnya yakni kontur ujung dan ketebalan maksimal dari setiap r/R nya. Kontur daun di desain oleh Kaplan sehingga disebut sebagai K-propeller. K-propeller yang dipasang dengan *accelerating duct* disebut Ka-propeller. Sedangkan yang menggunakan *decelerating duct* disebut Kd-propeller.

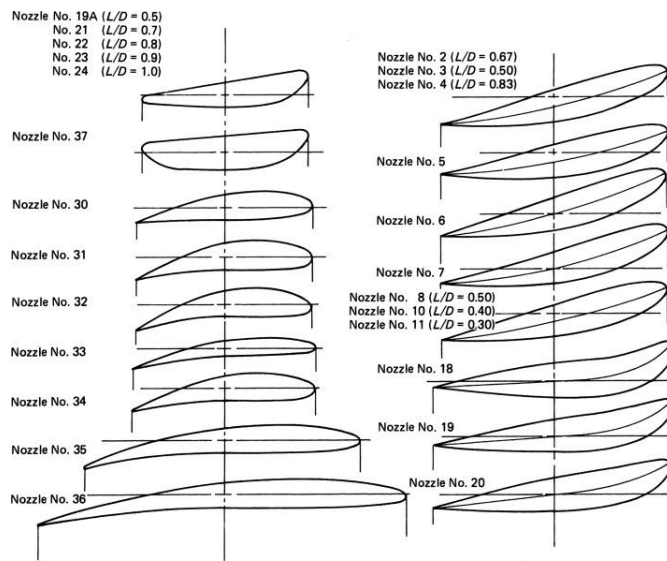


Gambar 2.6 (a) *Accelerating Duct*; (b) *Decelerating Duct*
 Sumber: (Carlton, J. S. 2019. *Marine Propellers and Propulsion*)

2.4 Nozzle

Berdasarkan prinsip dasar teori momentum menyebutkan bahwa untuk menimbulkan gaya dorong (*thrust*) dengan efisiensi yang baik, volume air adalah sebanyak mungkin dan dengan kecepatan aliran yang seminimal mungkin. Ka-propeller mempunyai 4 jenis selubung (*duct*) yakni 22, 24, 37 dan 19A. Dalam penulisan data sebuah selubung (*duct*), parameter yang paling penting adalah *length ratio* yang dituliskan dengan L_d/D dengan L_d adalah panjang dari selubung (*duct*) dan D adalah diameter dalam dari selubung (*duct*) pada daerah yang segaris dengan propeller. *Nozzle* 19 A merupakan jenis selubung yang paling umum digunakan. *Nozzle* ini memiliki bentuk bulat pada kedua ujungnya Untuk *nozzle* 22 dan 24 memiliki bentuk lebih panjang daripada selubung 19A. *Nozzle* ini akan lebih optimal jika diaplikasikan pada bollard pull dengan daya yang besar.

Sesuai dengan tipe alirannya, jenis *nozzle* dibedakan menjadi 2, yaitu *accelerating nozzle* dan *decelerating nozzle*. Propeller Kaplan yang dipasang *accelerating nozzle* disebut Ka-propeller, sedangkan propeller Kaplan yang dipasang *decelerating nozzle* disebut Kd-propeller. (G. Kuiper, 1992). Pada aliran *accelerating nozzle* berfungsi untuk meningkatkan efisiensi propeller dengan menghasilkan daya dorong positif, sedangkan *decelerating nozzle* digunakan untuk menaikkan tekanan statis pada propeller dengan adanya daya dorong negatif. Berikut adalah jenis-jenis *nozzle* yang dipakai untuk ducted propeller.



Gambar 2.7 Jenis-Jenis Nozzle yang digunakan untuk Ducted Propeller
 Sumber: (Carlton, J. S. 2019. *Marine Propellers and Propulsion*)

2.5 Open Water Test

Karakteristik beban propeller dapat ditampilkan dengan grafik oleh beberapa koefisien dalam bentuk ukuran. Diagram memberikan *torque* dan *thrust* sebagai fungsi kecepatan. Karakteristik propeller terdiri dari koefisien thrust (K_T), koefisien *torque* (K_Q), dan koefisien *advanced* (J).

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^5} \quad (1)$$

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

$$J = \frac{Va}{nD} \quad (3)$$

Dimana:

ρ = massa jenis fluida

D = diameter propeller

N = putaran propeller

Va = *advance speed*

T = *thrust* propeller

Q = *torque* propeller

Untuk nilai efisiensi propeler pada *open water* diberikan rumus:

$$\eta_o = \frac{TVa}{2\pi nQ} \quad (4)$$

2.6 Torque

Torsi merupakan suatu ukuran dari sebuah gaya yang menyebabkan suatu benda dapat berotasi pada suatu sumbu. Ketika kapal berlayar di laut dengan angin dan gelombang, kapal akan mengalami penurunan kecepatan namun pada saat yang sama terjadi peningkatan nilai torsi dan daya dorong atau *trhust* (Ueno and Tsukada, 2016).

Mengetahui nilai torsi propeller merupakan sesuatu yang sangat esensial untuk kapal khususnya untuk sistem propulsi, desainer, dan juga operator (Ueno and Tsukada, 2016). Mengetahui nilai torsi juga sangat penting ketika melakukan propeller *open water test* dari sebuah propeller untuk mengetahui performa dari sebuah propeller. Nilai torsi dari putaran poros propeller dapat dihitung menggunakan persamaan matematis:

$$Q = K_Q \rho n^2 D^5 \quad (5)$$

K_Q adalah koefisien non-dimensional dari torsi. Nilai K_Q didapatkan dari metode *engine-propeller mathching* dengan menggunakan diagram propeller (*open water diagram*) (Waskito, 2020). Mengetahui nilai torsi (*torque load*) dari

sebuah sistem terutama pada sistem poros propeller *azimuth* tidaklah praktis dikarenakan biaya instalasi pemasangan alat yang mahal dan juga limitasi desain (Manngård et al. 2019; Chen, 2020).

2.7 HydroComp PropCad

PropCad adalah *software* untuk permodelan geometri pada baling-baling /propeller kapal dengan menyediakan menu untuk memperoleh desain berupa 2D dan 3D, data konstruksi, dan dapat di *export* dalam bentuk CAD/CAM. Pada dasarnya PropCad mempunyai fungsi untuk mempermudah dalam proses pemodelan propeller dalam waktu yang singkat jika dibandingkan dengan permodelan dengan cara manual/konvensional. Hampir semua jenis propeller, seperti Gwan, B-Series, Kaplan, AU, SK disediakan dalam PropCad dengan data yang dibutuhkan seperti, jumlah *blade*, *rake*, *thickness*, *skew*, *chord length*, dan *section offset*. Hasil data yang diperoleh dari *software* PropCad berupa desain 2D, tampilan 3D, tabel *section offset*. Mencakup beberapa data berupa *expanded*, *transverse*, *profile views*, *pitch distribution*, dan *geometric information*.

2.8 CFD

Pada penelitian tentang aliran fluida baik cair maupun gas sampai dengan tingkat desain, perlu dibutuhkan suatu alat yang mampu menganalisis atau memprediksi dengan cepat dan akurat. Maka, berkembanglah suatu ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamics* (disingkat CFD, dalam bahasa Indonesia, Komputasi Aliran Fluida Dinamik). Untuk lebih jelasnya tentang pengertian CFD maka bisa diartikan secara harfiah, yaitu:

- a. *Computational*, segala sesuatu yang berhubungan dengan matematika dan metode numerik atau komputasi.
- b. *Fluid Dynamics*, dinamika dari segala sesuatu yang mengalir.

Ditinjau dari istilah di atas, CFD bisa berarti suatu teknologi komputasi yang memungkinkan anda untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat yang mengalir. Secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara

memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan– persamaan matematika (model matematika). Prinsip dari CFD adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. CFD juga bisa dikatakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi computer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software.

Pada saat ini terdapat berbagai macam perangkat lunak CFD yang dapat digunakan untuk melakukan analisa seperti Ansys CFX, Aqwa, Fluent, Foltrant, Shipflow dan lain-lain. Pada pengerjaan Tugas Akhir ini menggunakan *software* Ansys aqwa untuk memprediksi maneuver kapal dan Ansys CFX untuk Analisa aliran fluida. Ansys CFX digunakan karena Ansys CFX dapat menghasilkan *meshing* yang lebih baik daripada Ansys Fluent pada solid berbentuk 3D. Analisa CFX digunakan untuk menganalisa pengaruh *body* kapal terhadap *force* yang dihasilkan oleh *azimuth propeller* atau *hull-propeller interaction*.

Menurut Balalawe (2017), secara umum proses simulasi dengan menggunakan CFD dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu preprocessor, solver manager dan post processor yang akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Pre processor

Proses ini dapat dimulai dengan membuat model yang akan dianalisis, kemudian dilanjutkan dengan pendefinisian domain dan kondisi batas. Pada tahap ini model beserta ruangan yang akan dianalisis membagi sejumlah grid tertentu atau juga disebut dengan meshing.

Pada tahap awal pemrograman ini terdiri dari input masalah aliran unuk software melalui interface kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian solver. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan dengan aturan pada software meliputi:

- a. Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi.

- b. Membentuk grid generation atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil.
- c. Penentuan fenomena fisika dan kimia model.
- d. Penentuan sifat-sifat fluida (boundary condition), seperti pendefinisian harga densitas, kekentalan, suhu, dll.
- e. Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah sekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan.
- f. Penentuan besar kecilnya atau kekasaran grid.

Analisis masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau suhu didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap cell. Jumlah cell dalam grid (mesh) menentukan akurasi penyelesaian software. Pada umumnya semakin banyak cell semakin akurat hasilnya. Namun hal ini tidak selamanya berlaku, pada skala tertentu penambahan cell tidak mempengaruhi hasil dari analisis. Oleh karena itu pengguna software untuk menentukan jumlah cell atau elemen yang optimum.

1. Solver Manager

Pada tahap ini dilakukan perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif, artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap kontrol volume dengan proses integrasi persamaan diskrit. Solver dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu finite difference, finite element dan finite volume. Secara umum metode numeric solver tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- b. Pendeskritan dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan-persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematika.
- c. Penyelesaian dari persamaan aljabar metode finite volume.

Finite volume digunakan pada berbagai code CFD komersil seperti: PHOENICS, CFX, FLUENT, NUMECA, FLOW3D dan STARCD.

2. Post Processor (Analyze and Visualized)

Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik dan animasi dengan pola-pola tertentu. Pada step ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visual aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida yang dapat diambil seperti density, kekentalan density, eddy viscosity, koefisien perpindahan panas, suhu, tekanan, tekanan gradient, thermal conductivity, total suhu, total tekanan, kecepatan dan sebagainya.

Dan data visual model yang bias ditampilkan oleh post processor adalah sebagai berikut:

- a. Gambar geometry
- b. Gambar surface sifat fluida
- c. Animasi aliran fluida
- d. Tampilan vektor kecepatan
- e. Gerakan rotasi dan translasi
- f. Arah aliran fluida
- g. Streamline output

Tahap terakhir dari simulasi dengan CFD adalah hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik dan animasi dengan pola-pola tertentu atau bisa disebut dengan analyze and visualized. Pada tahap ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visual aliran fluida pada model.

2.9 Manuver Kapal

Maneuverability kapal dimana kapal memiliki kemampuan untuk berbelok dan berputar saat berlayar dengan tetap mempertahankan posisinya di bawah kendali operator kapal. Kemampuan ini sangat menentukan keselamatan dan efisiensi kapal terutama pada daerah pelayarannya terutama pada daerah pelayaran yang sempit seperti di sekitar Pelabuhan. Secara prinsip manuver kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan badan kapal, sistem propulsi dan sistem kemudi. Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh yang signifikan terhadap gaya dan momen hidrodinamika pada saat kapal manuver. Hal lain yang mempengaruhi manuver kapal adalah kecepatan kapal, trim haluan, perubahan sarat, pengaruh pusat daya apung memanjang, perbandingan panjang dan lebar kapal, diameter *propeller* kapal, luasan daun kemudi, dan dimensi lunas.

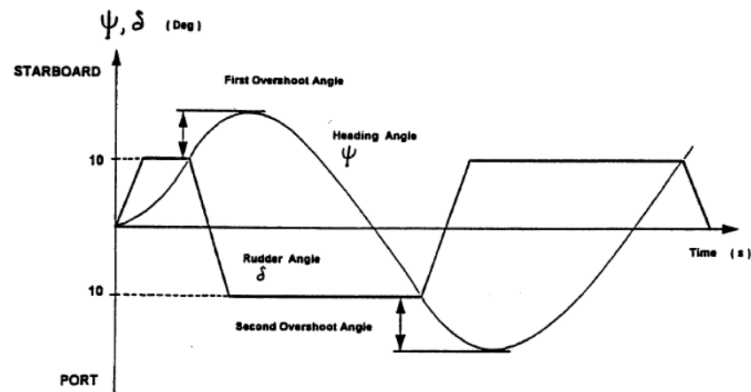
Prosedur yang digunakan dalam *maneuvering* sebuah kapal, mengacu kepada peraturan standar kemampuan manuver kapal yang direkomendasikan oleh *International Maritime Organisation* (IMO) yakni Resolusi MSC.137 (76) yang mana resolusi ini merupakan amandemen terhadap resolusi sebelumnya yakni A.751 (18) mengenai standar kemampuan manuver kapal. Aturan standar yang dimaksudkan adalah telah mensyaratkan sejumlah kriteria standar keselamatan kapal, diantaranya adalah *turning tests*, *zig-zag test* dan *stopping test*.

a. Turning tests

Pada manuver turning circle harus dilakukan ke arah starboard dan arah portside dengan sudut kemudi 35° atau sudut kemudi desain maksimum yang diizinkan pada kecepatan uji. Sudut kemudi dijalankan mengikuti steady approach dengan manuver sebesar nol yaw rate yang merupakan tactical diameter, advance, dan transfer.

b. Zigzag tests

Zig-zag tests harus dimulai kedua arah starboard dan port dan dimulai dengan menerapkan besar sudut kemudi tertentu pada pendekatan awal. Sudut kemudi kemudian secara bergantian digeser ke kedua sisi setelah deviasi yang ditentukan dari pos awal kapal tercapai.

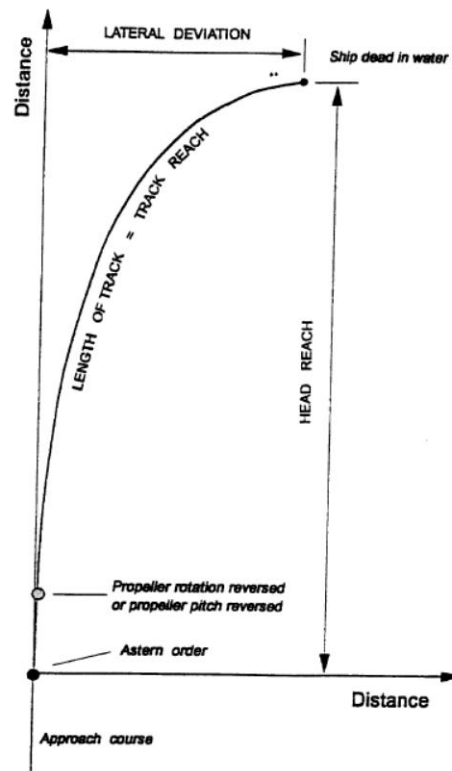


Gambar 2.8 Zig-zag $10^{\circ}/10^{\circ}$
Sumber: (IMO, 2002)

Terdapat dua jenis zig-zag tests yang termasuk dalam aturan yaitu tes zig-zag $10^{\circ}/10^{\circ}$ dan $20^{\circ}/20^{\circ}$. Zig-zag tests $10^{\circ}/10^{\circ}$ menggunakan sudut kemudi 10° ke kedua sisi mengikuti deviasi heading 10° dari lintasan semula. Zig-zag tests $20^{\circ}/20^{\circ}$ menggunakan sudut kemudi 20° yang digabungkan dengan 20° perubahan heading. Informasi penting yang diperoleh dari pengujian ini adalah sudut overshoot, waktu putaran awal untuk eksekusi kedua dan waktu untuk yaw checking. Yaw checking merupakan kemampuan kapal untuk merespon gerakan kemudi yang digerakkan berlawanan arah dalam suatu keadaan tertentu.

c. Stopping tests

Stopping tests digunakan untuk menentukan jangkauan lintasan kapal dari saat perintah buritan penuh diberikan sampai kapal berhenti mati di dalam air. Stopping ability yaitu kemampuan kapal untuk berhenti dengan mematikan mesin (inertia stop) atau dengan memutar propeller ke arah yang berlawanan (crash stop) dengan kecepatan penuh.



Gambar 2.9 *Stopping Tests*
 Sumber: (IMO, 2002)

2.9.1 Mekanisme Turning

Kapal dapat berputar/ berbelok ke arah portside maupun starboard disebabkan oleh adanya gaya yang bekerja pada kemudi. Jarak kemudi dengan berat kapal secara memanjang dapat diartikan pula sebagai lengan, sehingga momen putar akan timbul oleh adanya gaya yang dikalikan lengan tersebut.

Sebuah kemudi yang membentuk sudut besar α pada aliran fluida yang memiliki kecepatan U akan menimbulkan gaya F , gaya ini terletak pada sebuah titik yang disebut center of pressure (CP). Resultan gaya F dapat diuraikan menjadi komponen gaya angkat (lift) L , yang arahnya tegak lurus dengan arah aliran fluida dan komponen gaya seret (drag) D , yang arahnya searah dengan arah aliran fluida. Resultan gaya F juga dapat diuraikan menjadi gaya normal terhadap garis tengah kemudi F_N .

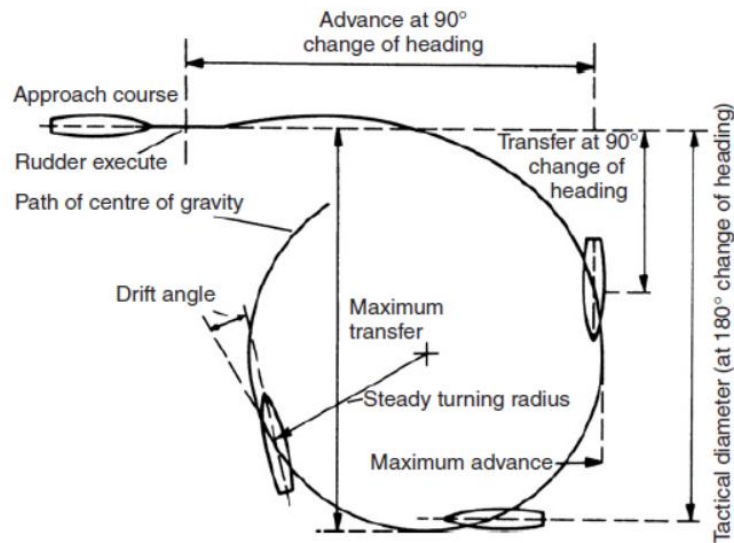
2.9.2 Maneuver Turning

Turning test dilakukan untuk mengetahui kemampuan belok/ putar (turning) sebuah kapal. Pengujian ini dilakukan dengan belok ke arah starboard 35° dan begitu pula sebaliknya ke arah portside. Respons yang diterima kapal karena defleksi dan gaya serta momen yang dihasilkan kemudi dibagi menjadi dua bagian:

- a. Transien awal dimana terjadi percepatan surge, sway dan yaw.
- b. Bagian belok tetap (steady turning) dimana kecepatan belok dan kecepatan maju adalah tetap dan lintasan kapal bulat (circular).

Umumnya lintasan belok kapal diklasifikasikan dalam 4 pengukuran numerik:

- 1) Advance:
Jarak dari titik awal (origin) pelaksanaan, terhadap sumbu x kapal, bila sumbu berbelok 90° . Jarak maksimum advance yang diijinkan untuk bergerak putar (turning) adalah tidak lebih atau sama dengan 4,5 Lpp.
- 2) Transfer:
Jarak dari origin approach course terhadap origin kapal bila sumbu x telah berbelok 90° .
- 3) Tactical Diameter:
Jarak dari approach course terhadap sumbu x kapal saat sumbu tersebut telah belok 180° . Tactical diameter maksimum yang diinginkan adalah tidak lebih atau sama dengan 5 Lpp.
- 4) Steady Turning diameter:
Karakteristik diameter kemampuan putar kapal digambarkan dalam gambar 2.10 berikut:



Gambar 2.10 Simulasi *Turning Test*
 Sumber: (IMO, 2002)

IMO (*International Maritime Organization*) telah merekomendasikan kriteria standar keselamatan kapal untuk manuveribilitas kapal. Kriteria tersebut harus dipenuhi oleh sebuah kapal saat beroperasi baik di perairan yang dalam (*deep water*) maupun di perairan terbatas atau beroperasi di sekitar pelabuhan atau di perairan yang dangkal (*restricted and shallow water*). Kriteria yang dipakai adalah *turning ability*. Pengertian dari *turning ability* adalah kemampuan kapal bergerak melingkar dengan membentuk lintasan dengan sudut kemudi dan kecepatan penuh. Kriteria dalam *turning ability* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kriteria Manuver Menurut IMO 2002

<i>Ability</i>	<i>Test</i>	<i>Criteria</i>
<i>Turning ability</i>	<i>Turning test with maximal rudder angle (35 deg.)</i>	<i>Advance <4,5L</i>
		<i>Tactical diameter <5,0L</i>

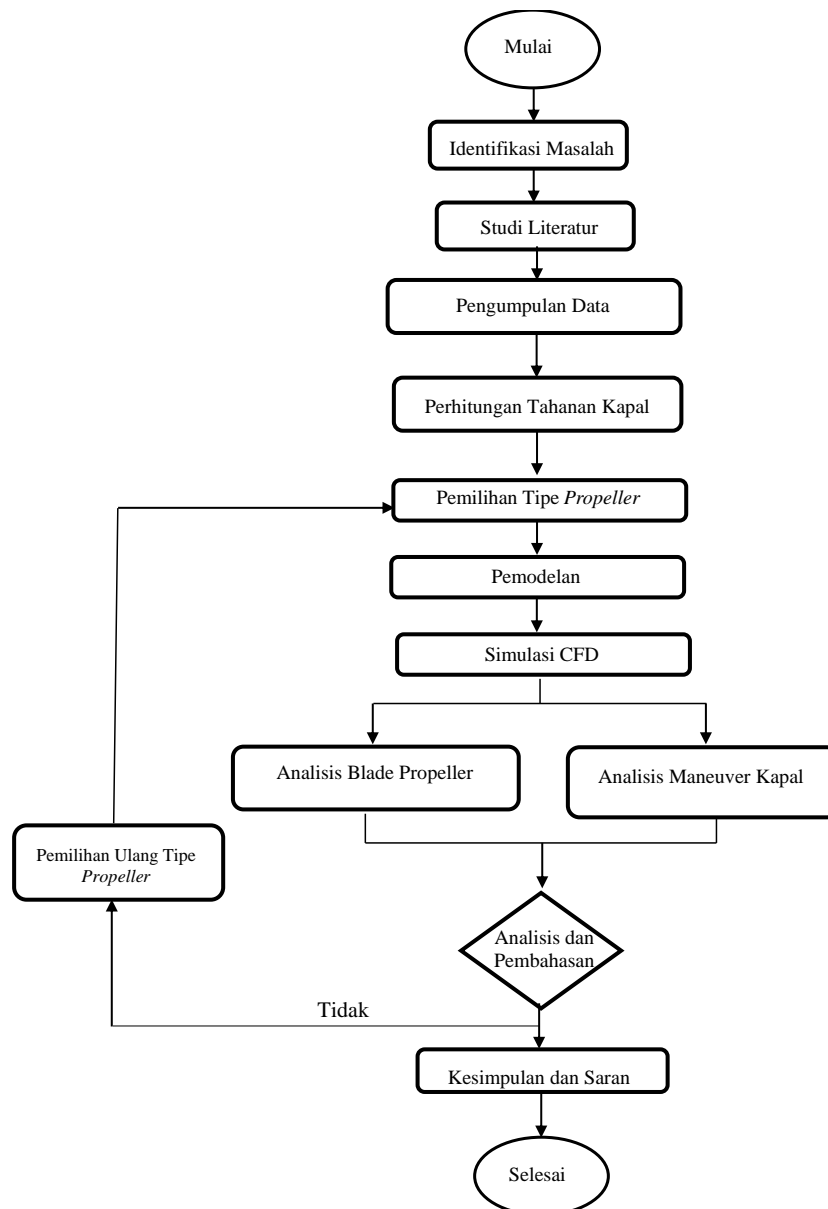
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Perencanaan

Proses pengerjaan tugas akhir ini dapat digambarkan *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Perencanaan

3.2 Studi Literatur

Studi dilakukan dengan pembelajaran dan pengumpulan dasar teori maupun kajian pustaka yang berkaitan dengan analisa yang akan dilakukan, meliputi teori sistem propulsi, *Azimuth Thruster*, dan performa manuver.

3.3 Pengumpulan Data Kapal

Pada langkah ini dilakukan pengumpulan data-data pendukung yang dibutuhkan diantaranya dimensi utama kapal, *general arrangement* dan data lainnya yang dibutuhkan saat pemilihan tipe propeller. Selain itu, dibutuhkan *rules* dari *class* beserta data pendukung lainnya.

3.4 Perhitungan Kinerja Propeller

Pada kali ini dilakukan langkah perhitungan kinerja propeller yang merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan sebelum memilih dan memodelkan propeller. Karakteristik beban propeller dapat ditampilkan dengan grafik oleh beberapa koefisien dalam bentuk ukuran. Diagram memberikan *torque* dan gaya dorong sebagai fungsi kecepatan. Karakteristik propeller terdiri dari thrust coefficient (KT), torque coefficient (KQ), dan advance coefficient (J) yang akan penulis dapatkan dari pembacaan kurva open water test oleh G. Kuiper [1992].

3.5 Pemilihan Tipe Propeller

Acuan validasi untuk propeller menggunakan grafik pada diktat analisa KT-KQ-J Wageningen Ka-series Propeller dengan pengujian Propeller Ka-series tipe Ka4-70 no.19A, Ka4-70 no.22, Ka4-70 no.24, Ka4-70 no.37, Ka5-75 no.19A, Ka4-55 no.19A dan Ka3-65 no.19A. Menganalisa masing-masing tipe propeller tersebut untuk dapat diketahui nilai thrust tertinggi dan torque terendah.

3.6 Permodelan Propeller pada PropCad

Proses pemodelan propeller dari *Azimuth Thruster* menggunakan bantuan program software HydroComp Propcad 2005. Dilakukan pemodelan gambar dalam bentuk 2D dan 3D, lalu dimodel solid dengan bantuan software Autodesk Inventor Professional (AIP) yang merupakan salah satu perangkat lunak (software) jenis Computer Aided Drawing (CAD) yang lebih menekankan pada pemodelan solid. selanjutnya dilakukan simulasi CFD.

3.7 Simulasi CFD

Pada tahap ini model yang telah dibuat, dilakukan simulasi CFD untuk mengetahui tipe propeller yang optimal diantara tipe Ka 4-70 No.24 dan tipe Ka 3-65 No.19A dengan sudut maksimum sebesar 35° . Untuk analisis lanjutan maka diperlukan data dari hasil simulasi CFD, yang diambil dari simulasi propeller adalah torsi lalu pada simulasi hull adalah gaya hambat atau drag. Kemudian kedua data tersebut diinput pada simulasi rigid dynamics untuk menghitung diameter manuver kapal.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisa *maneuver*, maka dilakukan pengambilan kesimpulan dari apa yang telah dianalisa berdasarkan standar yang digunakan. Selain itu, akan ada beberapa saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yang sejenis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan tahap analisa data berupa proses pemodelan dan simulasi pada propeller beserta pembahasannya. Pertama, akan diuraikan proses pembuatan model dari data-data yang diperoleh. Kemudian pada sub bab berikutnya akan dilakukan proses simulasi dengan menggunakan *software* Ansys (CFD). Hasil dari proses simulasi akan digunakan sebagai parameter untuk memilih tipe *kort nozzle propeller* yang efektif untuk kapal Tug Boat 2X2500 HP.

4.1 Data Utama

Adapun data utama yang diperlukan untuk penggambaran model dan simulasi pada percobaan ini, adalah:

- 1) Data Utama Kapal:
 - LOA : 34,00 m
 - LWL : 32,80 m
 - B : 11,30 m
 - H : 5,25 m
 - T : 4,20 m
- 2) Data *Gear Box*
 - Merek : ZF
 - Model : W17110 NR
 - Rasio : 2,2501
 - kW/rpm : 3,0174
 - Max RPM : 1600
 - Jumlah : 2
- 3) Data *Main Engine*
 - Merek : Nigata
 - Model : 6L28AHX-DF

Putaran	: 800 rpm
SFOC <i>in diesel mode</i>	: 196 g/kWh
SFOC <i>in gas mode</i>	: 1,9 g/kWh
<i>Bore</i>	: 280 mm
<i>Stroke</i>	: 390 mm
Daya	: 1838 kW
Jumlah	: 2

4.2 Efektivitas Sistem Penggerak

4.2.1 Menentukan Putaran Propeller

Menentukan putaran propeller dengan rasio gearbox tertentu. Rasio gearbox ditentukan mengacu pada referensi kapal yaitu 1:2,25 dan dihitung menggunakan Persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$N_p = N_E / \text{Rasio Gearbox} \quad (4.1)$$

Keterangan:

N_p = Putaran Propeller (rpm)

N_E = Putaran *Engine* (rpm)

Sehingga nilai NP didapatkan sebesar:

$$\begin{aligned} N_p &= N_E / \text{Rasio Gearbox} \\ &= 800 \text{ rpm} / 2,25 \\ &= 355,54 \text{ rpm} \\ &= 5,93 \text{ rps} \end{aligned}$$

4.2.2 Menghitung Efisiensi Lambung (η_H)

Dalam menghitung interaksi antara badan kapal dengan propeller ini dipakai untuk menentukan gaya dorong (*thrust*) yang diperlukan oleh sebuah kapal berdasarkan karakteristik dari propeller yang terpasang pada buritan kapal. Efisiensi lambung merupakan perbandingan antara daya efektif (P_e) dan daya dorong (P_T). Daya efektif (P_e) adalah besarnya daya yang dibutuhkan untuk mengatasi gaya hambat dari badan kapal (*hull*), sedangkan daya dorong (P_T)

adalah besarnya daya yang dihasilkan oleh kerja dari alat gerak kapal (*propulsor*) untuk mendorong badan kapal. Efisiensi lambung ini merupakan suatu bentuk ukuran kesesuaian rancangan lambung terhadap propulsor arrangement, sehingga efisiensi ini bukanlah bentuk power conversion yang sebenarnya. Efisiensi lambung dapat menggunakan Persamaan 4.2 sebagai berikut:

$$\eta_H = (1-t) / (1-w) \quad (4.2)$$

Dimana:

T : *Thrust deduction factor*

w : *Wake fraction*

Nilai t (*thrust deduction factor*) dan w (*wake fraction*) untuk *twin screw*:

$$w = 0,55Cb - 0,20 \quad (4.3)$$

Sehingga nilai η_H didapatkan sebesar,

$$\begin{aligned} \eta_H &= (1-t) / (1-w) \\ &= (1-0,047) / (1-0,0625) \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

4.2.3 Menghitung *Thrust Propeller*

Thrust propeller merupakan daya dorong yang diberikan propeller untuk melawan tahanan kapal. Tahanan kapal yang dimaksud merupakan tahanan dari *bollard pull* tug boat itu sendiri, dengan menggunakan Persamaan 4.5 sebagai berikut:

$$T = R_t / (1-t) \quad (4.5)$$

Keterangan:

T = *Thrust propeller* (gaya dorong) (kN)

R_t = Tahanan kapal saat *bollard test* (kN)

Dimana:

$$\begin{aligned} R_t &= 60 \text{ MT} \\ &= 30 \text{ ton (untuk 1 propeller)} \\ &= 294 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Sehingga nilai T diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T &= R_t / (1-t) \\ &= 294 \text{ kN} / (1-0,047) \\ &= 308,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.2.4 Menghitung Koefisien Torsi

Bila besarnya BHP dan DHP dari kapal diketahui maka nilai torsi (Q) dapat dihitung dengan memisalkan beberapa harga diameter D yang diperkenankan. Besarnya DHP dapat dihitung dari besarnya tenaga kuda mesin induk (BHP) yang selanjutnya dilanjutkan dengan persamaan 4.6 sebagai berikut:

$$Q = \text{DHP}/2\pi n \quad (4.6)$$

Dimana:

DHP : *Delivery Horse Power* (kW)

Q : Torsi (Nm)

N : Putaran propeller (rpm)

$$\text{BHP}_{\text{MCR}} = 1838 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{BH}_{\text{SCR}} &= \text{BHP}_{\text{MCR}} \times 1,00 \\ &= 1838 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DHP} &= \text{BHP}_{\text{SCR}} \times \eta_s \times \eta_G \\ &= 1838 \times 0,98 \times 0,98 \\ &= 1765,215 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\eta_s = 0,98 \text{ (Losses sebesar 2\%)}$$

$$\begin{aligned} Q &= \text{DHP}/2\pi n \\ &= 1765,215 / (2 \times 3,14 \times 5,93) \\ &= 47,435 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KQ} &= \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \\ &= 47,435 / (1,025 \times 5,93^2 \times 1,8^5) \\ &= 0,06975 \end{aligned}$$

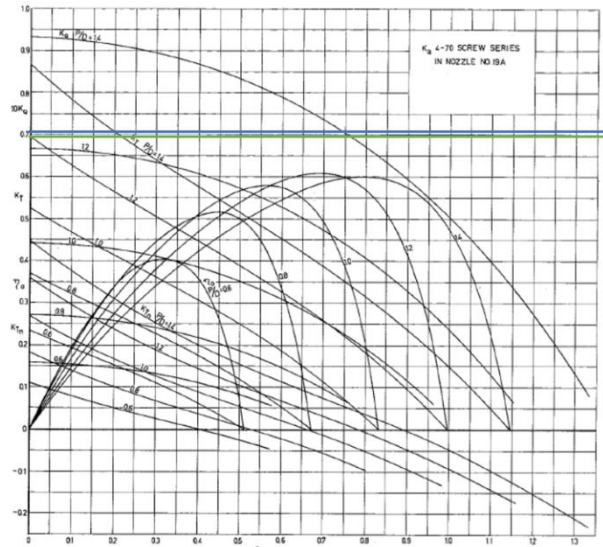
$$10\text{KQ} = 0,6975$$

4.3 Pemilihan Tipe Propeller

4.3.1 Menentukan Tipe Propeller saat *Towing*

Daya yang digunakan kapal tunda pada saat menarik kapal juga dibutuhkan untuk menahan kapal di laut dalam kondisi lingkungan tertentu. Dari

nilai $10KQ = 0,697$, akan dicari nilai P/D yang sesuai dengan jenis propeller yang digunakan, dalam penelitian ini yaitu Kaplan series. Plot nilai $10KQ$ pada $J=0$ kurva *open water test* pada Ka4-70 No.19A dengan interpolasi dua titik ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Plot Nilai $10KQ$ pada $J=0$ Kurva *Open Water Test* pada Ka4-70 No.19A

Setelah itu, didapatkan nilai P/D dan KT untuk mencari nilai T dan BP_{max} pada masing-masing tipe propeller dengan persamaan sebagai berikut:

$$KT = T / (\rho \times Np^2 \times D^4) \quad (4.7)$$

$$BP_{max} = T \times 2 / 9,81 \quad (4.8)$$

Dimana:

KT : Koefisien *Thrust* Propeller

T : *Thrust* propeller (kN)

ρ : Massa jenis air laut (1,025 kg/m³)

D : Diameter propeller (m)

Np : Putaran propeller (rpm)

Berikut hasil dari pembacaan nilai KT setiap tipe propeller (Kaplan series) dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* dan Perhitungan T dan BPmax pada Tujuh Kaplan Series

Propeller Type	10KQ	P/D	KT	T (kN)	BP Max (MT)
Ka 4-70 no.19A	0.697	1.224	0.712	269.00956	54.844
Ka 4-70 no.22	0.697	1.24	0.726	274.299073	55.922
Ka 4-70 no.24	0.697	1.256	0.735	277.699475	56.616
Ka 4-70 no.37	0.697	1.235	0.707	267.120447	54.459
Ka 5-75 no.19A	0.697	1.21	0.715	270.143027	55.075
Ka 4-55 no.19A	0.697	1.24	0.694	262.208756	53.457
Ka 3-65 no.19A	0.697	1.24	0.710	268.253915	54.690

Setelah itu, membaca nilai KT pada semua nilai J dalam kurva *open water test* pada setiap tipe propeller (Kaplan series) dan menghasilkan besaran nilai *towing force* dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.8.

Tabel 4.2 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* Ka4-70 No.19A dengan Variasi Nilai J

Ka 4-70 no.19A		P/D 1.224						
J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
0	0.000	0.000	0.0	0.712	269.010	54.844	0.000	54.844
0.1	1.067	1.138	2.2	0.65	245.585	50.068	0.608	49.460
0.2	2.133	2.275	4.4	0.58	219.137	44.676	1.220	43.456
0.3	3.200	3.413	6.6	0.522	197.223	40.209	2.446	37.762
0.4	4.266	4.551	8.8	0.466	176.065	35.895	4.905	30.990
0.5	5.333	5.689	11.1	0.405	153.018	31.196	9.837	21.360
0.6	6.400	6.826	13.3	0.345	130.349	26.575	19.725	6.850
0.7	7.466	7.964	15.5	0.28	105.790	21.568	39.553	-17.985
0.8	8.533	9.102	17.7	0.21	79.343	16.176	79.314	-63.138
0.9	9.600	10.240	19.9	0.12	45.339	9.243	159.043	-149.800
1	10.666	11.377	22.1	0.02	7.556	1.541	318.920	-317.379
1.1	11.733	12.515	24.3	-0.07	-26.448	-5.392	639.511	-644.903
1.2	12.799	13.653	26.5		0.000	0.000	1282.374	-1282.374

Tabel 4.3 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* Ka4-70 No.22 dengan Variasi Nilai J

Ka 4-70 no.22		P/D 1.24						
J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
0	0.000	0.000	0.0	0.726	274.299	55.922	0.000	55.922
0.1	1.067	1.138	2.2	0.652	246.340	50.222	0.608	49.614
0.2	2.133	2.275	4.4	0.59	222.915	45.447	1.220	44.227
0.3	3.200	3.413	6.6	0.53	200.246	40.825	2.446	38.379
0.4	4.266	4.551	8.8	0.466	176.065	35.895	4.905	30.990
0.5	5.333	5.689	11.1	0.4	151.129	30.811	9.837	20.975
0.6	6.400	6.826	13.3	0.32	120.903	24.649	19.725	4.924
0.7	7.466	7.964	15.5	0.24	90.677	18.487	39.553	-21.066
0.8	8.533	9.102	17.7	0.136	51.384	10.476	79.314	-68.838
0.9	9.600	10.240	19.9	0.03	11.335	2.311	159.043	-156.732
1	10.666	11.377	22.1	-0.08	-30.226	-6.162	318.920	-325.082
1.1	11.733	12.515	24.3		0.000	0.000	639.511	-639.511
1.2	12.799	13.653	26.5		0.000	0.000	1282.374	-1282.374

Tabel 4.4 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* Ka4-70 No.24 dengan Variasi Nilai J

Ka 4-70 no.24		P/D 1.256						
J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
0	0.000	0.000	0.0	0.735	277.699	56.616	0.000	56.616
0.1	1.067	1.138	2.2	0.66	249.363	50.838	0.608	50.230
0.2	2.133	2.275	4.4	0.597	225.560	45.986	1.220	44.766
0.3	3.200	3.413	6.6	0.538	203.268	41.441	2.446	38.995
0.4	4.266	4.551	8.8	0.47	177.577	36.203	4.905	31.298
0.5	5.333	5.689	11.1	0.39	147.351	30.041	9.837	20.204
0.6	6.400	6.826	13.3	0.3	113.347	23.108	19.725	3.383
0.7	7.466	7.964	15.5	0.198	74.809	15.252	39.553	-24.302
0.8	8.533	9.102	17.7	0.08	30.226	6.162	79.314	-73.151
0.9	9.600	10.240	19.9	-0.03	-11.335	-2.311	159.043	-161.354
1	10.666	11.377	22.1	-0.14	-52.895	-10.784	318.920	-329.704
1.1	11.733	12.515	24.3		0.000	0.000	639.511	-639.511
1.2	12.799	13.653	26.5		0.000	0.000	1282.374	-1282.374

Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* Ka4-70 No.37 dengan Variasi Nilai J

Ka 4-70 no.37		P/D 1.235						
J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
0	0.000	0.000	0.0	0.707	267.120	54.459	0.000	54.459
0.1	1.067	1.138	2.2	0.64	241.806	49.298	0.608	48.690
0.2	2.133	2.275	4.4	0.57	215.359	43.906	1.220	42.686
0.3	3.200	3.413	6.6	0.5	188.911	38.514	2.446	36.068
0.4	4.266	4.551	8.8	0.44	166.242	33.892	4.905	28.987
0.5	5.333	5.689	11.1	0.365	137.905	28.115	9.837	18.279
0.6	6.400	6.826	13.3	0.29	109.569	22.338	19.725	2.613
0.7	7.466	7.964	15.5	0.225	85.010	17.331	39.553	-22.222
0.8	8.533	9.102	17.7	0.146	55.162	11.246	79.314	-68.068
0.9	9.600	10.240	19.9	0.06	22.669	4.622	159.043	-154.421
1	10.666	11.377	22.1	-0.02	-7.556	-1.541	318.920	-320.460
1.1	11.733	12.515	24.3		0.000	0.000	639.511	-639.511
1.2	12.799	13.653	26.5		0.000	0.000	1282.374	-1282.374

Tabel 4.6 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* Ka5-75 No.19A dengan Variasi Nilai J

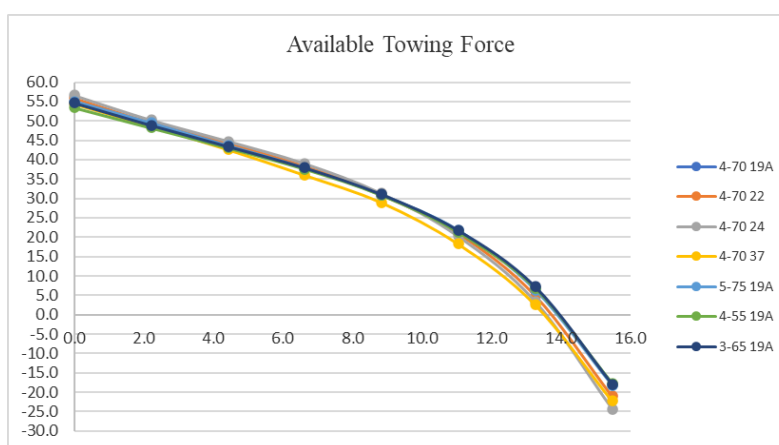
Ka 5-75 no.19A		P/D 1.21						
J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
0	0.000	0.000	0.0	0.715	270.143	55.075	0.000	55.075
0.1	1.067	1.138	2.2	0.65	245.585	50.068	0.608	49.460
0.2	2.133	2.275	4.4	0.582	219.893	44.830	1.220	43.610
0.3	3.200	3.413	6.6	0.523	197.601	40.286	2.446	37.839
0.4	4.266	4.551	8.8	0.464	175.310	35.741	4.905	30.836
0.5	5.333	5.689	11.1	0.41	154.907	31.581	9.837	21.745
0.6	6.400	6.826	13.3	0.339	128.082	26.112	19.725	6.388
0.7	7.466	7.964	15.5	0.277	104.657	21.337	39.553	-18.216
0.8	8.533	9.102	17.7	0.197	74.431	15.175	79.314	-64.139
0.9	9.600	10.240	19.9	0.1	37.782	7.703	159.043	-151.340
1	10.666	11.377	22.1	0	0.000	0.000	318.920	-318.920
1.1	11.733	12.515	24.3		0.000	0.000	639.511	-639.511
1.2	12.799	13.653	26.5		0.000	0.000	1282.374	-1282.374

Tabel 4.7 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* Ka4-55 No.19A dengan Variasi Nilai J

Ka 4-55 no.19A		P/D 1.24						
J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
0	0.000	0.000	0.0	0.694	262.209	53.457	0.000	53.457
0.1	1.067	1.138	2.2	0.634	239.539	48.836	0.608	48.227
0.2	2.133	2.275	4.4	0.575	217.248	44.291	1.220	43.071
0.3	3.200	3.413	6.6	0.52	196.468	40.055	2.446	37.608
0.4	4.266	4.551	8.8	0.464	175.310	35.741	4.905	30.836
0.5	5.333	5.689	11.1	0.404	152.640	31.119	9.837	21.283
0.6	6.400	6.826	13.3	0.345	130.349	26.575	19.725	6.850
0.7	7.466	7.964	15.5	0.284	107.302	21.876	39.553	-17.677
0.8	8.533	9.102	17.7	0.21	79.343	16.176	79.314	-63.138
0.9	9.600	10.240	19.9	0.135	51.006	10.399	159.043	-148.644
1	10.666	11.377	22.1	0.04	15.113	3.081	318.920	-315.839
1.1	11.733	12.515	24.3	-0.06	-22.669	-4.622	639.511	-644.133
1.2	12.799	13.653	26.5		0.000	0.000	1282.374	-1282.374

Tabel 4.8 Hasil Pembacaan Kurva *Open Water Test* Ka3-65 No.19A dengan Variasi Nilai J

Ka 3-65 no.19A		P/D 1.24						
J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
0	0.000	0.000	0.0	0.71	268.254	54.690	0.000	54.690
0.1	1.067	1.138	2.2	0.643	242.940	49.529	0.608	48.921
0.2	2.133	2.275	4.4	0.58	219.137	44.676	1.220	43.456
0.3	3.200	3.413	6.6	0.524	197.979	40.363	2.446	37.916
0.4	4.266	4.551	8.8	0.467	176.443	35.972	4.905	31.067
0.5	5.333	5.689	11.1	0.41	154.907	31.581	9.837	21.745
0.6	6.400	6.826	13.3	0.35	132.238	26.960	19.725	7.235
0.7	7.466	7.964	15.5	0.281	106.168	21.645	39.553	-17.908
0.8	8.533	9.102	17.7	0.21	79.343	16.176	79.314	-63.138
0.9	9.600	10.240	19.9	0.13	49.117	10.014	159.043	-149.029
1	10.666	11.377	22.1	0.035	13.224	2.696	318.920	-316.224
1.1	11.733	12.515	24.3	-0.07	-26.448	-5.392	639.511	-644.903
1.2	12.799	13.653	26.5		0.000	0.000	1282.374	-1282.374



Gambar 4.2 Grafik *Available Towing Force* pada Setiap Tipe Kaplan Series

Tabel 4.9 Pemilihan Propeller saat *Towing*

J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)	Propeller Type
0	0.000	0.000	0.0	0.712	269.010	54.844	0.000	54.844	Ka 4-70 no.19A
0	0.000	0.000	0.0	0.726	274.299	55.922	0.000	55.922	Ka 4-70 no.22
0	0.000	0.000	0.0	0.735	277.699	56.616	0.000	56.616	Ka 4-70 no.24
0	0.000	0.000	0.0	0.707	267.120	54.459	0.000	54.459	Ka 4-70 no.37
0	0.000	0.000	0.0	0.715	270.143	55.075	0.000	55.075	Ka 5-75 no.19A
0	0.000	0.000	0.0	0.694	262.209	53.457	0.000	53.457	Ka 4-55 no.19A
0	0.000	0.000	0.0	0.71	268.254	54.690	0.000	54.690	Ka 3-65 no.19A

Gambar 4.2 menunjukkan besarnya selisih nilai *towing force* setiap tipe Kaplan series tidak jauh berbeda. Dari tujuh tipe Ka series, Ka4-70 No.24 saat $V_s=0$ memberikan *towing force* tertinggi sebesar 56,616 MT seperti pada Tabel 4.9.

4.3.2 Menentukan Tipe Propeller saat Kondisi *Free Running*

Kondisi kapal diasumsikan berjalan dengan kecepatan tertentu dengan arah *heading* memiliki sudut tertentu terhadap arah datangnya gelombang. Selanjutnya membaca kurva *open water test* dan menentukan nilai V_s saat kapal memiliki nilai *towing force* sebesar 0 (nol) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Pemilihan Propeller saat *Free Running*

	J	Va	Vs (m/s)	Vs (knot)	KT	T (kN)	Force (MT)	T (MT)	Towing Force (Available)
Ka 4-70 no.19A	0.600	6.400	6.826	13.270	0.345	130.349	26.575	19.725	5.705
	0.700	7.466	7.964	15.481	0.280	105.790	21.568	39.553	-20.676
	0.622	6.630	7.072	13.748					0
Ka 4-70 no.22	0.600	6.400	6.826	13.270	0.320	120.903	24.649	19.725	3.779
	0.700	7.466	7.964	15.481	0.240	90.677	18.487	39.553	-23.757
	0.614	6.546	6.983	13.573					0
Ka 4-70 no.24	0.600	6.400	6.826	13.270	0.300	113.347	23.108	19.725	2.239
	0.700	7.466	7.964	15.481	0.198	74.809	15.252	39.553	-26.992
	0.608	6.481	6.913	13.439					0
Ka 4-70 no.37	0.600	6.400	6.826	13.270	0.290	109.569	22.338	19.725	1.468
	0.700	7.466	7.964	15.481	0.225	85.010	17.331	39.553	-24.913
	0.606	6.459	6.890	13.393					0
Ka 5-75 no.19A	0.600	6.400	6.826	13.270	0.339	128.082	26.112	19.725	5.243
	0.700	7.466	7.964	15.481	0.277	104.657	21.337	39.553	-20.907
	0.620	6.614	7.054	13.713					0
Ka 4-55 no.19A	0.600	6.400	6.826	13.270	0.345	130.349	26.575	19.725	5.705
	0.700	7.466	7.964	15.481	0.284	107.302	21.876	39.553	-20.368
	0.622	6.633	7.075	13.753					0
Ka 3-65 no.19A	0.600	6.400	6.826	13.270	0.350	132.238	26.960	19.725	6.090
	0.700	7.466	7.964	15.481	0.281	106.168	21.645	39.553	-20.599
	0.623	6.643	7.086	13.774					0

Tabel 4.10. menunjukkan besarnya selisih nilai V_s (knot) saat *free running* setiap tipe Kaplan series tidak jauh berbeda. Dari tujuh tipe Ka-series, Ka3-65 No.19A memberikan kecepatan tertinggi sebesar 13.774 knot.

4.3.3 Tipe Propeller Terpilih

Salah satu tantangan di dalam teknologi penggerak kapal tug boat pada posisi towing atau pusher adalah mendapatkan unjuk kerja tug boat (vessel performance) yang paling optimum saat beroperasi towing (menarik muatan penuh) dan free running (menarik muatan kosong). Dalam penelitian ini terdapat dua variasi kondisi dalam menentukan tipe propeller yang akan dianalisa yaitu (1) kondisi saat towing dan (2) kondisi saat free running.

Kondisi kapal saat towing diasumsikan beroperasi pada kondisi beban penuh. Dengan membaca nilai KT pada semua nilai J dalam kurva *open water test* pada setiap tipe propeller (Kaplan series) dan menghasilkan besaran nilai *towing force* dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.8. Maka diperoleh tipe propeller Ka4-70 No.24 saat $V_s=0$ memberikan *towing force* tertinggi sebesar 56,616 MT seperti pada Tabel 4.9. Sedangkan kondisi kapal saat free running diasumsikan berjalan dengan kecepatan tertentu dengan arah heading memiliki sudut tertentu terhadap arah datangnya gelombang. Dengan membaca kurva *open water test* dan menentukan nilai V_s saat kapal memiliki nilai *towing force* sebesar 0 (nol) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 maka didapatkan tipe propeller Ka3-65 No.19A yang memberikan kecepatan tertinggi sebesar 13.774 knot.

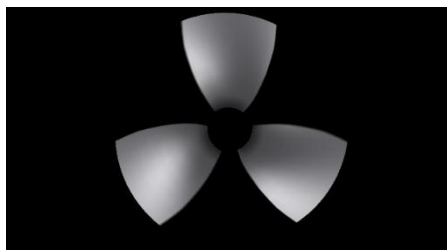
Untuk analisa selanjutnya menggunakan tipe propeller terpilih yaitu (1) Ka4-70 No.24 dan (2) Ka3-65 No.19A dengan membuat pemodelan hingga analisa numerik dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) yang memanfaatkan perkembangan teknologi berkecepatan tinggi. Teknik CFD memungkinkan penyelidikan sebuah model dengan ketelitian yang sangat tinggi. Dengan efisiensi konfigurasi lambung dengan propeller maka selanjutnya melakukan analisa mengenai hubungan antara lambung dengan dua tipe Kaplan series.

4.4 Pemodelan

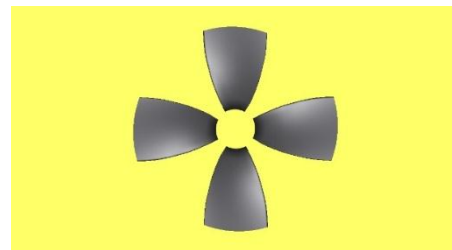
Tahap ini dilakukan pembuatan model dengan bantuan *software* Hydrocomp Propcad. Tujuan dari pemodelan pada perangkat lunak ini adalah mendapatkan model tiga dimensi (3D) dari *blade* yang sesuai dengan data ukuran yang ditentukan. Penelitian ini menggunakan tipe propeller Kaplan Ka3-65 No.19A dan Ka4-70 No.24. Data propeller disajikan pada Tabel 4.11 dan hasil desain baling-baling disajikan pada Gambar 4.3.

Tabel 4.11 Spesifikasi Propeller

Ka3-65	
<i>Dimension (D)</i>	1800 mm
<i>Number of blades</i>	3
<i>P/D</i>	1.24
<i>Expanded area ratio</i>	0.58
<i>Length of duct</i>	0.5D
Ka4-70	
<i>Dimension (D)</i>	1800 mm
<i>Number of blades</i>	4
<i>P/D</i>	1.224
<i>Expanded area ratio</i>	0.58
<i>Length of duct</i>	0.5D



(a)

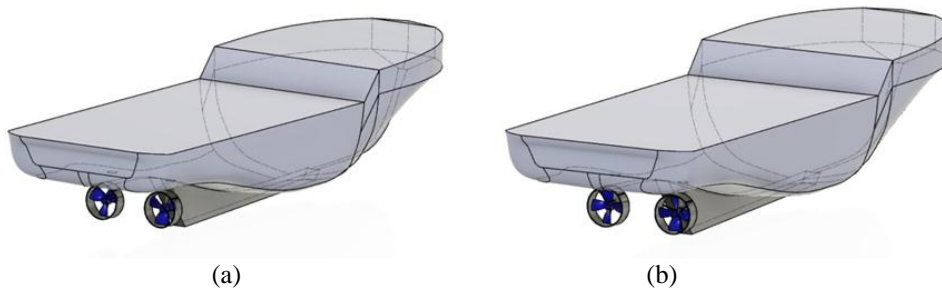


(b)

Gambar 4.3 Baling-baling: (a) Ka3-65 No.19A (b) Ka4-70 No.24

Selanjutnya melakukan pembuatan model lambung dengan bantuan Maxsurf Modeller Advance. Adapun model yang dibuat adalah lambung dengan *twin screw*. Pemodelan yang telah dibuat pada Maxsurf Modeller Advance selanjutnya *export* ke *software* Rhinoceros 6.0. Tujuan dilakukannya *export* dari Maxsurf ke Rhinoceros adalah untuk melanjutkan pemodelan dimana pada *software* Rhinoceros nantinya akan melengkapi *surface model* menjadi solid. Tujuan dilakukan perubahan model dari surface menjadi solid adalah agar fluida tidak mengalir masuk ke dalam lambung atau model kapal saat proses tidak

mengalir masuk ke dalam lambung atau model kapal saat proses analisa tahanan kapal pada *software* Ansys Workbench.



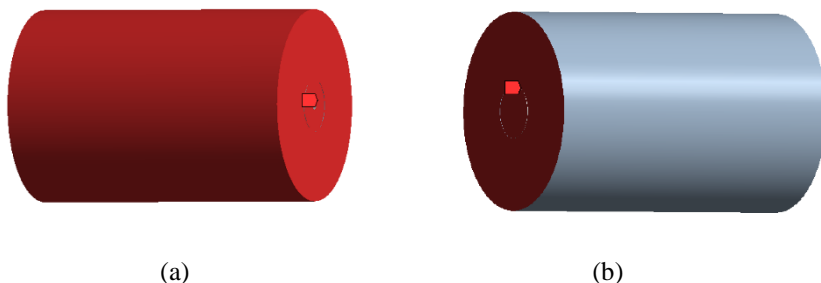
Gambar 4.4 Lambung: (a) Ka3-65 No.19A (b) Ka4-70 No.24

4.5 Simulasi CFD

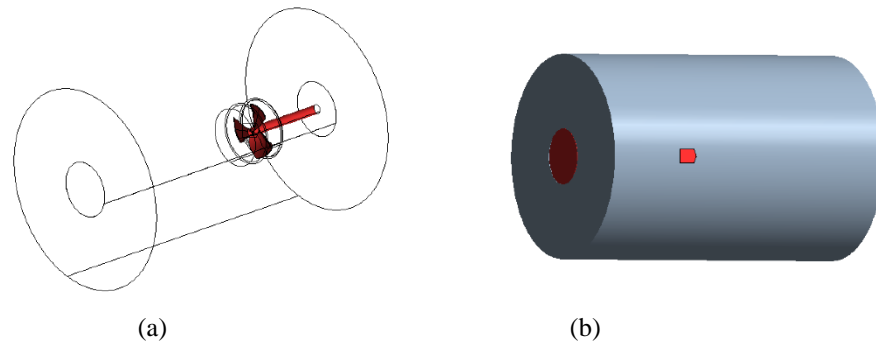
Proses simulasi CFD dengan menggunakan *software* Ansys Workbench yang terbagi kedalam 5 tahap, yaitu *Geometry*, *Mesh*, *Setup*, *Solution* dan *Result*.

4.5.1 Geometry

Pada tahap *geometry* sebagai tahap awal melakukan simulasi CFD dengan model yang telah dibuat. Dengan penginputan model ke dalam *geometry* akan diketahui bahwa model telah menjadi solid. Simulasi ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu (1) perhitungan gaya dorong propeller, (2) perhitungan gaya hambat kapal, dan (3) perhitungan diameter putaran manuver kapal berdasarkan hasil simulasi (1) dan simulasi (2). Adapun digunakan dua tipe propeller, yaitu Ka3-65 dan Ka4-70. Gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan lokasi boundary conditions yang digunakan pada simulasi propeller:



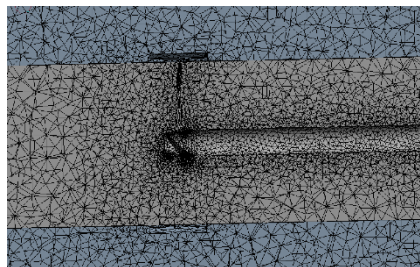
Gambar 4.5 Lokasi: (a) Inlet Propeller (b) Outlet Propeller



Gambar 4.6 Lokasi: (a) Wall Propeller (b) Rotating Region

4.5.2 Meshing

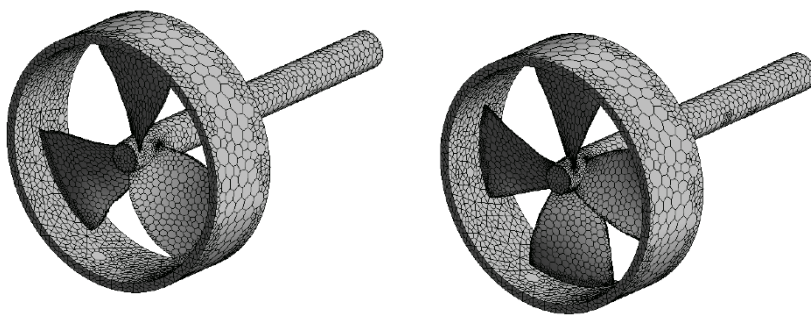
Tahap *meshing* merupakan salah satu tahap yang menentukan hasil dari simulasi atau analisis dapat berjalan baik. Dikarenakan pada tahap *mesh*, penentuan jumlah elemen *meshing* akan mempengaruhi hasil *meshing*. Meshing atau diskritisasi pada CFD adalah proses konversi domain fluida yang kontinu menjadi domain komputasi yang diskrit sehingga persamaan-persamaan fluida dapat diselesaikan solusinya menggunakan metode numerik, dalam kasus ini metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Dalam simulasi ini, meshing dibuat menggunakan metode mesh tetrahedron yang nantinya dikonversi menjadi polyhedron untuk menghemat penggunaan mesh dan mempercepat proses iterasi, karena keunggulan dari jenis mesh ini adalah dapat membentuk geometri-geometri yang rumit dengan mudah dibandingkan hexahedron. Pada gambar 4.7, gambar 4.8 dan gambar 4.9 merupakan hasil dari proses *meshing* yang telah berhasil dijalankan.



Gambar 4.7 Hasil *Meshing* Sekitar Propeller



Gambar 4.8 Hasil *Meshing* Tampak Keseluruhan

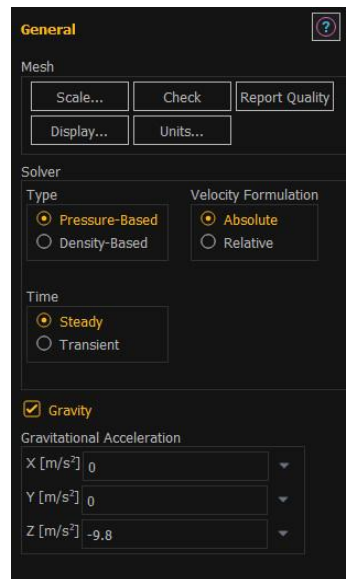


(a) (b)
Gambar 4.9 Hasil *Meshing* (a) Propeller Ka3-65 (b) Propeller Ka4-70

4.5.3 *Setup*

Setelah melakukan proses *meshing* pada model yang akan dilakukan analisa, langkah berikutnya adalah dilakukannya pengaturan terhadap simulasi yang akan dilakukan pada model. Tahap yang dimaksud adalah *setup*. Pada tahap *setup*, semua yang berhubungan dengan model yang akan dianalisis masuk dalam pengaturan. Dalam mempersiapkan analisa yang akan dilakukan pada model, berikut adalah pengaturan yang digunakan pada simulasi CFD, diantaranya adalah:

- *General Setup*



Gambar 4.10. *General Setup*

Pengaturan pada *general setup* adalah kondisi dasar yang akan disimulasikan pada model yang dilakukan analisis. Pada Gambar 4.10 ada beberapa pengaturan yang sangat *basic*, seperti *type mode*, *velocity formulation*, jenis aliran yang digunakan, dan gravitasi yang digunakan.

- *Turbulent: K-omega, SST*

Model k-omega digunakan karena keunggulannya dalam mensimulasikan aliran adverse pressure gradient dan celah-celah yang sempit seperti perpipaan, sedangkan modifikasi SST digunakan untuk mengakomodasi daerah dengan free stream seperti daerah yang jauh dari dinding.

- *Frame Motion*

Pengaturan pada frame motion digunakan untuk memfasilitasi gerakan rotasi propeller terhadap sekitarnya.

- *Boundary Conditions*

Pengaturan berikutnya adalah *boundary conditions* yang dilakukan pada kondisi *inlet* dan *outlet*. Kondisi *inlet* merupakan pengaturan pemberian tekanan dari depan model, dimana dalam kondisi *inlet* dilakukan penginputan data berupa kecepatan kapal yang digunakan saat simulasi. Kondisi walls didefinisikan sebagai wall dengan no slip condition untuk merepresentasikan gesekan antara fluida dengan dinding. Sedangkan

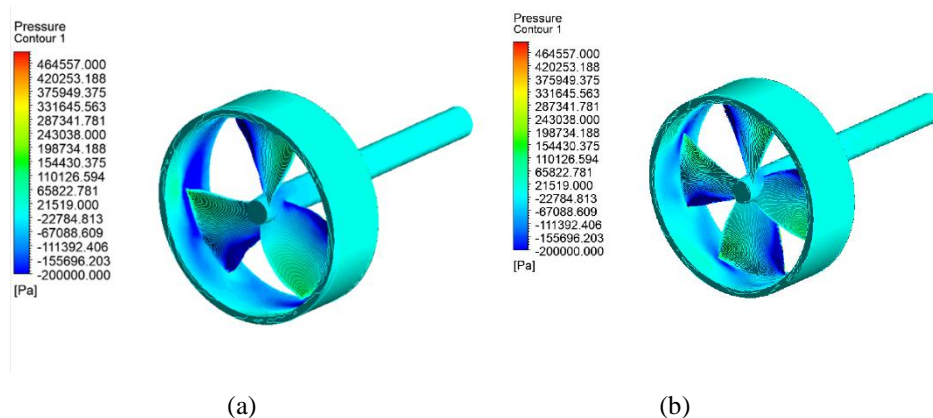
kondisi *outlet* merupakan jalur keluar dari aliran yang telah melalui model saat proses simulasi atau lebih tepatnya adalah aliran yang dihasilkan saat kapal berlayar.

4.5.4 Solution Initialization Hybrid

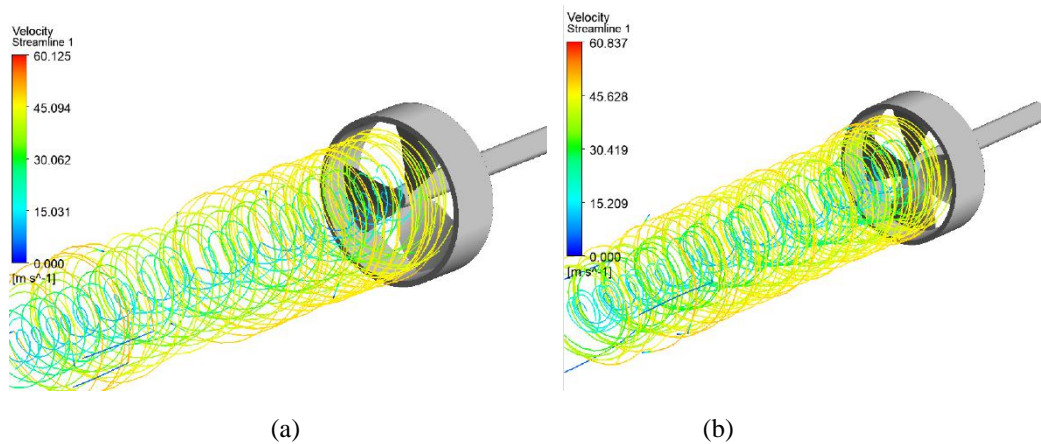
Solution initialization adalah acuan awal proses iterasi, dimana semakin dekat acuan awal tersebut dengan solusi yang diharapkan, maka proses iterasi akan semakin stabil dan kondisi konvergen akan lebih cepat tercapai. Metode solution initialization hybrid atau inialisasi hybrid digunakan karena secara teknis menginterpolasi nilai-nilai dari boundary conditions dengan cara menyelesaikan persamaan laplace untuk menghasilkan velocity field yang mengikuti geometri, dan pressure field yang saling dihubungkan secara smooth.

4.5.5 Result

Pada tahap ini akan menampilkan hasil dari simulasi yang telah dijalankan berawal dari *geometry* hingga *solution*. Berikut merupakan hasil yang dapat dijadikan data sekunder untuk dimasukkan pada simulasi rigid dynamics seperti gambar 4.11 merupakan hasil pressure field dan gambar 4.12 merupakan velocity field yang mengikuti geometri.



Gambar 4.11 Distribusi tekanan (a) Propeller Ka3-65 (b) Propeller Ka4-70

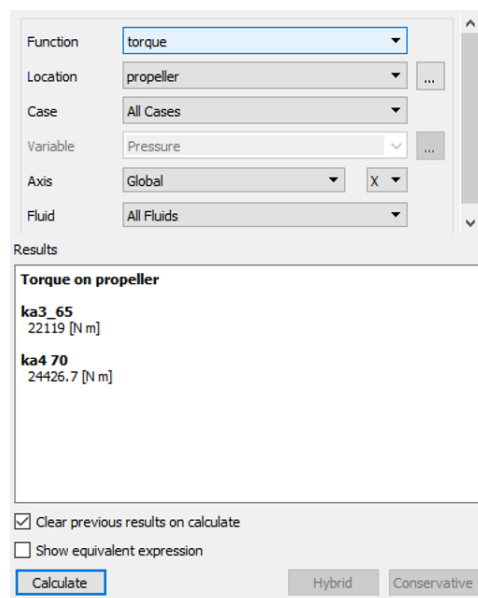


Gambar 4.12 Pola Velocity Streamline (a) Propeller Ka3-65 (b) Propeller Ka4-70

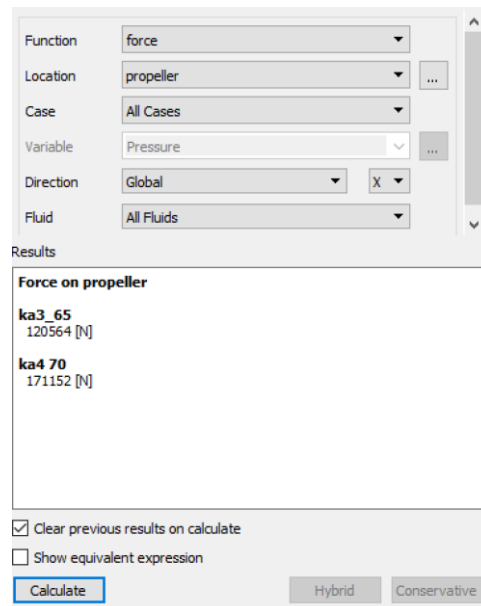
4.6 Hasil Simulasi CFD

4.6.1 Analisis Blade Propeller

Hasil yang diambil dari simulasi propeller adalah torsi, kemudian pada simulasi hull adalah gaya hambat atau drag, yang kemudian kedua data tersebut diinput pada simulasi *rigid dynamics* untuk menghitung diameter manuver kapal. Berikut adalah hasil dari perhitungan torsi dan gaya dorong yang dihasilkan propeller:



Gambar 4.13 Torque Result pada Propeller



Gambar 4.14 Force Result pada Propeller

Untuk membandingkan efisiensi dari kedua propeller, digunakan hubungan persamaan efisiensi sebagai berikut:

$$\eta = \frac{T \cdot V}{n \cdot Q} \quad (4.9)$$

Keterangan:

- η = efisiensi
- T = thrust
- V = advanced speed
- n = kecepatan rotasi
- Q = torsi

Sehingga dapat dibandingkan efisiensi kedua propeller tersebut dengan hubungan:

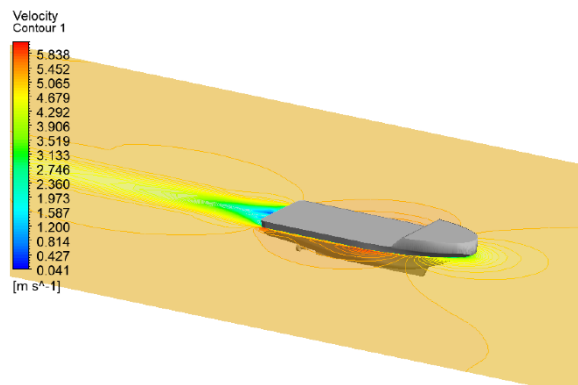
$$\frac{\eta_{ka3-65}}{\eta_{ka4-70}} = \left(\frac{T}{Q}\right)_{ka3-65} \left(\frac{Q}{T}\right)_{ka4-70}$$

$$\frac{\eta_{ka3-65}}{\eta_{ka4-70}} = \left(\frac{120564}{22119}\right) \left(\frac{24426}{171152}\right) = 0,77$$

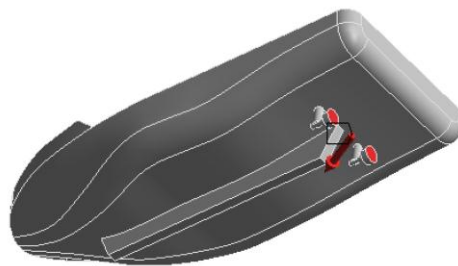
Dari perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa perbandingan efisiensi Ka3-65 dibanding Ka4-70 bernilai kurang dari 1, sehingga dapat dikatakan bahwa propeller Ka4-70 lebih efisien dibandingkan dengan propeller ka3-65.

4.6.2 Analisis Manuver Kapal

Ansys Fluent menyimpan koordinat mesh dari titik data untuk permukaan yang dipilih dan nilai variabel yang dipilih pada posisi tertentu. Ansys dapat mengatur kondisi batas dan *cell zone* dalam model saat ini dengan membandingkan nama zona dengan setiap rangkaian kondisi dalam file dengan nama zona dalam model. Jika model tidak berisi nama zona yang cocok, maka kondisi tersebut akan diabaikan. Setelah dilakukan *simulasi Ansys FLUENT* selanjutnya melakukan simulasi *rigid dynamics*. Hasil simulasi *rigid dynamics* untuk perhitungan diameter putar berupa animasi terlampir. Adapun data hasil simulasi yang dijadikan nilai input adalah sebagai berikut:



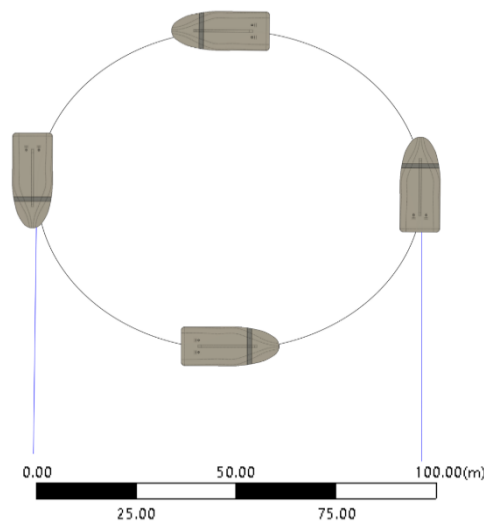
Gambar 4.15 Distribusi Kecepatan pada Sekitar Hull



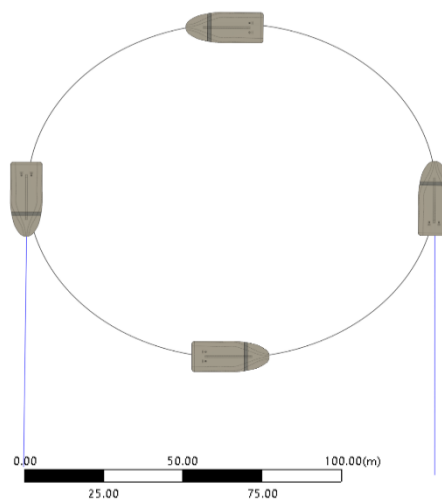
Gambar 4.16 *Input* Gaya Hasil Simulasi Propeller dan Hull

Rigid body motion diterapkan ke arah *face zone* bergerak, sedangkan permukaan ekstrusi segitiga diterapkan ke arah *deforming zone* dengan *remeshing* dan *smoothing* yang sudah diaktifkan. untuk evaluasi sistem mekanis yang efisien. Pengaturan yang berisi rakitan model dari bagian kekuatan yang saling

berhubungan yang mengalami gerakan keseluruhan yang besar. Dapat digunakan untuk mempelajari kinematika dan menghitung respons dinamis dari *rigid body*. Dengan memasukkan nilai gaya, momen, kecepatan dan percepatan dan semua bagian diasumsikan rigid (tidak ada tegangan/regangan), maka proses *running* dapat dijalankan. Sehingga dapat menghasilkan seperti pada Gambar 4.17 dan 4.18.



Gambar 4.17 Trajectory Kapal dengan Propeller Ka3-65



Gambar 4.18 Trajectory Kapal dengan Propeller Ka4-70

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Diameter Manuver

Propeller	Diameter Manuver (m)
Ka3-65	98
Ka4-70	125

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data dan analisa yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kurva *open water test* Ka-series menunjukkan bahwa Ka4-70 no.24 memberikan nilai *towing force* tertinggi sebesar 56,616 MT dan Ka3 65 no.19A memberikan kecepatan tertinggi sebesar 13.774 knot saat *free running*.
2. Nilai thrust yang paling besar dimiliki pada Ka3-65 sebesar 6940 N dan terendah Ka4-70 sebesar 4207 N. Nilai momen yang terjadi pada Ka3-65 sebesar 2288 Nm dan pada Ka4-70 sebesar 307 Nm.
3. Nilai tactical diameter pada Ka3-65 dan Ka4-70 dikatakan memenuhi standard karena memiliki nilai kurang dari 5x panjang kapal yaitu pada penelitian ini adalah sebesar 98 m untuk Ka3-65 dan 125 m untuk Ka4-70. Dengan panjang kapal sebesar 34 m dapat disimpulkan nilai tactical diameter terkecil dihasilkan oleh Ka3-65 sebesar 98 m sehingga dapat dikatakan bahwa Ka3-65 ini memiliki kinerja olah gerak kapal yang lebih optimum dibandingkan dengan propeller Ka4-70.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian berkelanjutan adalah sebagai berikut:

1. Perbanyak *literature* tentang topik yang diambil untuk tugas akhir.
2. Menambah variasi propeller Kaplan series serta memperbanyak variasi sudut agar hasil yang diperoleh lebih detail dan maksimal.

3. Memperbanyak jumlah iterasi baik pada proses penggambaran model (*meshing*) dan proses simulasi agar hasil yang didapatkan lebih optimal tetapi tetap memperhatikan kekuatan perangkat keras (laptop) yang digunakan.
4. Selain itu, perlu juga disiapkan pengetahuan mengenai *software* yang digunakan baik untuk pembuatan model ataupun untuk melakukan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abkowitz, M. A. (1998). *Stability and Control of Ocean Vehicle*. Cambridge: MIT Press.
- Ariana, I. M. 1997. Optimasi penggunaan propeller sebagai penggerak kapal dan pembangkit tenaga listrik pada KLB Maruta Jaya 900 DWT: laporan penelitian Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Barnaby, K. C. (1969). *Basic Naval Architecture*. London: Hutchinson Scientific and Technical.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. Jhon Wiley & Sons. New York.
- Heriseputra, R. (2010). TA. Pengembangan Metodologi Open Free Running Model Test pada Pengujian Prototipe Kemudi Ber-tail Flap. Teknik Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Haza, Z. F. (2015). “Studi Drag Force Gelombang Air Laut terhadap Fondasi Tiang Mini (Minipile) di Kawasan Pantai Parangtritis. *Jurnal Science Tech*. Vol. 1, No. 1, hal: 28-35.
- Hutapea, R. F., P. Manik, dan U. Budiarto. (2017). “Analisa Pengaruh Penambahan Fin pada Rudder terhadap Kemampuan Mauvering Kapal dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (Studi Kasus Kristo Container Ship). *Jurnal TeknikPerkapalan*, Vol 5, No. 1, hal. 742-751.
- Ilmi, M. J., Mustaghfirin, M. A. Santoso, dan Erni. (2018). “Karakteristik Hidrodinamika Aliran Air di Sekitar Propeller-Ruder pada Berbagai Bentuk Profile Rudder dan Jarak dengan Propeller. *Proceeding 1st Conference on Marine Engineering and Its Application*. Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya.
- International Maritime Organization. (2002). “Standard for Ship Monoeuvrability”. Report of The Maritime Safety Committee on Its Seventy-Sixth Sessionannex 6 (Resolution MSC. 137(76)). International Maritime Organization. London.
- I. P. S. Asmara, *Development of Navigat ion Safet y Analysis for Developing Port Area using Maneuvering Simulation and AIS Data*, Kobe: Kobe University Repository, 2016.
- ITTC. Manoeuvring Committee. (23rd ITTC QS Group 7.5 – 04/02-01).

- ITTC. 1957. Proceedings of The 8th ITTC, Madrid, Spain. Canal de Experiencias Hidrodinamicas. El Pardo, Madrid.
- Jamali, A. (2010). "Investigation of Propeller Characteristics with Different Locations of The Rudder". Department of Shipping and Marine Technology, Chalmer university of Technology, Sweden.
- Jialun, L. (2016). "Impacts of The Rudder Profile on Manoeuvring Performance of Ships". Delf University of Technology, Mekelweg 2, Delft, 2628 CD The Netherlands.
- Jinca, M. Y. (2012). Pelayaran Kapal-Kapal Tradisional 24 p. 218–231.
- Kuiper G. (1992). "The Wageningen Propeller Series". MARIN Publication 92-001.
- Journee, J. M. J. dan J. Peter. (2002). Introduction in Ship Hydromechanics. Delf University of Technology.
- Lewis, E. V. (1988). "Principles of Naval Architecture Volume II. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Jersey City, USA.
- Lewis, E. V. (1989). Principles of Naval Architectur Second Revision. Volume III, Motion in Wave and Controllability. The Society of Naval Architecture and Marine Engineers. Jersey City.
- Lewis, H. (1998). The Ship That Flew. Oxford Children's Modern Classics.
- Mainal, M. R. dan M. S. kamil. (1996). Estimation of Ship Manoeuvring Characteristics in The Conceptual Design Satge. Jurnal Mek anikal, Jilid I, UTM Malaysia.
- Manik, P. (2008). Buku Ajar Propulsi Kapal. Jurusan Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Mochammad, A. M., A., Masroeri, dan A. Baharudin. (2015). Studi Kelayakan Pemanfaatan Skeg Aktif sebagai Anti Rolling pada Kapal Cepat dengan Metode Uji Model. Jurnal Wave, Vol 9, No. 2, hal. 85-93.
- Morgut, M. and Nobile, E., 2012. Influence of grid type and turbulence model on the numerical prediction of the flow around marine propellers working in uniform inflow. Ocean Engineering, 42, pp.26-34.
- Oberkamp, W. L., & Trucano, T. G. (2002). Verification and Validation in Computational Fluid Dynamic, Progres in Aerospace Sciences Volume 38 Pp.209- 272, Pergamon elsavier.

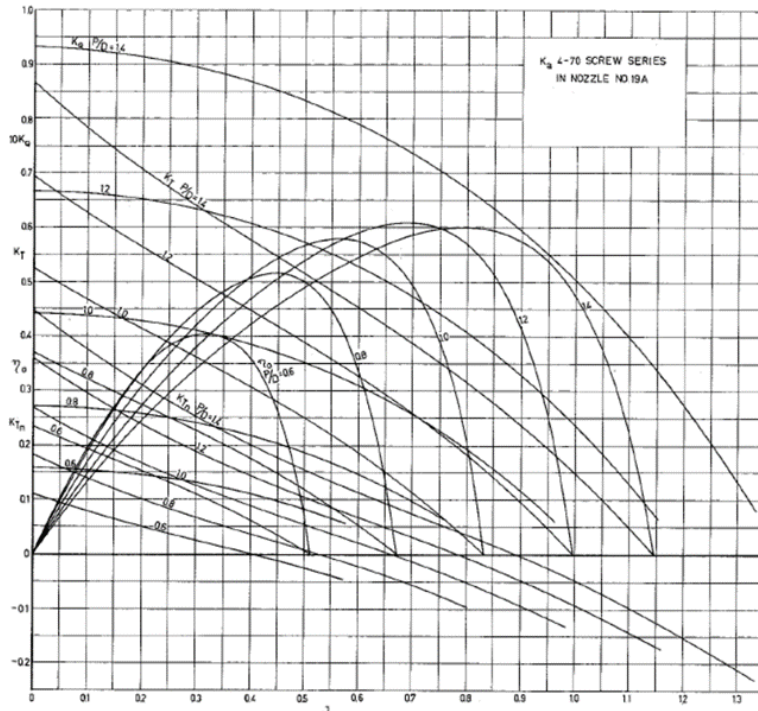
- Organization, I. M. (2002). IMO Resolution MSC 137 (76). London: IMO Publishing.
- Pan, Y. C., Zhang, H. X., & Zhou, Q. D. (2012). Numerical Prediction of Submarine Hydrodynamic coefficient using CFD Simulation, *Journal of Hydrodynamics* volume 24, Pp 840-847, Science direct, Elsevier.
- Prayoga, N. B. (2016). *Desain Self-Propelled oil Barge (SPOB) untuk Distribusi Crude Oil di Kabupaten Sorong, Papua Barat*. Surabaya: Tugas Akhir. FTK. Teknik Sistem Perkapalan, ITS Surabaya.
- Quadvlieg, F. H. H. A. dan P. V. Coeverdon. (2003). *Manoeuvring Criteria: More Than IMO A751 Requirements Alone*. MARIN. Netherlands.
- Safitri, L. E. (2020). *Analisis Variasi Posisi Rudder terhadap Rudder Force dan Kecepatan Aliran Fluida pada Moring Boat 14 Meter*. Surabaya: Tugas Akhir. TBK, D4 Teknik Perencanaan dan Konstruksi Kapal, PPNS.
- Sembiring, H. D. E., D. Chrismianto, dan P. Manik. (2016). “Pengaruh Jarak Rudder dan Propeller terhadap Kemampuan *Thrust* Menggunakan Metode CFD (Studi Kasus Kapal Kristo Container Ship)”. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol.4, No. 1, hal. 229-236.
- Susilo, J. (2014). *Simulasi Penggunaan Fins Undership terhadap Tahanan dan gaya Dorong Kapal dengan Metode Analisa CFD*. Surabaya: Tugas Akhir. FTK, Teknik Sistem Perkapalan, ITS Surabaya.
- W.B. Morgan. (1961). *A theory of the ducted propeller with a finite number of blades*, Tech. rep., University of California, Berkeley, Institute of Engineering Research.
- W.B. Morgan. (1962). *Theory of the annular airfoil and ducted propeller*, *Proceedings of the Fourth Symposium on Naval Hydrodynamics* 151–197.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

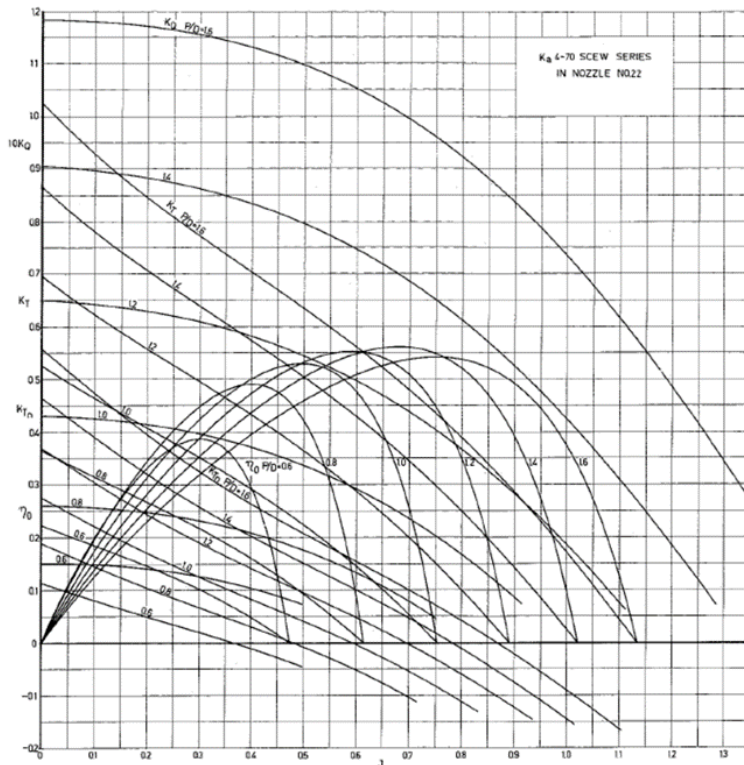
LAMPIRAN

Lampiran 1

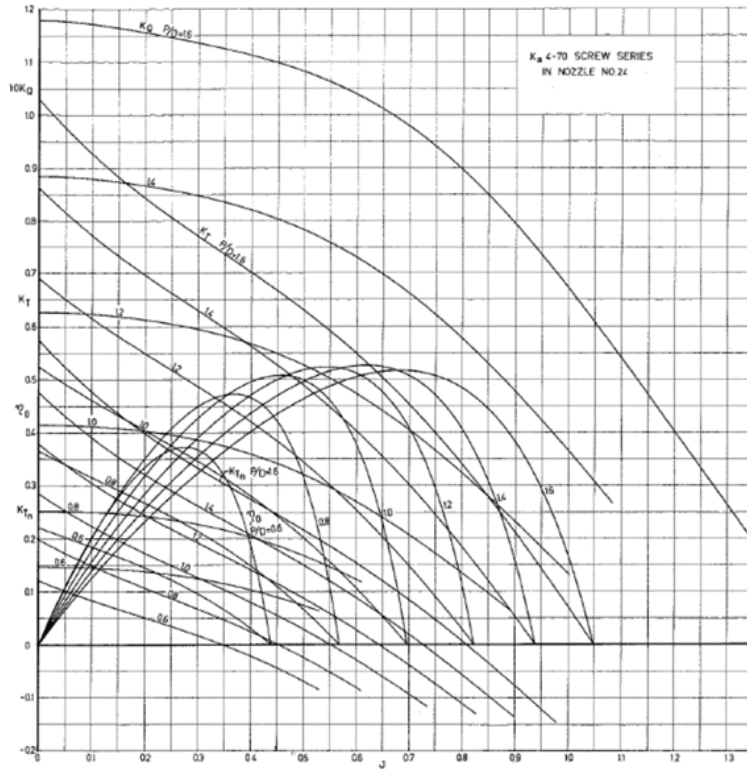
- Open Water Diagram Ka4-70 no.19A



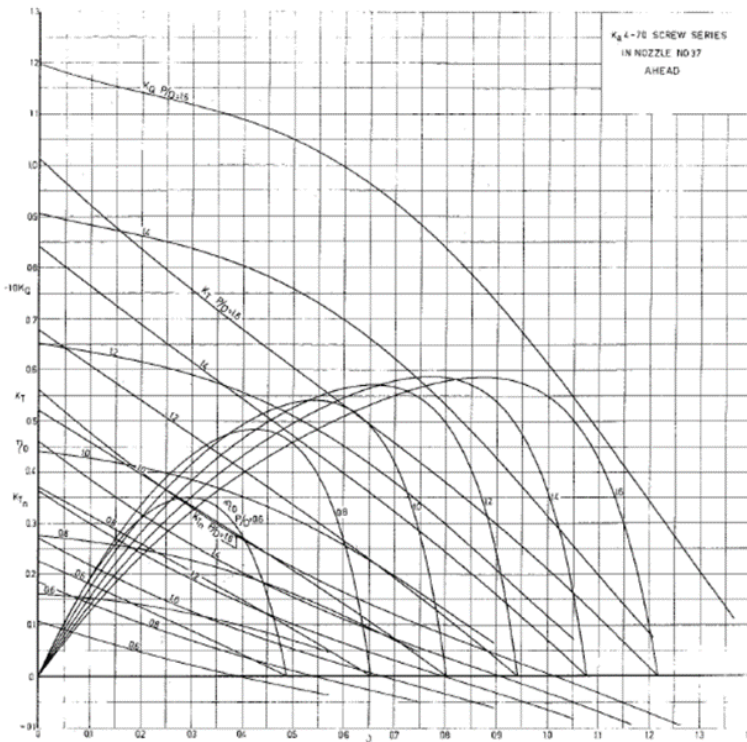
- Open Water Diagram Ka4-70 no.22



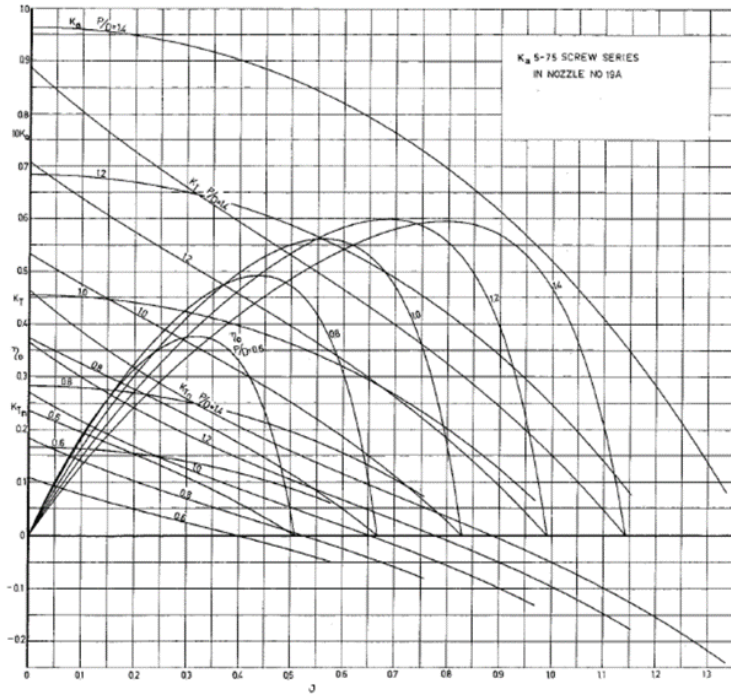
- Open Water Diagram Ka4-70 no.24



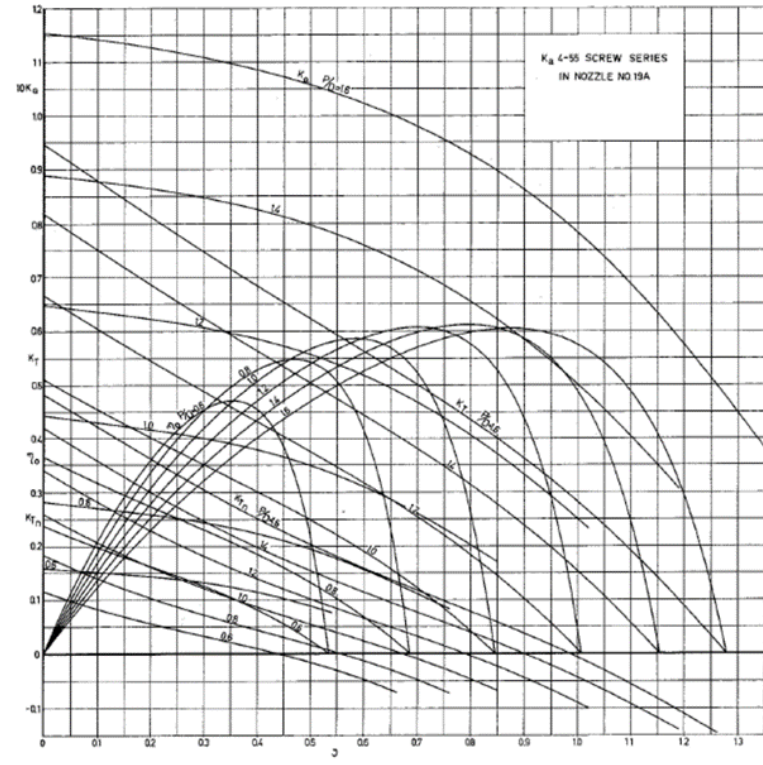
- Open Water Diagram Ka4-70 no.37



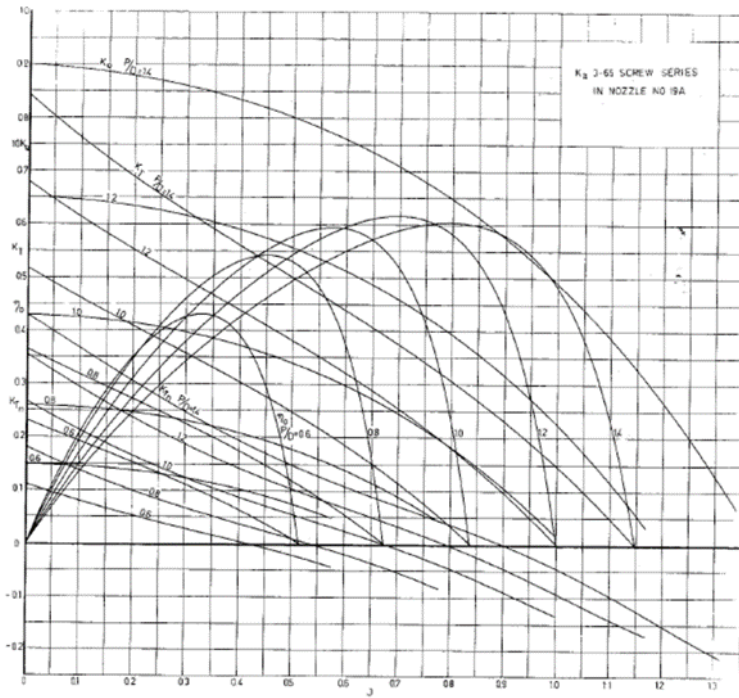
- Open Water Diagram Ka5-75 no.19A



- Open Water Diagram Ka4-55 no.19A

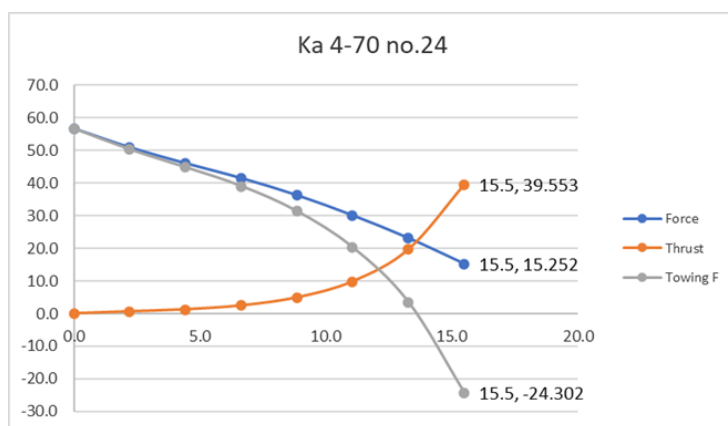
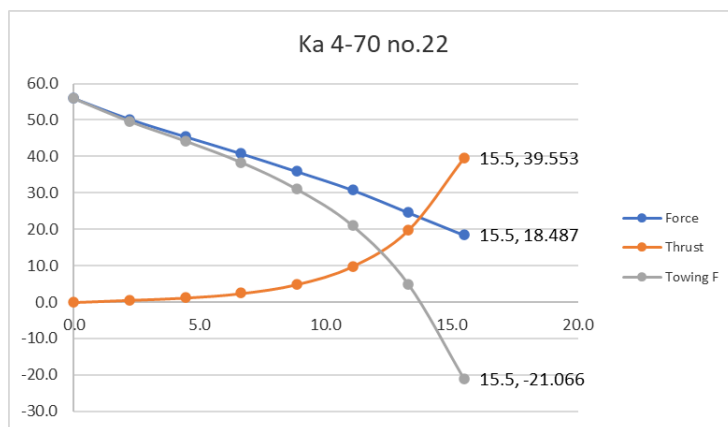
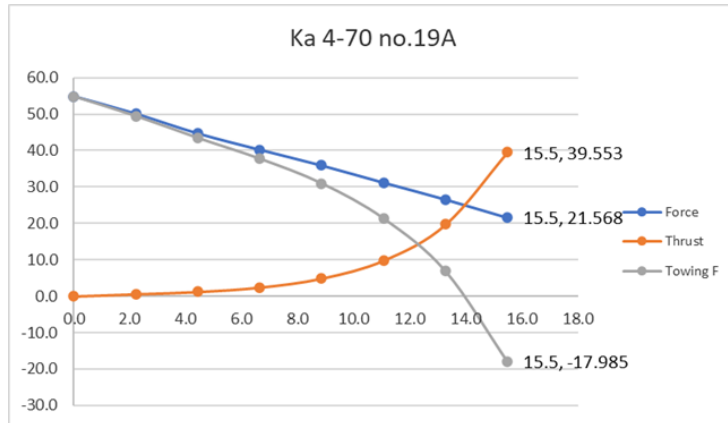


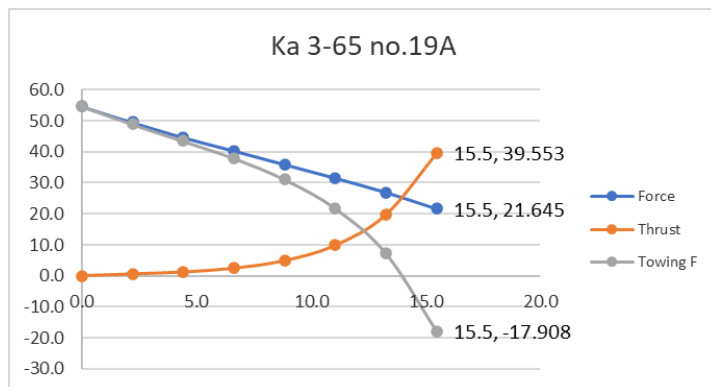
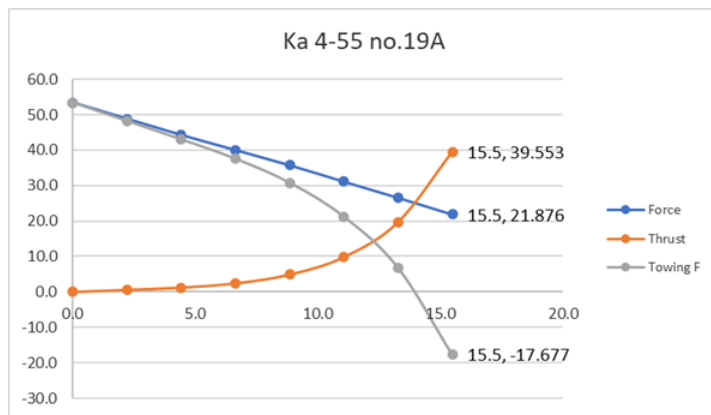
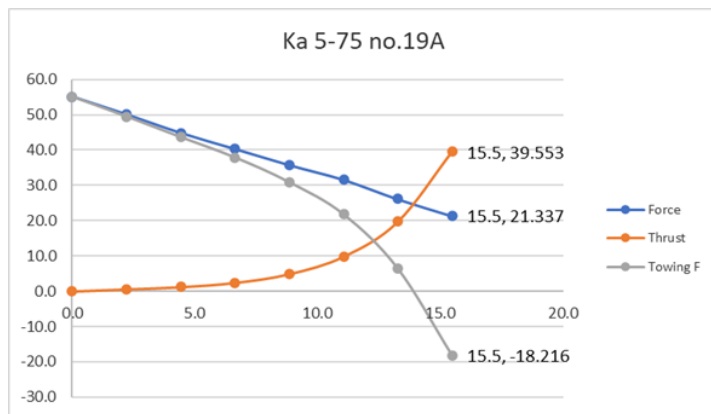
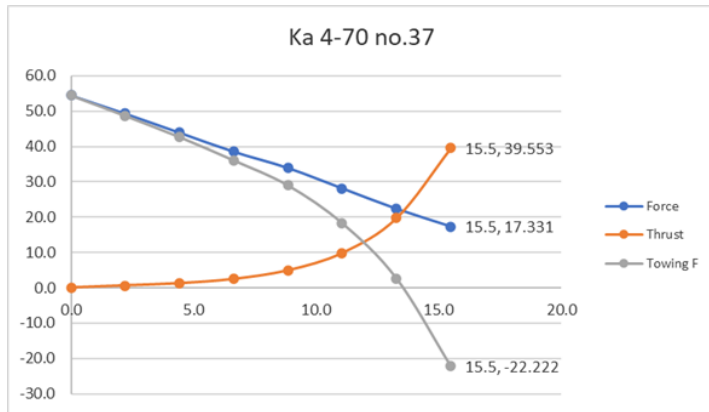
- Open Water Diagram Ka3-65 no.19A



Lampiran 2

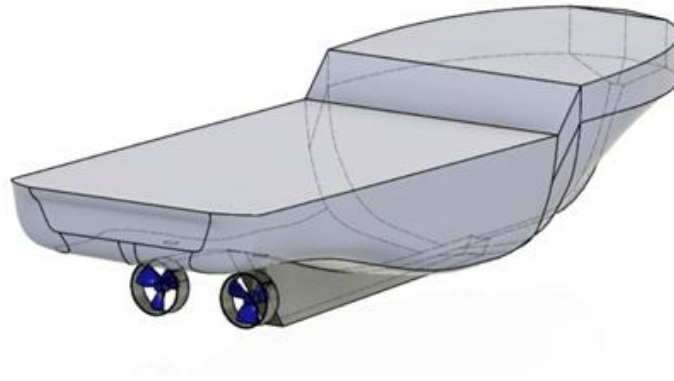
- Grafik towing force dari hasil pembacaan open water diagram



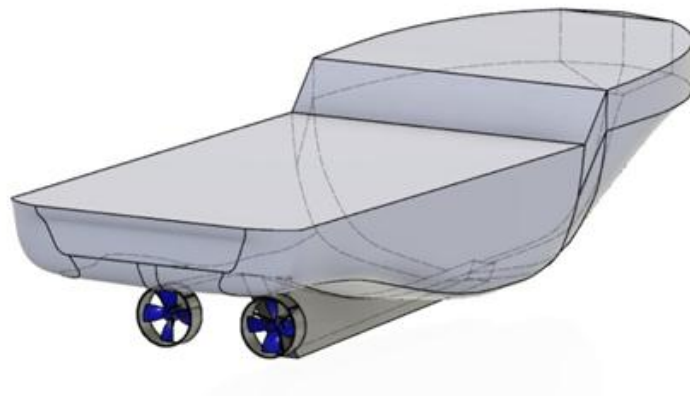


Lampiran 3

- Pemodelan Ka3-65



- Pemodelan Ka4-70



BIOGRAFI PENULIS



Septaviola Dini Utami lahir di Tangerang pada tanggal 28 September 1996. Penulis besar di Tangerang bersama keluarganya. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Cikupa dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Migas Cepu

Penulis memulai pendidikan Sarjana di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya pada tahun 2014 melalui Penelusuran Minat dan Kemampuan Politeknik Negeri (PMDKPN) dan diterima sebagai mahasiswa Jurusan D-IV Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal. Pendidikan Pascasarjana (S2) dimulai pada tahun 2019 pada semester ganjil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjalani perkuliahan, penulis terdaftar sebagai anggota Laboratorium *Marine Power Plant* (MPP) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan.